

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

**UM MODELO MARKOVIANO-BAYESIANO DE
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AVALIAÇÃO DINÂMICA
DO APRENDIZADO: APLICAÇÃO À LOGÍSTICA.**

DOUTORADO

Rogério Orlandeli

Orientador: Antônio Galvão Naclério Novaes, *Dr.*

Florianópolis

2005

ROGÉRIO ORLANDELI

**UM MODELO MARKOVIANO-BAYESIANO DE INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL PARA AVALIAÇÃO DINÂMICA DO
APRENDIZADO: APLICAÇÃO À LOGÍSTICA.**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas para a obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

Orientador: Prof. Antônio Galvão Naclério Novaes

**Florianópolis
2005**

Rogério Orlandeli

**UM MODELO MARKOVIANO-BAYESIANO DE INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL PARA AVALIAÇÃO DINÂMICA DO APRENDIZADO:
APLICAÇÃO À LOGÍSTICA**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia de Produção
Especialidade logística e Transporte, e aprovada em sua forma final pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa
Catarina.

Florianópolis, Junho de 2005.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Galvão N. Novaes, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador

Prof. Antônio Sergio Coelho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro da banca

Prof(a). Mirian Buss Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Membro da banca

Prof. Antônio Nelson R. Silva, Dr.
Escola de Engenharia de São Paulo
(USP), Examinador Externo

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina
Mediador

Prof. Orlando Fontes Lima Jr, Dr.
Faculdade de Engenharia Civil de S.P.
(UNICAMP), Examinador Externo

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a meus pais
Horacilio e Elisa, a minha namorada
Janete, irmão Ronaldo e amigos que
me apoiaram, choraram e vibraram,
dando-me todo seu estímulo, nos
momentos difíceis.*

*Ao meu Mestre Novaes que, além de
ajudar no desenvolvimento do trabalho,
tornou-se alguém em quem se basear
pelo resto da vida.*

AGRADECIMENTOS

A Cristo, meu maior amigo, confidente e companheiro que colocou as pessoas certas ao meu lado para o egresso e término do curso.

A Neiva Badin, colega que me indicou para o possível orientador Novaes;

Ao Prof. Orientador Antônio Galvão Naclério Novaes, pelo apoio, paciência e compreensão dispensados na elaboração deste trabalho, o qual possibilitou o desenvolvimento e aprimoramento contínuo do mesmo;

A Andréa, pela sua ajuda no desenvolvimento do trabalho e empenho na busca de bibliografias e pessoas relacionadas com tema.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro;

À banca examinadora, pela dedicação na análise e enriquecimento deste trabalho;

A Lucas, que auxiliou no desenvolvimento do sistema SEI-Logístico.

A Janete Paim, minha companheira, que trabalhou muito na correção e formatação do texto.

Aos meus grandes amigos, que me acompanharam neste projeto dando suas contribuições diretas ou indiretas.

A Deus, por ter me acompanhado na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
1- INTRODUÇÃO.....	12
1.1- Apresentação do Trabalho	13
1.2- Definição do tema e do tipo de pesquisa	15
1.3- O contexto do problema e sua relevância	16
1.4- O Problema.....	18
1.2- Objetivo do Trabalho.....	19
1.2.1- Objetivo Principal	19
1.2.2- Objetivos Específicos.....	19
1.3- Estrutura da Tese.....	20
2- SISTEMAS DE ENSINO INTELIGENTES (SEIs).....	21
2.1- Introdução aos SEI(s)	26
2.2- Utilização do Ensino a distância	28
2.3- Metodologia de Ensino Aprendizagem	29
2.3.1- Métodos de Ensino.....	30
2.3.2- A Utilização dos SEI(s) no Processo Ensino Aprendizagem.....	31
2.4- Principais Tipos de SEI.....	33
2.4.1- Aplicações dos SEI(s)	34
2.4.2- Público Alvo dos SEI(s).....	35
2.4.3- Configuração de um SEI.....	36
2.5- Exemplos de Sistemas de Ensino Inteligentes.....	37
2.5.1- Comentários sobre os tipos de SEI e suas implementações.....	42
2.6- Seqüência Sugerida para Elaboração de um SEI	44
3- FERRAMENTAS PROBABILÍSTICAS UTILIZADAS NO MODELO	47
3.1- Cadeias de Markov	47
3.1.1- Processo Estocástico de Parâmetro Discreto	47
3.1.2- Estrutura Probabilística de um PEPD	48
3.1.3- Processo Markoviano de Parâmetro Discreto	49
3.1.4- Definição de um Processo Markoviano de Parâmetro Discreto.....	50
3.1.5- Probabilidades de Transição de Estados	50
3.1.6- Matriz de Probabilidades de Transição de Estado	51
3.1.7- Cadeia de Markov de Primeira Ordem.....	51
3.1.8- Análise de Probabilidade Pelas Cadeias de Markov	52

3.2- Redes de Bayes	53
3.2.1- Conceitos Preliminares	53
3.2.2- Considerações de Probabilidade	54
3.2.3- Probabilidades Condicionais e Regra de Bayes	54
3.2.4- Aplicando a Regra de Bayes	55
3.2.5- Redes Bayesianas	57
3.2.6- Compreendendo uma Rede de Bayes.....	60
3.2.7- Hipóteses de Independência.....	61
3.2.8- Atualização de Crenças	63
3.2.9- Cálculo das Probabilidades Bayesianas, Através da Propagação em Grafos Floresta	65
4- APRESENTAÇÃO GERAL DO MODELO	73
4.1- Estrutura da Rede Bayesianas.....	74
4.2- Montando a Rede de Bayes Proposta.....	75
4.2.1 – Matriz de Probabilidades Condicionais.....	75
4.2.2 – Grafo Acíclico	76
4.2.3 – Função de Probabilidade Bayesiana.....	77
4.2.4 - Probabilidade a <i>Priori</i>	77
4.3- Formação da Matriz de Transição Markoviana	88
4.4- Matriz de Transição Markoviana.....	88
4.5- Fluxograma do Sistema Envolvendo a Rede bayesiana/markoviana.....	91
4.6- Modo de Avaliação.....	92
4.7- Definindo as Relações de Aprovação.....	92
4.8- Exemplo da Utilização do Modelo Implementado na forma de um SEI.....	93
4.8.1- Cadastro do Conteúdo no Sistema	93
4.8.2- Exemplo Comentado de Inserção Das Especificações no Sistema	94
4.8.3- Análise Dos Resultados Segundo as Especificações do Exemplo	96
5- APLICAÇÃO À LOGÍSTICA	99
5.1- Descrição do Sistema (SEI-Logístico).....	99
5.1.1- Descrição Dos Capítulos e Inserção Das Especificações no Sistema	100
5.1.2- Descrição da utilização do Sistema.....	102
5.2- A aplicação prática.....	104
6- CONCLUSÕES	114
6.1- Funcionamento do Algoritmo	114
6.2- SEI-Logístico no Ensino	116
6.3 - Considerações finais.....	117

6.4 – Sugestões de pesquisa.....	118
6.5 Recomendações e limitações do trabalho	119
7- BIBLIOGRAFIA.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1: Bloco de informações... 23
- Figura 2.2: Bloco de ramificação... 23
- Figura 2.3: Exemplo de ramificação... 24
- Figura 2.4: Arquitetura geral de um SEI ... 36
- Figura 3.1: Uma rede de Bayes simples... 58
- Figura 3.2: Rede de Bayes (extraído de Hruschka, 1997)... 62
- Figura 3.3: Subgrafos separado pelo nó C... 66
- Figura 3.4: Um nó com seus pais e filhos... 68
- Figura 3.5: Conjunto de pais do nó, Y_j ... 70
- Figura 4.1: Rede Bayesiana Proposta... 74
- Figura 4.2: Exemplo de atribuição de valores aos módulos... 75
- Figura 4.3: Grafo acíclico da rede proposta... 76
- Figura 4.4: Probabilidades a priori... 83
- Figura 4.5: Probabilidades a posteriori... 87
- Figura 4.6: Fluxograma do sistema... 91
- Figura 5.1: Tela inicial do sistema... 105
- Figura 5.2: Resultado da primeira tentativa de avaliação... 105
- Figura 5.3: Tela de resultados da segunda tentativa... 107
- Figura 5.4: Tela de resultados da aprovação... 109
- Figura 5.5: Gráfico do desempenho individual de um aluno no curso... 111
- Figura 5.6: Gráfico do desempenho de alguns alunos no curso... 111

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Características de alguns SEIs...	43
Quadro 4.1: Funções de probabilidade condicionais correspondentes ao grafo orientado da Figura 4.3...	76
Quadro 4.2: Probabilidades a priori...	78
Quadro 4.3: Novos valores para as funções de probabilidade condicionais...	84
Quadro 4.4: Matriz de transição...	90
Quadro 4.5: Tabela de transição...	92
Quadro 4.6: Relações de aprovação...	92
Quadro 4.7: Relevância por módulo...	94
Quadro 4.8: Relevância dos sub-itens...	95
Quadro 4.9: Resumo de dados para a análise da simulação...	97
Quadro 5.1: Relevância dos módulos no primeiro capítulo da aplicação...	100
Quadro 5.2: Relevância por itens dos módulos do capítulo 1...	101
Quadro 5.3: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 1...	101
Quadro 5.4: Resumo das relevâncias atribuídas aos itens do capítulo 2...	101
Quadro 5.5: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 2...	102
Quadro 5.6: Resumo das relevâncias atribuídas aos itens do capítulo 3...	102
Quadro 5.7: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 3...	102
Quadro 5.8: Probabilidade de apto fornecida pela rede bayesiana, primeira auto-avaliação...	106
Quadro 5.9: Matriz de transição markoviana, primeira auto-avaliação...	106
Quadro 5.10: Resultados finais para análise, primeira auto-avaliação...	106
Quadro 5.11: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, primeira auto-avaliação...	106
Quadro 5.12: Matriz de transição markoviana, segunda auto-avaliação...	107
Quadro 5.13: Resultados finais para análise, segunda auto-avaliação...	107
Quadro 5.14: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, segunda auto-avaliação...	108
Quadro 5.15: Matriz de transição markoviana, segunda auto-avaliação...	109
Quadro 5.16: Resultados finais para análise, segunda auto-avaliação...	109
Quadro 5.17: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, terceira auto-avaliação...	109
Quadro 5.18: Resultados finais da utilização do sistema por alguns usuários...	110

RESUMO

A tese apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Ensino Inteligente (SEI) via Internet, especialmente estruturado *para monitorar (mensurar) o desempenho do aluno no tempo e, simular o estilo de avaliação do professor responsável pelo conteúdo*, para atender estas finalidades o sistema é alimentado por instruções (definições) do professor a respeito dos conteúdos (informações) a serem inseridos e apresentados. O modelo utilizado pelo sistema usa em conjunto redes probabilísticas (cadeia de Markov e rede de Bayes), apresentando uma estrutura independente do domínio (conteúdo a ser apresentado). A cadeia de Markov armazena o conhecimento do desempenho passado, mesmo que recente (do aluno), podendo pela sua forma acumulativa do conhecimento estimar a previsão futura de desempenho, enquanto a rede de Bayes, de posse de uma evidência (desempenho do aluno) coletada no presente, pode reavaliar evidências passadas ou até inferir possíveis desempenhos, em tarefas, que por ventura possam não ser acessadas ou completadas. O sistema foi validado em uma aplicação prática, na qual foi observado e analisado: comportamento, reação e desempenho de um aluno ao utilizar o sistema, juntamente com um diagnóstico do algoritmo contendo os resultados apresentados pela rede de Bayes, pela rede de Markov e a estimativa futura de desempenho que, é baseado no percentual da pontuação obtida pelo aluno em sua avaliação.

ABSTRACT

The thesis presents the development of an Intelligent Education System (IES) through the Internet, specially structured to monitor (to measure) the student's performance in the time and to simulate the style of the evaluation process performed by the teacher in charge for the content. In order to attempt that, the system is fed by instructions (definitions) from the teacher regarding the contents (information) to be inserted and presented. The model used by the system uses nets probability together (Markov chain and Baye's net), presenting an independent structure of the domain (content to be presented). The Markov chain stores the knowledge of the last student's performance, even if recent, being able, because of its cumulative knowledge, to forecast the future performance, while the Baye's net, having the evidence (the performance of the student) collected in the present, it can reevaluate former evidences or even to infer possible performances that could not been accessed by some reason. The system was validated in a practical application where was observed and analyzed the behavior, reactions and performances of a single student while using the system, with a diagnosis of the algorithm containing the results presented by the Baye's Net and by the Markov Chain and the future estimation of the performance that is based in the percentile of the of the punctuation obtained by the student in your evaluation.

1- INTRODUÇÃO

A necessidade de fixação de conceitos e avaliação do aprendizado, juntamente com a disposição de tempo e espaço para o estudo por parte dos professores e alunos, foi observada nas disciplinas do curso de logística do PPGEP (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), localizado na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), mais especificamente na disciplina “Distribuição Física de Produtos” que traz, por exemplo, diferenças de compreensão entre a visão do técnico em logística e do técnico em marketing. Os problemas observados no PPGEP, e pressentidos de uma forma geral nos meios destinados ao ensino, motivaram o início da pesquisa sobre o assunto, que terá como finalidade reduzir parte dos problemas identificados e, ao mesmo tempo, descrever a pesquisa na forma de uma tese de doutorado.

Uma vez os problemas identificados, chegou-se a conclusão de que o desenvolvimento de um Sistema de Ensino Inteligente (SEI), poderia trazer benefícios para o ensino, principalmente se utilizado via Internet.

1.1- Apresentação do Trabalho

Cada vez mais tem se buscado aprimorar o ensino nas mais diversas áreas e a Internet tem se apresentado como uma modalidade promissora de ensino a distância, devido principalmente ao potencial de comunicação dessa rede e a sua dinâmica para disseminar informações. Os principais recursos disponibilizados pela Internet, cada vez mais explorados, são o acesso à informação e o intercâmbio de idéias entre pessoas. Estes recursos viabilizam a utilização da Internet como forma de complementação ao ensino convencional.

É válido ressaltar, contudo, que é possível ir além. Com a aplicação de novas técnicas pedagógicas na preparação de material didático, é possível oferecer cursos a distância a pessoas que não têm condições de se locomover diariamente para sala de aula de uma escola ou universidade, por motivos financeiros, físicos ou pela própria falta de tempo. Entretanto, para que o ensino a distância torne-se consistente, existe

a necessidade do desenvolvimento dos mais variados softwares educativos, como ferramentas de apoio ao processo de ensino/aprendizagem.

Dentro desta perspectiva será desenvolvido um SEI (Sistema de Ensino Inteligente) via Internet. Um SEI possui uma ou algumas especialidades (área de atuação) que podem ser: identificação de pontos fracos, direcionamento de conteúdo, avaliação e identificação do processo cognitivo de aprendizagem do aluno. Seriam esses alguns exemplos.

O sistema a ser desenvolvido terá como especialidade a avaliação do aprendizado, optando por uma forma seqüencial de apresentação do conteúdo, com a preocupação de contemplar satisfatoriamente as informações necessárias para aquisição do conhecimento por parte dos alunos, baseado na seqüência habitual de transmissão de conhecimento em sala de aula que são: disposição de conteúdo, realização de exercícios e a habitual avaliação.

O ensino via Internet, foco do sistema em questão, pode possuir um público bem variado, o que compromete as garantias de pré-requisitos (por exemplo, em cadastros realizados eletronicamente não há garantias das informações fornecidas pelos participantes serem verdadeiras) e conseqüentemente de bons resultados, sendo assim, fez-se necessário pesquisar um modelo matemático para o sistema que tratasse os possíveis resultados de forma probabilística.

Caso o sistema seja direcionado à avaliação, é importante desenvolver um modelo matemático que simule o estilo de avaliação do professor (técnico/especialista do curso responsável pelo conteúdo apresentado) conforme o desempenho do aluno. E que na visão do professor, possa transcender a mera nota alcançada em uma determinada avaliação baseada numa análise histórica e uma percepção futura do desempenho do aluno, influenciando na avaliação como um todo.

Na busca por um método probabilístico que leve em consideração o passado como referência para o futuro e, porque não, o presente como referência do passado, chegou-se a conclusão que as redes probabilísticas denominadas Cadeia de Markov e Rede de Bayes satisfariam respectivamente as pretensões acima comentadas para o desenvolvimento do modelo matemático. A cadeia de Markov, contendo o conhecimento do desempenho passado, mesmo que recente (do aluno), pode pela

sua forma acumulativa do conhecimento estimar a previsão futura. Ao passo que, a rede de Bayes, de posse de uma evidência (desempenho do aluno) coletada no presente, pode reavaliar evidências passadas ou até inferir possíveis desempenhos para os quais, porventura, não exista nenhuma evidência para análise.

Foi desenvolvido por Smallwood (1962, p. 28), um trabalho com redes bayesianas, destinado a SEIs, envolvendo o histórico dos alunos. Smallwood buscava adaptar métodos e modelos matemáticos (rede de Bayes) para encontrar a probabilidade de cada uma das opções de resposta, de uma determinada questão, a ser respondida por um conjunto de indivíduos com o mesmo histórico.

A proposta deste trabalho será a busca da probabilidade de êxito em conteúdos futuros, baseando-se no histórico do aluno, ao mesmo tempo em que avalia a aquisição do conhecimento no presente.

Uma vez identificado o foco para o SEI (a avaliação), sua forma de apresentação (pela Internet), as características almeçadas na avaliação (análise do passado, presente e uma previsão futura), através da escolha do modelo matemático, serão definidas as condições para que a análise satisfaça o estilo do professor responsável pelo conteúdo do curso. Sendo assim, a estrutura do curso foi dividida por capítulos contendo três módulos (Conteúdo, Exercícios, Avaliação) e, cada módulo com sub-itens; para o módulo conteúdo, sub-capítulos; para os módulos Exercícios e Avaliação, questões. Conforme a percepção do professor, em relação ao conteúdo, ele (o professor) colocará pesos para os módulos e seus itens, que depois serão normalizados e, também ficará a seu cargo definir a nota mínima a ser alcançada (para que o aluno possa ser considerado aprovado) e uma estimativa futura de desempenho. Ficará a cargo do sistema fazer somente a análise do desempenho individual dos alunos e compará-lo com as especificações do professor.

1.2- Definição do tema e do tipo de pesquisa

O presente projeto engloba as seguintes áreas de pesquisa: informática educativa (sistemas inteligentes de ensino), redes probabilísticas (rede bayesiana e cadeia de

Markov). A pesquisa modela e implementa um sistema de ensino inteligente baseado em redes probabilísticas alimentadas pelo desempenho dos alunos.

1.3- O contexto do problema e sua relevância

A modernização (avanço tecnológico em todas as áreas) vem se tornando quase obrigatória para acompanhar o desenvolvimento e satisfazer as exigências impostas pelas novas realidades.

A economia está mudando rapidamente, incorporando uma crescente participação de máquinas inteligentes que automatizam o labor humano. Atualmente, cada vez mais pessoas trabalham em parceria com ferramentas inteligentes para criar produtos e serviços para clientes. Com esta transformação para uma economia pós-industrial, baseada em conhecimento, (knowledge-based), ocorre uma evolução dos requisitos do trabalho. Com os avanços em tecnologias de informação previstos para a próxima década, a flexibilidade das pessoas será vital. Os aspectos padronizados de resolução de problemas são cada vez mais absorvidas pela máquina. O centro do desafio é a preparação dos estudantes de hoje para os futuros postos de trabalho (LEWIS and DEDE, 1995).

O crescente desenvolvimento da tecnologia de comunicação e informação, juntamente com a evolução da performance dos computadores, permite um alto fluxo de informação, desenvolvendo assim, melhores habilidades e condições de atuar e aprender em processos de ensino aprendizagem.

Os avanços tecnológicos utilizados atualmente pela indústria do entretenimento estão invadindo as escolas, o computador substitui o caderno e o quadro-negro, mostrando imagens saltando da tela em terceira dimensão, atraindo o interesse dos alunos e estimulando o ensino e a aprendizagem. (TAFNER *apud* SILVA, 1998).

A tecnologia de informação, utilizando computadores, é uma realidade nos dias atuais no auxílio ao processo de ensino e com grandes perspectivas para o futuro. Contudo, as utilizações destas tecnologias são recentes e requerem uma preocupação

quanto à capacidade dos profissionais envolvidos no ensino, desde a apresentação de conteúdo até a avaliação.

O uso das novas tecnologias na educação requer a participação de todos os segmentos comprometidos com o processo educacional. Por ser uma área relativamente nova e em desenvolvimento, são poucos os profissionais que dominam o saber sobre a aplicação dessas novas tecnologias ao processo de ensino/aprendizagem. (BERNADETE, 2002).

Dentre os seguimentos comprometidos com o processo educacional, a avaliação em geral (conhecimento já adquirido, capacidade de aprendizagem, habilidades específicas) dos participantes, é tida como uma questão polêmica de difícil mensuração. Em Sistemas de Ensino Inteligente (SEI) a avaliação, como em qualquer sistema de ensino, encontra dificuldades a partir da forma de acesso ao conteúdo disponibilizado até a avaliação final, por exemplo:

- Como mensurar o conhecimento adquirido durante e antes do curso oferecido;
- Como avaliar a capacidade de aprendizagem de cada participante individualmente;
- Como tratar (mensurar) os conhecimentos, já adquiridos pelos alunos, antes de freqüentar os conteúdos oferecidos.

Portanto, a relevância deste trabalho se caracteriza pelo fato de que o modelo proposto para o ensino, a partir da forma de apresentação de conteúdo até seu sistema de avaliação, pode ser visto como um auxílio precioso para os profissionais do ensino, pois esta nova tecnologia de informação e comunicação pode ser usada em todas, ou em algumas disciplinas de um determinado curso. O modelo permite atender em grande escala a demanda, através do uso quase ilimitado do fluxo de informações, incentivando o aluno a aprender a aprender, escolhendo seus próprios conteúdos segundo suas expectativas, velocidade, disponibilidade de tempo e conhecimentos.

1.4- O Problema

Segundo Bernadete (2002), o Brasil está ocupando uma colocação próxima a centésima posição em dispêndios públicos, com a educação, dentre os países do planeta.

A colocação do Brasil em gastos com a educação gera problemas de orçamento nas instituições públicas de ensino, como: deficiência na contratação de professores, no suprimento de materiais e na manutenção das salas de aulas. Essa deficiência de investimento gera falta de profissionais habilitados e de infra-estrutura, no que se refere aos locais físicos de ensino. Com tais dificuldades, faz-se necessário o desenvolvimento de meios alternativos, que possam amenizar os problemas gerados por insuficiência de recursos. O investimento no ensino a distância via Internet, seria uma alternativa, já que pode atender a estas necessidades e ainda alcançar uma quantidade indefinida de usuários e pode ser definido como:

Sistema tecnológico de comunicação bidirecional, que pode ser massivo e que substitui a interação pessoal, na sala de aula, de professor e aluno, como meio preferencial de ensino, pela ação sistemática e conjunta de diversos recursos didáticos e pelo apoio de uma organização e tutoria que propiciam a aprendizagem independente e flexível dos alunos (ARETIO apud RODRIGUES, 1998).

Porém, os esforços disponibilizados para o ensino a distância no Brasil não devem ser tratados de forma tecnicista, sem maiores pesquisas e engajamento das várias áreas envolvidas no ensino.

Os aspectos teóricos e conceituais ligados ao ensino a distância são fundamentais para o equacionamento correto da questão, para a definição da forma mais adequada de transmissão da informação, para a identificação do público alvo e para a escolha do sistema de avaliação do aprendizado (NOVAES, 1994).

Dentre as alternativas de ensino a distância, os sistemas de tutores inteligentes (STI) ou sistemas de ensino inteligentes (SEI) se destacam, pois facilitam cada vez mais o trabalho dos profissionais (professores), e podem diminuir a necessidade de espaço

físico (salas de aula) e, como em todo ensino a distância, oferecem uma grande flexibilidade de horários.

1.2- Objetivo do Trabalho

1.2.1- Objetivo Principal

Desenvolver um Sistema de Ensino Inteligente (SEI), especialmente estruturado para monitorar (mensurar) o desempenho do aluno no tempo (analisa o passado e o presente e faz uma estimativa futura) e que simule o estilo de avaliação do professor (técnico/especialista responsável pelo conteúdo apresentado) através de especificações (relevâncias dos tópicos, pontuação mínima e estimativa futura) impostas pelos especialistas do curso a ser apresentado.

1.2.2- Objetivos Específicos

- Apresentar uma análise histórica da evolução dos Sistemas de Ensino Inteligentes (SEI);
- Identificar a aplicação do SEI e seu público alvo;
- Desenvolver um modelo matemático envolvendo o trabalho em conjunto de rede bayesiana e cadeia de Markov, com a finalidade de gerenciar o SEI a ser desenvolvido;
- Desenvolver um SEI (SEI-Logístico), utilizando o modelo desenvolvido;
- Validar o sistema em uma aplicação prática em Logística;

1.3- Estrutura da Tese

A tese será composta de seis capítulos, os conteúdos destes capítulos estão resumidos abaixo:

- No Capítulo 1 será apresentado as principais considerações sobre o trabalho, com introdução, e os objetivos;
- No Capítulo 2 será apresentada uma introdução sobre os SEI(s), sua configuração básica, aplicação, público alvo e alguns exemplos;
- No Capítulo 3 será apresentada uma introdução à cadeia de Markov e rede bayesiana que fazem parte da estrutura modelística utilizada;
- O Capítulo 4 apresentará a descrição do modelo matemático e do fluxograma utilizado pelo SEI desenvolvido;
- O Capítulo 5 apresentará a forma de utilização e uma aplicação prática do sistema SEI-Logístico;
- O Capítulo 6 apresentará as conclusões finais, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2- SISTEMAS DE ENSINO INTELIGENTES (SEIs)

Neste capítulo será abordada uma introdução sobre o SEI(s), apresentando um breve relato da evolução histórica dos mesmos, comentando os tipos, implementações e utilização. O capítulo ainda apresenta a arquitetura tradicional dos SEIs, descreve alguns SEIs com seus respectivos objetivos e sugere alguns procedimentos para o desenvolvimento do mesmo.

Pesquisas feitas por Smallwood (1962 p. 10), um dos pioneiros no estudo de sistemas inteligentes de ensino, constataram que o estudo dos métodos de adaptação do conteúdo, segundo, os objetivos e conhecimentos dos alunos, deveriam ser destinados principalmente a:

- ✓ Desenvolver novos SEI(s) para atender a crescente demanda desta tecnologia;
- ✓ Classificar os SEI(s) em função de seu conteúdo, de sua forma de processamento ou de sua aplicação;
- ✓ Melhorar a aplicação dos SEI(s), encontrando as formas mais adequadas de utilização;
- ✓ Relatar experiências ocorridas em universidades, no ensino das mais variadas disciplinas;
- ✓ Apontar e avaliar as vantagens e as desvantagens decorrentes de aplicações dos SEI(s);
- ✓ Desenvolver ferramentas para a avaliação do processo de ensino aprendizagem em seus sentidos mais amplos, gerais e específicos, alcançados quando os SEI(s) são aplicados.

Smallwood demonstrava uma visão abrangente sobre o conceito de ensino inteligente via computador, que serve de base para o objetivo do texto aqui desenvolvido e a outros que tratam da transmissão do conhecimento por meio de um instrutor mecânico/virtual. Tendo como referência essas pesquisas é possível descrever algumas instruções na configuração básica de um tutor virtual.

Objetivos para uma máquina de ensino (SEI)

As qualidades de um SEI são as mesmas necessárias, ou pelo menos desejáveis, para um instrutor desempenhar seu papel no ensino de um único estudante:

- Habilidade de ajuste e aproveitamento das características de aprendizado individual dos estudantes;
- Habilidade de lucrar com experiências adquiridas no próprio processo de ensino, aperfeiçoando assim a qualidade do mesmo.

As características de um SEI estão relacionadas com os seus objetivos como, por exemplo: a apresentação do conteúdo, na qual é interessante assumir um conjunto de questões para cada conceito ensinado e apresentá-los ao aluno no término do estudo com a finalidade de mensurar o entendimento a respeito do mesmo.

Estrutura para tomadas de decisão

Uma vez identificadas as qualidades necessárias para um tutor, faz-se necessário uma estrutura de decisão com características comuns as dos tutores humanos para tornar-se mais eficiente, como:

- Apresentação do material conjugado (títulos) para os estudantes;
- Adaptação do material para cada estudante ou grupo de estudante;
- Possibilidade de aperfeiçoar-se com experiências.

Em resumo, pode-se assumir que:

- 1- O título principal a ser ensinado pode ser quebrado em uma seqüência ordenada de conceitos.
- 2- Pode haver uma associação entre cada conceito apresentado num bloco de informação e seu conjunto de questões, adaptando testes de conhecimento aos estudantes.

Um bloco de informação pode ser ramificado de maneira que possa expor os conteúdos relacionados às questões a que se referem, como na figura abaixo:

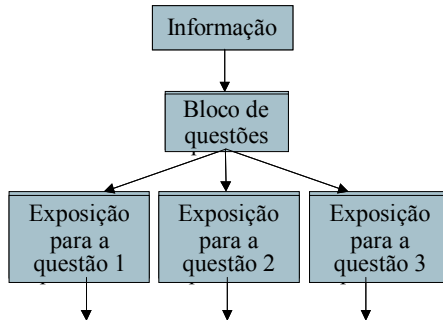


Figura 2.1: Bloco de informações

Podendo assumir, entre outras, questões para:

1. Medir o entendimento dos conceitos já existentes;
2. Testar a compreensão dos conceitos ensinados.

Estrutura de bloco e Ramificação

A apresentação do conteúdo pode ser estruturada em rede repartida em níveis e sub-níveis, na qual supõe-se uma linha principal do programa de ensino, separadas em blocos variando do nível 1 $b(1,j)$ até o nível n $b(n,j)$.

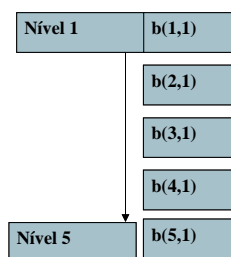


Figura 2.2: Bloco de ramificação

Se o estudante está no nível i , o sistema pode decidir a qual dos blocos o estudante será encaminhado e o aluno, após ler as informações no bloco que lhe for apresentado responderá as questões.

Uma possibilidade de ramificação é:

- Caminho 1: representa um aluno que respondeu corretamente as perguntas.
- Caminho 2: errou as questões nos blocos $b(1,3)$ e $b(3,1)$.

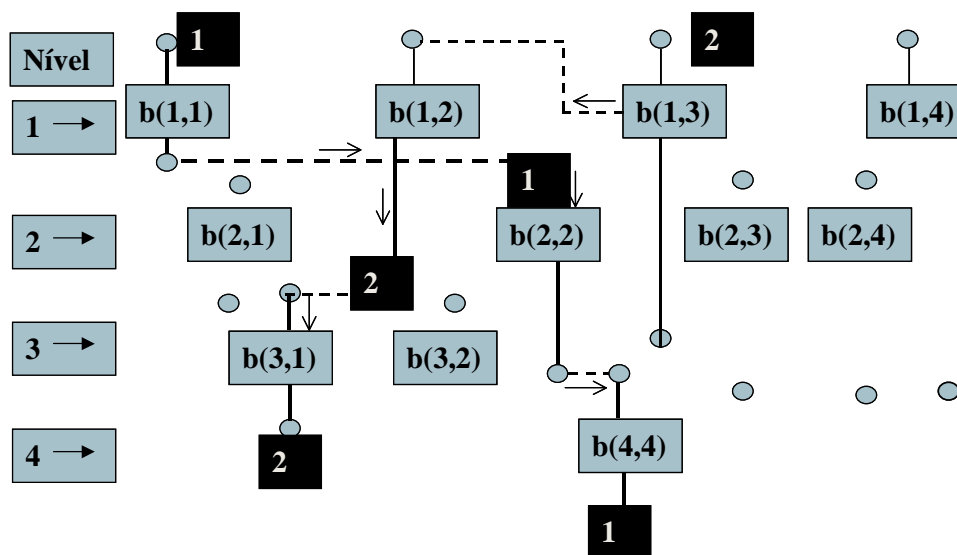


Figura 2.3: Exemplo de ramificação

O procedimento para um estudante concluir o curso (seqüência de questões) vai depender da escolha do nível pelo sistema e do desempenho nas respostas das questões de cada bloco, para o qual o aluno for direcionado.

Avaliação Dos Alunos

Para a avaliação, cada bloco da ramificação possui uma função de retorno $v(i, j, k)$, onde k é a resposta do aluno para o bloco $b(i,j)$.

A função de retorno $v(i,j,k)$ é fixa em cada bloco e analisa o desempenho dos alunos, podendo assim, fazer o encaminhamento do aluno para um próximo nível ou rever conceitos do nível atual.

Pode-se ressaltar que os erros são uma importante fonte de informação; eles podem, ou deveriam ser usados pelos “professores virtuais” na apresentação do material. Ou

seja, a observação dos erros permite direcionar (identificar deficiências) o estudante para diferentes blocos (conteúdos) dependendo de suas respostas.

Estimação de Performance no Sistema (probabilidade)

Existe o interesse em estimar a probabilidade das respostas que possam ser escolhidas por um estudante para um bloco de questões, ou seja, o que se busca é a probabilidade $P_{ij}(k)$. Onde:

- k - é uma opção de resposta do bloco.
- $P_{ij}(k)$ - é a probabilidade da K -ésima resposta do bloco $b(i,j)$ estar correta.

Com a seguinte restrição:

$$\sum P_{ij}(k) = 1, \text{ para todo } k \text{ em } i.$$

Ou seja, existe uma distribuição de probabilidades entre as possibilidades ou alternativas de respostas.

O ideal seria prever com exatidão quais estudantes concedem as particulares respostas para $b(i,j)$, levando em consideração o histórico e o conhecimento adquirido dos alunos.

Sendo assim pode-se definir a probabilidade $P_{ij}(k)$, como:

$P_{ij}(k)$ - é a probabilidade de um estudante com um certo histórico apresentar a k -ésima resposta à questão do bloco $b(i,j)$.

Definição de Modelos

Um dos problemas é encontrar modelos matemáticos que usem o histórico dos estudantes corretamente para estimar o verdadeiro valor de $P_{ij}(k)$. Já que frequentemente existem deficiências, como:

1- Inexatidão devido à insuficiência detalhada no histórico, o qual é usado pelo modelo para estimações.

2- O erro na estimação do próprio modelo, como por exemplo:

- a- Configuração dos modelos;
- b- Falta de informação sobre o que basear as estimativas.

Apesar das dificuldades apresentadas neste contexto, é necessário desenvolver um modelo matemático que possa calcular a probabilidade $P_{ij}(k)$ do aluno adotar uma determinada *k-ésima* resposta à pergunta. Para determinar esta estimativa, os modelos podem assumir, por exemplo, cada um dos usuários como uma amostra aleatória de uma população de estudantes com o mesmo histórico. Smallwood considera importante os fatores explícitos e implícitos na estimação do histórico do estudante. Os fatores explícitos são estatísticas sobre o desempenho do aluno, tais como:

- A percentagem de acerto;
- A resposta referente à última questão;
- O registro completo dos estudantes sobre todas as questões até o momento.

Os fatores implícitos do histórico (pré-requisitos) dos estudantes são impostos pelas restrições do educador para o uso da máquina de ensino.

2.1- Introdução aos SEI(s)

A idéia de se utilizar o computador como uma “máquina de ensino” buscando automatizar o processo de aprendizagem, motivou os primeiros esforços da década de 60 na utilização de computadores para suporte às atividades docentes.

As tentativas iniciais baseavam-se em apresentar o material instrucional selecionado pelo professor ou especialista, de forma estruturada e obedecendo a uma determinada seqüência.

Após o aluno acessar a seqüência de telas do conteúdo disponibilizado, era apresentado o bloco de exercícios. Estes eram de escolha simples ou escolha múltipla.

Esta forma de ensino computadorizado recebeu o nome Computer Assisted Instruction (CAI) ou (Instrução Assistida por Computador). Eles eram impessoais, sob o ponto de vista instrucional, e não objetivavam nenhum tipo de personalização. Na década de 70, Carbonell (1970) apresentou uma proposta sobre como tratar a questão da “aprendizagem-computadorizada”. Ele propôs, com um sistema denominado SCHOLAR, uma nova maneira de conceber sistemas educacionais, levando em consideração a forma como o professor estrutura e desenvolve o conteúdo em sala de aula. Ou seja, considerando a dinamicidade que existe na relação aluno-professor. Ele se baseou no fato de que numa situação de sala de aula o professor observa os alunos e faz uma verificação constante do que está acontecendo durante o andamento das atividades na sala de aula. E isto deveria ser possível de ser modelado em um software educacional. No entanto, apesar de ser uma idéia aparentemente “simples”, trata-se de uma tarefa de alta complexidade, tanto em nível de modelagem, como de implementação.

Esta dinâmica de sala de aula, envolvendo a observação do aluno, é que se pretende “transferir” ao sistema, é a idéia de se buscar uma instrução mais personalizada, ou menos impessoal. Ao contrário dos CAIs, estes novos sistemas não realizariam a tarefa de ensinar de uma forma única, mas como uma estrutura orientada à informação, onde o conteúdo que o sistema possui é representado computacionalmente através de diversas formas de representação do conhecimento. No sistema proposto por Carbonell, o conteúdo era representado por redes semânticas. Desta forma, o sistema mantém um diálogo com o aluno, através do formato textual, utilizando um subconjunto da língua natural em que o sistema foi desenvolvido. O sistema se baseava nos avanços da área de Inteligência Artificial, da década de 70.

Segundo Goulart & Giratta (2001) o sistema SCHOLAR e outros trabalhos como o WHY e SOPHIE de Collins e Brown (apud Wenger, 1987), constituíram os primeiros Intelligent Computer Assisted Instruction (ICAI) ou Sistemas Tutores Inteligentes (STI), lembrando que ICAI e STI eram considerados sinônimos. No entanto atualmente isto não é consenso.

No entanto, levando em consideração a evolução dos sistemas de ensino via computador, os SEIs são sistemas CAI (*Computer Aided Instruction*) que buscam interagir com os alunos individualmente, apresentando características de inteligência baseadas em ações normalmente tomadas por instrutores reais, simulando as interações professor-aluno.

Hoje os STIs ou SEIs têm como principal objetivo realizar a tarefa de ensino de um dado conteúdo (domínio), na forma mais adaptada às necessidades individuais do aluno. Isso significa que os sistemas identificam as dificuldades dos estudantes, com o propósito de adaptar uma metodologia de ensino apropriada para seu “nível de aprendizado”. A idéia consiste em investigar formas que permitam embutir conhecimento suficiente nos sistemas, para que estes sejam capazes de reconhecer seus usuários e tomar decisões pedagógicas a cada nova situação, pois a aprendizagem do aluno está diretamente relacionada com o grau de interesse que lhe é apresentado: “quanto mais envolvido estiver o aluno, melhor será o seu desempenho nos estudos e mais facilmente será a assimilação dos conteúdos” (TEDESCO & SOUZA, 1999).

O desenvolvimento da inteligência artificial no tratamento de problemas com incertezas através das redes bayesianas, vêm aperfeiçoando os SEI(s) (um exemplo é o sistema Aprender a Aprender, que será comentado na seção 2.5) no seu objetivo principal, que é transmitir o conhecimento, podendo: captar a intenção ou deficiências de conhecimento do utilizador à medida que há uma interação do usuário com o sistema e ajustar-se ao perfil de cada estudante, fazendo um direcionamento ou apresentando conteúdo.

2.2- Utilização do Ensino a distância

Atualmente algumas universidades, no Brasil, estão estimulando, desenvolvendo e aplicando esta recente forma de ensino, (mais usualmente via computador,

viabilizado pela Internet) como apoio em algumas disciplinas, em disciplinas isoladas ou até mesmo oferecendo cursos completos.

A questão do ensino a distância no Brasil, comentado por Novaes (1994), já discutia as possibilidades de implantação de cursos a distância pelas universidades, principalmente em especializações e, denunciava o pouco investimento e interesse nas áreas baseadas em: programas educativos transmitidos via rede convencional de televisão, sem qualquer acompanhamento dos alunos; cursos pagos por correspondência, mantidos por organizações privadas.

A realidade hoje, no que se trata no ensino a distância, não é totalmente satisfatória, contudo órgãos governamentais já regulamentam estes cursos e há um maior interesse pelo aprimoramento do mesmo. Um exemplo é a portaria 2.253, do MEC, de 18 de outubro de 2001, que normatiza os procedimentos de autorização para possibilidade de oferta de no máximo 20% das disciplinas na modalidade não-presencial em cursos de graduação reconhecidos.

Segundo o “Latu Senso a distância”, fornecido pelo MEC, tem-se atualmente cerca de 46 cursos ou programas de graduação aprovados em diversas especialidades, oferecidos a distância.

Na iniciativa privada, especialmente nos centros de treinamentos de pessoal, o ensino virtual tornou-se viável. A CRT Brasil Telecom, por exemplo, desenvolveu uma cooperação constante com a UFRGS e com a UNISINOS, visando o desenvolvimento de cursos de treinamento a serem ministrados remotamente aos seus funcionários em diferentes cidades e em diferentes períodos.

2.3- Metodologia de Ensino Aprendizagem

Não há um consenso, entre os pesquisadores, sobre as diversas metodologias e práticas de ensino, nem um agrupamento por classes desses métodos. Assim será apresentado um breve comentário sobre técnicas de ensino em sala de aula, baseados em Orlandeli (2001).

2.3.1- Métodos de Ensino

Indiferente do método de ensino, o objetivo primordial é a transmissão do conhecimento ao aluno de forma eficiente. Os métodos de ensino são os meios e os recursos organizados, que o professor faz uso como base para criar condições favoráveis à assimilação do assunto em discussão.

Os métodos de ensino vêm ao encontro da busca do “saber” dos alunos em sala de aula, para que eles tenham um bom posicionamento frente a um problema real (os alunos buscam as ferramentas essenciais para sua correta utilização).

Cada técnica utilizada, em função dos procedimentos a serem explorados, proporciona um estímulo específico ao aluno e exige deste um comportamento correspondente, com a finalidade de facilitar a transmissão de conhecimento, de absorção de novas técnicas ou de um novo posicionamento social.

Adotando-se uma visão direta e prática dos métodos possíveis, pode-se classificá-los em:

- Método prático: aprender fazendo;
- Método conceitual: aprender pela teoria;
- Método simulado: aprender pela realidade imitada;
- Método comportamental: aprender com o crescimento psicológico.

Pelo método prático, o aluno é levado a aprender pela realização das tarefas nas condições que são encontradas na realidade. A preocupação fundamental do professor ao adotar tal método incide em possibilitar aos alunos um ambiente no qual realize-se o aprendizado, idêntico ao que o aprendiz irá encontrar numa situação real.

No método conceitual, a preocupação do professor reside em transmitir uma conceituação teórica, obrigando o aluno à “pensar” para adaptar tal teoria, na resolução dos problemas correlatos com a mesma.

No método simulado, o professor cria um ambiente, o mais próximo da realidade, para que os alunos resolvam os problemas propostos. Para disponibilizar este ambiente simulado, existem condições específicas para cada caso. Por exemplo: o uso de jogos de empresa possibilita a simulação de um ambiente no qual se exercita a competição entre empresas.

No método comportamental, a preocupação consiste em proporcionar condições para que se conclua como será o comportamento do homem (diante de decisões a serem tomadas) e as alterações que se fazem necessárias, quando determinadas situações reais ocorrerem. Por este método, o professor orienta o aluno a assumir determinado papel, em uma situação hipotética, mas, possível de acontecer na vida profissional.

Cabe ainda destacar que os métodos mencionados são aplicados de forma a adequar a transferência dos conhecimentos aos seguintes objetivos:

- ✓ Objetivos específicos da disciplina;
- ✓ Objetivos gerais do curso;
- ✓ Adequação dos recursos disponibilizados;
- ✓ Adequação ao nível do grupo de alunos.

Podem ser encontrados sistemas de ensino que englobam mais que um objetivo dos métodos de aprendizado, obtendo um maior aproveitamento. É o caso dos jogos de empresa e os SEI(s), que além de transmitirem conhecimento teórico podem influenciar no comportamento futuro do estudante.

2.3.2- A Utilização dos SEI(s) no Processo Ensino Aprendizagem

Dentre os métodos citados (prático, conceitual, simulado, comportamental), pode-se enquadrar os SEI(s), no processo ensino aprendizagem, como um método conceitual, em que o conhecimento é inserido em um determinado ambiente restrito de ensino.

Algumas das características do ser humano que um SEI pode aproveitar, são:

- Curiosidade, pela qual ele se sente estimulado a buscar novos conhecimentos;
- Competitividade, na qual, as pessoas tendem a competir uma com as outras, utilizando-se de todas as ferramentas possíveis para vencer o desafio;

Segundo Smallwood (1962, p.3), um SEI possui as seguintes vantagens sobre o ensino convencional, uma vez que pode ser estruturado, principalmente, de modo que:

1. Cada estudante progride a seus próprios passos;
2. O estudante progredirá para temas diferentes, após dominar satisfatoriamente o tema atual;
3. O estudante pode descobrir de imediato se respondeu ou não uma pergunta corretamente, e assim corrigir qualquer falsa impressão;
4. Registros completos dos desempenhos de estudantes estão disponíveis no sistema, de forma que melhorias podem ser elaboradas no próprio programa.

Devido ao crescente desenvolvimento tecnológico, verifica-se que os SEI(s), possuem uma fácil possibilidade de reaproveitamento e readaptação dos sistemas em geral.

Dentre as vantagens da aplicação dos SEI(s), identifica-se que os sistemas desenvolvidos fornecem o aprendizado a um número indefinido de pessoas com a utilização da Internet, na qual os estudantes podem utilizar o sistema sem fronteiras de tempo e espaço, isto é, da maneira que melhor lhes convier.

Quanto às desvantagens dos SEI(s), pode-se identificar a dificuldade na modelagem, que deve considerar o dinamismo existente na relação aluno-professor e a necessidade de uma grande diversidade de tópicos do conteúdo, que necessitam ser disponibilizados e relacionados a cada desempenho individual observado.

Finalmente, podem ser citadas algumas condições hoje existentes que proporcionam o desenvolvimento de software para o ensino:

- ✓ Disponibilidade de computadores pessoais com grande capacidade e preços compatíveis com a renda familiar;
- ✓ Desenvolvimento de modelos matemáticos de simples compreensão e que podem ser utilizados para a simulação de ambientes específicos;
- ✓ Desenvolvimento de linguagens computacionais que possibilitam a programação de modelos matemáticos complexos;
- ✓ Divulgação, na sociedade em geral, do uso de computadores para a solução de problemas diversos;

Existe ainda, uma melhor aceitação da sociedade ao usufruir os recursos oferecidos pela tecnologia, e os SEI(s) já não causam tantas rejeições, preocupações ou medo, nos indivíduos envolvidos no processo de ensino aprendizagem.

2.4– Principais Tipos de SEI

Devido a grande variedade de SEI e seu sinônimo STI (sistema tutores inteligentes), convém estabelecer uma classificação e chamar a atenção para o grande leque de possibilidades na área. Deve-se também identificar a diferença entre SEI e Sistema de Ensino (SE), pois um SE é uma seqüência invariável de conteúdos sem qualquer tratamento das informações em relação aos estudantes, seus erros ou pré-requisitos. Em um SEI, existe um cuidado individual com todos os usuários na busca pela melhor “apresentação de material” segundo seu desempenho e pré-requisitos.

Os SEI(s) podem ser identificados por sua modelagem (implementação lógica/matemática) e pela sua área principal de atuação (Avaliação, apresentação de conteúdo...).

Em relação à modelagem, pode-se citar que os SEI(s) são desenvolvidos através de:

- Sistema baseado em regras;
- Sistema baseado em redes probabilísticas;
- Sistema baseado em agentes inteligentes.

Não se pode descartar a hipótese de utilizar em conjunto as possibilidades acima citadas e outras maneiras possíveis de implementação, pois estas dependem do objetivo do sistema.

Os primeiros SEI(s) implementados utilizavam basicamente, na sua modelagem, procedimentos que apresentavam deficiências e certas limitações em função das linguagens utilizadas e do hardware disponível, não permitindo assim a criação de sistemas que atendessem às pretensões iniciais dos SEI(s), pois impossibilitavam a representação de domínios complexos, culminando em uma falta de visão (ou controle) global sobre a aprendizagem do aluno.

Os SEI(s) recentemente implementados atendem melhor às pretensões iniciais, já que a modelagem pode ser feita sobre um domínio de incerteza trabalhando, por exemplo, com incógnitas do tipo: o que o utilizador sabe, quais as suas preferências, dificuldades e possibilidades de desempenho. Incertezas estas que possuem algumas implementações eficientes, possibilitadas pelas redes probabilísticas (mais precisamente pela rede de Bayes) e por agentes inteligentes em alguns SEI(s).

Considerando-se a especificidade do modelo desenvolvido, alguns SEI(s) podem ser classificados em:

- SEI sob medida: especificamente montados para alguma finalidade como, por exemplo, treinamento de funcionários.
- SEI gerais: são sistemas que permitem o cadastro de vários tipos de conhecimento (cursos), segundo algumas orientações.

Deste modo, os SEI(s) podem ser identificados e utilizados em vários ambientes educacionais.

Se for considerada a operacionalização dos SEI, o participante pode interagir com o sistema em um software particular ou por acesso via Internet.

2.4.1– Aplicações dos SEI(s)

Pode-se, assim, identificar algumas aplicações para os SEI(s):

- Treinamento - em setores das empresas;
- Seleção - escolha de pessoal para empresas privadas;

- Ensino - utilizado no processo de aprendizagem.

O treinamento e a seleção podem ser utilizados por empresas privadas para o aperfeiçoamento e escolha dos funcionários. Sendo, para esta finalidade, os SEI(s) sob medida os mais propícios.

Entretanto, é no ensino a principal área de aplicação do SEI(s), funcionando como apoio a disciplinas, apoio a tópicos especiais ou até mesmo em cursos completos.

2.4.2- Público Alvo dos SEI(s)

Constata-se, de certa forma, que os SEI(s) são empregados basicamente para dois tipos de público:

- Acadêmico;
- Empresarial.

Para o público acadêmico, os SEI(s) auxiliam no processo de ensino aprendizagem, já que direcionam os alunos em suas pesquisas na busca de melhores resultados, facilitando o entendimento e a fixação dos conceitos. Neste caso o método conceitual seria o mais indicado.

Para o público empresarial, os SEI(s) auxiliam no treinamento e seleção de pessoal. Diante de tais constatações, o método comportamental em conjunto com o simulado seria o mais recomendado.

No desenvolvimento de um SEI direcionado para uma área específica, por exemplo engenharia, é relevante verificar os estilos de aprendizagem dos alunos (público alvo) e as características de ensino dos professores.

Uma pesquisa do estilo de aprendizagem na área de engenharia desenvolvida por Harb (2001), abordando a preferência dos alunos pelos métodos de ensino, concluiu que a maioria dos estudantes desta área, assim como os professores, preferem os métodos tradicionais de ensino, como por exemplo: aulas expositivas, com os alunos buscando a solução lógica e prática dos problemas, sem muita contextualização. Pesquisas mais recentes desenvolvidas no Brasil também na área de engenharia por Pereira (1994, pg 1530) identificam os estilos de aprendizagem e as preferências dos alunos tornando possível identificar os estilos dominantes: Ativo (63%), Sensorial

(75%), Visual (83%) e Global (55%); resultado obtido a partir de uma amostra total de 840 estudantes analisados. O desenvolvimento de um SEI, com algumas informações de estilo de aprendizagem a respeito do público alvo, tendem a permitir uma maior aceitação do sistema pelos participantes, uma vez que busca atender melhor as expectativas dos respectivos usuários.

Todavia, convém observar que se os SEIs forem direcionados para pessoas adultas é necessário levar em consideração que esse público é bastante prático, por isso, é imprescindível que o sistema seja de fácil operação, além de abordar conteúdos claros e objetivos. Em geral, um SEI deve utilizar o ciclo de aprendizagem, “vivência” dos participantes. Este ciclo leva os participantes a estabelecerem uma relação entre as suas experiências e os fatos reais do cotidiano, fazendo com que os mesmos possam fortalecer os pontos positivos, conhecer os negativos e criar instrumentos para minimizá-los.

2.4.3- Configuração de um SEI

A maioria dos SEI(s) desenvolvidos mais recentemente, são fundamentados em novas estruturas de processo de ensino que enfatizam significativamente o diagnóstico e tratamento das informações. Segundo Siemer & Angelides (1998) a arquitetura clássica de um sistema de ensino inteligente é ilustrada na figura 2.4.

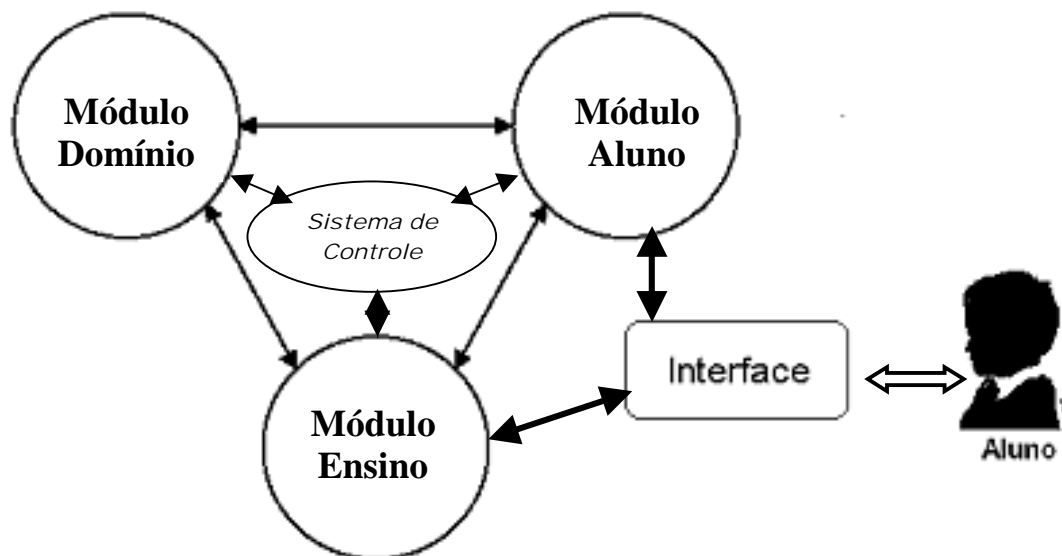


Figura 2.4: Arquitetura geral de um SEI

Onde:

- Módulo domínio

Este módulo detém o conhecimento sobre a matéria no formato de regras de produção. O domínio de um SEI(s) contém o conhecimento sobre os títulos da área a ser ensinado e as estratégias de apresentação do conteúdo, segundo o desempenho dos alunos.

- Módulo Ensino

Este módulo possui o conhecimento sobre as estratégias e táticas de ensino, selecionando-as posteriormente em função das características do aluno (representadas no módulo aluno);

As características de ensino estão embutidas neste módulo, que depende do objetivo específico de cada episódio para controlar toda seleção e seqüenciamento de material a ser apresentado para o estudante.

Dependendo da estratégia de ensino a seqüência pode ser quebrada, caso o estudante necessite de alguma assistência especial, podendo ser requerida em diferentes situações. Uma ampla seleção de estratégias oferece uma maior flexibilidade e pode prover uma maior adaptação do estudante no processo de ensino.

- Módulo aluno

Neste módulo estão armazenadas/modeladas as características individuais do aluno. Alguns SEI(s) usam o módulo aluno para analisar a inclusão dos estudantes durante a iteração do ensino. O estudante incluso pode ser questionado pelo SEI, armazenando suas informações em detalhes. Estas informações não são somente sobre os seus pré-requisitos, podendo conter as suas preferências de ensino.

- Interface: intermedia a interação entre o tutor e o aluno.

2.5- Exemplos de Sistemas de Ensino Inteligentes

Como o desenvolvimento de um SEI requer uma grande quantidade de conhecimentos e técnicas, serão comentados os pontos principais de cada sistema analisado.

Aprender a Aprender

O sistema tutor inteligente Aprender a aprender, de Gamboa (1999), disponibilizado via Internet, utiliza redes bayesianas para se adaptar ao utilizador. Concebido para captar a intenção do utilizador e dirigi-lo para o tema que lhe interessa de uma forma ampla ou superficial, podendo aconselhar a rever alguns temas que convêm ser aprendidos. O sistema adquire conhecimento sobre o utilizador através da sua interação com o browser. Algumas das ações do utilizador são registradas para permitir a atualização das variáveis acerca do mesmo para poder inferir melhor qual o percurso deva fazer pelo sistema.

Serão descritos alguns SEI(s) considerados importantes na história do desenvolvimento desses sistemas, baseados na pesquisa de Pozzebon (2003, p. 19), na forma de dissertação de mestrado.

SCHOLAR

O programa SCHOLAR, Carbonell (1970), foi um dos primeiros a tentar incluir a modelagem do conteúdo. O sistema usa rede semântica contendo uma série de elementos ligados por relações claramente especificadas para a representação do conhecimento.

Carbonell, o autor do Scholar achava que uma rede semântica completa podia ser utilizada para modelar o conhecimento do estudante. Assim, ele sugeriu uma rede completa para modelar o "estudante perfeito" e progressivamente perturbá-lo para refletir o seu desempenho até aquele momento, apagando e até mesmo modificando nodos e ligações. (POZZEBON, 2003 p. 20).

O sistema pode, através das especificações, determinar a relação semântica entre dois nós da rede, simplesmente seguindo seus respectivos caminhos na hierarquia, até um nó em comum ser encontrado.

SOPHIE

O sistema visa explorar a iniciativa apresentada pelo estudante em um ciclo de ensino. O programa SOPHIE, de Brown et al (1975), trabalha com a simulação do mundo físico apresentando ao estudante parte de um equipamento eletrônico com defeito. O estudante deve analisar o equipamento e fornecer as soluções possíveis, podendo formular algumas questões específicas, pois o sistema responde a questões e avalia hipóteses sobre o sistema sendo simulado.

O sistema tem um modelo do conhecimento para resolução de problemas em seu domínio, assim como numerosas estratégias heurísticas para responder às questões dos estudantes, criticar suas hipóteses, e sugerir teorias alternativas. O SOPHIE permite que os estudantes tenham uma relação um-para-um com a figura do especialista baseado em computador que os auxilia no surgimento de suas próprias idéias, experimentando estas idéias e depurando-as quando necessário. (POZZEBON, 2003 p.22).

O SOPHIE proporciona ao aluno um ambiente de aprendizado que lhe permite adquirir técnicas para resolução de problemas experimentando suas idéias, podendo ser caracterizado como um método de ensino simulado, aprendendo pela realidade representada.

WEST

O sistema WEST, Burton & Brown (1979), é baseado no SOPHIE, sendo alterado o conteúdo a ser ensinado e acrescentado um novo componente visando acompanhar todas as necessidades do sistema: determinar o que o estudante conhece, quando interromper, e o que dizer. O componente identifica a qualquer momento o que é relevante, ajudando na compreensão do conteúdo.

As informações que o componente possui para tomar suas decisões vêm da comparação das ações do aluno com a do especialista, isto é o que este faria nas mesmas circunstâncias. Isto faz do WEST um sistema não só de representação de algum conhecimento especialista, mas também apresenta formas inteligentes para a utilização das informações.

GUIDON

É um sistema especialista que foi criado para o ensino de diagnóstico de doenças infecciosas do sangue, baseado na capacidade de diálogo do sistema SCHOLAR. O GUIDON, segundo Clancey (1987), utiliza o método de caso para a apresentação pedagógica que trata de um diálogo de iniciativa mista, concentrado sobre casos específicos para transmitir o conhecimento do “Agente Especialista” aos estudantes na resolução de problemas num ambiente realístico.

HYDRIVE

O sistema "HYDRaulics Interactive Video Experience" é um STI que utiliza multimídia para resolver problemas de sistema hidráulico de um avião F-15.

O propósito deste STI é dar instrução aos técnicos de vôo para a solução de problemas complexos. O sistema, quando necessário, pode selecionar um conteúdo de vídeo, a partir de um disco laser, e então apresentá-lo. As pessoas que estão sendo treinadas podem ver os componentes da aeronave em operação. O sistema também pode apresentar instruções realísticas utilizando vídeo dos pilotos da aeronave e mecânicos (POZZEBON, 2003, p. 25).

O material multimídia é disponível para o sistema na forma de regras na base de conhecimento. Segundo estas regras, são especificados modelos que definem o que o sistema deve fazer após a ação da pessoa em treinamento.

MATHTUTOR

Desenvolvido pela equipe do projeto MathNet, na Universidade Federal de Santa Catarina.

Segundo os autores, disponível em Pozzebon (2003, p. 26), “O sistema, conforme interface apresentada, utiliza tecnologia dos agentes cognitivos que permitem gerar um sistema mais perceptivo, aumentando a qualidade sob o ponto de vista pedagógico”.

O sistema pretende apresentar os principais conceitos de abstração de dados e de procedimentos aos alunos de Fundamentos da Estrutura da Informação, aplicada no curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial.

A seguir serão citados alguns SEI(s) e seus objetivos, comentados por Bolsan & Giratta (2003), que utilizam agentes inteligentes em seus modelos.

Explanation Agent

Prover respostas ou explicações sobre o conteúdo com maior qualidade, identificando problemas que possam ocorrer durante o processo de explicação ou resolução de problemas.

Eletrotutor

Desenvolver um instrumento para verificar a eficácia do uso de diferentes abordagens de ambientes de ensino por computador na escola.

I-Help

Auxiliar estudantes na solução de problemas através da Web.

Modelo computacional de Vygotsky

Propor um ambiente que privilegie a colaboração como forma de interação social através do uso de linguagens, símbolos e sinais.

White Rabbit Objetivo

Aumentar a cooperação entre um grupo de pessoas pela análise de suas conversações.

LeCS

Dar suporte à aprendizagem colaborativa através da WWW.

AME

Propõe-se ao ensino genérico e adaptável às características psico-pedagógicas do aprendiz.

Lanca

Expor que agentes inteligentes em STI podem ser adaptados para aprendizagem a distância.

Baguera

Desenvolver uma fundamentação teórica metodológica para guiar concepção e modelagem de ambientes de aprendizagem.

2.5.1- Comentários sobre os tipos de SEI e suas implementações

Os SEI(s) representam uma ótima opção no processo de ensino, pois procuram adaptar individualmente o ensino a cada usuário, segundo suas preferências e dificuldades. Mesmo com os recursos hoje disponíveis e os avanços nas pesquisas, ainda permanecem dois problemas básicos: a dificuldade de avaliação e o esforço em preparar e catalogar uma variedade de conteúdos e relacioná-los com possíveis preferências e dificuldades (deficiências) que o sistema possa identificar, segundo cada aluno. Pode-se constatar ainda, que os projetos existentes dificilmente implementam as funcionalidades expressas pelos trabalhos teóricos.

O quadro a seguir expressa características de alguns SEIs pesquisados, levando em consideração utilização, modelagem e atribuição de inteligência.

Nome do SEI/ Ano	Amplitude de utilização	Domínio (conteúdo)	Modelagem	Características de inteligência	Contribuição para o ensino
Scholar (1970)	Restrita	Fixo	Rede Semântica	Representação do conhecimento.	Modela o conhecimento do estudante.
Sophie (1975)	Restrita	Fixo	Sistema baseado em Regras.	Simulação do mundo físico.	Explora a iniciativa apresentada pelo estudante em um ciclo de ensino.
West (1979)	Restrita	Fixo	Agente Especialista	Simulação do mundo físico.	Compara as ações dos alunos com as do especialista em uma mesma situação, apresentando formas inteligentes para a resolução dos problemas.
Guidon (1987)	Restrita	Fixo	Agente Especialista	Diálogo de iniciativa mista.	Utiliza métodos de caso para a apresentação pedagógica.
AME-A (1998)	Via Internet	Variado	Agentes Inteligentes	Múltiplas estratégias de ensino.	Sistema Iterativo a distância.
Aprender a Aprender (1999)	Via Internet	Fixo	Rede de Bayes	Aquisição de conhecimento sobre o utilizador por meio de sua interação com o browser.	Capta a intenção do utilizador e o conduz para os possíveis temas de interesse.
MathTutor (2003)	Via Internet	Fixo	Agentes Inteligentes	Adaptável conforme a preferência do aprendiz.	A utilização de agentes cognitivos gera um sistema perceptivo do ponto de vista pedagógico.

Quadro 2.1: Características de alguns SEIs

Dentre as características possíveis, a apresentação do conteúdo tem sido o foco principal da maioria dos SEI(s), que em muitos casos pode inviabilizar uma utilização em maior escala do sistema, em função da variedade de informações a ser cadastrada. As informações devem ser de acordo com regras de exposição pré-definidas e devem culminar com os conhecimentos do técnico/especialista (professor) da área a ser abordada, no ensino de uma deficiência indicada pelo sistema, por exemplo. Ou seja, existe dificuldade de preparação e cadastro de um vasto conteúdo necessário para preencher as solicitações imposta por um SEI.

A avaliação em um SEI apresenta dificuldades, pois deve estar de acordo com o método de ensino utilizado, e abranger de forma ampla o conteúdo apresentado (na

preparação de um questionário, por exemplo), que no ensino tradicional conta com a percepção do professor na análise.

A implementação de um SEI mediante todas as características necessárias, comentadas neste texto, se torna inviável atualmente para uma utilização efetiva, pois acarreta dificuldades em cadastro, organização e relacionamento dos conteúdos a serem apresentados, juntamente com a análise do aprendizado. Contudo, pode-se desenvolver um SEI funcional pela definição de algum objetivo específico dentro de uma necessidade observada como: apoio às disciplinas ou treinamento.

Para um objetivo específico, como o apoio à disciplina, que vise a fixação de conceitos, é possível desenvolver um SEI com ênfase na avaliação, apresentando os conteúdos de forma fixa e prática, facilitando assim sua preparação. Entretanto, é necessário preparar um questionário abrangente para a avaliação, contemplando os principais tópicos necessários para a aquisição do conhecimento. Essa configuração pode também ser bem utilizada no treinamento e seleção de pessoal para setores de empresas privadas.

2.6- Seqüência Sugerida para Elaboração de um SEI

Será proposta uma seqüência de ações para elaboração de um SEI. Inicialmente, devem ser definidos os objetivos, ou seja, delimitar um campo de ação e estabelecer a principal ou as principais habilidades que devem ser desenvolvidas pelo sistema.

Nas fases iniciais do desenvolvimento, convém estabelecer de forma clara os seguintes aspectos:

- ✓ Que tipo de SEI será criado;
- ✓ Qual o público alvo;
- ✓ Estabelecer o grau de complexidade, de acordo com o público alvo;
- ✓ Como se anima e avalia o SEI e os seus resultados.

Basicamente o desenvolvimento de um SEI, consiste em construir um modelo matemático de adaptação, ramificação e avaliação dos conteúdos. Neste modelo

serão estabelecidas as relações entre as funções internas em termos matemáticos, determinísticos ou estocásticos.

Concluída a modelagem, devem ser definidos os seguintes aspectos:

- ✓ Cenário;
- ✓ Fluxo de informações (ramificações);
- ✓ Descrição dos papéis (o que fazem os participantes e o sistema);

Para a concretização da dinâmica do sistema são necessárias as seguintes propriedades:

- Autonomia - o sistema opera sem a intervenção direta do usuário;
- Confiabilidade – o sistema funciona de acordo com os objetivos do usuário;
- Personalização – o sistema se atualiza automaticamente segundo os requisitos estabelecidos pelo usuário;
- Sociabilidade – interações entre os componentes do sistema (modelo de domínio, modelo do estudante e modelo de ensino).

Uma programação bem estruturada facilita os testes, economizando tempo. A criação de um SEI pode ser estruturada obedecendo as seguintes etapas:

- 1- Definição do objetivo geral do SEI;
- 2- Estudo dos SEI existentes;
- 3- Entrevista com técnicos da área a ser abordada no ensino;
- 4- Definição das decisões (tarefas) a serem tomadas pelos participantes;
- 5- Construção do modelo matemático;
- 6- Estruturação dinâmica (Desenvolvimento de mecanismos de animação);
- 7- Programação;
- 8- Testes, ajustes, modificações;
- 9- Elaboração dos manuais e documentação dos sistemas.

Em resumo, foram descritas neste capítulo algumas características dos SEIs, suas aplicações, suas origens, suas classificações e, sugeridos alguns passos

(recomendações) para a elaboração dos mesmos, de forma genérica comum a todos os sistemas.

Segundo as considerações citadas anteriormente, pode-se chegar a conclusão que os tipos de SEIs dependem dos objetivos pré-definidos e das ferramentas disponíveis para implementação, como: software, hardware e modelagem matemática.

3- FERRAMENTAS PROBABILÍSTICAS UTILIZADAS NO MODELO

Neste capítulo, tem-se uma breve introdução sobre cadeia de Markov e rede de Bayes possibilitando uma melhor compreensão sobre estas redes probabilísticas, já que o modelo matemático desenvolvido neste trabalho utiliza estas ferramentas.

3.1- Cadeias de Markov

Pode-se dizer que as cadeias de Markov são um formalismo de modelagem que descreve um sistema como um processo estocástico. Desta maneira, o sistema modelado é caracterizado pelos seus estados e pela forma que eles se alternam. Pode ser conveniente pensar em uma Cadeia de Markov como uma técnica de análise adequada a certos casos especiais de problemas probabilísticos. Muitos problemas de Pesquisa Operacional compõem-se de sucessos discretos, que dependem de um resultado anterior (problema de substituição, problemas de estoque, de filas de espera e modelos de marketing), que podem ser identificados como processos estocásticos.

3.1.1- Processo Estocástico de Parâmetro Discreto

Clark & Disney (1979) descreve um processo estocástico como um fenômeno que varia no tempo com algum grau de imprevisibilidade ou aleatoriedade. Significa, que se for observado em momentos diferentes, sob condições presumivelmente idênticas, os valores das variáveis ligadas ao processo geralmente serão diferentes. Isso acontece quando se observa, por exemplo, a variação dos preços diários de uma ação na bolsa, o número de acidentes diários no trânsito, etc.

Um caso semelhante de condições presumivelmente idênticas seria um sistema de computador voltado para o ensino, no qual, o ambiente seria o mesmo para todos os

participantes, mas o desempenho e as dificuldades de cada um são pouco previsíveis.

Quando observações são feitas não continuamente, mas em seqüência de momentos, tem-se um processo estocástico de parâmetro discreto. Formalmente, um Processo Estocástico de Parâmetro Discreto (PEPD) é definido por uma seqüência de tempos, mas, em relação ao modelo desenvolvido no texto, a seqüência $N=\{1,2,3\dots n\}$ será assumida como a seqüência de tópicos e associada a ela, uma seqüência de variáveis aleatórias

$$\{S(n)\}=\{ S(1), S(2), S(3)\dots\dots\},$$

que descreve o processo ao “longo do tempo” (aqui atribuído à mudança de tópicos). A seqüência $\{S(n)\}$ define a trajetória do processo, ou o desempenho alcançado.

3.1.2- Estrutura Probabilística de um PEPD

Ao observar a trajetória de um processo estocástico, interessa estudar sua natureza probabilística. O comportamento estocástico do processo pode ser especificado quando há probabilidade condicional,

$$P\{S(n+1)=j \mid S(n) = i, S(n-1) = K, \dots, S(0) = m\},$$

para todos os valores de seus argumentos, ou seja, há probabilidade de ocupação de cada estado após $(n+1)$ transições, conhecida a trajetória passada do processo.

Processos estocásticos com esse tipo de estrutura probabilística são de difícil abordagem, sobretudo computacional. Conhecer essas probabilidades condicionais para todos os valores de n pode constituir-se numa tarefa complexa, o que leva o analista a verificar estruturas mais simples com a finalidade de se adequar ao problema. Isso será analisado a seguir.

3.1.3- Processo Markoviano de Parâmetro Discreto

Um PEPD refere-se a uma seqüência de variáveis aleatórias discretas $S(1), S(2), \dots, S(n)$... Quando a probabilidade da variável $S(n+1)$ assumir um valor, este depende dos valores assumidos pelas variáveis anteriores ao estágio $(n+1)$, ou seja, deve ser conhecido o passado do processo na predição do seu futuro. Entretanto, muitos sistemas podem ser modelados como processos estocásticos, cujas estruturas probabilísticas podem ser simplificadas. Os processos Markovianos têm essa característica, pois se baseiam na suposição de que apenas o último estado ocupado pelo processo é relevante na determinação de seu comportamento futuro. Estes processos são desprovidos de “memória”, no sentido que o conhecimento do presente torna o futuro independente do passado, seguindo as seguintes propriedades.

Propriedades

A cadeia de Markov é um formalismo para modelar sistemas, supondo que:

1. Os estados do sistema são discretos;
2. A escala de tempo que rege a transição entre estados do sistema pode se dar de forma contínua ou discreta;
3. A transição entre um estado e o próximo só depende do estado atual do sistema, não importando por quais estados prévios o sistema já passou ou irá passar;

A seguir serão apresentados os fundamentos e as estruturas básicas tratadas nos processos Markovianos. As definições e propriedades tiveram por base os trabalhos de Howard (1971) e Clark & Disney (1979).

3.1.4- Definição de um Processo Markoviano de Parâmetro Discreto

Um PEPD dado por, $\{ S(n) = S(1), S(2), \dots, S(n), S(n+1) \dots \}$ é dito um Processo

Markoviano de Parâmetro Discreto (PMPD) se ocorrer a igualdade entre as probabilidades condicionais abaixo:

$$P\{ S(n+1) = j | S(n) = i, S(n-1) = k, \dots, S(0) = m \} = P\{ S(n+1) = j | S(n) = i \},$$

ou seja, saber que o sistema ocupou o estado i na n -ésima transição, é suficiente para determinar a probabilidade desse sistema vir a ocupar o estado j na transição seguinte.

3.1.5- Probabilidades de Transição de Estados

Num PMPD com N estados, as probabilidades:

$$P\{ S(n+1) = j | S(n) = i \},$$

devem ser definidas para todos os estados i, j e para o estágio n . Essas probabilidades são chamadas “probabilidades de transição de estado”. No caso de serem independentes do estágio em que se encontra o processo, serão denotadas por p_{ij} e assim definidas:

$$p_{ij} = P\{ S(n+1) = j | S(n) = i \}, \text{ com } 1 \leq i, j \leq N \text{ e } n = 0, 1, 2, \dots$$

Para as probabilidades p_{ij} valem as seguintes propriedades:

$$\text{a) } 0 \leq p_{ij} \leq 1, \text{ para todo } i, j$$

$$\text{b) } \sum_{i=1}^N p_{ij} = 1 \text{ } j = 1, 2, \dots, M$$

Os componentes para a formulação de uma cadeia de Markov são descritos abaixo.

Estado: cada sucesso individual.

S_i : i -ésimo estado.

M: possíveis estados ($m > 1$).

N: número de passos ($n=0$ representa o presente).

3.1.6- Matriz de Probabilidades de Transição de Estado

As probabilidades p_{ij} descrevem o processo Markoviano de N estados e, são arranjadas na forma da “matriz estocástica **P**”, de ordem N, dada por:

$$P[p_{ij}], \text{ com } 1 \leq i, j \leq N$$

Exemplo:

Um processo de dois estados tem sido utilizado como um modelo simples para mudança de temperatura. Se a temperatura for classificada como Estado 0: baixa, ou Estado 1: alta, então, a matriz de transição poderá ter, por exemplo, a forma:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix}$$

As entradas reais teriam que ser estimadas com base nos registros meteorológicos. Assim, se um exame desses registros mostrasse que em 1000 dias, 600 deles tiveram temperaturas baixas, e que 450 dos 600 dias frios foram seguidos de outros dias frios, poder-se-ia estimar p_{00} por $450/600 = \frac{3}{4}$.

3.1.7- Cadeia de Markov de Primeira Ordem

Em processos que envolvem modelos físicos ou econômicos, as cadeias de Markov de primeira ordem apresentam as seguintes propriedades:

1. O conjunto de possíveis sucessos é finito.
2. A probabilidade do próximo sucesso dependerá apenas do sucesso imediatamente anterior.
3. Estas probabilidades são constantes no tempo.

Para a formulação de um processo como cadeia de Markov, a matriz de transição deve conter os seguintes requisitos:

- Cada elemento deve ter uma probabilidade entre 0 e 1.
- Cada linha deve ter a soma 1 (A linha é um vetor de probabilidades, V_i).

3.1.8- Análise de Probabilidade Pelas Cadeias de Markov

A matriz de transição pode ser usada para determinar a probabilidade de um sucesso após n passos, dado um estado inicial especificado S_j .

Dada uma matriz de transição \mathbf{P} ela possui seu vetores linha V_i de probabilidade.

No tempo 0 (neste instante) sabemos exatamente qual é o estado, assim há uma probabilidade 1 de que o estado i exista.

$$V_i^1 = V_i^0 P = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{im}] \quad (3.1)$$

A i -ésima linha da matriz \mathbf{P} , é um vetor de probabilidade.

$$V_i^2 = V_i^1 * P \quad (3.2)$$

Chamamos de V_i^1 o vetor de probabilidade no estado $n=1$, desde que S_i ocorra.

A probabilidade de resultados ou sucessos em dois passos é o produto do vetor de probabilidade V_i^1 e da matriz de transição \mathbf{P} . Isto indica que a seguinte generalização (análise) pode ser feita.

$$V_i^3 = V_i^2 * P = (V_i^1 * P) * P = V_i^1 * P^2$$

$$\begin{aligned}
 V_i^4 &= V_i^3 * P = (V_i^1 * P^2) * P = V_i^1 * P^3 \\
 V_i^n &= V_i^{n-1} * P = (V_i^1 * P^{n-2}) * P = V_i^1 * P^{n-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Essa análise indica que uma vez obtida a matriz de transição **P**, pode-se definir as probabilidades de ocorrência dos estados possíveis em passos futuros.

3.2- Redes de Bayes

Como a linha de pesquisa adotada neste trabalho é a estatística, tem-se uma breve introdução sobre o assunto. Por exemplo, um dos primeiros trabalhos sugerindo a representação de conhecimento incerto baseado na estatística foi desenvolvido pelo reverendo Bayes em 1763.

São comuns as decisões com um certo grau de incerteza, apenas observando alguns acontecimentos (eventos), mas em muitos casos os eventos podem ser insuficientes ou nem existirem para auxiliar a tomada de decisão.

O raciocínio probabilístico é uma das formas de processar a incerteza. As redes Bayesianas, baseadas no teorema de Bayes, podem ser utilizadas como mecanismo de raciocínio incerto, alterando (atualizando) as probabilidades de ocorrência de um evento posterior segundo a observação dos eventos presentes e anteriores. (SCHREIBER, 2003).

3.2.1- Conceitos Preliminares

Experimento não determinístico, é todo procedimento que ao ser realizado terá como resultado valores aleatórios.

Experimento aleatório, cada experimento poderá ser repetido indefinidamente, tendendo a uma regularidade após um grande número de repetições.

Espaço amostral, o conjunto de todos os resultados possíveis.

Evento, é um sub-conjunto de um espaço amostral.

Frequência Relativa, é a razão entre um evento e o número de repetições do experimento.

3.2.2- Considerações de Probabilidade

As probabilidades são associadas a eventos, ou seja, com base em experimentos pode-se estimá-las, mas quando estes não são possíveis se torna difícil à utilização da forma clássica da probabilidade como, por exemplo: o cálculo da frequência relativa.

Como alternativa, as probabilidades *Bayesianas* consideram as probabilidades como subjetivas e associadas ao conhecimento pessoal dos indivíduos. A probabilidade de um evento é, sob o enfoque Bayesiano, um *grau de crença* na probabilidade de que o evento ocorrerá, sob o ponto de vista de algum indivíduo. Uma vantagem da probabilidade Bayesiana é que não é necessário associar experimentos para estimar a probabilidade associada a eventos.

3.2.3- Probabilidades Condicionais e Regra de Bayes

Sejam $A, B \in S$ (S um espaço amostral). A probabilidade de que o evento A ocorra, dado que o evento B ocorre, denotada por $p(A|B)$, é chamada probabilidade condicional de A dado B , e definida como:

$$p(A|B) = \frac{p(A \cap B)}{p(B)} \quad (3.4)$$

onde:

- a) $p(A|B)$ é uma restrição de A ao novo espaço amostral B ;
- b) $p(B)$ é a probabilidade *a priori* de B , desde que essa probabilidade seja diferente de 0.

A equação (3.4) pode ser reescrita como:

$$p(A \cap B) = p(A | B) * p(B) \quad (3.5)$$

que é chamada de regra do produto.

Da mesma forma, a probabilidade condicional de B dado A, $p(B|A)$ é, por definição:

$$p(B | A) = \frac{p(B \cap A)}{p(A)} \Rightarrow p(B \cap A) = p(B | A) * p(A) \quad (3.6)$$

Como a intersecção probabilística é comutativa, tem-se:

$$p(A \cap B) = p(B \cap A) = p(B | A) * p(A) \quad (3.7)$$

Fazendo a substituição da Equação (3.7) na Equação (3.4), chega-se à equação:

$$p(A | B) = \frac{p(B | A) * p(A)}{p(B)} \quad (3.8)$$

conhecida como regra de Bayes ou lei de Bayes ou ainda teorema de Bayes.

3.2.4- Aplicando a Regra de Bayes

Nesta seção apresenta-se um exemplo de aplicação da regra de Bayes extraído de Russel (1995).

Em diagnósticos médicos, freqüentemente as probabilidades condicionais das relações entre as causas são conhecidas. Para fazer um diagnóstico o médico sabe, por exemplo, que meningite causa rigidez no pescoço em 50% dos casos. Ele sabe, também, alguns fatos incondicionais: a probabilidade *a priori* de um paciente ter meningite é 1/50000 e a probabilidade *a priori* de qualquer paciente sofrer de

rigidez no pescoço é $1/20$. Seja M o evento “paciente tem meningite” e R o evento “paciente está com o pescoço rígido”, tem-se:

$$p(R|M) = 0,5$$

$$p(M) = 1/50000$$

$$p(R) = 1/20$$

$$p(M|R) = \frac{p(R|M) * P(M)}{p(R)} = \frac{1/2 * 1/50000}{1/20} = 0.0002 = 1/5000$$

Ou seja, estima-se que apenas 1 em 5000 pacientes com rigidez no pescoço tenha meningite.

Para o médico é importante notar que, embora a presença de meningite seja um forte indicativo para a rigidez do pescoço ($p(R|M) = 0,5$), a probabilidade de um paciente com rigidez no pescoço ter meningite permanece baixa. Isso se deve ao fato da probabilidade *a priori* de rigidez no pescoço ($p(R) = 1/20$) ser muito maior do que a probabilidade *a priori* de meningite ($p(M) = 1/50000$).

As probabilidades condicionais representam conhecimento (informações) de *causa/efeito*, a partir delas pode-se estimar a probabilidade de que a doença (causa) esteja presente segundo a presença de alguns sintomas (efeitos).

Para realizar uma análise probabilística de um certo domínio necessita-se:

1. Especificar o conjunto de variáveis aleatórias que representam todas as proposições relevantes do domínio a modelar;
2. Especificar a matriz de probabilidade conjunta para todas estas variáveis.

A partir desta matriz de probabilidade conjunta e da regra de Bayes, é possível obter todas as probabilidades condicionais que interessam.

Pode ser inviável especificar a matriz de probabilidade conjunta, pois na maioria das vezes conterà um grande número de elementos (informações específicas de um domínio). Uma maneira de resolver estes problemas é recorrer às informações de *causa/efeito* do domínio a modelar, que permitem deduzir independências entre

proposições a partir das relações de causalidade, reduzindo assim a necessidade de informações. Uma alternativa para o tratamento das informações de causa/efeito pode ser pela utilização das redes bayesianas.

3.2.5- Redes Bayesianas

As redes Bayesianas são caracterizadas como redes de conhecimento que descrevem um modelo do mundo real baseado em informações de *causa/efeito* do domínio. As informações podem caracterizar relações de independência condicional entre os eventos, não sendo necessário usar uma enorme tabela de probabilidades conjuntas para listar todas as combinações possíveis dos eventos.

Uma rede bayesiana é um Grafo Direcionado Acíclico, na qual os nós representam as variáveis (de interesse) de um domínio e os arcos representam a dependência condicional ou informativa entre as variáveis. A força da dependência é representada por probabilidades condicionais que são associadas a cada cluster de nós pais-filhos na rede Pearl (1997).

As definições e o exemplo seguinte são retirados em parte da Tese de Doutorado de Schreiber (2003).

O conhecimento *causa/efeito* de um domínio permite estruturar suposições de independência condicional.

Uma rede de Bayes é um grafo dirigido acíclico, tal que:

1. Cada nó representa uma variável aleatória;
2. Um arco dirigido a partir do nó E até o nó F significa que E tem influência direta sobre F;

2.3. Para cada nó existe uma tabela de probabilidade condicional, dados seus ancestrais imediatos.

2.4. Os grafos são fracamente conectados, isto é, se for removido qualquer arco do grafo este se divide em dois.

Supondo as seguintes proposições:

E: Enxaqueca

F: Fotofobia

D: Dor de cabeça

Além disso, considerando que E é uma causa primária e, F e D são efeitos de E. Esta informação corresponde à informação estruturada do domínio. A rede de Bayes resultante é a seguinte:

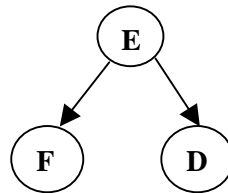


Figura 3.1: Uma rede de Bayes simples

Para completar a rede de Bayes, especificam-se os seguintes parâmetros:

$$P(E) = 0,04$$

$$P(D|E) = 0,9$$

$$P(D|\tilde{E}) = 0,02$$

$$P(F|E) = 0,7$$

$$P(F|\tilde{E}) = 0,05$$

Onde a notação “ \tilde{E} ” significa a não ocorrência de E.

A informação estrutural do domínio, representada pela rede de Bayes, traduz-se em certas suposições de *independência condicional*. No exemplo, isto significa que:

$$P(D|E,F) = P(D|E)$$

Ou seja, a probabilidade de ocorrência de dor de cabeça e Fobia (evidência), associadas à enxaqueca (causa), são independentes desde que a causa seja confirmada.

$$\text{Assim, } P(D|\tilde{E},F) = P(D|\tilde{E}) = 0,02$$

A partir da rede de Bayes inicial, é possível calcular as probabilidades *a priori*. Utilizando a condição dos eventos F e D serem independentes e conhecendo suas probabilidades condicionadas pela lei da probabilidade total, pode-se escrever:

$$P(D) = P(D|E) \times P(E) + P(D|\tilde{E})P(\tilde{E}) = 0,056$$

$$P(F) = P(F|E) \times P(E) + P(F|\tilde{E})P(\tilde{E}) = 0,076$$

Uma rede de Bayes permite realizar inferências de diversos tipos. Por exemplo, se o objetivo é fazer um diagnóstico, o que interessa é avaliar a probabilidade de que uma variável aleatória seja verdadeira dada a evidência disponível. Por exemplo, pode-se querer avaliar a probabilidade de que ocorra enxaqueca, dado que se observe fobia. Isto corresponde a calcular $P(E|F)$. Se fobia é evidência positiva para enxaqueca, então deveria verificar-se que a probabilidade condicional $P(E|F)$ seja maior que a probabilidade *a priori* $P(E)$.

Assim, isto é calculado da seguinte forma:

$$P(E | F) = \frac{P(F | E) \times P(E)}{P(F)} = 0,6316$$

Agora, se além de F recebemos D como um dado, pode-se calcular:

$$P(E | F \wedge D) = \frac{P(F \wedge D | E) \times P(E)}{P(F \wedge D)}$$

Considerando as hipóteses de independência condicional, o resultado é:

$$P(E | F \wedge D) = \frac{P(F | E) \times P(D | E) \times P(E)}{P(F \wedge D)} \quad (3.9)$$

O cálculo da probabilidade $P(F \wedge D)$ é confuso, em vez de (3.9) escreve-se:

$$P(E | F \wedge D) = \alpha \times [P(F | E) \times P(D | E) \times P(E)] \quad (3.10)$$

Onde α representa o denominador de (3.9). Pode-se obter a constante α assumindo que:

$$P(E | F \wedge D) + P(\tilde{E} | F \wedge D) = 1 \quad (3.11)$$

Deste modo, evita-se o cálculo da probabilidade conjunta dos dados disponíveis. Finalmente o cálculo resultante é:

$$P(E | F, D) = \alpha * 0,0252$$

$$P(\tilde{E} | F, D) = \alpha * 0,00096$$

A partir de (3.11) obtém-se:

$$P(E | F, D) = 0,963$$

$$P(\tilde{E} | F, D) = 0,036$$

3.2.6- Compreendendo uma Rede de Bayes

Uma rede bayesiana é uma descrição sucinta de distribuições de probabilidade, definida por um grafo acíclico sobre nós representando variáveis aleatórias. Onde cada variável, na rede, é diretamente influenciada pela anterior representada na forma de uma matriz de probabilidade condicional.

Qualquer probabilidade da rede é calculada desta forma:

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | X_{pais}(X_i)) \quad (3.12)$$

Em que $P[x_i | x_{pais}(x_i)]$ são probabilidades fixas para cada variável da rede.

As redes bayesianas podem ser consideradas como diagramas que organizam as informações (conhecimento numa dada área) através de um mapeamento entre causas e efeitos. Tal conhecimento das áreas permite identificar variáveis aleatórias independentes que, por sua vez, diminui a necessidade de relacionamento entre todas as variáveis envolvidas no processo, facilitando possíveis cálculos.

Assim, uma rede de Bayes resume a matriz de probabilidade conjunta de todas as variáveis do domínio. Esta matriz pode ser calculada a partir de (3.12), escolhendo a ordem de modo que:

$$P(X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i = x_i | Pais(X_i))$$

Onde os X_i são variáveis aleatórias e x_i são valores que estas variáveis podem assumir.

3.2.7- Hipóteses de Independência

Dentre as relações de independência existentes entre as variáveis aleatórias de uma rede de Bayes, pode-se ilustrar algumas hipóteses importantes, com o exemplo da rede bayesiana da figura 3.2 (extraído de Hruschka, 1997 [original]), na qual os nós representam as seguintes variáveis aleatórias:

B: Golpe na cabeça

E: Existe tumor cerebral

R: Scanner positivo

A: Síndrome de Gibbons

W: Enjôo

G: Náusea

C: Confusão

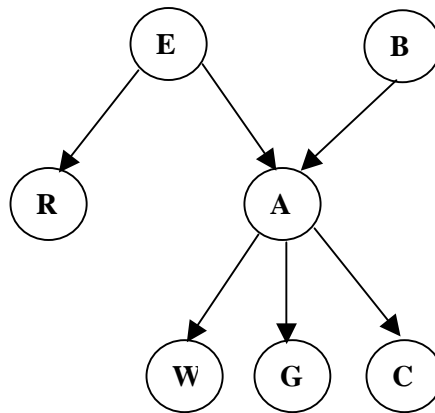


Figura 3.2: Rede de Bayes (extraído de Hruschka, 1997)

São observadas as seguintes suposições de independência:

- Dois nós são independentes condicionalmente, dados seus antecessores comuns. Por exemplo, R e A são independentes considerando E, ou seja, $P(R|E \wedge A) = P(R|E)$.
- Independência incondicional entre causas sem antecessores comuns. A variável E é independente de B, isto quer dizer que $P(E \wedge B) = P(E) \times P(B)$.
- Independência condicional entre causas e evidências dados os nós intermediários. Por exemplo, se A é conhecido, então W é independente de E. Assim, $P(W|A, E) = P(W|A)$.

3.2.8- Atualização de Crenças

A rede anterior possui uma estrutura que permitirá ilustrar como é o processo da obtenção de evidência para as hipóteses de interesse.

No preparo, de uma rede de Bayes, faz-se necessário especificar as probabilidades condicionais de todas as variáveis e, considerar as possíveis combinações de seus antecessores diretos. Tal como:

$$P(E) = 0.003 \quad P(W|A) = 0.72$$

$$P(B) = 0.003 \quad P(W|\tilde{A}) = 0.08$$

$$P(R|E) = 0.9 \quad P(G|A) = 0.5$$

$$P(A|E \wedge B) = 0.949 \quad P(C|A) = 0.7$$

$$P(A|E \wedge \tilde{B}) = 0.2 \quad P(C|\tilde{A}) = 0$$

$$P(A|\tilde{E} \wedge \tilde{B}) = 0.01$$

A partir destas informações e da rede ilustrada anteriormente pode-se calcular as probabilidades *a priori* de todos os nós na rede. Em particular, dado que B e E são independentes, tem-se:

$$\begin{aligned} P(A) &= P(A|B \wedge E) \times P(B) \times P(E) + \\ &P(A|\tilde{B} \wedge E) \times P(\tilde{B}) \times P(E) + \\ &P(A|B \wedge \tilde{E}) \times P(B) \times P(\tilde{E}) + \\ &P(A|\tilde{B} \wedge \tilde{E}) \times P(\tilde{B}) \times P(\tilde{E}). \end{aligned}$$

A $P(A)$ resulta em 0.01338 e $P(\tilde{A})$ em 0.9866. Agora, mediante condicionamento, pode-se calcular a probabilidade de C:

$$P(C) = P(C|A) \times P(A) + P(C|\tilde{A}) \times P(\tilde{A}) = 0,00936$$

É importante observar que para calcular as probabilidades *a priori* de um nó qualquer, se utiliza a probabilidade *a priori* de seus nós antecessores.

As probabilidades *a priori*, recém calculadas, correspondem à *crença* que este tem nas hipóteses representadas pelas variáveis aleatórias, quando não há nenhuma informação específica (evidência). Uma rede de Bayes permite calcular probabilidades condicionais que podem ser interpretadas como crenças nas hipóteses, dada certa informação.

Supondo que C seja verdadeiro, isto é, que o paciente tratado, é ou está confuso. Assim, pode-se utilizar a rede de Bayes para calcular a crença em E , considerando esta nova informação, ou seja: $P(E|C)$. Para realizar este cálculo são utilizadas as fórmulas:

$$P(E|C) = \frac{P(C|E) \times P(E)}{P(C)}$$

$$P(\tilde{E}|C) = \frac{P(C|\tilde{E}) \times P(\tilde{E})}{P(C)}$$

O que permite escrever:

$$P(E|C) = \alpha \times P(C|E) \times P(E)$$

$$P(\tilde{E}|C) = \alpha \times P(C|\tilde{E}) \times P(\tilde{E})$$

E, especificar as probabilidades condicionais:

$$P(C|E) = P(C|A \wedge E) \times P(A|E) + P(C|\tilde{A} \wedge E) \times P(\tilde{A}|E)$$

$$P(C|\tilde{E}) = P(C|A \wedge \tilde{E}) \times P(A|\tilde{E}) + P(C|\tilde{A} \wedge \tilde{E}) \times P(\tilde{A}|\tilde{E})$$

Agora, se considerados os pressupostos de independência representados anteriormente pelo grafo da rede de Bayes, tem-se:

$$P(C|E) = P(C|A) \times P(A|E) + P(C|\tilde{A}) \times P(\tilde{A}|E)$$

$$P(C|\tilde{E}) = P(C|A) \times P(A|\tilde{E}) + P(C|\tilde{A}) \times P(\tilde{A}|\tilde{E})$$

Como pode ser observado neste exemplo, o cálculo de uma probabilidade condicional pode resultar em cálculos confusos, portanto, necessita-se de um mecanismo que permita automatizar o processo.

Segundo Castillo (1993 p. 343) esta maneira de calcular as probabilidades mostra-se pouco eficaz já que suas operações, para o caso de variáveis binárias, são da ordem de 2^n , n número de variáveis.

Uma maneira eficiente de calcular essas probabilidades é utilizar a estrutura de independência contida na função de probabilidade conjunta, que para grafos simples (qualquer nó ligado por um único caminho) pode-se utilizar o método de propagação de evidência em floresta. O método utiliza a estrutura de independência, mantendo a complexidade do algoritmo linear Pearl (1997).

Pode-se dizer que a propagação de evidências, em rede de Bayes, é um mecanismo para obter conclusões a partir de observações realizadas, atualizando assim as probabilidades das variáveis.

3.2.9- Cálculo das Probabilidades Bayesianas, Através da Propagação em Grafos Floresta

A propagação em floresta, descrita a seguir, teve por base um capítulo do livro de Castillo (1993).

O processo de propagação em floresta pode ser realizado em grafos simples, ou seja, qualquer nó da rede pode separar o grafo em dois, combinando as informações

procedentes de subgrafos distintos (subgrafos, formados pela separação de qualquer nó), mediante o envio de mensagens (cálculos locais). Por exemplo, o nó C separa o grafo da figura 3.3 em dois subgrafos distintos.

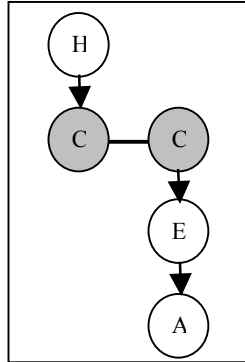


Figura 3.3: Subgrafos separado pelo nó C.

Supondo conhecida uma certa evidência, $E = e$, e que se queira calcular as probabilidades $P(x_i | e)$ para todos os valores de x_i , de um nó (H, C, E, A) qualquer X_i , que não esteja contido em E (E conjunto de evidências). Para facilitar os cálculos destas probabilidades o conjunto de evidência E pode ser decomposto em dois subconjuntos disjuntos, como em C na figura 3.3, cada um contido em um dos grafos floresta separados pelo nó X_i . Portanto, E pode ser decomposto como:

- E^+_i , é o subconjunto de E, que acessa X_i através de seu pai πX_i , do exemplo C é acessado por H.
- E^-_i , é o subconjunto de E, λX_i que acessa seu pai X_i , do exemplo, C é acessado através de seu filho E.

Onde, πX_i e λX_i , significam respectivamente pais e filhos de X_i .

Portanto, tem-se $E = E^+_i \cup E^-_i$.

Aplicando a fórmula de Bayes, tem-se:

$$p(x_i | e) = p(x_i | e^-_i, e^+_i) = \frac{1}{p(e^-_i, e^+_i)} p(e^-_i, e^+_i | x_i) p(x_i).$$

Dado que X_i separa E^+_i e E^-_i e é independente, tem-se:

$$\begin{aligned}
p(x_i | e) &= \frac{1}{p(e_i^-, e_i^+)} p(e_i^-, e_i^+ | x_i) p(x_i) \\
&= \frac{1}{p(e_i^-, e_i^+)} p(e_i^- | x_i) p(x_i | e_i^+) \\
&= k * p(e_i^- | x_i) * p(x_i | e_i^+) \\
&= k * \lambda_i(x_i) * \rho_i(x_i),
\end{aligned}$$

onde $\left[k = \frac{1}{p(e_i^-, e_i^+)} \right]$ é uma constante de normalização,

$$\lambda_i(x_i) = p(e_i^- | x_i), \quad (3.13)$$

considera a evidência procedente dos filhos de X_i , e

$$\rho_i(x_i) = p(x_i | e_i^+), \quad (3.14)$$

considera a evidência procedente dos pais de X_i . Portanto a função de probabilidade condicional sem normalização é dada por

$$\beta_i(x_i) = \lambda_i(x_i) * \rho_i(x_i). \quad (3.15)$$

Logo a função de probabilidade normalizada é dada por

$$p(x_i | e) = k * \beta_i(x_i). \quad (3.16)$$

Para calcular as funções $\lambda_i(x_i)$, $\rho_i(x_i)$ y $\beta_i(x_i)$, considera-se a seguinte situação, em que um nó arbitrário X_i possui p pais e c filhos.

Para simplificar a notação, os pais são representados pelo conjunto $U = \{U_1, \dots, U_p\}$ e os filhos mediante o conjunto $Y = \{Y_1, \dots, Y_c\}$.

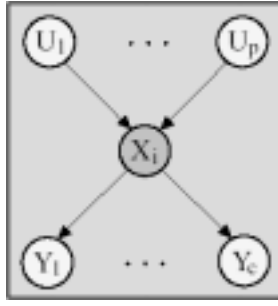


Figura 3.4: Um nó com seus pais e filhos

Levando em consideração a estrutura de floresta, o conjunto de evidências E_i^+ pode ser decomposto em p subconjuntos disjuntos, um para cada pai de X_i .

$$E_i^+ = \{E_{U_1X_i}^+, E_{U_2X_i}^+, \dots, E_{U_pX_i}^+\}, \quad (3.17)$$

Onde a evidência $E_{U_jX_i}^+$ é um subconjunto de E contendo a aresta $U_j \rightarrow X_i$. De maneira similar à evidência E_i^- pode ser dividida em c subconjuntos disjuntos, um para cada filho.

$$E_i^- = \{E_{X_iY_1}^-, E_{X_iY_2}^-, \dots, E_{X_iY_c}^-\}, \quad (3.18)$$

Onde a evidência $E_{X_iY_j}^-$ é um subconjunto de E contendo a aresta $X_i \rightarrow Y_j$.

Seja $u = \{u_1, \dots, u_p\}$ uma constatação dos pais do nó X_i . Logo, a função $\rho_i(x_i)$ pode ser calculada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \rho_i(x_i) &= p(x_i, e_i^+) = \sum_u p(x_i, u \cup e_i^+) \\ &= \sum_u p(x_i | u \cup e_i^+) p(u \cup e_i^+) \\ &= \sum_u p(x_i | u \cup e_i^+) p(u \cup e_{U_1X_i}^+ \cup \dots \cup e_{U_pX_i}^+). \end{aligned}$$

Dado que $\{U_j, E_{U_jX_i}^+\}$ é incondicionalmente independente de $\{U_k, E_{U_kX_i}^+\}$ para $j \neq k$, tem-se:

$$\begin{aligned}
\rho_i(x_i) &= \sum_u p(x_i | u \cup e_i^+) \prod_{j=1}^p p(u_j \cup e_{U_j X_i}^+) \\
&= \sum_u p(x_i | u \cup e_i^+) \prod_{j=1}^p \rho_{U_j X_i}(u_j),
\end{aligned} \tag{3.19}$$

onde

$$\rho_{U_j X_i}(u_j) = p(u_j \cup e_{U_j X_i}^+). \tag{3.20}$$

A função $\lambda_i(x_i)$ pode ser calculada de forma análoga:

$$\lambda_i(x_i) = p(e_i^- | x_i) = p(e_i^- | x_i) = p(e_{X_i Y_1}^-, \dots, e_{X_i Y_s}^- | x_i).$$

Dado que X_i separa $E_{X_i Y_j}^-$ de $E_{X_i Y_k}^-$ para $j \neq k$, tem-se:

$$\lambda_i(x_i) = \prod_{j=1}^c \lambda_{Y_j X_i}(x_i), \tag{3.21}$$

$$\lambda_{Y_j X_i}(x_i) = p(e_{X_i Y_j}^- | x_i) \tag{3.22}$$

onde (3.22) são mensagens λ que o nó Y_j envia a seu pai X_i .

A partir de (3.19) percebe-se que um nó X_i pode calcular sua função ρ , $\rho_i(x_i)$, desde que tenha recebido as mensagens ρ de todos seus pais. Da mesma forma, a partir de (3.22) pode-se verificar que a função $\lambda_i(x_i)$ pode ser calculada desde que X_i tenha recebido as mensagens λ de todos seus filhos.

Considerando novamente um nó arbitrário X_i , qualquer de seus filhos, Y_j , e utilizando a igualdade:

$$E_{X_i Y_j}^+ = E_i^+ \cup E_{X_i Y_k}^- \quad (k \neq j)$$

tem-se:

$$\begin{aligned}
\rho_{X_i Y_j}(x_i) &= p(x_i \cup e_{X_i Y_j}^+) \\
&= p(x_i \cup e_i^+ \bigcup_{k \neq j} e_{X_i Y_k}^-) \\
&= p(e_i^+ | x_i \bigcup_{k \neq j} e_{X_i Y_k}^-) p(x_i \bigcup_{k \neq j} e_{X_i Y_k}^-) \\
&= p(e_i^+ | x_i) p(\bigcup_{k \neq j} e_{X_i Y_k}^- | x_i) p(x_i) \\
&= p(e_i^+ | x_i) \prod_{k \neq j} p(e_{X_i Y_k}^- | x_i) \\
&= \rho_i(x_i) \prod_{k \neq j} \lambda_{Y_k X_i}(x_i).
\end{aligned} \tag{3.23}$$

De outro lado, para calcular a mensagem $\lambda_{Y_j X_i}(x_i)$, se considera o conjunto de todos os pais de Y_j distintos de X_i , $V = \{V_1, \dots, V_q\}$. Portanto, o nó Y_j possui $q + 1$ pais.

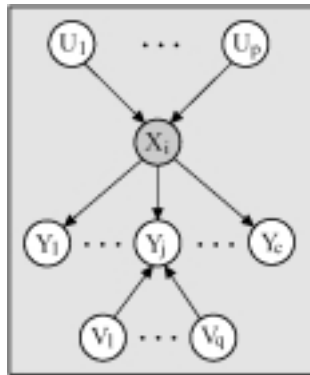


Figura 3.5: Conjunto de pais do nó, Y_j .

Sendo,

$$e_{x_i y_i}^- = e_{Y_i}^- \cup e_{V Y_j}^+$$

onde $e_{V Y_j}^+$ representa a evidência obtida através de todos os pais de Y_j , exceto X_i .

Assim, tem-se:

$$\begin{aligned}
\lambda_{y_j X_i}(x_i) &= p(e_{X_i Y_j}^- | x_i) \\
&= \sum_{y_j, v} p(y_j, v, e_{X_i Y_j}^- | x_i) \\
&= \sum_{y_j, v} p(y_j, v, e_{Y_j}^-, e_{V Y_j}^+ | x_i) \\
&= \sum_{y_j, v} p(e_{Y_j}^- | y_j, v, e_{V Y_j}^+, x_i) p(y_j | v, e_{V Y_j}^+, x_i) p(v, e_{V Y_j}^+ | x_i) \\
&= \sum_{y_j} p(e_{Y_j}^- | y_j) \sum_v p(y_j | v, x_i) p(v, e_{V Y_j}^+),
\end{aligned} \tag{3.24}$$

Onde:

- $v = \{v_1, \dots, v_q\}$ é um conjunto formado pela constatação dos nós, $V = \{V_1, \dots, V_q\}$, pais Y_j , distintos de X_i .
- A última igualdade foi obtida considerando as relações de independência existentes entre os distintos conjuntos de evidência. Portanto (3.24) pode ser escrito como:

$$\lambda_{y_j X_i}(x_i) = \sum_{y_j} \lambda_{y_j}(y_j) \sum_{v_1 \dots v_q} p(y_j | \pi_{y_j}) \prod_{k=1}^q \rho_{V_k Y_j}(v_k). \tag{3.25}$$

A partir das equações acima definidas pode-se calcular as probabilidades *a priori* e *a posteriori*, por meio de uma propagação em floresta.

Segundo estes cálculos, pode-se esboçar alguns passos para calcular as probabilidades *a posteriori*, conforme alguma evidência observada. Uma vez de posse de uma rede bayesiana montada, com suas probabilidades condicionais disponíveis, definem-se os seguintes passos:

Passo 1 – Calcular as probabilidades *a priori*, mantendo conhecidas as funções probabilidade β , ρ , λ , $p(x_i)$ de cada nó, ou variável.

Passo 2 – Uma vez observado a alguma evidência em um nó qualquer, marca-se o nó e transmite suas mensagens, calculando e mantendo conhecidas suas funções de probabilidades.

Passo 3 – Repetir Passo 2, até que não hajam mais evidências.

O algoritmo básico para atualização de crenças em uma rede de Bayes, baseia-se na idéia de que cada nova evidência propaga-se na rede mediante o envio de mensagens entre os nós vizinhos. As mensagens são novos valores λ no caso de mensagens de filho para pai e ρ para mensagens de pai para filho. Pode-se verificar que a cada nova evidência, observada em um nó, são enviadas atualizações a todos os seus vizinhos.

4- APRESENTAÇÃO GERAL DO MODELO

Este texto busca comprovar que o trabalho em conjunto de cadeias de Markov e redes Bayesianas, especialmente estruturadas para apresentar conhecimento em um SEI, pode avaliar o aprendizado de uma maneira que se adapte as análises feitas pelo próprio professor/especialista da área a ser abordada. Ou seja, simula o trabalho de avaliação feito pelo professor que define um conjunto de especificações mínimas necessárias para o aluno ser considerado aprovado e conseqüentemente apto para acessar novos conteúdos, ensinados por um SEI, segundo seu histórico e seu desempenho (sucessos e fracassos) até o momento.

A cadeia de Markov conterà dois estados, que podem ser rotulados como: “Acertos” e “Erros” dos participantes, ou simplesmente A e E respectivamente. Neste caso, haverá quatro probabilidades de transição de um passo P_{AA} , P_{AE} , P_{EA} , P_{EE} , que satisfazem as condições: $P_{AA} + P_{AE} = 1$ e $P_{EA} + P_{EE} = 1$, necessárias para montar uma matriz de transição de estado.

O desempenho dos estudantes fornecerá evidências para a rede Bayesiana e para a cadeia de Markov, na qual a rede Bayesiana atualizará suas crenças e a cadeia de Markov verificará e atualizará sua probabilidade de transição de estado (relação entre acertos e erros). O resultado esperado é a identificação da eficácia dos alunos, conforme seu desempenho.

A rede bayesiana será elaborada a partir de um conjunto de crenças dispostas nas tabelas de probabilidades condicionais de cada nó, que nada mais é que uma inferência probabilística baseada na experiência de professores e especialistas consultados.

A proposta é analisar o desempenho histórico do aluno em conjunto com o atual no curso e, por meio destas informações fazer uma estimativa do seu desempenho futuro. Estes dados são usados para avaliar (mensurar) o conhecimento adquirido, verificando se este é suficiente para o acesso a novos conteúdos, segundo algumas especificações pré-definidas.

A seguir será apresentado um modelo para a utilização de rede Bayesiana em conjunto com a cadeia de Markov.

4.1- Estrutura da Rede Bayesiana

A rede proposta conterá nós representando a maneira mais abordada no ensino que é geralmente a apresentação da seqüência:

- Conteúdo;
- Exercícios;
- Avaliação.

Existe também um nó Histórico definindo a importância de pré-requisitos no entendimento do conteúdo.

A seguir tem-se a rede bayesiana proposta.

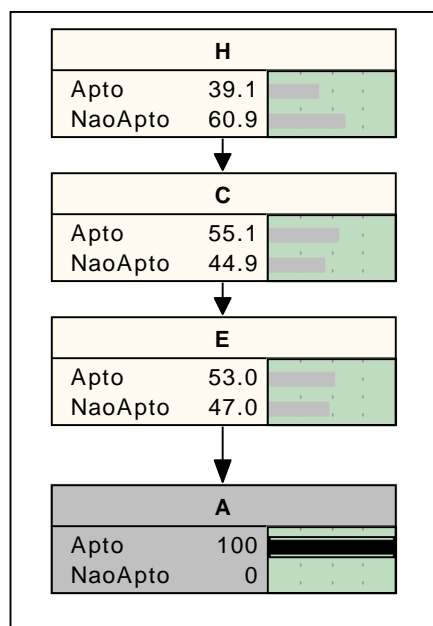


Figura 4.1: Rede Bayesiana Proposta

Descrição dos nós:

C-Conteúdo, E-Exercícios, A-Avaliação e H-Histórico.

O nó Histórico expressa a importância (relevância) do aluno possuir pré-requisitos no entendimento do conteúdo no curso, verifica-se que, quanto menor a relevância, maior será as chances de aproveitamento do aluno.

4.2- Montando a Rede de Bayes Proposta

Para montar uma rede bayesiana, pode-se seguir os seguintes passos:

- Definir os nós (variáveis) da rede, como na figura 4.1;

Definir as relações entre os nós, ou seja, suas probabilidades condicionais, definindo assim uma matriz de probabilidades condicionais;

- Montar um grafo acíclico;
- A partir do grafo acíclico, montar a função de probabilidade condicional;
- Calcular as probabilidades *a priori*, ou seja, sem evidências;
- Calcular as probabilidades *a posteriori*;

4.2.1 – Matriz de Probabilidades Condicionais

O administrador do sistema (técnico ou especialista do conteúdo abordado) deverá inserir sempre um grau de importância para cada módulo (histórico, conteúdo, exercícios, avaliação) do sistema, um número variando entre 0 e 10, de nenhuma à máxima relevância respectivamente.

No exemplo abaixo, o professor pode atribuir um valor, 3, para o histórico - H, influenciando na compreensão do conteúdo – C e, 8, para o conteúdo C. Assim pode-se definir as seguintes tabelas, que formam a matriz de probabilidades condicionais entre os nós da rede.

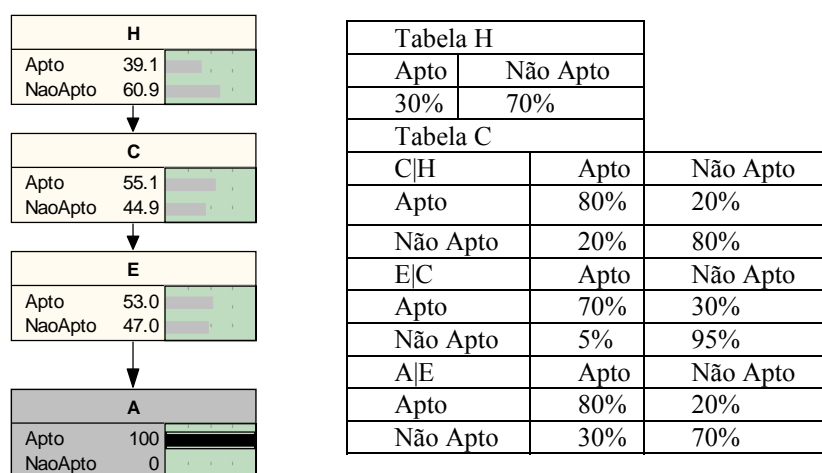


Figura 4.2: Exemplo de atribuição de valores aos módulos

Demonstrando assim, que H possui uma importância relativa de 30% em relação ao conteúdo C, enquanto que C possui uma importância relativa de 80% em relação ao exercício, E.

Ou seja, a cada nó, o técnico estabelece suas relações de causa/efeito (incluindo uma relação de importância, entre os nós), preenchendo uma tabela de probabilidades condicionais.

4.2.2 – Grafo Acíclico

O grafo é montado de forma a transparecer as relações entre as variáveis (nós) aqui definidas, como: o processo seqüencial de ensino mais utilizado, mostrado na figura 4.3 a seguir, juntamente com suas probabilidade condicionais.

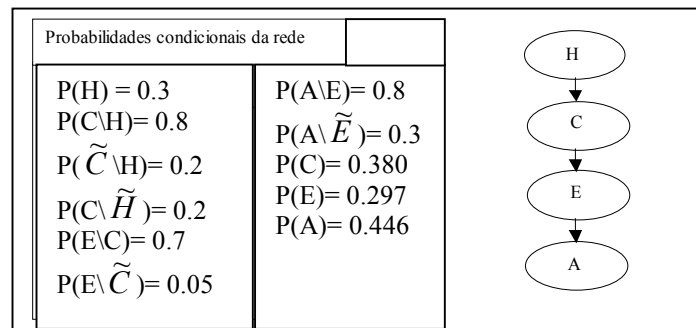


Figura 4.3: Grafo acíclico da rede proposta

A partir das probabilidades condicionais entre as variáveis pode-se montar as tabelas de probabilidades condicionais.

h	p(h)
0	0.3
1	0.7

h	c	p(c h)
0	0	0.8
1	0	0.2
0	1	0.2
1	1	0.8

c	e	p(e c)
0	0	0.7
1	0	0.05
0	1	0.3
1	1	0.95

e	a	p(a e)
0	0	0.8
1	0	0.3
0	1	0.2
1	1	0.7

Quadro 4.1: Funções de probabilidade condicionais correspondentes ao grafo orientado da Figura 4.3.

Onde as opções, 0 e 1, significam Apto e Não Apto, respectivamente.

O Quadro 4.1 mostra as Funções de probabilidades condicionais correspondentes ao grafo orientado da Figura 4.3.

4.2.3 – Função de Probabilidade Bayesiana

A partir do grafo acíclico defini-se uma rede bayesiana através das funções de probabilidade condicionadas, ou seja, das relações condicionais entre nós pais e filhos. Considerando o conjunto de variáveis binárias $X = \{H,C,E,A\}$, relacionadas a cada nó do grafo, uma função de probabilidade pode ser definida:

$$p(h,c,e,a) = p(h) * p(c|h) * p(e|c) * p(a|e) \quad (4.1)$$

Obs: pode-se verificar que cada variável esta condicionada a seu pai imediato.

Neste caso, as funções de probabilidade condicionada, $(p(h), p(c|h), p(e|c), p(a|e))$, são representadas pelas tabelas de probabilidades para as diferentes combinações de valores das variáveis (ver quadro 4.1).

O quadro 4.1 mostra um exemplo dos valores necessários para definir o conjunto de funções de probabilidade condicionais dadas em 4.1. O grafo orientado acíclico da Figura 4.3 juntamente com o conjunto de probabilidades condicionais dispostas no quadro 4.1 definem uma rede Bayesiana.

4.2.4 - Probabilidade *a Priori*

A partir da rede de Bayes inicial é possível calcular as probabilidades *a priori*, utilizando condicionamento.

A Rede Bayesiana a *Priori*

Os cálculos das probabilidades foram realizados de acordo com a probabilidade bayesiana. Por exemplo, a probabilidade de sucesso em Conteúdos, $C = 0$ ou $P(c = 0)$, é dada por:

$$P(C) = P(C|H) \times P(H) + P(C|\tilde{H}) \times P(\tilde{H})$$

$$\begin{aligned} P(c=0) &= P(c=0|h=0) \times P(h=0) + P(c=0|h=1) \times P(h=1) \\ &= 0.8 \times 0.3 + 0.2 \times 0.7 = 0.38 \end{aligned}$$

Onde, \tilde{H} , é a negação de H.

Agora, para o caso em que não haja sucesso em Conteúdos, $C=1$ ou $P(c=1)$, será dado por:

$$\begin{aligned} P(c=1) &= p(c=1|h=0) \times P(h=0) + p(c=1|h=1) \times P(h=1) \\ &= 0.2 \times 0.3 + 0.8 \times 0.7 = 0.62 \end{aligned}$$

Verifica-se que para calcular a probabilidade *a priori* de um nó, é necessária a probabilidade, *a priori*, do nó antecessor. Aplicando cálculos semelhantes ao anterior, pode-se chegar as probabilidades, *a priori*, dos nós restantes.

$$\begin{aligned} P(E) &= P(E|C) \times P(C) + P(E|\tilde{C}) \times P(\tilde{C}) \\ &= 0.7 \times 0.38 + 0.05 \times 0.62 = 0.266 + 0.031 = 0.297 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(A) &= P(A|E) \times P(E) + P(A|\tilde{E}) \times P(\tilde{E}) \\ &= 0.8 \times 0.297 + 0.3 \times 0.703 = 0.2376 + 0.2109 = 0.448 \end{aligned}$$

O quadro seguinte mostra a probabilidade, *a priori*, de sucesso.

Histórico	$P(H)=0.3$
Conteúdo	$P(C)=0.38$
Exercícios	$P(E)=0.297$
Avaliação	$P(A)=0.446$

Quadro 4.2: Probabilidades *a priori*.

As probabilidades, *a priori*, recém calculadas, correspondem à *crença* que este tem nas hipóteses representadas pelas variáveis aleatórias quando não há nenhuma informação específica.

Uma rede de Bayes permite calcular probabilidades condicionais, que podem ser interpretadas como crenças nas hipóteses, dada certa informação e também realizar inferências de diversos tipos. Por exemplo, se o objetivo é fazer uma análise do aprendizado, o que interessa é avaliar a probabilidade de uma variável aleatória ser verdadeira dada a evidência disponível. A partir do exemplo, pode-se querer avaliar a probabilidade do histórico, ‘H’, ser verdadeiro sendo que se observe um bom aproveitamento no conteúdo ‘C’. Isto corresponde a calcular $P(H|C)$. Se conteúdo é evidência positiva para histórico então se deve verificar a probabilidade condicional $P(H|C)$ ser maior que a probabilidade *a priori* $P(H)$.

Assim, isto é calculado da seguinte maneira:

$$P(H|C) = P(C|H) \times P(H)/P(C) = 0.8 \times 0.3 / 0.38 = 0.24/0.38 = 0.368$$

Como o cálculo das probabilidades anteriores mostra-se inviável pelo seu número de operações, será utilizado o método de propagação em floresta descrito no capítulo 2.

Calculando as probabilidades bayesianas, *a priori*, do exemplo.

Seja a rede Bayesiana, formada pelo conjunto de variáveis binárias, $X = \{H,C,E,A\}$, cujo grafo se mostra representado pela figura 4.3, com a seguinte função de probabilidade:

$$p(h,c,e,a) = p(h) * p(c|h) * p(e|c) * p(a|e),$$

Considerando que inicialmente não exista evidência, tem-se:

$$p(x_i|e) = p(x_i), \text{ onde "e", é tido como evidência.}$$

Ilustra-se a seguir, passo a passo o cálculo da propagação de uma nova evidência.

Etapa inicial, para o caso de não possuir evidência.

A função ρ , para o caso em que o nó não possui pai, por exemplo, H, é definida como:

$$\rho_H(h) = p(h), \text{ que é a simplificação da equação (3.19).}$$

A partir dos valores do quadro 4.1, tem-se:

$$\rho_H(0) = 0.3,$$

$$\rho_H(1) = 0.7$$

A função do nó filho, A, é definida como:

A função λ , para o caso em que o nó não possui filho, por exemplo, A, é definida como:

$\lambda_A(a) = 1.0$, pois, 1 neutraliza a operação em que se utiliza a função e, forma a equação (3.21), onde os termos da multiplicação são formados pelas mensagens enviadas de nós filhos para o nó pai que neste caso não existem, logo:

$$\lambda_A(0) = 1.0$$

$$\lambda_A(1) = 1.0$$

Primeiro passo da implementação:

No caso onde não há evidências, tem-se as mensagens $\lambda_{X_i} \pi_{X_i}(h)$ constantes igual a 1, onde π_{X_i} é tido como pai de X_i .

Nó H:

- a- A função $\rho_H(h)$ foi calculada na etapa inicial.
- b- Como o nó H não tem pais, não necessita enviar nenhuma mensagem λ .

Agora, sabendo que C, é o único filho de H e já sabemos $\rho_H(h)$, pode-se calcular a mensagem $\rho_{HC}(h)$ utilizando (3.23).

Dado que H tem um Filho, esta equação se reduz a $\rho_{HC}(h) = \rho_H(h)$. Portanto tem-se: $(\rho_{HC}(0), \rho_{HC}(1)) = (0.3, 0.7)$.

Nó C: Nesta etapa pode-se calcular ρ_C , já que C possui um único pai, H, e tem-se ρ_{HC} , logo usando (3.19).

$$\rho_C(c) = \sum_h p(c|h) \times \rho_{HC}(h)$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\begin{aligned} \rho_C(0) &= p(c=0|h=0) \times \rho_{HC}(0) + p(c=0|h=1) \times \rho_{HC}(1) \\ &= 0.8 \times 0.3 + 0.2 \times 0.7 = 0.38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_C(1) &= p(c=1|h=0) \times \rho_{HC}(0) + p(c=1|h=1) \times \rho_{HC}(1) \\ &= 0.2 \times 0.3 + 0.8 \times 0.7 = 0.62 \end{aligned}$$

Dado que C tem um Filho, esta equação se reduz a $\rho_{CE}(h) = \rho(c)$. Logo tem-se: $(\rho_{CE}(0), \rho_{CE}(1)) = (0.38, 0.62)$.

Nó E: Agora, pode-se calcular ρ_E , já que E possui um único pai, C, e tem-se ρ_{CE} , logo usando (3.19) tem-se.

$$\rho_E(e) = \sum c p(e|c) \times \rho_{CE}(c)$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\begin{aligned} \rho_E(0) &= p(e=0|c=0) \times \rho_{CE}(0) + p(e=0|c=1) \times \rho_{CE}(1) \\ &= 0.7 \times 0.38 + 0.05 \times 0.62 = 0.266 + 0.031 = 0.297 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_E(1) &= p(e=1|c=0) \times \rho_{CE}(0) + p(e=1|c=1) \times \rho_{CE}(1) \\ &= 0.3 \times 0.38 + 0.95 \times 0.62 = 0.114 + 0.589 = 0.703 \end{aligned}$$

Nó A: Dado que E é o único pai do nó A e λ_A já é conhecida, pode-se calcular e enviar a mensagem λ_{AE} utilizando (3.25). Neste caso tem-se:

$$\lambda_{AE}(e) = \sum_a \lambda(a) p(a|e),$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\begin{aligned} \lambda_{AE}(0) &= \lambda_A(0) p(A=0|E=0) + \lambda_A(1) p(A=1|E=0) \\ &= 1 \times 0.8 + 1 \times 0.2 = 1.00, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{AE}(1) &= \lambda_A(0) p(A=0|E=1) + \lambda_A(1) p(A=1|E=1) \\ &= 1 \times 0.3 + 1 \times 0.7 = 1.00, \end{aligned}$$

Verifica-se também, mensagens enviadas por E, as ρ_{EA} , onde pode-se calcular ρ_A , através de (3.19).

$$\rho_A(a) = \sum_e p(a|e) \times \rho_{EA}(e)$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\begin{aligned}\rho_A(0) &= p(a=0|e=0) \times \rho_{EA}(0) + p(a=0|e=1) \times \rho_{EA}(1) \\ &= 0.8 \times 0.297 + 0.3 \times 0.703 = 0.2376 + 0.2109 = 0.448\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_A(1) &= p(a=1|e=0) \times \rho_{EA}(0) + p(a=1|e=1) \times \rho_{EA}(1) \\ &= 0.2 \times 0.297 + 0.7 \times 0.703 = 0.0594 + 0.4921 = 0.552\end{aligned}$$

Por ser a etapa inicial as mensagens λ são constantes igual a 1, logo a partir de (3.15) e (3.16) as probabilidades *a priori* são dadas pelas funções ρ . A figura seguinte demonstra o resultado do cálculo das mensagens e probabilidades *a priori* entre os nós.

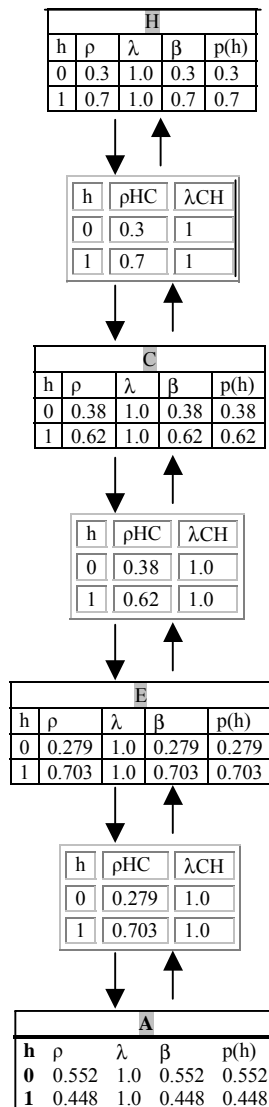


Figura 4.4: Probabilidades *a priori*

A figura 4.4 mostra as probabilidades *a priori* segundo as relações condicionais iniciais e sem evidências, expressadas no quadro 4.1.

Com a finalidade de observar que o método trabalha independente, ou não, do cálculo das probabilidades *a priori*, será incluída uma evidência ao mesmo tempo em que serão alteradas as probabilidades condicionais do quadro 4.1 (expressas no Quadro 4.3), para efetuar os cálculos das novas probabilidades, mantendo a estrutura da rede contida na figura 4.3.

As novas probabilidades condicionais estão dispostas no quadro abaixo.

h	p(h)	h	c	p(c h)	c	e	p(e c)	e	a	p(a e)
0	0.3	0	0	0.8	0	0	0.95	0	0	0.7
1	0.7	1	0	0.2	1	0	0.3	1	0	0.2
		0	1	0.2	0	1	0.05	0	1	0.3
		1	1	0.8	1	1	0.7	1	1	0.8

Quadro 4.3: Novos valores para as funções de probabilidade condicionais.

Aproveitando o esboço da rede contida na figura 3.3, em que o nó C foi utilizado na partição do grafo, faz-se, por exemplo, C receber uma evidência positiva, ou seja, $C=0$ significa que em C o aluno está apto.

Etapa de iniciação:

Neste caso tem-se a evidência $C=0$. Logo as funções ρ e λ assumem os seguintes valores:

$$\rho_C(0) = 1.0, \lambda_C(0) = 1.0, p_C(0) = 1 \text{ e,}$$

$$\rho_C(1) = 0.0, \lambda_C(1) = 0.0, p_C(1) = 0.0$$

Para esta rede, pode-se assumir que as funções ρ dos nós pais e as funções λ dos nós filhos mantêm-se inalteradas, segundo uma nova evidência em X_i , no caso, C.

A partir dos valores do quadro 4.3 e da equação 3.14, tem-se:

$$\rho_H(0) = 0.3,$$

$$\rho_H(1) = 0.7$$

A função λ do nó filho, A, é definida como:

$$\lambda_a(0) = 1.0$$

$$\lambda_a(1) = 1.0$$

Analisando os nós tem-se:

Nó H: Como, ρ_{HC} permanece o mesmo, por H, ser pai de C. Ainda falta calcular λ_{CH} , já que C envia uma nova mensagem para H.

Onde:

$$\lambda_{CH}(h) = \sum_c \lambda_{C(c)} \prod_h p(c|h)$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\lambda_{CH}(0) = \lambda_{C(0)} p(C = 0|H = 0) + \lambda_{C(1)} p(C = 1|H = 0)$$

$$= 1 \times 0.8 + 0 \times 0.2 = 0.80,$$

$$\lambda_{CH}(1) = \lambda_{C(0)} p(C = 0|H = 1) + \lambda_{C(1)} p(C = 1|H = 1)$$

$$= 1 \times 0.2 + 0 \times 0.8 = 0.20$$

Uma vez que H recebe e envia todas as mensagens pode-se calcular as funções λ_H , ρ_H e β_H a partir de (3.13), (3.14) e (3.15), faltando somente descobrir o valor da constante k de (3.16) para o cálculo da nova probabilidade de H.

Pode-se calcular k, sabendo que $P_H(0)$ e $P_H(1)$ são complementares, logo:

$$P_H(0) + P_H(1) = 1 \text{ onde:}$$

$$k \times 0.56 + k \times 0.06 = 1$$

$$k (0.56 + 0.06) = 1$$

$$k = 1.61$$

Substituindo o valor de “k” em (3.16) obtém-se:

$$P_H(0) = 0.90 \text{ e,}$$

$$P_H(1) = 0.10$$

Nó C: Não é necessário cálculo algum, pois os valores já foram assumidos segundo a evidência dada.

Nó E: Como λ_{EC} permanece o mesmo, por E ser filho de C, ainda falta calcular ρ_{CE} , já que C envia uma nova mensagem para E.

Onde:

$$\rho_{CE}(c) = \rho_C(c) \times \lambda_{EC}(c)$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\rho_{CE}(0) = \rho_C(0) \times \lambda_{EC}(0) = 1 \times 1 = 1$$

$$\rho_{CE}(1) = \rho_C(1) \times \lambda_{EC}(1) = 0 \times 1 = 0.$$

Obtidas as mensagens ρ de C para E pode-se recalculer a função ρ_E segundo a nova evidência, onde:

$$\rho_E(e) = \sum_c p(e|c) \times \rho_{CE}(c).$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\begin{aligned}\rho_E(0) &= p(e=0|c=0) \times \rho_{CE}(0) + p(e=0|c=1) \times \rho_{CE}(1) \\ &= 0.95 \times 1.0 + 0.3 \times 0.0 = 0.95\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_E(1) &= p(e=1|c=0) \times \rho_{CE}(0) + p(e=1|c=1) \times \rho_{CE}(1) \\ &= 0.05 \times 1.0 + 0.7 \times 0.0 = 0.05\end{aligned}$$

Conhecidas as funções λ_E e ρ_E , pode-se calcular β_E , onde:

$$\beta_E = \rho_E \times \lambda_E.$$

Calculando as possibilidades binárias:

$$\beta_E(0) = \rho_E(0) \times \lambda_E(0) = 0.95 \times 1.0 = 0.95$$

$$\beta_E(1) = \rho_E(1) \times \lambda_E(1) = 0.05 \times 1.0 = 0.05$$

Como λ_E é constante igual a 1 tem-se $\rho_E(e) = \beta_E(e)$, logo:

Calculando as possibilidades binárias:

$$PE(0) = 0.95 \text{ e,}$$

$$PE(1) = 0.05$$

Nó A: Os cálculos e análises são idênticos ao nó E, chegando as seguintes probabilidades:

$$PA(0) = 0.675 \text{ e,}$$

$$PA(1) = 0.325$$

Lembrando que estes cálculos são referentes à evidência $C = 0$, ou seja, em C o aluno está apto.

A figura seguinte demonstra o resultado do cálculo das probabilidades *a posteriori*, com evidência em $C = 0$.

Lembrando que as variáveis binárias são definidas como: 1-Não Apto e 0-Apto.

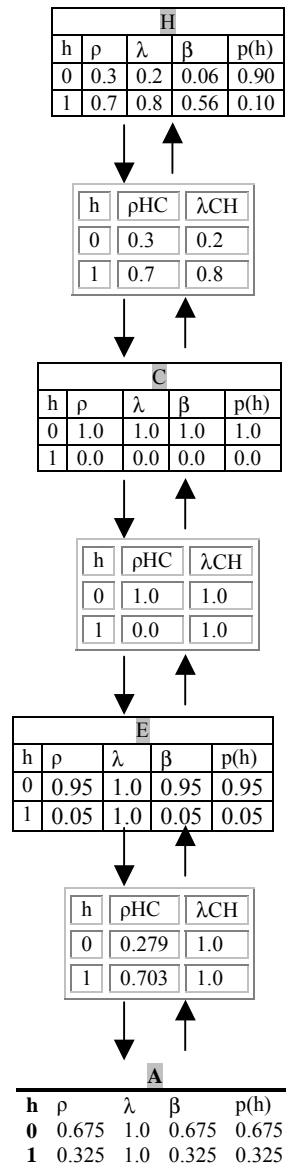


Figura 4.5: Probabilidades *a posteriori*

A figura mostra as probabilidades *a posteriori* segundo a evidência observada em C.

Obs:- Os cálculos são refeitos a cada nova evidência observada.

As probabilidades, atualizadas pela rede bayesiana, são utilizadas para preencher algumas lacunas de pontuação, onde eventualmente os alunos não tenham freqüentado.

Nos itens pertencentes ao módulo Avaliação, por exemplo, caso algum item não seja acessado, será atribuída uma percentagem da pontuação pela probabilidade bayesiana, (ou seja, caso uma questão de um módulo qualquer não seja acessada, valendo 10 pontos e, a rede bayesiana no final do capítulo atribuir um aproveitamento (probabilidade) de 60%, para o módulo, os pontos da questão serão computados com o valor 6) calculada no módulo. Assim, respondendo ou não as questões o sistema atribuirá pontos a elas. Fazendo isto, haverá consistência na coleta de dados, para montar a matriz de transição markoviana.

4.3- Formação da Matriz de Transição Markoviana

A formação da matriz de transição P da rede markoviana será a partir da verificação do desempenho dos participantes, por meio da sua pontuação obtida exemplificada na seção 4.4.

$$P = \begin{bmatrix} AA & 1 - AA \\ 1 - EE & EE \end{bmatrix}$$

Onde:

AA- Quociente entre a soma da pontuação obtida após etapas com sucesso e a pontuação total obtida.

EE- Quociente entre a soma da pontuação não obtida após etapas sem sucesso e a pontuação não obtida.

4.4- Matriz de Transição Markoviana

A matriz de transição markoviana será formada pela matriz de probabilidade conjunta, referentes aos dois eventos, acertos e erros, ou simplesmente A e E,

respectivamente. Neste caso, haverá quatro probabilidades de transição de um passo P_{AA} , P_{AE} , P_{EA} , P_{EE} , satisfazendo:

$$P_{AA} + P_{AE} = 1$$

e

$$P_{EA} + P_{EE} = 1$$

Atendendo assim às condições necessárias para formar uma matriz de transição de estado.

Descrição-exemplo:

Dentre toda pontuação (1000 pontos possíveis), foram obtidos (600 pontos), durante todas as etapas (respostas às questões, acesso a conteúdo,...) do capítulo e 450 pontos foram obtidos após uma etapa com êxito. Dos 400 pontos não obtidos verificou-se que 200 pontos não alcançados foram perdidos após uma etapa sem êxito.

Com essas verificações em termos de pontos atribuídos e depois normalizados pode-se montar uma matriz P de transição de estado:

$$P = \begin{bmatrix} AA & 1 - AA \\ 1 - EE & EE \end{bmatrix}$$

Onde:

- Exemplo de $AA = \frac{450}{600} = \frac{3}{4}$, que é a probabilidade de se obter êxito após uma etapa bem sucedida.
- Exemplo de $EE = \frac{200}{400} = \frac{1}{2}$, que é a probabilidade de fracasso após uma etapa mau sucedida.

No exemplo, a matriz P de transição, será:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Montando a tabela da matriz de transição, têm-se as relações de probabilidades entre acertos e erros.

	Acerto	Erro
Acerto	AA	1-AA
Erro	1-EE	EE

Quadro 4.4: Tabela da matriz de transição

Observa-se assim que a matriz P de transição será montada a partir das características “Desempenho” dos participantes a cada capítulo “tema” acessado.

A matriz de transição, obtida pelo processo exemplificado anteriormente, fornece a regularidade de desempenho do aluno (estimativa de acertos e erros) na transição entre os itens (questões, conteúdos seqüenciados) dos módulos.

Obs:- A matriz de transição será atualizada a cada capítulo recebendo novas informações do desempenho obtido na nova etapa. Este procedimento levará em conta não somente o desempenho atual do aluno, mas também seu desempenho passado na análise de seu rendimento (situação de aprovação), com a finalidade de não desmotivar alunos com bons resultados que possam ter baixo aproveitamento em algum momento no curso.

4.5- Fluxograma do Sistema Envolvendo a Rede bayesiana/markoviana

Em cada capítulo será gerada uma rede bayesina e uma markoviana, sendo que a bayesiana atualizará alguns dados utilizados na formação da matriz de transição markoviana, e as duas em conjunto analisam se o aluno está apto no capítulo.

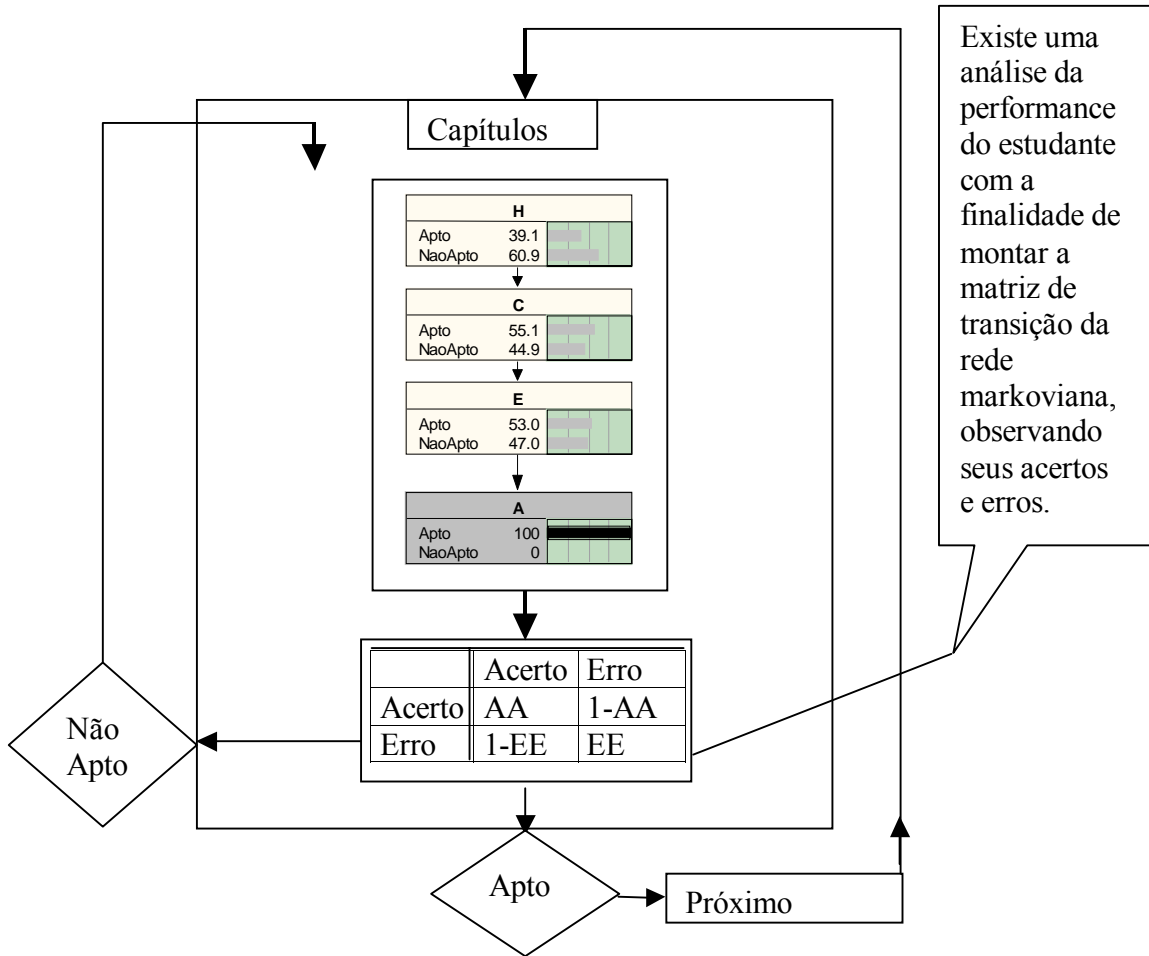


Figura 4.6: Fluxograma do sistema.

Através do fluxograma conclui-se que são analisados três conjuntos de dados distintos:

- A soma dos pontos obtidos até o momento;
- As probabilidades futuras de êxito, nas etapas, dada pela cadeia de Markov;
- A indicação de apto e não apto sobre o conteúdo fornecido pela rede bayesiana.

4.6- Modo de Avaliação

São aplicados alguns critérios na forma de avaliação para verificar se o aluno está apto no capítulo, que são:

- A soma dos pontos obtidos até o momento, o aproveitamento é normalizado, obtendo um percentual da pontuação obtida;
- As probabilidades futuras de êxito, nas etapas, dada pela cadeia de Markov, por meio do quadrado da matriz de transição “P” identifica-se à probabilidade futura de êxito na próxima etapa;

Tabela de transição			Tabela de estimativa futura		
	Acerto	Erro		Acerto	Erro
Acerto	75%	25%	Acerto	68,75%	31,25%
Erro	50%	50%	Erro	62,50%	37,50%

Quadro 4.5: Tabela de transição

- A indicação de apto e não apto sobre o conteúdo fornecido pela rede bayesiana.

4.7- Definindo as Relações de Aprovação

Dentre os três tipos de avaliações presentes no modelo, o técnico/especialista da área definirá a relação entre eles para identificar os aprovados no curso, completando, por exemplo, o seguinte quadro.

Apto	Pontos	Previsão	Avaliação
Sim	> (60%)	>(70%)	OK
Não	> (80%)	>(80%)	OK

Quadro 4.6: Relações de aprovação

Onde a opção de apto é controlada pela rede Bayesiana.

Qualquer resultado (desempenho) diferente deste fornecido o aluno será considerado reprovado. Verifica-se assim, que para o aluno ser aprovado deverá preencher alguns requisitos pré-estabelecidos.

4.8- Exemplo da Utilização do Modelo Implementado na forma de um SEI

No início será esclarecido como as informações são cadastradas pelo professor no sistema, para o melhor entendimento do modelo. Com essa finalidade será apresentado um exemplo de utilização, que comenta desde o cadastro das informações no sistema até a análise de resultados, possibilitados por uma simulação.

4.8.1- Cadastro do Conteúdo no Sistema

A maneira de apresentação do conteúdo, exercício e avaliação, para este sistema, devem contemplar o necessário para a totalização do conhecimento pretendido pelo especialista da área (professor) que deve ter um objetivo bem definido, já que o sistema é voltado para a avaliação do aprendizado do conteúdo apresentado.

O professor deve, em relação ao módulo conteúdo:

- 1- Preparar o conteúdo para cada capítulo do curso a ser ensinado, separá-lo em sub-capítulos (sub-itens);
- 2- Definir a relevância (pontos), atribuída a cada sub-item.
- 3- Estimar para cada sub-item uma janela de tempo necessária para a compreensão do conteúdo. O tempo de estudo (acesso) será utilizado posteriormente para atribuir uma pontuação ao desempenho do aluno (usuário).

Em relação aos módulos Exercícios e Avaliação.

- 1- Preparar um questionário para cada capítulo do curso, a ser ensinado, contendo questões de múltipla escolha com resposta única;
- 2- Definir a relevância (pontos), atribuída a cada sub-item.
- 3- Indicar a resposta correta.

Uma vez ilustrada a preparação e inserção de conteúdos, pode-se fazer uso do sistema analisando os resultados segundo algumas suposições de acesso e desempenho de alunos.

Como o sistema pode se tornar imprevisível para situações aparentemente idênticas, devido a sua característica probabilística, faz-se a análise de alguns resultados com a finalidade de ilustrar o comportamento do algoritmo, contudo os resultados são específicos para esta simulação, pois qualquer alteração nas especificações definidas pelos professores, que são: a relevância dos módulos; a relevância (Pontuação) por sub-item do módulo; a pontuação mínima a ser obtida; a estimativa futura mínima de aproveitamento; ou mudanças no desempenho do aluno, podem influenciar nos resultados.

4.8.2- Exemplo Comentado de Inserção Das Especificações no Sistema

Na simulação, a seguir, os módulos Conteúdo, Exercícios e Avaliação possuem sete sub-itens, com as seguintes especificações (relevâncias, pontuação mínima e estimativa) pré-definidas.

A relevância por módulo, definida pelo professor, deve ser encarada como a “importância” relativa do módulo atual em relação ao próximo, na sua compreensão. Por exemplo, a relevância atribuída ao módulo conteúdo, “8”, significa que o conteúdo tem uma influência de 80% para se obter um bom desempenho nos exercícios.

Relevância por módulo.

Capítulo 1	Relevância do Módulo
Histórico	7
Conteúdo	8
Exercícios	9.5
Avaliação	7

Quadro 4.7: Relevância por módulo

A relevância por sub-itens é somente uma pontuação atribuída a cada item, no entanto pode influenciar de forma significativa na pontuação geral, já que existem as possibilidades de um aluno acertar várias questões e conseguir uma pontuação baixa e, acertar poucas questões e obter uma ótima pontuação.

Relevância dos sub-itens nos módulos.

Relevância	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Total
Conteúdo	2	3	4	5	6	7	8	35
Exercícios	3	4	5	6	7	8	9	42
Avaliação	4	5	6	7	8	9	10	49

Quadro 4.8: Relevância dos sub-itens

Pontuação mínima e estimativa.

Capítulo	Pontuação Min.	Estimativa
1	7	70 %

A pontuação mínima é usada em três situações no cálculo:

- Primeiro – é empregado para verificar se o aluno é considerado apto no módulo, sendo que se o desempenho (pontuação obtida) do aluno for maior ou igual à pontuação mínima necessária, ele será considerado apto.
- Segundo – serve como base para verificar se o aluno é considerado apto, no capítulo, segundo seu desempenho (pontuação total obtida);
- Terceiro – estabelece uma maneira de se extrair a evidência (avaliação) por módulo, se o aluno for considerado apto, a evidência será positiva, e para não apto negativa. Logo a probabilidade bayesiana receberá “1” para apto e “0” para não apto.

A estimativa é usada como base para verificar se o aluno será aprovado no próximo capítulo, segundo seu desempenho (pontuação obtida) até o presente momento.

4.8.3- Análise Dos Resultados Segundo as Especificações do Exemplo

Com as especificações acima definidas, se o aluno obtiver um percentual de 70% da pontuação total no módulo Conteúdo e 100% da pontuação total no módulo Avaliação, teremos a seguinte probabilidade de apto pela rede bayesiana.

Módulos	Prob_Apto
Histórico	0.631
Conteúdo	1
Exercícios	0.861
Avaliação	1

Assim, por meio da pontuação obtida encontrou-se uma evidência positiva para a rede de Bayes, assumindo o valor “1” nos módulos Exercícios e Avaliação. Nos demais a rede de Bayes estima uma probabilidade de apto, baseado nas evidências encontradas e na relevância atribuída a cada módulo.

As probabilidades bayesianas, atribuídas aos módulos, são usadas na atualização do desempenho (pontuação obtida), mesmo que não tenham sido acessadas. Essa pontuação atribuída aos sub-itens do módulo é posteriormente utilizada na edição da tabela markoviana de transição de estado, donde é extraída a estimativa para o próximo capítulo.

	AA	EE
AA	69%	31%
EE	63%	37%

A partir desses resultados, o sistema nos fornece as variáveis finais por capítulo, para análise:

	Pontuação máxima	Pontos totais	Estimativa	Evidência na avaliação	Situação
Capítulo 1	154	127	66	1	Reprovado

Resumindo os dados em um quadro tem-se:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.63		66%	Reprovado
Conteúdo	8	1	70 %		
Exercícios	9.5	0.86			
Avaliação	7	1	100%		

Quadro 4.9: Resumo de dados para a análise da simulação

Em uma nova situação, mantendo os dados do quadro 4.8, supondo apenas que o aluno melhore seu desempenho conseguindo um percentual de 80% da pontuação total no módulo Conteúdo, tem-se:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.63		75%	Aprovado
Conteúdo	8	1	80 %		
Exercícios	9.5	0.86			
Avaliação	7	1	100%		

A situação atual, Aprovado, é atribuída ao melhor desempenho do aluno no módulo Conteúdo, influenciando sobre a sua estimativa.

Mantendo-se os dados do quadro 4.8, e alterando somente a relevância do módulo Avaliação de 7 para 5, obtêm-se os seguintes resultados:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.63		76%	Aprovado
Conteúdo	8	1	75 %		
Exercícios	9.5	0.78			
Avaliação	5	1	100%		

Mantendo-se os dados do quadro 4.8 e, não trabalhando com o conteúdo, obtêm-se os seguintes resultados:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	situação
Histórico	7	0.39		22%	Reprovado
Conteúdo	8	0.55			
Exercícios	9.5	0.52			
Avaliação	7	1	100%		

Mantendo-se os dados do quadro 4.8 e aumentando:

- 1- A relevância do módulo Avaliação de 7 para 9;
- 2- A relevância dos sub-itens da avaliação para o valor 10, valor máximo permitido.

Obtêm-se os seguintes resultados.

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.48		76%	Aprovado
Conteúdo	8	0.72			
Exercícios	9.5	0.77			
Avaliação	9	1	100%		

Mostrando dessa forma, que a relevância atribuída a sub-itens também influencia nos resultados.

5- APLICAÇÃO À LOGÍSTICA

Ao desenvolver um SEI para o ensino na área de logística, é necessário propiciar condições para o aprendizado (treinamento), coleta e análise de dados informacionais e gerenciais, pois esta área auxilia nas decisões de cunho estratégico nas empresas.

Buscando atender as condições descritas anteriormente, o sistema propicia a construção do conhecimento na área de “Distribuição Física de Produtos”, mais precisamente em “Canais de Distribuição”, apresentando tópicos de conceituação, definição e utilização na distribuição física de produtos que visa o ensino e entendimento dos seguintes conceitos:

1. Conceituar canais de distribuição;
2. Diferenciar canais de distribuição, de distribuição física de produtos;
3. Visualizar os tipos e as funções dos canais de distribuição;
4. Identificar as propriedades dos canais de distribuição;
5. Definir uma estrutura de canais de distribuição.

O aluno pode navegar pelo conteúdo e exercícios de um capítulo na ordem que desejar, sendo avaliado pela presença nos conteúdos e, quando efetuar a entrega dos exercícios e avaliação.

5.1- Descrição do Sistema (SEI-Logístico)

Para o melhor entendimento do aplicativo é necessário descrever o SEI-Logístico em termos gerais, especificando o cadastro dos conteúdos e suas relevâncias, as ações a serem tomadas pelos participantes, a análise de seus relatórios e a forma de utilização do sistema.

O Sistema é um ambiente de ensino que avalia dinamicamente o aprendizado, desde o acesso aos conteúdos, até as respostas da avaliação na qual o resultado é determinado por funções internas e interações externas dos participantes que interagem livremente em todo o sistema. Embora a apresentação do conteúdo seja estática, o Sistema é carregado com incertezas realistas que se originam das atribuições (relevância) imposta pelos professores aos módulos e seus sub itens e, como tais especificações são ocultadas aos participantes eles terão que se empenhar igualmente em todos os conteúdos disponibilizados, para obter bons resultados.

5.1.1- Descrição Dos Capítulos e Inserção Das Especificações no Sistema

As informações cadastradas pelo professor devem seguir as indicações dispostas no item 4.8.

Será descrita a estrutura do curso “Canais de Distribuição” que é repartido em capítulos e, esses repartidos em conteúdo, exercícios e avaliação, sendo que o conteúdo completo pode ser consultado no apêndice B.

O curso foi repartido em 3 capítulos e, também apresentado um texto complementar contendo um estudo de caso.

No capítulo 1, intitulado “Canais de Distribuição”, os módulos possuem a seguinte configuração, conforme a relevância por módulo e itens de cada módulo:

Capítulo 1	Relevância do Módulo
Histórico	7
Conteúdo	8
Exercícios	9.5
Avaliação	7

Quadro 5.1: Relevância dos módulos no primeiro capítulo da aplicação

O módulo Conteúdo contém os seguintes itens (Sub-capítulos).

Item 1- Apresenta a conceituação entre Canais de Distribuição e Distribuição física de produtos.

Item 2- Apresenta a Evolução das Formas de Distribuição dos Canais de Distribuição.

Item 3- Apresenta os objetivos e Funções dos Canais de Distribuição.

O módulo Conteúdo contém 3 itens; o módulo Exercícios contém 4 itens e o módulo Avaliação contém 4 itens, com as especificações (relevâncias, pontuação mínima e estimativa) pré-definidas.

A relevância dos sub-itens, contida nos módulos do capítulo 1, é mostrada no quadro abaixo.

Capítulo 1	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
Conteúdo	10	9	8	-	-
Exercícios	10	9	8	7	
Avaliação	10	9	8	7	

Quadro 5.2: Relevância por itens dos módulos do capítulo 1

Pontuação mínima e estimativa é expressa no quadro abaixo.

Capítulo	Pont. Mín.	Estimativa
1	7	70 %

Quadro 5.3: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 1

Estas especificações revelam a percepção do próprio professor em relação à importância do conteúdo disponibilizado, juntamente com uma condição mínima de desempenho do aluno para ser considerado apto no capítulo.

No capítulo 2, intitulado “Tipos de Canais”, o módulo Conteúdo contém 3 itens; os módulos Exercícios e Avaliação contém 4 itens cada.

Relevância dos módulos e sub-itens.

Capítulo 2	Relevância do Módulo	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
Histórico	7					
Conteúdo	8	10	9	8	-	-
Exercícios	9.5	10	9	8	7	
Avaliação	7	10	9	8	7	

Quadro 5.4: Resumo das relevâncias atribuídas aos itens do capítulo 2.

Pontuação mínima e estimativa.

Capítulo	Pont. Min.	Estimativa
2	7	70 %

Quadro 5.5: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 2

No capítulo 3, intitulado “Propriedades dos Canais de Distribuição”, o módulo Conteúdo contém 3 itens; o módulo Exercícios contém 4 itens e o módulo Avaliação contém 5 itens.

Relevância dos módulos e sub-itens.

Capítulo 3	Relevância do Módulo	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5
Histórico	7					
Conteúdo	8	10	9	8	-	-
Exercícios	9.5	10	9	8	7	
Avaliação	7	10	9	8	7	7

Quadro 5.6: Resumo das relevâncias atribuídas aos itens do capítulo 3.

Pontuação mínima e estimativa.

Capítulo	Pontuação Min.	Estimativa
1	7	70 %

Quadro 5.7: Pontuação mínima e estimativa do capítulo 3

5.1.2- Descrição da utilização do Sistema

Durante a utilização do sistema, as decisões (acessos aos conteúdos respostas e entrega das questões dos exercícios e avaliação) são tomadas em capítulos dispostos sequencialmente, onde o seguinte só é liberado se o aluno for considerado apto no atual.

A cada período (capítulo) o desempenho dos alunos alimenta o modelo matemático que efetua operações internas, avaliando dinamicamente o aluno segundo as

especificações do professor. Quando o aluno clica no botão “Avaliar”, o sistema disponibiliza o relatório do desempenho, contendo a pontuação obtida, a estimativa de desempenho futuro e a situação de aprovação.

O modelo mantém um rastro de informações entre capítulos, usado na atualização da matriz de transição markoviana (Ver seção 4.4), responsável pela estimativa futura de desempenho. Vale ressaltar, que todas os cálculos e informações são efetuados, armazenados e analisados individualmente para cada aluno.

Desta forma, pode-se dizer que o sistema propicia uma simulação da realidade em sala de aula e faz uma análise “Inteligente” do desempenho de cada um. Essa análise garante um julgamento que respeita o conhecimento adquirido, uma vez que não avalia somente o teste final (avaliação), mas também o acesso aos conteúdos e resolução de exercícios muitas vezes desconsiderados no ensino tradicional.

Função dos participantes.

A cada capítulo os participantes devem estudar os conteúdos, responder as questões dos exercícios e da avaliação. As decisões de entrega dos exercícios e avaliação se assemelham àquelas tomadas em sala de aula, uma vez que o aluno tem a sua disposição conteúdos e exercícios a serem trabalhados no momento que desejar. Porém, para que os exercícios sejam avaliados deve haver uma entrega dos mesmos, e a partir disto não há mais como acessá-los, consultá-los ou alterá-los, vale ressaltar que não existe qualquer tipo de cobrança em relação a tempo de resolução ou prazos de entrega, contudo o aluno deve estar consciente que, quando solicitar a avaliação ele não terá mais acesso a nenhuma parte do sistema até efetuar a entrega da mesma. Tais procedimentos são vistos como necessários a fim de retratar as relações mais usuais em sala de aula e também atribuir responsabilidades ao aluno sobre o seu próprio aprendizado.

5.2- A aplicação prática

O sistema foi testado via internet com uma quantidade pequena de pessoas, não ocorrendo contato entre os participantes. Participaram do teste oito pessoas de áreas distintas: matemáticos, engenheiros, contabilistas, administradores e integrantes da pós-graduação em Engenharia de Produção, cursando a disciplina de “Distribuição Física de Produtos”.

Durante uma apresentação em sala de aula houve curiosidade dos participantes em relação à utilização, operacionalização e acesso ao sistema, ainda mais pelo conteúdo apresentado se tratar da própria disciplina em curso. Devido o interesse demonstrado surgiu a necessidade da preparação de um “manual do usuário” (apêndice A) posteriormente disponibilizado no próprio sistema.

Também foram levantadas pelos alunos algumas questões: “O que deve ser feito para obtenção da melhor nota, em que parte eu devo me dedicar para alcançar melhor desempenho?”. A resposta, “Isto depende da relevância (definida pelo especialista da área ensinada) atribuída a cada item e a cada módulo do sistema, variável de capítulo a capítulo”, causou inquietação nos alunos, não os agradando, já que a estrutura estabelecida não permite especificar qual seria a “regra do jogo”.

A seguir será descrita a utilização do sistema por um dos alunos participantes da apresentação, (observado presencialmente) pós-graduando em Engenharia de Produção. Será comentado o acesso aos conteúdos, o desempenho, e apresentado o comportamento do algoritmo.

O aluno, em seu primeiro contato com o SEI-Logístico, após acessar o curso com seu login e senha se deparou com a seguinte tela inicial:



Figura 5.1: Tela inicial do sistema

A figura mostra a tela do curso oferecido, dividido em capítulos no frame (coluna) da esquerda.

O aluno aventurou-se de imediato a fazer um reconhecimento do ambiente (conteúdos), tentando acessar todos os capítulos, porém só foi permitido acessar o primeiro (onde foi mostrado no frame da direita às opções de acesso a seus módulos), conseguindo assim, com este reconhecimento do ambiente, encontrar o manual do sistema, disponível na página e, após uma rápida leitura no manual acessou novamente o conteúdo e exercícios respondendo aleatoriamente algumas questões, mas não se aventurando ainda na avaliação. Após este “Tour” pelo sistema o aluno, pela primeira vez, decidiu tomar conhecimento do seu desempenho, ao clicar no botão “Avaliar”, se deparou com os seguintes resultados:



Figura 5.2: Resultado da primeira tentativa de avaliação

Analisando o comportamento do algoritmo

Com as especificações do capítulo acima definidas e, o desempenho do aluno observado anteriormente, tem-se as seguintes probabilidades de apto nos módulos, fornecidas pela rede bayesiana.

Módulo	Prob_Apto
Histórico	0.70
Conteúdo	0.62
Exercício	0.703
Avaliação	0.55

Quadro 5.8: Probabilidade de apto fornecida pela rede bayesiana, primeira avaliação.

A verificação da pontuação obtida, nos itens dos módulos, permite montar a seguinte tabela da matriz de transição markoviana.

	AA	EE
AA	57%	43%
EE	92%	8%

Quadro 5.9: Matriz de transição Markoviana, primeira auto-avaliação.

A partir desses cálculos o sistema fornece os resultados finais por capítulo, para análise:

	Pontuação máxima	Pontos totais obtidos	Estimativa	Situação
Capítulo 1	95	46	28 %	Reprovado

Quadro 5.10: Resultados finais para análise, primeira auto-avaliação.

Resumindo os dados em um quadro tem-se:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.7		28%	Reprovado
Conteúdo	8	0.62			
Exercícios	9.5	0.703			
Avaliação	7	0.55			

Quadro 5.11: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, primeira auto-avaliação.

O mau resultado é atribuído ao mau desempenho nos exercícios e na avaliação.

Na segunda tentativa o aluno, após perceber que seu desempenho não foi considerado “bom”, retornou ao módulo conteúdo com a finalidade de adquirir conhecimento necessário para melhorar seu desempenho. Feito isto, o aluno respondeu os exercícios de uma forma rápida e desinteressada e, entregou-os, confirmou o término do seu trabalho clicando novamente no botão “Avaliar”. Ao analisar o resultado, a partir da tela apresentada a seguir, verificou-se uma piora no desempenho, sendo obtido o seguinte resultado:



Figura 5.3: Tela de resultados da segunda tentativa.

Analizando o comportamento do algoritmo

Com base no novo desempenho do aluno, o sistema gerou outros resultados:

	AA	EE
AA	41%	59%
EE	12%	88%

Quadro 5.12: Matriz de transição markoviana, segunda auto-avaliação.

Resultados do desempenho:

	Pontuação máxima	Pontos totais obtidos	Estimativa	Situação
Capítulo 1	95	21	24%	Reprovado

Quadro 5.13: Resultados finais para análise, segunda auto-avaliação.

Resumindo os dados em um quadro tem-se:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual De acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.18		24%	Reprovado
Conteúdo	8	0.16			
Exercícios	9.5	0	60%		
Avaliação	7	0.1			

Quadro 5.14: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, segunda auto-avaliação.

O mau resultado é atribuído ao baixo desempenho nos exercícios e a não resposta à avaliação.

O aluno, em sua terceira tentativa, após só obter resultados negativos e já tendo feito o “reconhecimento” do sistema, percebeu que teria todo o trabalho de responder as questões novamente, pois, ao ser avaliado, caso o aluno seja considerado não apto, ele perde todas as informações (respostas) cadastradas no sistema. Com esta recente percepção a respeito do sistema o aluno retornou aos conteúdos e analisou (estudou) de uma maneira minuciosa, não só pelo aprendizado em si, mas até por uma questão de vencer o desafio de ser considerado apto pelo sistema.

Neste momento da utilização, a preocupação do aluno estava em obter um bom resultado e, já estando consciente que um bom resultado só seria possível com o real entendimento do conteúdo, expresso em parte nas respostas corretas dos exercícios e avaliação; O “inconveniente” para o aluno era o “não saber” quais as questões ou conteúdos são realmente decisivos na análise do seu desempenho, informação esta oculta aos participantes.

A nova tentativa visando realmente obter bons resultados foi diferente das duas anteriores, houve a preocupação em fazer várias consultas aos conteúdos antes de efetuar a entrega dos exercícios, buscando o máximo aproveitamento nas respostas e, antes de solicitar a avaliação observou-se uma nova leitura nos conteúdos, buscando um melhor preparo para responder as questões.

Assim, tendo realmente estudado e compreendido o conteúdo o aluno conseguiu um bom resultado, apresentado a seguir:



Figura 5.4: Tela de resultados da aprovação.

Analizando o comportamento do algoritmo

Com base no novo desempenho do aluno, o sistema gerou os seguintes resultados:

	AA	EE
AA	77%	23%
EE	59%	41%

Quadro 5.15: Matriz de transição markoviana, terceira auto-avaliação.

Resultados do desempenho:

	Pontuação máxima	Pontos totais obtidos	Estimativa	Situação
Capítulo 1	95	81	72.6	Reprovado

Quadro 5.16: Resultados finais para análise, terceira auto-avaliação.

Resumindo os dados em um quadro tem-se:

Capítulo 1	Relevância do Módulo	Prob. Bayesiana	Percentual de acerto	Estimativa futura	Situação
Histórico	7	0.63		72.6%	Aprovado
Conteúdo	8	1	100 %		
Exercícios	9.5	1	86 %		
Avaliação	7	1	80 %		

Quadro 5.17: Resumo dos dados obtidos pelo sistema, terceira auto-avaliação.

A situação atual, Aprovado, é atribuída ao melhor desempenho do aluno no módulo Conteúdo, influenciando sobre a sua estimativa de acerto.

Quando o aluno é considerado apto no capítulo ele não tem mais acesso às questões ou avaliação, medida esta que o incentivar a buscar conhecimento em outros capítulos além do atual.

Nos dois capítulos seguintes disponíveis no curso, os acessos aos conteúdos e a forma de encarar a realidade imposta pelo sistema foi semelhante à descrita na terceira tentativa, pois o aluno já estava habituado com o sistema e percebendo o desafio que este propõe, desafio que serve como estímulo na busca de bons resultados, ou seja, “interesse” por um aprendizado satisfatório.

O quadro abaixo mostra a utilização do sistema por alunos com formação diversificada, onde se obteve os seguintes resultados:

Aluno	Formação	Cap.	N.T.	T.G.	Aprov.	Prev.F.
1	Administração	1	2	23 m	91 %	80 %
		2	2	25 m	87 %	76 %
		3	1	18 m	78 %	78 %
2	Matemática	1	2	33 m	77 %	73 %
		2	2	28 m	92 %	77 %
		3	1	21 m	82 %	75 %
3	Computação	1	2	27 m	88 %	80 %
		2	2	28 m	91 %	87 %
		3	1	20 m	76 %	81 %
4	Matemática	1	2	29 m	91 %	80 %
		2	2	26 m	89 %	77 %
		3	1	19 m	83 %	75 %
5	Letras	1	3	34 m	91 %	80 %
		2	2	29 m	86 %	76 %
		3	2	27 m	74 %	73 %
6	Pedagogia	1	2	32 m	84 %	80 %
		2	2	27 m	88 %	79 %
		3	2	26 m	90 %	82 %
7	Geografia	1	2	30 m	78 %	72 %
		2	3	34 m	89 %	76 %
		3	1	22 m	73 %	75 %

Quadro 5.18: Resultados finais da utilização do sistema por alguns usuários.

- Número de tentativas (N.T.), representa o número de vezes necessário de auto-avaliação para que o usuário seja considerado apto;

- Tempo gasto (T.G.), representa o tempo utilizado para ser aprovado no capítulo;
- Aproveitamento (Aprov.), percentagem da pontuação obtida no capítulo;
- Previsão futura (Prev. F.), estima a probabilidade do aluno ser considerado apto em capítulos posteriores.

Os resultados individuais dos alunos na simulação são apresentados nos gráficos a seguir:

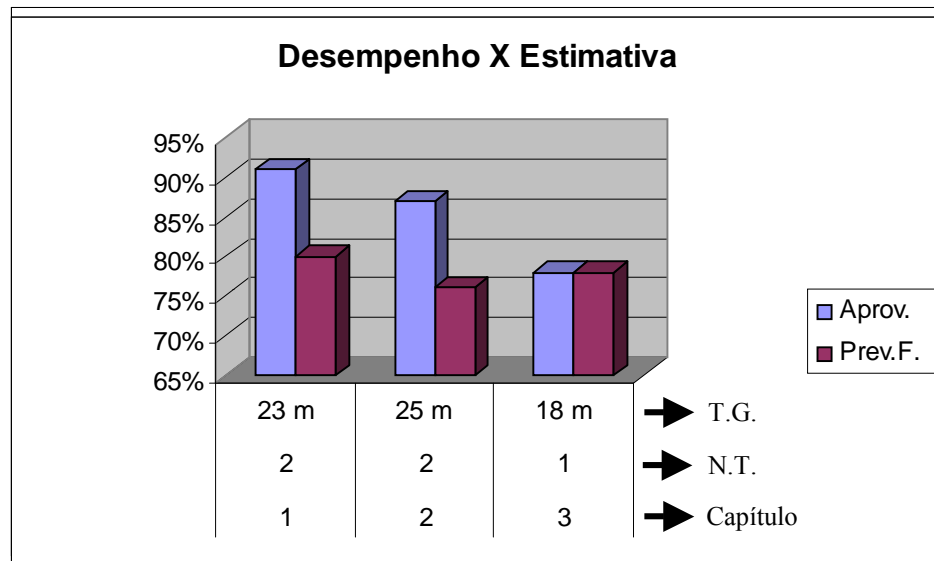
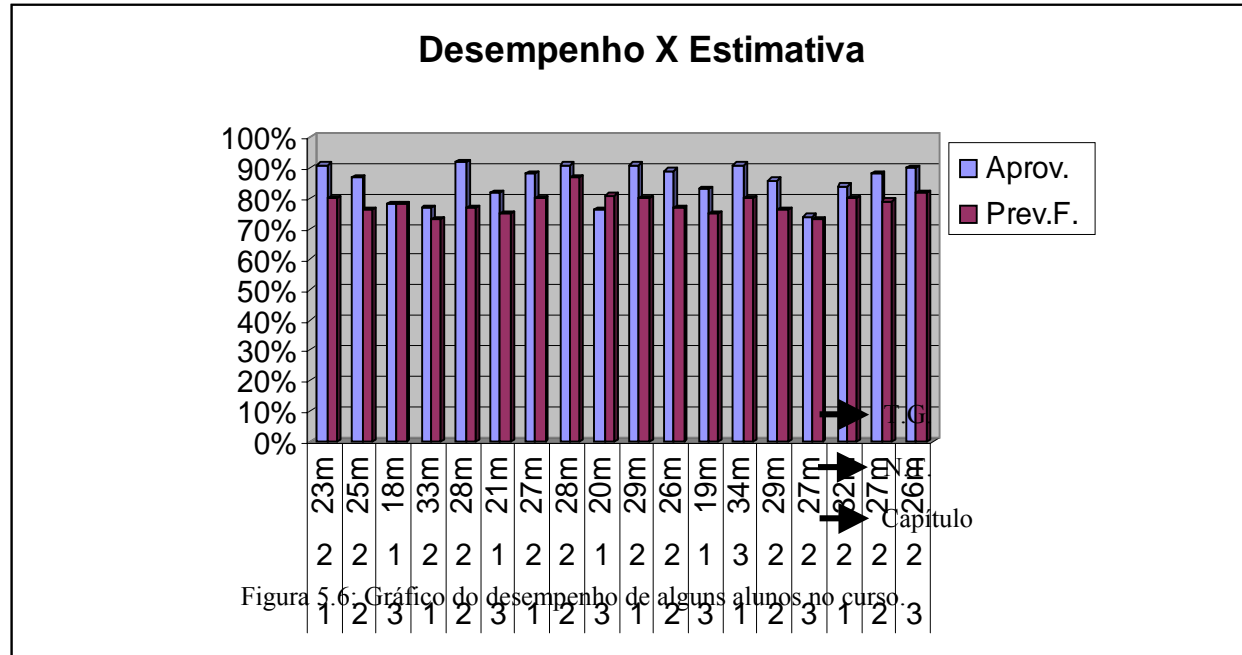


Figura 5.5: Gráfico do desempenho individual de um aluno no curso.



Esses dados podem ajudar o professor a fazer relações entre o número de vezes de auto-avaliação e tempo gasto com o aproveitamento observado, também há possibilidade de discriminar o tempo e aproveitamento entre os módulos (Conteúdo, Exercícios, Avaliação) do capítulo para uma melhor análise.

Uma das vantagens atribuída aos sistemas de ensino virtuais é a possibilidade do armazenamento de registros completos a respeito do comportamento dos usuários. Registros estes, que podem auxiliar o professor ou o próprio sistema numa análise mais detalhada sobre o desempenho do usuário em uma avaliação.

Alguns exemplos de dados possíveis de serem armazenados no SEI-Logístico e suas prováveis análises, além dos já comentados, serão listados logo abaixo:

- Acesso aos módulos Conteúdo e Exercícios, no qual pode ser armazenado o tempo de permanência e número de acessos, podendo assim fazer uma relação entre o tempo de estudo e a situação de aprovação;
- Número de auto-avaliação por capítulos, ou seja, armazena quantas vezes foi necessário o usuário se auto-avaliar para ser considerado apto no sistema, podendo assim identificar ou não o estudante como um “testador de hipóteses”;
- A matriz markoviana de transição de estados permite uma análise de todas as possibilidades entre acertos e erros, podendo estimar futuros

desempenhos. Por meio da análise da matriz de transição, um aluno pode ser considerado bom, no que se refere a acertos, no entanto pode ter um desempenho irregular.

6- CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas neste capítulo serão dispostas (repartidas) entre o funcionamento (desempenho) do algoritmo desenvolvido que utiliza em conjunto as redes probabilísticas de Bayes e Markov, e a classificação e contribuições do SEI-Logístico para o ensino.

6.1- Funcionamento do Algoritmo

O algoritmo é montado de forma que possa permitir o trabalho em conjunto de duas redes probabilísticas, onde:

1. A rede de Bayes é utilizada no modelo representando a forma (seqüência) tradicional de ensino expressa na apresentação do conteúdo, na resolução de exercícios e na aplicação de uma avaliação.
2. A rede de Markov acumula informações de desempenho, através da verificação da probabilidade de acertos e erros, criando uma matriz de transição de dois estados.

É possível identificar as funções das duas redes, sendo que a rede de Bayes atualiza as probabilidades de desempenho e a partir destas probabilidades atribui uma pontuação aos itens não acessados, utilizando alguma evidência observada, ao passo que a rede de Markov acumula informação de desempenho ao longo do tempo, identificando a regularidade do aluno.

Pode-se dizer que há internamente uma extrapolação do modelo estocástico clássico na sua forma de utilização, não dependendo dos acontecimentos (observações) em seqüência de tempo, que é a maneira tradicional utilizada em processos estocásticos, mas sim de observações no presente. Isto ocorre com os cálculos das probabilidades (inferência probabilística) de êxito no capítulo (tempo presente), dispostos nos módulos (Histórico, Conteúdo, Exercícios, Avaliação) da rede bayesiana segundo alguma evidência (desempenho) observada, ou seja, para cada variável (módulo)

que se conheça o valor, dá-se entrada deste valor em um nó como uma evidência. Efetua-se então a inferência probabilística encontrando crenças de desempenho para todos os outros módulos, no mesmo capítulo. Estas crenças de desempenho definem (atribuem) uma pontuação para os sub-itens dos módulos, servindo de base posteriormente para formação da matriz de transição markoviana.

A rede de Markov funciona da forma tradicional, acumulando informações (de capítulo em capítulo) sobre a regularidade do desempenho do aluno, montando uma matriz de transição de estado a cada período (capítulo concluído) que, com observações sucessivas (acúmulo da informação) ao longo do tempo, tem boas chances de se estabilizar, ou seja, descobrir a verdadeira regularidade do aluno entre acertos e erros. Esta característica de “aprender”, ao longo do tempo concede ao SEI-Logístico uma capacidade desejável a qualquer tutor humano, que é se tornar mais eficaz no julgamento do aprendizado do aluno com o passar do tempo.

O modelo desenvolvido teve a forte influência das pesquisas feitas por Smallwood, apresentadas na introdução do capítulo 2 deste texto. Pesquisas essas que abordam os conceitos básicos para o desenvolvimento de modelos para SEIs, tais como: as habilidades desejáveis para sistemas inteligentes em aprender com tempo (utilização do sistema); apresentação e representação do conteúdo em blocos, formando nós com algum tipo de relacionamento dispostos em rede; o trabalho com estruturas de decisão e avaliação baseados em estimativas de probabilidades, segundo alguma evidência; e, a forma de preparo do conteúdo apresentado e ordenados por conceitos.

O algoritmo implementado a partir do modelo apresentado mostrou-se confiável e sensível em relação às especificações do professor (ver capítulo 4.8), retratando a percepção da importância atribuída aos conteúdos na avaliação do desempenho dos participantes, isto é, há maiores chances do aluno ser aprovado quando obtêm êxito em conteúdos considerados mais relevantes pelo professor para a aprendizagem.

As características das redes probabilísticas, juntamente com a forma de utilização observada no modelo proposto, contemplam o principal objetivo da tese que é a análise dinâmica do aprendizado, permitindo ao professor caracterizar o seu curso a

sua maneira, à medida que impõe condições de desempenho e pesos para os conteúdos apresentados.

6.2- SEI-Logístico no Ensino

O SEI-logístico se encaixa na categoria de SEIs gerais, montado sobre uma estrutura que permite a inclusão de algumas áreas de ensino, bastando apenas o preparo do conteúdo com algumas especificações.

Sua modelagem matemática, baseada em redes probabilísticas, tem como principal área de atuação a avaliação (monitoramento) do desempenho do aluno em todos os estágios do aprendizado (acesso a conteúdo, respostas a exercícios e avaliação). A fácil utilização do sistema pelos participantes, mais a simplicidade de inserção e preparação de conteúdos pelos professores, facilitará uma ampla aplicação do mesmo, como um meio para o ensino em pesquisa, treinamento ou seleção de pessoal.

O sistema simula em parte a preocupação do aluno em sala de aula, já que ele deve estudar os conteúdos, entregar os exercícios e fazer uma avaliação (sem o auxílio dos conteúdos ou exercícios), podendo para tal:

- Interagir com o sistema via Internet;
- Pesquisar novos materiais durante o curso;
- Solicitar ao sistema sua avaliação em qualquer momento;
- Se avaliar com relação ao seu desempenho, fornecido pelo sistema.

Uma característica do sistema, importante para o ensino, é a não revelação ao usuário de qual módulo (Conteúdo, Exercícios, Avaliação) tem maior relevância na pontuação geral e, conseqüentemente induzir o aluno a empenhar-se igualmente em todos os conteúdos disponibilizados, em busca de bom desempenho.

O SEI-Logístico pode ganhar destaque, dentre os SEIs, por ser de simples utilização para professores e alunos, por disponibilizar meios e recursos organizados, criando condições favoráveis para assimilação do assunto em discussão, característicos em

sistemas de ensino. Pode-se, desta forma, identificar o sistema como método conceitual (aprendendo pela teoria) já que trabalha com a fixação de conceitos. Porém, o método de ensino pode variar segundo a forma de preparação do conteúdo, por exemplo, o sistema pode apresentar um estudo de caso fictício onde além da fixação de conceitos, pode simular uma realidade, possibilitando aos participantes aprender em uma situação prática, caracterizando assim o método simulado e prático de ensino.

6.3 - Considerações finais

O SEI-Logístico, como todos os sistemas de ensino inteligente, facilita a aprendizagem oferecendo mais uma alternativa de ensino diferente da convencional em sala de aula, “simula” a avaliação da aquisição do conhecimento não somente de uma forma taxativa em um único momento, mas levando em consideração o histórico de desempenho (capacidade de aprendizado), segundo uma medida de conhecimento mínima imposta pelo especialista da área abordada, para que o usuário possa ser aprovado.

Em relação a outros SEIs, já comentados na seção 2.5.1, o sistema possui algumas características desejáveis a um SEI, pois simula a função do professor no ensino convencional, na apresentação do conteúdo, avaliação e aprendizado dos alunos, e ainda: é de fácil utilização e disponível pela Internet; é um dos poucos atualmente que podem trabalhar com conteúdos (domínios) independentes; usa as redes probabilísticas de Bayes e Markov em seu modelo matemático; tem a característica de adquirir conhecimento sobre a regularidade do utilizador a cada etapa, estima possíveis desempenhos no presente e calcula uma probabilidade futura de êxito; e, em se tratando de características de ensino, o sistema monitora todo o processo de aprendizagem (acesso a conteúdos, respostas aos exercícios e avaliação) para considerar o aluno apto. O sistema disponibilizado via internet, possui mais uma característica importante, torna-se independente de tempo e espaço.

O sistema SEI-Logístico mostrou-se uma promissora ferramenta de apoio ao ensino, contribuindo para pesquisas na área de sistemas de ensino inteligentes. Assim, a presente tese contribui com a construção de mais um degrau na escada interminável edificada no edifício do saber e, espera-se que trabalhos futuros possam complementar e enriquecer o assunto abordado.

6.4 – Sugestões de pesquisa

É constante a busca por melhorias na educação e um desejo da maioria dos profissionais envolvidos. Este trabalho trouxe contribuições para o desenvolvimento de Sistemas de Ensino Inteligentes e propõe a continuidade das pesquisas nos seguintes aspectos:

- Estudos mais detalhados sobre formas ou seqüências (sugestões) de apresentação do curso (conteúdos);
- Capturar relações diversas entre um conjunto de variáveis (nós ou módulos de apresentação) consideradas relevantes;
- Discutir e fundamentar a estrutura de apresentação em uma ou mais tendências pedagógicas;
- Desenvolvimento de um modelo com atividades seqüenciais genéricas a critério do instrutor do curso;
- Criação de novos modelos utilizando outras ferramentas que possam simular ou representar as atitudes humanas.

6.5 Recomendações e limitações do trabalho

Assim, como não basta saber avaliar para se tornar um bom instrutor, também não basta o sistema, SEI-Logístico, somente interpretar as especificações do professor e o desempenho dos alunos para fazer um ensino virtual com qualidade. Já que este depende de alguns fatores que vai desde o preparo do conteúdo até a forma e seqüência de apresentação dos mesmos, na qual, a seqüência de apresentação pode estar relacionada segundo as deficiências apresentadas pelos alunos. Estes fatores, integrados a tantos outros, influenciam uma melhor habilidade no ensino, no qual, os SEIs podem ser voltados para além do proposto neste texto, ou seja, também direcionando o conteúdo segundo o desempenho do aluno.

Vale ressaltar que, por mais que a pretensão de quaisquer SEIs seja ensinar como um tutor real, este anseio ainda depende de pesquisas na área para tornar um SEI hábil o bastante na transferência satisfatória do conhecimento, contudo, o trabalho em conjunto, professor e sistema, atuando paralelamente podem se complementar tornando-se eficientes e eficazes.

7- BIBLIOGRAFIA

1. ABREU, B. L., JÚNIOR, C. R. da S., SOUZA, F. da F. *Sistema de Ensino Inteligente*. Disponível em: <http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2002e1/cientificos/SEI-SistemadeEnsinoInteligente.pdf>. Acessado em 5 de dez. 2002.
2. BALLOU, R. H. *Logística Empresarial*. São Paulo: Atlas, 1992.
3. BAYES, T., “An essay to towards solving a problem in the doctrine of chances”, Phil. Trans. 3:370-418. Reproduzido em dois artigos de Thomas Bayes, ed. W. E. Demping, New York:Hafner, 1963.
4. BEKMAN, Otto R., COSTA Neto, PEDRO Luiz O. *Análise estatística da decisão*. Editora Edgard Blucher Ltda, 1980.
5. BERNADETE, T. *Ambiente híbrido para a aprendizagem dos fundamentos de desenho técnico para as engenharias*. (Tese de doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção UFSC. Florianópolis 2002.
6. BINFARÉ Neto, José. *Um Modelo Markoviano de Decisão na Comercialização de Produtos Agrícolas - O Caso da Soja*. (Tese de doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção UFSC. Florianópolis, 1998.
7. BOLSAN W. & GIRAFFA L. *Estudo comparativo sobre Sistemas Tutores Inteligentes*, Technical Report Series, Number 024, July, 2002.
8. BROWN, J. S., BURTON, R. R., e BELL, A. G. (1975), SOPHIE: A Step Towards a Reactive Learning Environment, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, pag. 675-696.
9. BRUSILOVSKY, Peter. *Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. User Modeling and User-Adapted Interaction. Special issue on adaptive hypertext and hypermedia*. Dordrecht, v.6, n. 2-3, p. 87-129.
10. BURTON, R. R. e BROWN, J. S. (1979), An Investigation of computer coaching for informal learning activities, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 11, pp. 5-24.

11. CARBONELL, J. R. AI in CAI: *an artificial intelligence approach to computer assisted instruction*. IEEE Transactions on Man Machine Systems, v.11, n.4, p.190–202, 1970.
12. CASTILLO Enrique AT AL. *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas*, 1993.
13. CENTRO DE REFERENCIA EDUCACIONAL, *Vygotsky e a Educação*. Disponível em: <http://www.centrorefeducacional.pro.br/vygotsky.html>. Acesso em: 22 de nov. 2004.
14. CLANCEY, W.J. *Knowledge-Based Tutoring: The GUIDON Program*, The MIT Press, 1987.
15. CLARKE, A. Bruce e DISNEY. Ralph L. *Probabilidade e Processos Estocásticos*. Rio de Janeiro: LTC, 1979.
16. COLLAUD, Gerald, A hypertext environment for linear optimisation, *Institute of Computer Science, University of Fribourg* 1998.
17. DASKIN, M. S., 1995, *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*, Inc., New York.
18. DEDE, Cris., LEWIS, Matthew. *Assessment of emerging educational technologies that might assist and enhance school-to-work transitions*. 1995. <http://www.virtual.qmu.edu/pdf/ota.pdf/>.
19. GAMBOA, Hugo F. S. *Aprender a Aprender, Sistema Tutor Inteligente*, artigo Instituto Superior Técnico. Disponível em: <http://www.lx.it.pt/~afred/docencia/eb/workshop99/tutor/paper.doc>, acesso em: 28 de ago. 2004.
20. GOULART, Rodrigo R. V. & GIRAFFA, Lucia M. *Arquiteturas de sistemas tutores Inteligentes* June, 2001. <http://www.inf.pucrs.br/tr/tr011.pdf> acessado em sábado, 28 de agosto de 2004.
21. GOULART, Rodrigo R. V. *Arquiteturas De Sistemas Tutores Inteligentes*. Technical Report Series, Number 011 June, 2001.
22. HARB, J.N. *Teaching through the Cycle: application of learning style theory to engineering education at Brigham Young University*. Provo, Utah, Brigham Young University Press, 1991.

23. HOWARD, Ronald A. *Dynamic Probabilistic Systems - Markov models*. Stanford University, California, 1971.
24. HRUSCHKA, Jr.. *Propagação de Evidências em Redes Bayesianas – Diagnóstico de Doenças Pulmonares*. Dissertação de mestrado, UnB, 1997.
25. KUYVEN, Neiva L. *Proposta de modelagem da avaliação da aprendizagem em sistemas tutores inteligentes através da teoria das inteligências múltiplas*. Dissertação de mestrado, UFSC, 2003.
26. LAURITZEN, S. L. & SPIEGELHALTER, D. J. - “Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems. J. Royal Statist. Soc., B, 50(2):154-227, 1988.
27. NOVAES, Antonio Galvão. *Ensino a distância na Engenharia: Contornos e Perspectivas*. Gestão & Produção, 1994.
28. NOVAES, Antonio Galvão. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Rio de Janeiro: E. Campus, 2001.
29. NOVAES, Antonio Galvão. *Sistemas Logísticos: transportes, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo: E. Blucher, 1989.
30. ORLANDELI, Rogério. *Um Jogo de empresas envolvendo cadeia logística: Game F61(Um enfoque educacional)*. Dissertação de mestrado, UFSC, 2001.
31. PAUL L. Meyer. *Probabilidade e aplicações à estatística*. Editora LTC, Rio de Janeiro, 1991.
32. PEARL J., “Bayesian Network”, *MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, 1997.
33. PEREIRA, Márcia A; SILVA, Antônio N. e KURI, Nidia P. *Os Estilos de Aprendizagem e o Ensino de Engenharia de Transportes*. Artigo publicado em: Congresso da (ANPET) Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. Florianópolis, SC, 2004.
34. PORTARIA do MEC nº 2.253 de 18 de outubro de 2001. Disponível em: <http://www.mec.gov.br/Sesu/educdist.shtm>. Acessado em 15/08/2004.
35. POZZEBON, Eliane. *Tutor Inteligente Conforme as Preferências do Aprendiz*. Florianópolis, 2003. Dissertação (Departamento de Ciência da Computação) Coordenadoria de Pós graduação, UFSC.

36. RODRIGUES, Rosângela Schwarz. *Modelo de Avaliação para Cursos no Ensino a distância*. Florianópolis, SC, 1998. Dissertação (DEPS – Departamento de Engenharia de Produção).
37. RUSSEL, S.J.; Norvig, P., “*Artificial Intelligence – A Modern Approach*”, Prentice-Hall, 1995.
38. SCHREIBER, Jacques N. Corleta. *Análise do tempo de navegação na composição de Um Modelo para Hipermídia Adaptativa* Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Coordenadoria de Pós graduação, UFSC.
39. SCHREIBER, Jacques Nelson Corleta. *Um Modelo para Hipermídia Adaptativa utilizando Redes Bayesianas*. UFSC, Florianópolis, 2002. Artigo (DEPS – Departamento de Engenharia de Produção).
40. SIEMER, J. & ANGELIDES, M.C. *A Comprehensive Method For The Evaluation of Complete Intelligent Tutoring Systems*. Information Systems Department, London, 1998.
41. SILVA, Cassandra R. Oliveira. *Bases pedagógicas e ergonômicas para concepção e avaliação de produtos educacionais informatizados*. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Coordenadoria de Pós graduação, UFSC.
42. SKINNER, B. F., “*The Science of Learning and the Art of Teaching*”. Harvard Educational Review, 24, 86-97 (Spring 1954).
43. SMALLWOOD, Richard D. *A Decision Structure for Teaching Machines*. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, 1962.
44. SOUSA, Laura S.H. *O Uso da Internet como Ferramenta de Apoio ao Processo de Ensino-Aprendizagem da Engenharia de Transportes*. USP, São Carlos, 2001. Dissertação (Departamento de Transportes).
45. TEDESCO, P. R.; SOUZA, F.F. “*SEI - Sistema de Ensino Inteligente*”. Dissertação de Mestrado na Universidade Federal de Pernambuco, 1999.
46. WENGER, E. *Artificial intelligence and tutoring systems*. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers, INC, 1987. p.486.

47. WILEY, David A. *Learning Object Design And Sequencing Theory*, Department of Instructional Psychology and Technology, Brigham Young University, 2000.

48. ZACHARIAS, Vera L. Camara, *Piaget*. Centro de Referência Educacional Disponível em: <http://www.centrorefeducacional.pro.br/piaget.html>, Acesso em: 22 de nov. 2004.

APÊNDICE A - Manual do sistema SEI-LOGÍSTICO

O que é SEI-LOGÍSTICO

É um Sistema de Ensino Inteligente (SEI), elaborado na linguagem Java com ênfase na análise de resultados e disponibilizado via internet. O sistema utiliza redes probabilísticas para a avaliar o desempenho dos alunos, e é derivado de uma tese de doutorado em Engenharia de Produção, realizada na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Resumo

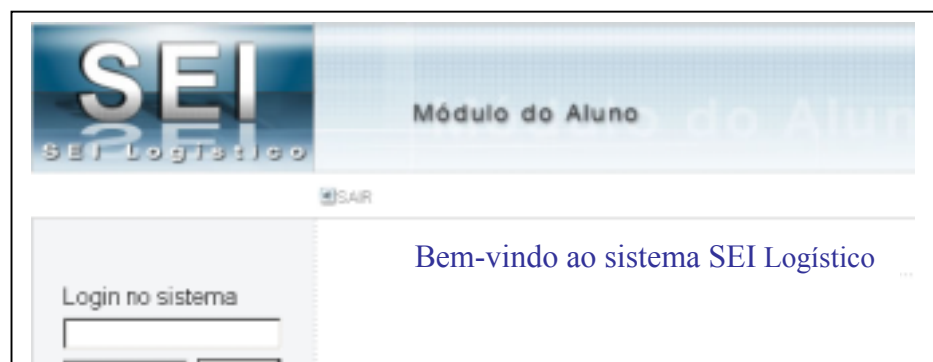
Este manual fornece orientações necessárias para a boa utilização do software, tanto para o usuário do SEI, quanto para o especialista da área a ser cadastrada (pessoa que insere o conteúdo do curso apresentado pelo sistema).

O sistema disponibiliza o acesso aos conteúdos, exercícios e avaliação em qualquer ordem, permitindo ao aluno avaliar-se no momento em que desejar, no entanto, o sistema só permitirá o acesso a novos capítulos quando a performance do aluno satisfazer condições impostas pelos especialistas, condições estas que serão calculadas pelo sistema conforme o desempenho do estudante.

O sistema tem restrição na forma de entrega de exercícios e avaliação, pois ao responder as questões e entregá-las o aluno não mais poderá alterar suas respostas ou mesmo verificar as questões, e caso não seja considerado apto no capítulo deverá refazer todas as questões da avaliação. O sistema também permite gerar relatórios de pontuação obtida, previsão futura de desempenho e o percentual de acerto a cada capítulo.

Dados operacionais de acesso ao sistema e suas páginas

Ao acessar a página (site onde está disponibilizado o SEI-Logístico), o usuário irá deparar-se com a tela de login (local onde o usuário entra com a senha e login previamente cadastrados, para ter acesso ao sistema).



Uma vez aceitos o login e senha, o aluno poderá visualizar a tela principal do sistema com o curso disponibilizado e seus capítulos dispostos no frame da esquerda, a cada capítulo acessado serão visualizadas no frame da direita as opções: conteúdo, exercícios e avaliação, disponíveis no respectivo capítulo. Também estará disponível um botão “Boletim”, que quando clicado fará a avaliação do aluno no capítulo (mostrando sua pontuação obtida, percentual de acerto, e sua previsão futura de desempenho), com a restrição de que, se o aluno não for considerado aprovado terá que refazer tudo que porventura tenha feito, podendo ficar assim prejudicada sua nota final.



On click sobre o botão “Boletim”

A opção “CONTEÚDO” fornece a possibilidade de leitura do conteúdo, (através da abertura de um arquivo texto, na própria página) do respectivo capítulo, que é repartido em sub-capítulos, uma possível pontuação somente é assumida (atribuída para o usuário) se o acesso estiver compreendido dentro de uma janela de tempo.



As opções “EXERCÍCIOS” e “AVALIAÇÃO” fornecem a possibilidade de respostas às questões, enquanto respondem os exercícios propostos os alunos podem consultar o conteúdo, entretanto na avaliação não são permitidas consultas. Nas duas opções os alunos terão que fazer a entrega das respostas clicando no respectivo botão. Depois da entrega ser efetuada o aluno não mais terá acesso ao questionário, a não ser que ele seja reprovado pelo sistema no capítulo. Após a entrega ser efetuada o aluno não mais terá acesso ao questionário, só restando ao aluno avaliar-se clicando no respectivo botão, tendo acesso a seguinte tela:



Figura 1: Tela de avaliação

Onde o aluno pode verificar:

- Sua situação de aprovação;
- A pontuação máxima alcançada;
- Seus pontos obtidos;
- A previsão futura de desempenho em próximos capítulos.

APÊNDICE B - CONTEÚDO DO CURSO CANAL DE DISTRIBUIÇÃO

O conteúdo do curso disponibilizado é retirado do livro intitulado “LOGÍSTICA e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição” NOVAES (2001), capítulo 4.¹

No capítulo 1, chamado Canais de Distribuição, os módulos possuem as seguintes configurações:

O módulo Conteúdo contém os seguintes itens (Sub-capítulos):

Item 1- Apresenta a conceituação entre Canais de Distribuição e Distribuição física de produtos, contendo o seguinte texto:

CONCEITUAÇÃO

O processo de abastecer a manufatura com matéria-prima e componentes é denominado de *inbound logistics* na literatura internacional ou, mais freqüentemente no Brasil, de *logística de suprimento*. É uma parte importante da Logística, por seu cunho estratégico e a grande importância econômica a ela associada pelos governantes e pelas empresas quando da instalação de novas unidades industriais. Para as atividades de varejo, no entanto, é o segmento da Logística que desloca os produtos acabados desde a manufatura até o consumidor final, denominado de *distribuição*, que assume importância mais imediata. No entanto, a distribuição de produtos é analisada sob diferente perspectiva funcional pelos técnicos de logística e pelo pessoal de marketing e de vendas.

Os especialistas em Logística denominam de *distribuição física de produtos*, ou resumidamente *distribuição física*, os processos operacionais e de controle que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor. Em geral, esse ponto final da distribuição física é a loja de varejo, mas há diversos casos de entrega do produto na casa do consumidor, situação essa observada principalmente com produtos pesados e/ou volumosos. Assim, os responsáveis pela distribuição física operam elementos específicos, de natureza predominantemente material: depósitos, veículos de transporte, estoques, equipamentos de carga e descarga, entre outros.

Já o pessoal de marketing e de vendas encara a cadeia de suprimento focalizando mais os aspectos ligados à comercialização dos produtos e aos serviços a ela associados. A maior parte dos produtos comercializados no varejo chega às mãos dos consumidores através de intermediários: o fabricante ou montadora, que produz o objeto, o atacadista ou distribuidor, o

¹ Reprodução autorizada pelo autor, com finalidade exclusivamente de ilustração na presente Tese.

varejista, e eventualmente outros intermediários. Sob esse enfoque, os elementos que formam a cadeia de suprimento, na parte que vai da manufatura ao varejo, formam o *canal de distribuição*. Por exemplo, o canal de distribuição de um determinado produto pode envolver os seguintes setores:

- Departamento de vendas do fabricante
- Atacadista
- Varejo
- Serviços pós-vendas (montagens, assistência técnica)

Uma determinada cadeia de suprimento é constituída por **canais de distribuição** que, segundo Stern *et al* (1996), constituem

conjuntos de organizações interdependentes envolvidas no processo de tornar o produto ou serviço disponível para uso ou consumo.

Há um certo paralelismo e uma correlação estreita entre as atividades que constituem a distribuição física de produtos e os canais de distribuição, conforme pode ser visto na Fig. 4.1. Em função da estratégia competitiva adotada pela empresa, é escolhido um esquema de distribuição específico. As atividades logísticas relacionadas à distribuição física são então definidas a partir da estrutura planejada para os canais de distribuição. A definição do canal (ou canais) de distribuição, com os serviços a ele associados, não prescinde, por outro lado, de uma análise criteriosa de suas implicações sobre as operações logísticas. Algumas vezes, as soluções imaginadas no papel podem se revelar muito onerosas na prática. Assim, como quase tudo em Logística, é necessário adotar um enfoque sistêmico na definição dos canais de distribuição e na estruturação da distribuição física decorrente. Outro aspecto importante a considerar é que os canais de distribuição selecionados por uma empresa são de difícil alteração, mantendo-se fixos por muito tempo, pois envolvem outras empresas, agentes, acordos comerciais, etc.



Fig. 1 - Paralelismo entre canais de distribuição e distribuição

Uma vez definidos os canais de distribuição, podem-se identificar os deslocamentos físico-espaciais que os produtos serão submetidos, detalhando-se, a partir dessa análise, a rede logística e o sistema de distribuição física decorrentes. A rede logística é composta pelos armazéns, centros de distribuição, estoque de mercadorias, meios de transportes utilizados, e a estrutura de serviços complementares. Pela ordem, iniciaremos nossa análise pelos canais de distribuição e, no capítulo seguinte, abordaremos as questões ligadas à distribuição física.

Item 2- Apresenta a Evolução das Formas de Distribuição dos Canais de Distribuição, contendo o seguinte texto:

Evolução das Formas de Distribuição

Porque existem intermediários no processo de comercialização de produtos? Os grandes varejistas, por exemplo, poderiam fabricar eles mesmos os produtos que comercializam. Mas na prática, oferecem aos consumidores uma gama razoavelmente ampla de mercadorias. Dedicar-se à fabricação de uma variedade de produtos, numa situação dessas, implicaria em aportes excepcionais de recursos financeiros, além de forçar a empresa a atuar fora de seu *core competence*. Uma forma intermediária utilizada por grandes varejistas para penetrar, ainda que marginalmente, no setor da manufatura, é encomendar a fabricação de produtos com marcas e especificações próprias. Por exemplo, a empresa Marks and Spencer, tradicional varejista da Grã Bretanha, comercializa roupas com sua marca St. Michael, as quais são produzidas por fabricantes selecionados, dentro de especificações rígidas, por ela definidas.

A situação inversa, com a manufatura se incumbindo de todas as funções do canal, inclusive as vendas no varejo, também não é economicamente produtiva. Isso porque, para atingir um volume de vendas que justificasse as instalações e as equipes na ponta do varejo, a empresa seria eventualmente forçada a comercializar produtos de seus concorrentes. Uma loja de eletrodomésticos, por exemplo, oferece televisores de diversos tipos e de diversas marcas. Provavelmente, não seria a situação desejada por qualquer indústria. Se fosse forçada a tanto, uma indústria talvez acabasse

optando por lojas de menores dimensões, oferecendo somente seus produtos, o que não seria economicamente viável e não atenderia aos interesses dos consumidores.

Por trás dessa especialização está o ganho de eficiência que a empresa pode obter através da concentração no seu *core competence*. Cada tipo de negócio pode obter um retorno maior quando concentra seus investimentos no seu ramo principal de atividades. Assim, a utilização de intermediários na cadeia de suprimento se justifica por sua maior eficiência na colocação dos produtos no mercado. Considerando a cadeia de valor, um canal de distribuição pouco eficiente seria logo substituído por outro mais produtivo. É o que se vem observando hoje, mercê da evolução da tecnologia da informação.

A forma como as empresas estruturam seus canais de distribuição tem se alterado substancialmente nas últimas décadas, fruto do ambiente cada vez mais competitivo, da maior atenção dirigida ao consumidor final, do uso crescente da tecnologia da informação, da maior diversificação da demanda e da distribuição física mais ágil e mais confiável. Questões de natureza estratégica, derivadas da dinâmica crescente observada no ambiente de negócios, passaram a preocupar os executivos. Por exemplo, é possível utilizar os canais para criar barreiras à entrada de concorrentes? Até que ponto certos canais favorecem uma maior intimidade com os consumidores, em contraposição a outras formas de distribuição? Com que intensidade os canais utilizados conseguem amortecer as incertezas da demanda no processo de suprimento da empresa?

No processo de distribuição dos produtos desde a fábrica que o produz, até o consumidor final na cadeia de suprimento, podem ocorrer situações diversas, formando canais típicos de comercialização. As principais situações são as seguintes:

- O fabricante abastece diretamente as lojas de varejo;
- O fabricante abastece seus próprios depósitos ou centros de distribuição e, a partir desses pontos, abastece as lojas de varejo;
- O fabricante abastece os centros de distribuição do varejista que, por sua vez, abastece as lojas;
- O fabricante abastece os depósitos do atacadista ou distribuidor que, por sua vez, abastece as lojas;
- O fabricante distribui seus produtos para o centro de distribuição de um operador logístico, que posteriormente faz as entregas às lojas de varejo;

consumidor final,

- O fabricante entrega o produto diretamente no domicílio do consumidor final, utilizando o correio ou serviço de *courier* (vendas pela Internet, telefone ou fax; vendas por meio de catálogo e outras);

Item 3- Apresenta os objetivos e Funções dos Canais de Distribuição, contendo o seguinte texto:

Objetivos e Funções dos Canais de Distribuição

A definição mais detalhada dos objetivos dos canais de distribuição depende essencialmente de cada empresa, da forma com que ela compete no mercado e da estrutura geral da cadeia de suprimento. No entanto, é possível identificar alguns fatores gerais, que estão presentes na maioria dos casos. São eles:

- ⇒ Garantir a rápida disponibilidade do produto nos segmentos do mercado identificados como prioritários. Mais especificamente, é importante que o produto esteja disponível para venda nos estabelecimentos varejistas do tipo certo. E uma vez identificados os tipos de varejo adequados para o produto, garantir que o sistema de distribuição física mais apropriado seja selecionado para se atingir esse objetivo;
- ⇒ Intensificar ao máximo o potencial de vendas do produto em questão. Por exemplo, buscar as parcerias entre fabricante e varejista que permitam a exposição mais adequada do produto nas lojas. Definir quem fará o arranjo da mercadoria nas lojas (fabricante ou varejista). Prever, se necessário, equipes para demonstração *in loco*. Analisar a necessidade de promoções especiais do produto, etc.
- ⇒ Buscar a cooperação entre os participantes da cadeia de suprimento no que se refere aos fatores relevantes relacionados com a distribuição. Por exemplo, definir lotes mínimos dos pedidos, uso ou não de paletização ou de tipos especiais de acondicionamento e embalagem, condições de descarga (tempos de espera, tamanho dos veículos, equipamentos), restrições de tempo nas entregas (períodos para recebimento dos produtos, restrições diversas).
- ⇒ Garantir um nível de serviço preestabelecido pelos parceiros da cadeia de suprimento;
- ⇒ Garantir um fluxo de informações rápido e preciso entre os elementos participantes;
- ⇒ Buscar, de forma integrada e permanente, a redução de custos, atuando não isoladamente, mas em uníssono, analisando a cadeia de valor no seu todo, conforme visto no Capítulo 2.

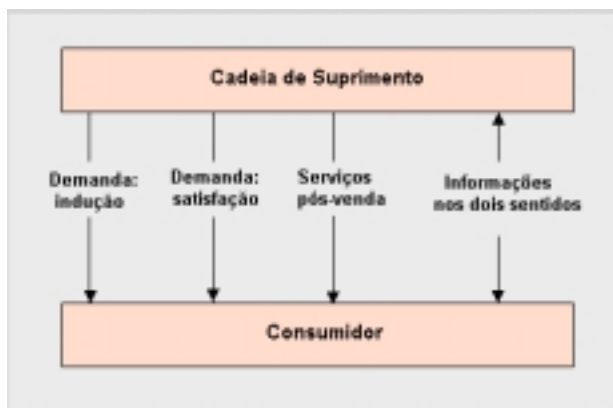


Fig. 2 - Funções dos Canais de Distribuição

Dentro da moderna visão do *Supply Chain Management*, os canais de distribuição desempenham quatro funções básicas (Fig. 4.2): **indução da demanda, satisfação da demanda, serviços de pós-venda e troca de informações** (Dolan, 1999). Em primeiro lugar, as empresas da cadeia de suprimento precisam gerar ou induzir a demanda para seus produtos ou serviços. Em seguida, comercializam esses produtos/serviços, satisfazendo a demanda. Os serviços de pós-venda vêm em seguida. Finalmente, o canal possibilita a troca de informações ao longo da cadeia, incluindo os consumidores que fornecem um *feedback* valioso para os fabricantes e varejistas da cadeia.

O módulo Exercício contém os seguintes itens (Questões)

Item 1-

Assinale a alternativa errada.

O processo de abastecer a manufatura com matéria-prima e componentes é denominado:

1. de *inbound logistics* na literatura internacional;
2. de *logística de suprimento*, no Brasil;
3. de marketing e venda de produtos;
4. de distribuição, para as atividades de varejo.

Resp:- 3.

Item 2-

Assinale a alternativa correta. Os especialistas em Logística denominam de *distribuição física de produtos*, ou resumidamente *distribuição física* os:

- a- Processos operacionais e de controle que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor.
- b- Processos distribuição física da loja de varejo até o consumidor final;
- c- Processos da compra de matéria-prima, pelas fabricas, até a mercadorias finalmente entregue ao consumidor.
- d- Processos de utilização de depósitos, veículos de transporte, estoques, equipamentos de carga e descarga, entre outros.

Resp:- a:

Item 3-

Quais das seguintes afirmações não é verdadeira?

- a- Uma determinada cadeia de suprimento é constituída pelas distribuições de produtos.
- b- Canais de distribuição constituem conjuntos de organizações interdependentes envolvidas no processo de tornar o produto ou serviço disponível para uso ou consumo.
- c- Há um certo paralelismo e uma correlação estreita entre as atividades que constituem a distribuição física de produtos e os canais de distribuição;
- d- Em função da estratégia competitiva adotada pela empresa, é escolhido um esquema de distribuição específico;
- e- As atividades logísticas relacionadas à distribuição física são então definidas a partir da estrutura planejada para os canais de distribuição.

Resp:- a

Item 4-

Assinale o item incorreto. Os canais de distribuição tem sido alterados substancialmente nas últimas décadas pelas empresas, devido:

- a- Ao ambiente cada vez mais competitivo;
- b- A maior atenção dirigida ao consumidor final;
- c- Ao uso crescente da tecnologia da informação;
- d- Pouca diversificação da demanda e da distribuição física mais ágil e mais confiável;
- e- Questões de natureza estratégica, derivadas da dinâmica crescente observada no ambiente de negócios, passaram a preocupar os executivos.

Resp:- d

Item 5-

Assinale a opção que não caracteriza um objetivo ou função do canal de distribuição.

- a-Garantir a rápida disponibilidade do produto nos segmentos do mercado identificados como prioritários;
- b-Intensificar ao máximo o potencial de vendas do produto em questão;
- c- Buscar a cooperação entre os participantes da cadeia de suprimento no que se refere aos fatores relevantes relacionados com a distribuição;
- d-Garantir um nível de serviço preestabelecido pelos parceiros da cadeia de suprimento;
- e-Garantir um fluxo de informações rápido e preciso entre os elementos participantes;
- f- Buscar, de forma independente e permanente, a redução de custos, atuando não isoladamente analisando a cadeia de valor no seu todo.

Resp:- f

O módulo Avaliação contém os seguintes itens (Questões).

Item 1-

Assinale a alternativa correta. Uma parte importante da Logística, por seu cunho estratégico, e a grande importância econômica a ela associada pelos governantes e pelas empresas quando da instalação de novas unidades industriais é:

- a-Logística de suprimentos;
- b-Marketing e venda de produtos;
- c-Comercialização pelos varejistas e pela internet.

Resp:- a

Item 2-

Qual item (setores) não faz parte do canal de distribuição de um determinado produto?

- a- Departamento de vendas do fabricante.
- b- Departamento de marketing.
- c- Atacadista.
- d- Varejo.
- e- Serviços pós-vendas (montagens, assistência técnica).

Resp:- b

Item 3-

Qual da afirmação não se refere a *core competence*.

- a- Os grandes varejistas poderiam fabricar, eles mesmos, os produtos que comercializam;
- b- Por trás da especialização está o ganho de eficiência que a empresa pode obter;

c- Cada tipo de negócio pode obter um retorno maior quando concentra seus investimentos no seu ramo principal de atividades.

Resp:-c

Item 4-

As funções básicas dos canais de distribuição, indução da demanda, satisfação da demanda, serviços de pós-venda e troca de informações se encaixam em:

- a-Uma visão atual do gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- b-Uma visão recente do gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- c-Uma visão moderna do gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Resp:- c

No capítulo 2, chamado “Tipo de Canais” os módulos possuem as seguintes configurações:

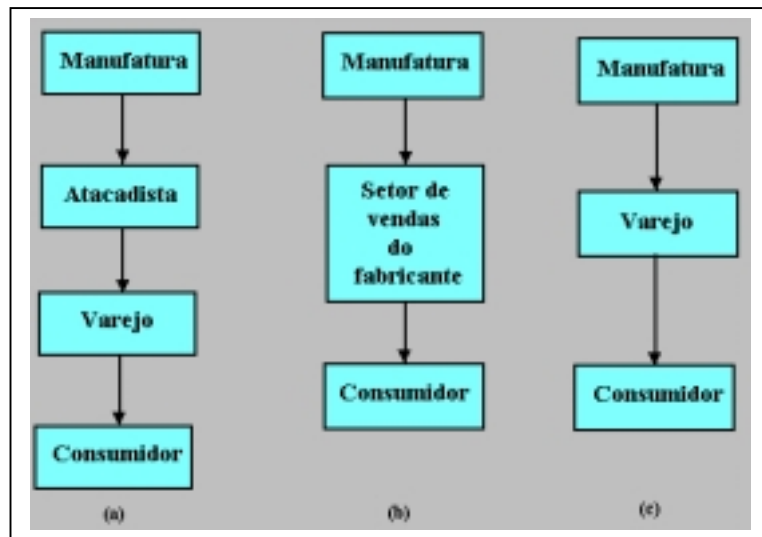
Item 1- Canais Verticais

Os canais de distribuição eram tradicionalmente vistos, numa primeira fase, como estruturas mercadológicas verticais, onde a responsabilidade ia sendo transferida de um segmento da cadeia de suprimento para a seguinte, como um bastão é passado numa corrida de revezamento. A Figura 4.3a mostra esse tipo de distribuição. O fabricante envia um caminhão carregado com seu produto (lotação completa) ao armazém do atacadista, onde a carga é desconsolidada. O atacadista vende o produto a diversos varejistas. O varejista estoca a mercadoria nas lojas, e a vende ao consumidor final. Serviços pós-venda (instalação, atendimento a reclamações, informações sobre uso, etc.) são realizados diretamente pelo varejista quando solicitados pelos clientes finais. Em termos logísticos, essa forma de estrutura do canal de distribuição se insere dentro da Fase 1, conforme discutido no Capítulo 2. Os estoques nos diversos segmentos do processo, conforme vimos, exerce a função de pulmão (*buffer*). Nesse tipo de estrutura vertical, os demais elementos da cadeia de suprimento, além do varejista, desempenham papéis de apoio, atuando nos bastidores do processo. O atacadista desconsolidava lotes completos, de vários fabricantes, e vende os produtos em pequenos lotes, aos varejistas. No entanto, o atacadista e o fabricante não têm acesso direto ao consumidor. É o varejista que interpreta as preferências do consumidor, as tendências da demanda, as necessidades de serviços pós-venda, etc. Mesmo considerando outras formas de distribuição, como as representadas nas Figuras 4.3b e 4.3c, a satisfação das necessidades do cliente é sempre feita, nesse tipo de distribuição, pelo último elemento da cadeia de suprimento, aquele que atende diretamente o consumidor.

Um consumidor que compra diretamente do varejista (Figura 4.3a) poderia ter preferido obter informações técnicas diretamente do fabricante, em

razão, digamos, da maior sofisticação tecnológica do produto adquirido. Mas, na distribuição vertical, é o varejista o elemento encarregado dessa função. Muitas vezes, essa atribuição de fornecer informações técnicas aos consumidores, é deixada por conta dos vendedores das lojas. Esses, nem sempre conseguem absorvê-las na sua plenitude, em razão da crescente complexidade e variedade dos produtos. Como resultado, não conseguem transmitir o que lhes é solicitado pelos clientes em muitos casos.

Fig. 4.3 - (a) Canal único no pequeno varejo; (b) canal único, tipo "Avon";



Essas restrições puderam ser contornadas com a revolução tecnológica e informacional da década de 90. Basicamente, e como resultado desses avanços, a manufatura e a distribuição de produtos mudaram radicalmente nessa década. Partindo da Fase 1 da Logística, passando pelas fases intermediárias, atingimos finalmente a Fase 4, correspondente ao moderno Supply Chain Management, conforme discutido no Capítulo 2. Serviços sofisticados de distribuição de carga fracionada, como os da FedEx e UPS nos Estados Unidos, que se apoiam em sistemas de computação avançados, possibilitam às empresas despachar pedidos pequenos com prazos de entrega muito reduzidos. Com isso, os consumidores podem adquirir produtos diretamente dos fabricantes ou distribuidores, sem serem penalizados com prazos e burocracia excessivos. A manufatura flexível, por outro lado, permite aos fornecedores fabricar seus produtos em lotes bem menores do que antes, com custos quase iguais aos da produção em grandes lotes.

Os papéis de alguns intermediários na cadeia de suprimento, incluindo principalmente o atacadista e o distribuidor, estão sendo revistos. Em muitos

tipos de comércio, a participação desses intermediários está ameaçada. Novas formas de canais diretos estão surgindo. Os canais indiretos, por sua vez, estão se tornando mais curtos (menor número de intermediários). Todas essas mudanças visam obter maior valor final para o consumidor, tirando partido das mudanças tecnológicas e de mercado observadas atualmente.

O que mudou efetivamente foi a forma de enfocar o problema da distribuição. Em lugar de resolver a questão procurando escolher os intermediários da cadeia de suprimento para se chegar ao consumidor final, agora se procede no sentido inverso. Parte-se do consumidor final, analisando-se suas necessidades e preferências, bem como as vantagens oferecidas a ele pela concorrência, e se vai atrás da melhor estrutura de distribuição que possa atendê-lo satisfatoriamente. Ou seja, parte-se do consumidor e não do fornecedor, e o foco da análise se concentra nas funções do canal de distribuição e não nos intermediários em si. A escolha do canal não é realizada ao fim do processo de planejamento da empresa, mas deve ser formulada como uma parte integrante de sua estratégia competitiva geral. Discutiremos, a seguir, as tendências mais importantes observadas hoje na estruturação dos canais de distribuição.

Item 2- Canais Híbridos

Neste tipo de estrutura, uma parte das funções ao longo do canal é executada em paralelo por dois ou mais elementos da cadeia de suprimento, quebrando o esquema vertical rígido descrito anteriormente. Por exemplo, a divisão Vacutainer, da indústria norte-americana Becton-Dickinson, fabricante de agulhas para coletar sangue, seringas e acessórios, negocia a venda de seus produtos diretamente com os setores de compras dos grandes hospitais. Quando a transação é consumada, a indústria entrega ao hospital uma lista de seus distribuidores autorizados. O distribuidor escolhido se encarrega, por sua vez, da distribuição física dos produtos adquiridos, formalização dos pedidos, armazenagem, e entrega dos lotes ao hospital nos tempos certos e nas quantidades desejadas. O fabricante, que dispõe dos especialistas com o *know how* sobre o uso dos produtos comercializados, se encarrega dos serviços pós-venda. A estrutura do canal de distribuição é a indicada na Figura 4.4.

Quais as razões para esse tipo de canal híbrido? De um lado, a Becton-Dickinson valoriza o contato direto com os grandes consumidores de seus produtos, não somente por razões mercadológicas, mas também para melhoria de sua linha de produtos e desenvolvimento de novos itens. Para os grandes hospitais, a aquisição de lotes maiores lhes traz descontos expressivos, que não conseguiriam se comprassem através dos distribuidores. A utilização de distribuidores por parte da Becton-Dickson é vantajosa, pois esses atendem um grande elenco de fornecedores e conseguem oferecer assim serviços logísticos com mais eficiência e com menores custos.

A adoção de um canal híbrido traz consigo o problema da compensação financeira aos elementos da cadeia de suprimento que realizam novas funções. Agora, o elemento da cadeia de suprimento que tem relacionamento direto com o cliente não é mais responsável por executar

todas as funções do canal. Então, torna-se necessário realizar uma compensação monetária entre os elementos da cadeia, o que obriga as partes a uma grande transparência na troca de informações e maior precisão no cálculo dos custos envolvidos. Além disso, é necessário definir esquemas de parcerias bem estruturados, com compromissos de médio e longo prazo e objetivos claros.

Um dos problemas encontrados em canais híbridos do tipo descrito, é a duplicidade de atuação de alguns dos elementos da cadeia de suprimento. Por exemplo, no caso da empresa Becton-Dickison, os distribuidores trabalham também para outros canais concorrentes. Suponhamos que o distribuidor em questão execute suas funções de forma integral para o fabricante B (Figura 4.5), isto é, trabalhe nesse canal dentro de uma estrutura tipicamente vertical. Para o fabricante A, no entanto, a estrutura adotada é híbrida, na forma descrita anteriormente. Nesse esquema é provável que a margem do distribuidor seja maior no canal B, em razão do maior número de funções que desempenha. Além disso, como as vendas dos produtos fabricados por B dependem exclusivamente do distribuidor, ele tenderia a dar mais atenção ao canal B e, com o tempo, forçaria uma margem maior em A, colocando em risco toda a estratégia global de gerenciamento da cadeia de suprimento implantada no canal A. Na prática, a adoção de um canal híbrido de distribuição exige uma forte liderança de um dos participantes da cadeia de suprimento. Algumas vezes é o fabricante que exerce essa liderança, mas hoje se observa uma tendência crescente do varejo assumir esse papel em alguns setores importantes da Economia.

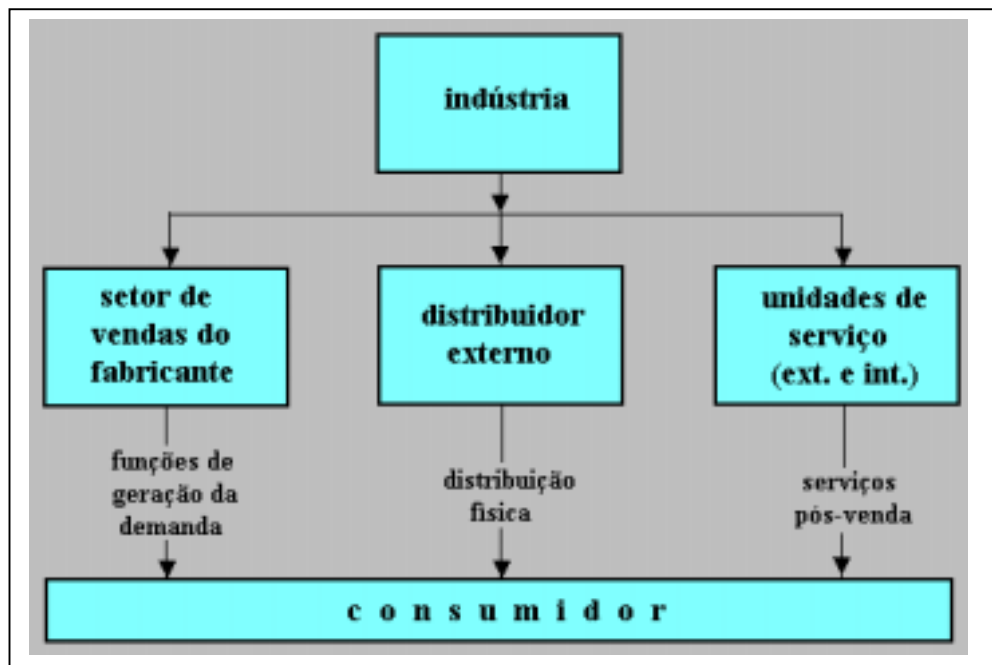


Fig. 4.4 - Canal híbrido

Algumas vezes um dos elementos da cadeia de suprimento assume parte das funções sem provocar alterações significativas na estrutura do canal. Por exemplo, a empresa sueca SKF, que produz rolamentos, oferece um catálogo computadorizado denominado CADalogue, onde os possíveis consumidores encontram recomendações sobre as dimensões adequadas para emprego de seus mancais esféricos (Dubois e Gadde, 1997). Esse sistema sugere um tipo específico de rolamento a partir das especificações de uso fornecidas pelo consumidor. Outras indústrias oferecem informações similares em CD-rom ou disquetes. Isso acontece porque as informações técnicas sobre os produtos se tornaram muito complexas e voláteis² para que possam ser satisfatoriamente transmitidas pelos distribuidores ou varejistas. Quanto melhor for atendido o consumidor, maior o valor agregado na cadeia de suprimento. Assim, o fabricante não elimina o apoio dado ao cliente pelos demais elementos do canal de distribuição; ele apenas agrega mais valor à cadeia de suprimento.

Item 3- Canais Múltiplos

Canais Múltiplos

Uma outra forma de melhorar o desempenho no gerenciamento da cadeia de suprimento é utilizar mais de um canal de distribuição. Isso ocorre em função da diversidade de tipos de consumidor. Por exemplo, o comprador em potencial de um microcomputador pode adquiri-lo por telefone ou pela Internet, a partir de uma lista publicada numa revista de informática, ou poderá se dirigir a uma loja especializada, que lhe pedirá um preço um pouco mais alto, mas onde poderá conseguir informações mais detalhadas e atendimento personalizado. Assim, o consumidor que já tem um conhecimento mais aprofundado do produto, de seus possíveis usos e eventuais problemas, sendo ao mesmo tempo mais sensível ao preço, poderá ser atraído a fazer sua compra através da lista. Já o outro comprador, que não acompanha de perto as evoluções tecnológicas dos produtos de computação, pode necessitar de um maior volume de informações para escolha da marca, do tipo e da versão da mercadoria procurada.

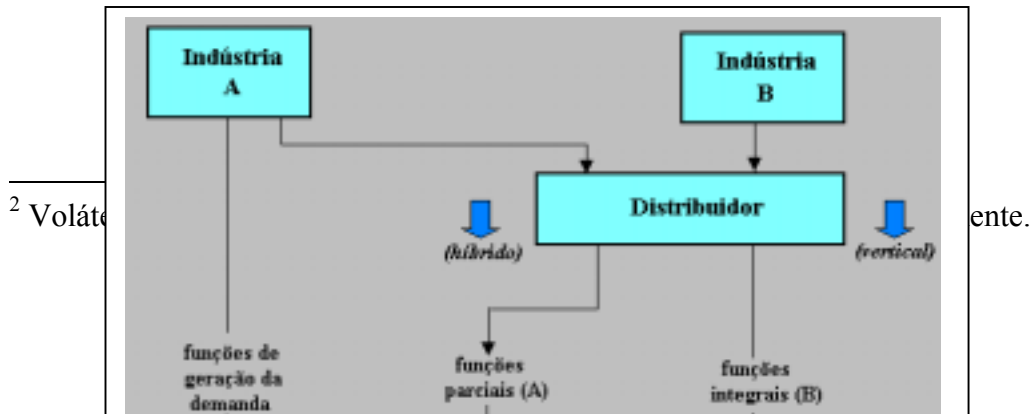


Fig. 4.5 - Conflitos de atuação em canais híbridos

Esse tipo de estruturação dos canais de distribuição melhora as condições globais de competitividade da cadeia, mas não é isento de problemas. A grande incógnita é a área cinzenta do mercado consumidor que fica entre os dois tipos de cliente. Enquanto o preço cobrado na loja especializada não for exagerado, representando adequadamente o valor atribuído pelo consumidor aos serviços por ela oferecidos, não haverá problemas. Mas pode acontecer, e acontece freqüentemente, que o comprador em potencial procure a loja e obtenha todas as informações de que necessita. Posteriormente, já sabendo o que deseja, faz seu pedido através do telefone ou da Internet, conseguindo um preço mais em conta. Uma forma de contornar esse tipo de problema, garantindo até certo ponto a fidelidade do cliente, mas que é válido apenas para alguns tipos de produto (computadores principalmente), é a possibilidade de atualização do equipamento (*upgrade*) após certo tempo de uso. Comprando num estabelecimento especializado, o comerciante pode garantir a troca ao cliente, ou lhe dar serviços de montagem e manutenção grátis, sempre que o consumidor necessitar. Ou seja, o varejista pode criar uma ligação mais estável e mais duradoura entre seu estabelecimento e o consumidor.

Há também casos em que o elemento de um dos canais penetra no outro canal, prejudicando o conjunto. Admitamos que um dos canais seja direcionado para grandes consumidores, que adquirem quantidades maiores, a preços unitários mais reduzidos. Os clientes desse canal compram normalmente um produto mais sofisticado P1 e, ocasionalmente, um número menor de unidades de um produto P2 para alguns setores da empresa. O distribuidor A é encarregado de atender com exclusividade esse mercado (Figura 4.6). O distribuidor B, por outro lado, se dedica a atender pequenos consumidores, vendendo somente produtos do tipo P2. Se o produto P1

apresentar maior complexidade tecnológica e de operação em relação ao produto P2, é de se esperar que o distribuidor A obtenha uma margem relativamente mais atrativa ao vender o produto P1, que representa sua linha mercadológica principal. Mas nesse caso, como as despesas indiretas já estão praticamente cobertas pela linha P1, o distribuidor A poderá reduzir o preço do produto P2, criando um conflito com o distribuidor B. Isso porque clientes de B tentarão adquirir o produto P2 dessa fonte, a preço mais vantajoso. Os grandes clientes de A, por sua vez, ficariam presos a esse distribuidor, porque a empresa B não pode vender o produto P1. Esse tipo de conflito surge quando há a combinação de dois fatores: mercados com fronteiras mal definidas associados a diferenciação de preços. Uma forma que pode ser utilizada para administrar esse tipo de conflito em canais múltiplos é demarcar nitidamente os produtos e modelos para serem comercializados em cada canal. No caso discutido acima, o produto P2 poderia ser alocado tão somente ao canal B, separando os produtos por canal.

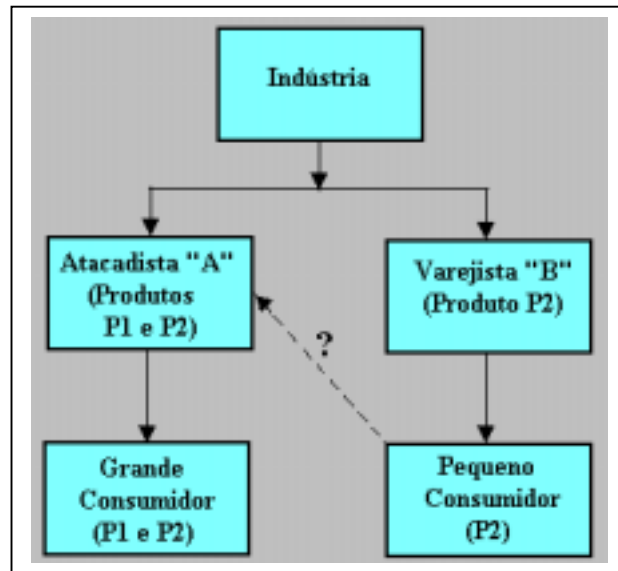


Fig. 4.6 - Conflito de atuação em canais múltiplos

O módulo Exercícios contém os seguintes itens (Questões).

Item 1-

Qual afirmação é correta em relação a Canais Verticais.

a- Responsabilidades, sobre os produtos, é atribuída aos fabricantes;

- b- O atacadista trabalha com sistema Just in Time;
- c- O fabricante envia um caminhão carregado com seu produto (lotação completa) ao armazém do atacadista, onde a carga é desconsolidada;
- d- O atacadista vende o produto a poucos varejistas;**
- e- O atacadista é que interpreta as preferências do consumidor, e as tendências da demanda.

Resp:- c.

Item 2-

Qual a afirmação esta incorreta em relação a Canais Híbridos.

- a- Responsabilidades ou uma parte das funções ao longo do canal é executada em paralelo por dois ou mais elementos da cadeia de suprimento;
- b- Os produtos têm passagem obrigatória pelo distribuidor que trabalha com sistema Just in Time;
- c- O fabricante valoriza o contato direto com os grandes consumidores de seus produtos
- d- O fabricante pode vender o produto a grandes consumidores e entrega através de distribuidores autorizados;**
- e- A adoção de um canal híbrido traz consigo o problema da compensação financeira aos elementos da cadeia de suprimento que realizam novas funções;

Resp:- b.

Item 3-

Identifique a afirmação que não caracteriza a utilização de Canais

Múltiplos.

- a- Único consumidor;
- b- Diversidade de tipos de consumidores;
- c- Vendas diretamente ao consumidor, bem informado e, venda através de distribuidores especializados;
- d- Todas as afirmações estão corretas.

Resp:- a.

Item 4-

Indique uma opção para melhorar o desempenho no gerenciamento da cadeia de suprimento.

- a- Escolher os tipos de consumidores;
- b- Estender as vendas via internet;
- c- Utilizar mais de um canal de distribuição;
- d- Utilizar um único canal de distribuição;**
- e- N.d.a.

Resp:- C.

O módulo Avaliação contém os seguintes itens (Questões).

Item 1-

Assinale a opção correta. Como se justifica a inversão do sentido da cadeia de distribuição, ou seja, escolhido pelo consumidor.

- a- Maior variedade de produtos e dispositivos eletrônicos;
- b- O consumidor final analisa suas necessidades e preferências, bem como as vantagens oferecidas na busca da melhor estrutura de distribuição, que possa atendê-lo satisfatoriamente;
- c- Devido ao planejamento estratégico da empresa.

Resp:- b

Item 2-

Identifique os problemas dos canais de distribuições híbridos:

- a- Duplicidade de atuação de alguns dos elementos da cadeia de suprimento;
- b- Distribuidores trabalham também para outros canais concorrentes;
- c- Problema da compensação financeira aos elementos da cadeia de suprimento que realizam novas funções;
- d- Todas as afirmações retratam problemas dos canais de distribuições híbridos;
- e- A adoção de um canal híbrido de distribuição exige uma forte liderança de um dos participantes da cadeia de suprimento.

Resp:- d.

Item 3-

Indique um Problema de canais múltiplos.

- a- Venda de produtos pela internet;
- b- Consumidores exigentes;
- c- Possíveis intersecção de canais, duplicando os locais de fornecimento;
- d- Nenhuma das alternativas são tidas como problemas;

Resp:- c.

Item 4-

Indique a opção incorreta. A escolha do canal entre os canais de distribuição, pelo consumidor, depende:

- a- Do seu conhecimento específico do produto;
- b- Do valor atribuído pelo consumidor aos serviços, de intermediários;
- c- Da disponibilidade monetária, para a compra;
- d- N.d.a.

Resp:- d;

No capítulo 3, chamado Propriedades dos Canais de Distribuição possui a seguinte configuração:

Módulo Conteúdo

Item 1- Extensão e Amplitude

A extensão (*length*, em Inglês) de um canal de distribuição está ligada ao número de níveis intermediários na cadeia de suprimento, desde a manufatura até o consumidor final. Cada patamar de intermediação na cadeia de suprimento forma um nível do canal. O chamado **canal de nível zero** (Kloter, 1993) não possui níveis intermediários, com o fabricante vendendo seu produto diretamente ao consumidor. É o caso da *Avon*, que comercializa seus produtos através de suas próprias vendedoras, de porta em porta. As empresas que vendem por meio de catálogo diretamente aos consumidores, são outro exemplo de canal de nível zero. Os grandes varejistas, por seu lado, compram os produtos diretamente dos fabricantes e os revendem em suas lojas. Nesse caso tem-se um **canal de um nível**, uma vez que há apenas um intermediário na cadeia, o varejista. As grandes cadeias de supermercado constituem um exemplo típico de canal de um nível. Há casos com dois intermediários, formando **canais de dois níveis**. Por exemplo, os mini-mercados de vizinhança adquirem normalmente os produtos a partir de atacadistas que, por sua vez, os adquirem dos fabricantes. Podem ocorrer canais com mais níveis, embora sejam menos freqüentes.

A amplitude, também chamada largura do canal (*width*, em Inglês), definida para cada segmento intermediário da cadeia de suprimento, é representada pelo número de empresas que nela atuam. Três tipos de amplitude são normalmente observados na prática (Dolan, 1992):

1. **Distribuição exclusiva** (amplitude unitária);
2. **Distribuição seletiva** (amplitude múltipla, mas controlada);
3. **Distribuição intensiva** (amplitude múltipla, aberta).

Na distribuição exclusiva, existe apenas uma empresa atuando em cada região demarcada pelo fabricante do produto. Isso pode ocorrer no nível de atacado, existindo um distribuidor ou atacadista autorizado para cada região. No nível do varejo, há somente uma firma varejista autorizada a vender o produto aos consumidores em cada distrito, conforme demarcação realizada pelo fabricante ou pelo distribuidor. Na distribuição seletiva existem mais do que uma firma atuando num mesmo mercado, mas de forma controlada. Ou seja, em lugar de designar apenas uma empresa para comercializar seus produtos, o fabricante seleciona algumas. O objetivo principal é aumentar as condições de acesso aos produtos e garantir um certo nível de competição entre os comerciantes, distribuidores ou varejistas, conforme o caso. Na terceira alternativa, distribuição intensiva, o fabricante tenta colocar seu produto através do maior número possível de revendedores, não restringindo o número de participantes nas diversas regiões onde comercializa seu produto.

A escolha de uma das alternativas descritas acima depende essencialmente do tipo de produto. Três tipos básicos de produto são normalmente considerados (Bucklin, 1963):

- a) produtos de consumo freqüente;
- b) produtos que envolvem pesquisa antes da compra;
- c) produtos especiais.

O primeiro tipo é constituído pelos produtos que consumimos no dia a dia, como, por exemplo, xampu para o cabelo. A aquisição de um vidro de xampu é um evento rotineiro e pouco excitante. O consumidor, embora tenha alguma preferência por uma certa marca e um certo tipo de produto, freqüentemente não hesita em comprar outra mercadoria com preço e qualidade semelhantes, quando não encontra sua primeira escolha no ponto de venda. Nesses casos, procura-se aumentar ao máximo a amplitude do canal, pois o volume comercializado está fortemente ligado à disponibilidade do produto nos pontos de venda. Esse tipo de produto está normalmente associado à *distribuição intensiva*.

Há produtos que somente são adquiridos após alguma pesquisa. Por exemplo, quando compramos um conjunto estofado para a sala de estar, alguns membros da família se envolvem no processo, analisando anúncios nos jornais, discutindo modelos e cores, e visitando algumas lojas do ramo antes de decidir pelo fechamento do negócio. Esse tipo de compra não é tão freqüente como no caso anterior, e envolve importâncias relativamente maiores. Para esse tipo de produto, não seria econômico para o fabricante ter a mercadoria disponível em qualquer loja, pois isso encareceria demais os custos de comercialização e de distribuição. Mas o produto deve ser exposto à venda em pontos acessíveis aos clientes potenciais, para pesquisa e avaliação. Como conseqüência, o fabricante normalmente seleciona um certo número de revendedores, ou seja, escolhe uma *distribuição seletiva*.

Alguns tipos de produto, de alto valor e adquiridos esporadicamente, atraem o comprador pela marca, em razão de sua qualidade, do status a eles associados ou do caráter específico de seu desempenho. Por exemplo, certas pessoas desejam adquirir não um relógio de boa qualidade, mas um *Rolex*. Para esses tipos de produtos diferenciados, o comprador vai atrás do representante para adquiri-los. O fabricante prefere então escolher um único varejista em cada distrito ou região, concentrando as atenções sobre esse tipo de cliente através de um único representante (*distribuição exclusiva*). Nesses casos, é comum o comerciante ir ao escritório ou residência do comprador para mostrar o produto e vendê-lo.

Item 2- Encurtando os Canais

Hoje, com a revolução no tratamento e no uso da informação e com a ampliação do comércio eletrônico, nota-se uma tendência de utilização de canais mais curtos na cadeia de suprimento. De todos os intermediários, são os atacadistas os mais propensos a serem eliminados da cadeia de suprimento. Com o advento de sistemas logísticos de entregas rápidas, associados ao intercâmbio eletrônico de informações, os varejistas têm menos dificuldades em colocar seus pedidos diretamente junto aos fabricantes. E do lado da indústria, com a disponibilidade de tecnologia avançada de tratamento da informação, o monitoramento e o atendimento dos pedidos individuais dos lojistas, são hoje perfeitamente factíveis.

Em alguns tipos de mercado, os fabricantes lançam mão de distribuidores e de atacadistas visando atingir regiões geograficamente mais distantes, ou para dar maior cobertura a seus consumidores a partir dos estoques dos intermediários e, principalmente, para atender os pequenos varejistas. Para esses últimos, que necessitam de maior assistência no abastecimento de suas lojas e condições mais flexíveis de crédito, a utilização de distribuidores ou atacadistas ainda é um fato. Mas o aumento da concorrência e o avanço dos grandes varejistas na divisão dos mercados vêm obrigando os grandes atacadistas e distribuidores a manter uma postura mais pró-ativa, oferecendo serviços mais avançados de informação e resposta rápida no atendimento dos pedidos dos clientes.

Um dos problemas enfrentados atualmente pelas grandes indústrias é administrar a transição de uma estrutura tradicional, com vários intermediários no canal, para uma estrutura enxuta, com um canal bastante mais curto. Nos casos em que um atacadista ou distribuidor vem atuando por um longo período de tempo, é relativamente difícil eliminá-lo de uma hora para outra. Isso porque boa parte das funções ligadas à estocagem do produto ao longo da cadeia e o papel de intermediário financeiro são freqüentemente executados pelo atacadista ou distribuidor. Sua substituição repentina pode significar investimentos maciços em infra-estrutura e riscos de insucesso não desprezíveis para a cadeia de suprimento. A eliminação de funções intermediárias no canal de distribuição é realizada com maior facilidade quando o mercado está crescendo, porque então fica mais fácil repartir o bolo de forma diferente da atual. Mas, muitas empresas, premidas por margens mais reduzidas, menores fatias do mercado (*market share*) e aumento de custos, decidem muitas vezes por cortes precipitados nas atividades de distribuidores e atacadistas no canal de distribuição. É comum, por exemplo, eliminar o intermediário nas relações com grandes clientes, deixando para o atacadista ou distribuidor somente os pequenos varejistas. Com o tempo, os pequenos varejistas, enfrentando um diferencial de preço ainda maior em relação a seus grandes concorrentes, tendem a ser eliminados do mercado. O fornecedor verá então reduzida sua clientela, passando a negociar com um número restrito de grandes e fortes clientes.

Para manter o mercado razoavelmente equilibrado, em condições próximas à que opera hoje, o fornecedor pode eliminar a intermediação de uma vez, assumindo os riscos e os custos inerentes, ou ajudar na reestruturação das operações do atacadista ou distribuidor. Outra boa ocasião para proceder ao enxugamento do canal de distribuição é o momento de lançar uma nova linha de produto bastante atrativa. Em outras palavras, o momento certo para o enxugamento deve ser tal que a demanda “puxada” ao longo da cadeia é suficientemente forte para compensar a súbita falta da demanda “empurrada” exercida pelo distribuidor. A demanda puxada pode ocorrer em função de uma linha nova de produtos, como foi dito, ou por uma mudança radical nas operações logísticas, através da adoção das técnicas do Gerenciamento da Cadeia de Suprimento.

Item 3- Definindo os Canais de Distribuição

Ao se montar ou reestruturar uma cadeia de suprimento, na sua totalidade ou parcialmente, uma das questões estratégicas que se coloca é

sobre o melhor canal de distribuição, ou melhor combinação de canais, que coloca um produto no mercado da forma mais competitiva possível. Uma vez implementados os canais de distribuição e a logística de distribuição a eles associada, a segunda questão está ligada à melhor forma de mantê-los em operação, garantindo os níveis de serviço inicialmente planejados. Para definir os canais de distribuição para um certo produto, são seguidas algumas etapas, analisadas a seguir.

Etapa 1: Identificação dos Segmentos Homogêneos de Clientes.

A idéia básica óbvia é agrupar os clientes com necessidades e preferências semelhantes dentro de canais específicos. Por cliente, entendemos especificamente um usuário final, raramente um intermediário na cadeia de suprimento. Por exemplo, empresas que produzem refrigerantes, focalizam o consumidor final quando definem seus canais de distribuição, e não o comerciante. Já as empresas que produzem garrafas plásticas para refrigerantes vão focalizar como cliente não o consumidor final, mas as indústrias que produzem a bebida. A idéia fundamental é não cometer um erro imperdoável segundo a moderna visão do *Supply Chain Management*: encarar o cliente mais próximo como cliente final, dando pouca importância aos elementos seguintes da cadeia. Por exemplo: um fabricante de iogurte, fornecedor de uma empresa supermercadista, que somente está preocupado em passar seu produto pela inspeção de qualidade do varejista, sem se importar, de fato, com a qualidade intrínseca do produto vista pelo consumidor final.

Em muitos casos, o agrupamento dos clientes em classes homogêneas já está definido pelas práticas do mercado. Por exemplo, a venda de produtos de petróleo é canalizada aos consumidores finais, pessoas físicas, através dos postos de gasolina. Mas há outros consumidores finais importantes, constituídos por indústrias, empresas transportadoras, órgãos do Governo, etc, que são abastecidos diretamente pelas distribuidoras, formando outro canal de distribuição. No caso de bebidas, especificamente o *chopp*, o fabricante normalmente abastece o distribuidor que, por sua vez, tem um canal direcionado aos bares e restaurantes, em paralelo a outro que atende pessoas físicas, para o caso de festas, casamentos e eventos semelhantes. No entanto, muitas vezes a empresa precisa definir seus canais de distribuição a partir do zero, seja porque o produto é novo, seja porque está entrando num mercado muito diverso daquele onde está habituada a atuar.

Etapa 2: Identificação e Priorização das Funções

Uma vez definidos os canais, a empresa deve identificar que funções devem ser associadas a cada canal de distribuição. Parte-se de uma definição de funções mais geral e, a seguir, detalham-se suas características. Tipicamente, as funções são enquadradas em oito categorias:

1. **Informações sobre o produto:** a evolução tecnológica, a crescente preocupação com a saúde, a atenção com os aspectos ecológicos, além

de outros fatores, vem exigindo por parte dos consumidores informações de melhor qualidade e em maior quantidade.

2. **Customização do produto:** alguns produtos requerem modificações técnicas para se adaptarem a condições específicas do mercado ou a exigências dos clientes. Por exemplo, o fornecimento de produtos alimentícios para clientes em Israel deve atender a um conjunto de exigências religiosas e culturais que precisam ser respeitadas. A venda de automóveis para um país com severos controles antipoluição deve contemplar a introdução de redutores de absorção de gases mais eficazes nos veículos. Outras vezes, um grande cliente varejista acerta um esquema de fornecimento de um determinado produto com o fabricante, ostentando uma marca própria, e com características específicas definidas pelo primeiro.
3. **Afirmação da qualidade do produto:** certos produtos requerem, além da garantia normal, uma afirmação explícita de sua qualidade e confiabilidade quando comercializados em certos canais. Por exemplo, uma empresa que comercialize um produto químico de uso geral, pode ser forçada a garantir um nível de qualidade mais apertado no fornecimento do produto à indústria farmacêutica, em razão dos riscos de vida e implicações de saúde sobre seus consumidores finais.
4. **Tamanho do lote:** esta função está intimamente associada ao desembolso de recursos por parte dos clientes, considerando as despesas com aquisição, os custos de manuseio e os custos de estocagem do produto. Por exemplo, comercializando um certo produto para uma grande cadeia de supermercados, o fabricante pode fornecê-lo em *pallets* plastificados, contendo um número razoável de caixas, cada uma contendo, digamos, duas dúzias de unidades. Já o fornecimento a pequenos varejistas, por sua vez, pode ser feito em caixas.
5. **Variedade:** alguns canais de distribuição exigem diferentes especificações de um mesmo produto. Por exemplo, uma loja de produtos eletroeletrônicos da Rua Santa Efigênia, em São Paulo, que atende tanto a Capital como o Interior, em que as voltagens têm respectivamente 110 e 220 volts, necessita ser abastecida com ambos os tipos do produto. Já uma loja situada num bairro pode oferecer apenas o tipo adequado à sua região de influência.
6. **Disponibilidade:** alguns tipos de clientes exigem maior disponibilidade de tipos de um mesmo produto. Por exemplo, numa região onde há forte concorrência com outras marcas, pode ser conveniente oferecer o produto em tamanhos diversos, e com características diferentes (sabores, aditivos, desempenho). Já numa região de menor renda e hábitos menos sofisticados, uma menor variedade pode ser satisfatória. Esta função é definida analisando-se as incertezas associadas aos níveis de demanda do produto e os custos de estoque e de distribuição relacionados a cada alternativa.
7. **Serviços pós-venda:** os clientes necessitam de serviços diversos como instalação, manutenção de rotina, consertos, atendimento de reclamações, etc. Muitas vezes a disponibilidade e a qualidade desses serviços de pós-venda afetam sensivelmente as vendas do produto. A natureza e a intensidade deste tipo de função vai depender do tipo de produto. Por exemplo, a comercialização de artigos, como computadores (*hardware* e *software*), está muita associada aos *upgrades* que periodicamente são lançados no mercado. Nesses casos, um permanente envolvimento com os usuários é de fundamental importância para o sucesso da empresa.
8. **Logística:** boa parte das funções discutidas anteriormente tem impacto direto nas operações logísticas da empresa. Por exemplo, certos serviços de pós-venda requerem programação de visitas técnicas, cadastramento e

monitoramento de informações. Há necessidade de transporte próprio ou de terceiros, de facilidades para armazenagem dos produtos, de sistemas de levantamento e de tratamento da informação, e de muitas outras operações e facilidades mais ou menos complexas.

A definição das funções para cada canal deve ser feita preferencialmente com base em informações diretamente colhidas junto aos clientes.

Etapa 3: *Benchmarking* Preliminar

Uma vez definidas e detalhadas as funções associadas ao canal (ou canais) de distribuição, é importante fazer uma análise do projeto, confrontando-as com as melhores práticas dos concorrentes, e verificando principalmente o nível de satisfação dos requisitos sob a ótica dos clientes da cadeia de suprimento.

Etapa 4: Revisão do Projeto

Combinando os resultados da análise realizada nas etapas 2 e 3, são definidas algumas opções, compreendendo alternativas possíveis de canais de distribuição e de suas respectivas funções. A definição dessas opções deve ser baseada nos objetivos da empresa, observando-se os requisitos desejados pelo consumidor e devidamente balizados em relação às práticas dos concorrentes (*Benchmarking*, etapa 3).

Etapa 5: Custos e Benefícios

Nesta fase são avaliados, de forma sistemática, os custos e os benefícios associados a cada opção gerada na Etapa 4. Adicionalmente, é importante estimar a divisão do mercado (*market share*) e os investimentos previstos para cada alternativa. Confrontando-se todos os elementos de investimento, de custos e de benefícios, chega-se à escolha da opção que melhor atenda aos interesses da empresa.

Etapa 6: Integração com as Atividades Atuais da Empresa

Normalmente, a empresa que lança um certo produto no mercado já produz, ou comercializa outros produtos. Assim, torna-se necessário integrar o projeto de distribuição, resultante da Etapa 5, à estrutura de canais existentes na empresa. É possível que sejam necessárias certas melhorias nas funções hoje desempenhadas ao longo dos canais existentes, de forma a compatibilizá-los com os requisitos do novo produto. Nesta fase, os fatores estratégicos de longo prazo adquirem grande importância. Basicamente, é preciso indagar se a estrutura de distribuição preconizada garante vantagem de mercado e se tem condições de permanecer estável por um prazo longo.

Como vimos, alterações substantivas na estrutura dos canais de substituição são onerosas e de conseqüências algumas vezes imprevisíveis.

O módulo Exercícios contém os seguintes itens.

Item 1-

Assinale a alternativa correta. A extensão de um canal de distribuição.

- a- Não possui níveis intermediários na cadeia de suprimentos;
- b- Está ligada ao número de níveis intermediários na cadeia de suprimento;
- c- Depende do número de consumidores;
- d- Dependo do número de fabricas;
- e- **N.d.a.**

Resp:- b.

Item 2-

Assinale a alternativa correta. A distribuição exclusiva tem amplitude.

- a- Múltipla e aberta;
- b- N.d.a;
- c- Múltipla, mas controlada;
- d- É tida como intensiva;
- e- Variada.

Resp:- b.

Item 3-

Assinale a alternativa incorreta. Atualmente os Canais distribuição estão diminuindo sua extensão, devido a:

- a- Distribuição exclusiva;
- b- Revolução no tratamento e no uso da informação;
- c- Eliminação dos atacadistas;
- d- Venda diretamente das fabricas aos lojistas;

Resp:- a.

Item 4-

Assinale a alternativa incorreta. Estruturar uma cadeia de suprimentos, visa:

- a- Definir os canais de distribuição;
- b- Colocar o produto no mercado da forma mais competitiva possível;
- c- Garantir os níveis de serviços planejados;
- d- Reduzir os custos de marketing;

Resp:- d

Item 5-

Informações sobre o produto; Customização do produto; Afirmação da qualidade do produto; Logística. Fazem parte de que etapa da definição de canais de distribuição.

- a- Identificação dos Segmentos Homogêneos de Clientes;
- b- Identificação e Priorização das Funções;
- c- *Benchmarking* Preliminar;

d- Revisão do Projeto.

Resp:- b.

O módulo Avaliação contém os seguintes itens.

Item 1-

Assinale a alternativa correta. A amplitude de um canal de distribuição:

- a- Depende do número de consumidores;
- b- Dependo do número de fabricas;**
- c- N.d.a.
- d- É representada pelo número de empresas que nela atuam, também chamada largura do canal;**
- e- É uma distribuição exclusiva.

Resp:- d.

Item 2-

Assinale a alternativa correta. A distribuição de produtos de uso freqüente, é recomendado utilizar:

- a- Distribuição exclusiva ;
- b- Distribuição seletiva;
- c- Distribuição intensiva;
- d- Distribuição mista;**

Resp:- c.

Item 3-

Assinale a alternativa incorreta. Ha dificuldades em se encurtar um canal de distribuição, quando:

- a- Administra uma transição de uma estrutura tradicional, de vários para poucos agentes no canal;
- b- As funções ligadas a estocagem e a finanças, ao longo da cadeia, são freqüentemente executados pelo atacadista ou distribuidor.
- c- Quando o mercado está em queda;
- d- Quando o mercado está crescendo;
- e- N.d.a

Resp:- c

Item 4-

Dentre às etapas para definir os canais de distribuição: 1-Identificação dos Segmentos; 2-Homogêneos de Clientes; 3-Identificação e Priorização das Funções; 4-*Benchmarking* Preliminar; 5-Revisão do Projeto; 6-Custos e Benefícios; 7-Integração com as Atividades Atuais da Empresa. Assinale a alternativa que define a ordem de implementação mais indicada.

- a- 1,2,4,3,5,6,7;
- b- 1,2,3,4,5,6,7;
- c- 1,2,3,5,4,6,7;

Resp:- b

