

UNIP
UNIVERSIDADE PAULISTA

**Raciocínio em agentes para problemas complexos:
Proposta de um modelo paraconsistente anotado
evidencial - caso prático em medicina**

Adalberto Faria dos Reis

Dissertação a ser apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Paulista, para
obtenção do título de Mestre.

SÃO PAULO
2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIP
UNIVERSIDADE PAULISTA**

Raciocínio em agentes para problemas

complexos:

**Proposta de um modelo paraconsistente
anotado evidencial – caso prático em medicina**

Adalberto Faria dos Reis

Orientador: Prof. Dr. Jair Minoro Abe

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Dissertação a ser apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Paulista, para
obtenção do título de Mestre.

**SÃO PAULO
2006**

Reis, Adalberto F.

Raciocínio em agentes para problemas complexos: Proposta de um modelo paraconsistente anotado evidencial – caso prático em medicina – São Paulo, 2006. 105 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Paulista – Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – ICET.

Área de Concentração: Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Jair Minoro Abe

1. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial; 2. Raciocínio de Agentes; 3. Solução de problemas

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que me deram os meios para progredir e me tornar um ser humano que busca ajudar o mundo a ser melhor.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e minhas filhas, por aceitarem os caminhos por mim escolhidos, e por me apoiarem a segui-los.

Aos meus pais, pela oportunidade da vida e aprendizado, e pelo estímulo permanente para superar os desafios.

Aos professores que aceitaram participar da banca examinadora e auxiliaram a melhorar meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto, pelo esforço constante em tornar o Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Unip uma oportunidade de crescimento pessoal e profissional para todos os que dele participam.

Ao Prof. Dr. Antônio Albuquerque, pelo incentivo em conhecer Inteligência Artificial e a motivação para estudar a Lógica Paraconsistente.

Ao Prof. Dr. Jair M. Abe, que me ajudou a reencontrar e a explorar os infinitos caminhos da matemática.

Ao Prof. Dr. Nelson Albuquerque de Souza e Silva, professor titular de Cardiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), coordenador do curso de doutorado em Clínica Médica – Área de Pesquisa Clínica - da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e chefe do Serviço de Cardiologia do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, pelo apoio na realização do caso prático com dados de pesquisa clínica em andamento sob sua coordenação e pela sua avaliação do MPE, sem o qual esta dissertação não poderia ser concluída conforme esperávamos.

À Profª. Msa. Amália Faria dos Reis, doutoranda em Clínica Médica – Área de Pesquisa Clínica da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pela sua dedicação e empenho na realização e análise dos resultados do caso prático incluído neste trabalho.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Lista de figuras e tabelas..... | i |
| Lista de abreviações..... | i |
| Resumo..... | ii |
| Abstract..... | iii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Caracterização de agentes e sistemas multiagentes..... | 3 |
| 1.2 Técnicas atuais de solução de problemas através de agentes..... | 4 |
| 1.3 Problemas complexos..... | 6 |
| 1.4 Motivação e justificativa..... | 7 |
| 2. Resumo da teoria de agentes e sistemas multiagentes..... | 11 |
| 2.1 Objetivos..... | 11 |
| 2.2 Agentes..... | 11 |
| 2.3 Sistemas multiagentes..... | 14 |
| 2.4 Agentes baseados em conhecimento..... | 16 |
| 2.5 Técnicas de representação de conhecimento em agentes..... | 22 |
| 3. Resumo da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial - $E\tau$..... | 27 |
| 3.1 – Breve visão sobre a Lógica Clássica e o paradigma científico desenvolvido a partir dela..... | 27 |
| 3.2 – A complexidade do mundo real e a nova forma de pensar que ela requer..... | 30 |
| 3.3 – Elementos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial - $E\tau$ | 33 |
| 4. O modelo paraconsistente anotado evidencial (MPE)..... | 48 |
| 4.1 – Problemas do mundo real e seu mapeamento para o MPE..... | 48 |
| 4.2 – Terminologia e conceitos do processo de raciocínio do MPE..... | 51 |
| 4.3 – O raciocínio no MPE e interpretação de resultados..... | 58 |
| 4.4 – Os diferentes significados da inconsistência no MPE e como usá-los de forma benéfica no processo de raciocínio..... | 62 |
| 4.5 – Como identificar a melhor solução..... | 70 |
| 4.6 – O aperfeiçoamento das soluções..... | 72 |
| 5. Algumas potenciais aplicações do modelo proposto..... | 75 |
| 5.1 O potencial do MPE em Engenharia de Produção..... | 75 |
| 5.2 O aprendizado de agentes a partir do MPE..... | 75 |
| 5.3 A solução de problemas em cenários complexos..... | 76 |
| 6. Caso prático em medicina..... | 78 |
| 6.1 Descrição do problema..... | 78 |
| 6.2 O desenvolvimento da solução utilizando o MPE..... | 79 |
| 6.3 Resultados alcançados..... | 81 |
| 6.4 Descrição do sistema de implementação do MPE..... | 86 |

| | |
|--|------------|
| 7. Conclusões e futuros desenvolvimentos..... | 96 |
| 8. Referências bibliográficas..... | 100 |

Lista de figuras e tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Aplicações genéricas de sistemas baseados em conhecimento | 17 |
| Figura 2.1 – Arquitetura básica de um agente/sistema baseado em Conhecimento..... | 19 |
| Figura 3.1 – Quadrado Unitário no Plano Cartesiano..... | 43 |
| Figura 4.1 – Visão geral do fluxo de raciocínio do MPE em um SMA..... | 58 |
| Figura 4.2 – Raciocínio em triângulos..... | 58 |
| Figura 4.3 – Raciocínio em quadrantes..... | 60 |
| Figura 6.1 – Diagrama de blocos do sistema de implementação do MPE... | 89 |

Lista de abreviações

IA – Inteligência Artificial

LPA – Lógica Paraconsistente Anotada

Et – Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial

SBC – Sistema baseado em conhecimento

SMA – Sistema Multiagente

QUPC – Quadrado Unitário no Plano Cartesiano

Resumo

Existem problemas que requerem o emprego de raciocínio sofisticado para sua solução, e ainda não existe um modelo teórico abrangente que apoie o desenho e implementação de agentes para resolvê-los, conforme o estágio do conhecimento atual em Inteligência Artificial. Neste trabalho, é proposto um modelo baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial - $E\tau$, com o propósito de suprir esta lacuna. Como elemento chave do modelo, discute-se de que formas a inconsistência, a incerteza e a informação incompleta podem ajudar a resolver problemas complexos, desde que organizadas e interpretadas por um raciocínio paraconsistente. O modelo apresentado visa criar as bases de uma teoria sobre como desenhar e implementar agentes baseados em conhecimento a partir dos conceitos expostos ao longo do trabalho. Um caso prático de aplicação do modelo em medicina é descrito e comentado.

Palavras-chaves: Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial, Raciocínio de agentes, Solução de problemas.

Abstract

There are problems that require sophisticated reasoning although there is no comprehensive theoretical framework to support the design and implementation of agents to solve them. In this work is proposed a Paraconsistent Evidential Framework with such purpose, based on the Paraconsistent Annotated Evidential Logic - Et.

It is discussed how inconsistency, uncertainty and incomplete information can help to solve complex problems when organised and interpreted through paraconsistent reasoning. The model presented intends to be the basement for a theory of how to design and implement knowledge based agents via the concepts presented along this work. A real case of the model usage in medicine is presented and discussed.

Key words: Paraconsistent Annotated Evidential Logic, Agent Reasoning, Problem solving.

1. Introdução

As diversas áreas de atuação da Engenharia de Produção enfrentam problemas cada vez mais complexos e desafiadores, os quais requerem o uso integrado e harmônico de conhecimentos de diferentes origens científicas e tecnológicas. A utilização de recursos tecnológicos capazes de reproduzir aspectos da inteligência humana neste contexto é altamente desejável, em especial aqueles que envolvem a racionalidade, e este é, resumidamente, o campo de estudo da Inteligência Artificial (IA) [5, 6], cujos resultados podem ser aplicados em problemas de Engenharia de Produção.

Tradicionalmente, os paradigmas adotados pela maioria dos pesquisadores em ciência e tecnologia são suportados pelo pensamento organizado conforme os princípios da Lógica Clássica. No entanto, o crescimento da complexidade dos problemas enfrentados pelas diversas ciências, e pela Engenharia de Produção em particular, encontra barreiras severas ao pensar esses problemas pelos paradigmas do pensamento clássico, o qual não prevê ou admite a existência de inconsistências, incertezas e informações incompletas para realizar o seu exercício. No entanto, são esses os elementos que justamente caracterizam os problemas complexos enfrentados [7].

Sendo assim, é preciso buscar uma teoria que possibilite tanto à IA quanto à Engenharia de Produção o enfrentamento dos problemas

complexos com base em uma nova formulação de paradigmas de pensamento e, por consequência, do raciocínio a ser empregado pelos recursos que visem reproduzir as características da inteligência humana. Este trabalho busca contribuir com este objetivo, ao propor um modelo baseado em uma lógica paraconsistente, capaz de descrever e manipular os elementos caracterizadores dos problemas complexos: inconsistência, incerteza, incompletude [8]. A lógica paraconsistente tem sido usada com sucesso na solução de problemas complexos [8, 15, 16, 26, 27], e o modelo proposto neste trabalho pretende auxiliar a ampliar o seu campo de aplicação.

Ao final do trabalho, sugere-se uma visão de futuro para as idéias apresentadas ao longo de seu conteúdo. É esclarecido que não se trata de um trabalho pronto e acabado, mas uma proposta de linha de pesquisa, uma vez que há espaço para o desenvolvimento das idéias incluídas no modelo proposto. No longo prazo, pode-se pensar no desenvolvimento de uma metodologia de desenho e construção de agentes baseados neste modelo e, para tanto, pesquisas adicionais são necessárias para transformar o modelo em um método de trabalho que possa ser utilizado por profissionais das diversas áreas onde ele pode ser aplicado.

1.1 Caracterização de agentes e sistemas multiagentes

Deve-se entender o conceito de agente dentro do campo de estudo da IA, a qual visa entender e construir entidades inteligentes. Atualmente, a IA concebe o agente como um sistema capaz de interagir com o ambiente que o cerca, via percepção e ação. Um agente pode ser construído em software, em hardware ou uma combinação destes elementos. Em particular, diz-se que o agente é racional se age para alcançar o melhor resultado possível nas circunstâncias de seu ambiente. Um agente racional resolve um problema quando é capaz de executar uma seqüência de ações que levem a um resultado desejado, a partir das condições originais que definem o problema [5].

Quando os problemas enfrentados pelo agente atingem determinado nível de complexidade, o agente precisa dispor de conhecimentos organizados em uma estrutura chamada base de conhecimento, que possam ser utilizados para combinar os conhecimentos gerais da base com as percepções correntes do ambiente, de forma a poder selecionar, ou construir, a seqüência de ações que irá realizar visando a solução do problema [5].

Um sistema multiagente (SMA) é composto por dois ou mais agentes que operam mecanismos de comunicação e coordenação para alcançar determinados objetivos comuns aos agentes do sistema. Ou seja, em um

SMA, cada agente pode ter seus objetivos próprios, diferentes de outros agentes, mas isso não o impede de dar e receber cooperação de outros agentes para que o SMA possa atingir objetivos que os agentes sozinhos não são capazes de alcançar [5]. É importante observar que não basta haver mais de um agente operando em um sistema de computação para se ter um SMA, pois o mesmo só existe se estes agentes puderem cooperar de alguma forma organizada. Na solução de problemas complexos é comum utilizar SMAs, dado que cada agente pode desempenhar tarefas especializadas, ser desenhado e construído por pessoas diferentes, e, eventualmente, operar em computadores diferentes, mas mesmo assim serem capazes de agir em conjunto visando a fins comuns. Os conceitos de agentes e SMAs são a base de um dos mais recentes modelos de engenharia de software, chamado Engenharia de Software Baseada em Agentes, sucessor do modelo Orientação a Objetos [10, 17, 18].

1.2 Técnicas atuais de solução de problemas através de agentes

A pesquisa em IA tem desenvolvido a teoria e prática de raciocínio em agentes e SMAs relacionadas a diversas classes de problemas: tomada de decisão, negociação, planejamento, dentre outros. Aprendizado de máquina e computação evolucionária também são tópicos de grande interesse e importância na discussão de agentes e sistemas multiagentes [5,6].

Muitos resultados foram obtidos na solução de diversos problemas, especialmente em soluções de problemas particulares e de escopo limitado. Implementações das soluções foram propostas, realizadas e discutidas em inúmeros artigos e livros sobre o assunto. No estágio atual do desenvolvimento da IA, as soluções de problemas são baseadas em algoritmos. Cada algoritmo é efetivo em classes de problemas particulares (tais como problemas de busca, problemas de satisfação de restrição, jogos), utilizando os modelos de raciocínio da Lógica Clássica, a qual não manipula inconsistências, incertezas e informação incompleta. Conseqüentemente, para muitos problemas do mundo real, os algoritmos disponíveis não são aplicáveis [5].

Em muitas áreas de pesquisa (Medicina, Administração, Economia, Biologia, dentre outras) os problemas são tratados via sistemas que tentam incorporar características da inteligência humana através de soluções não algorítmicas, na tentativa de aumentar sua flexibilidade (sistemas de suporte a decisão, sistemas especialistas, e sistemas de suporte a trabalho em grupo). Em todas essas áreas, o conhecimento muda e evolui rapidamente, normalmente não é padronizado e também difícil de ser coletado e estruturado em bases de conhecimento, o que requer grande esforço de construção e manutenção. Como agravante, esses sistemas enfrentam inconsistências, incertezas e informação incompleta durante o esforço de solução dos problemas. Esta situação limita a utilidade e aplicabilidade de

muitas das técnicas e sistemas existentes, mesmo os dedicados a problemas específicos e de escopo limitado [6].

1.3 Problemas complexos

Podemos caracterizar um problema complexo, ou um problema que esteja em um contexto complexo (e ambos os casos significam 'realmente difícil de resolver'), se apresenta duas ou mais das seguintes características, considerando-se uma composição das visões de diversas fontes da literatura especializada[3,6,8,13,14]:

- Possui muitas variáveis e diferentes tipos de variáveis;
- As relações entre algumas das variáveis são não lineares ou não completamente conhecidas;
- Há muitas restrições a serem satisfeitas simultaneamente, normalmente relacionadas a tempo, dinheiro, pessoas, equipamentos e outros recursos;
- A informação disponível é incompleta ou imprecisa;
- Há muitos dados disponíveis e é difícil selecionar quais são úteis ou relevantes;
- Os elementos supracitados mudam, no todo ou em parte, durante o desenvolvimento da solução;
- A necessidade de informação adicional é reconhecida durante o desenvolvimento da solução, e quando esta informação é obtida ela

inválida, ou é inconsistente com, os resultados e conclusões previamente alcançados.

Os problemas complexos são mais frequentes do que seria desejável. São eles que põem em teste os limites do conhecimento científico e tecnológico, embora ofereçam o desafio e a oportunidade para o crescimento e progresso deste mesmo conhecimento. Para este tipo de problema, não existem algoritmos de uso geral conhecidos e o modelo de pensamento baseado na Lógica Clássica não permite sua completa representação e tratamento. São os problemas de maior risco para carreiras profissionais, qualidade de vida da população e lucratividade dos negócios. Portanto, seria bem-vindo um modelo que fosse abrangente e que ajudasse a organizar e incorporar as diversas teorias, técnicas e ferramentas disponíveis na solução de problemas, bem como criar espaço e potencial para o desenvolvimento de novas teorias e tecnologias. Particularmente, um modelo que sirva para os agentes baseados em conhecimento, os quais são os melhor adaptáveis aos problemas complexos devido à sua maior flexibilidade inerente e capacidade de aprendizado [5].

1.4 Motivação e justificativa

Visando contribuir para o tratamento de problemas complexos e o desenho e implantação de agentes capazes de resolvê-los, este trabalho

propõe o Modelo Paraconsistente Anotado Evidencial (MPE). Este intento é possível devido à capacidade da teoria lógica que suporta o modelo, a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial - Et (doravante denominada Et). A Et mostrou-se capaz de representar e resolver uma ampla classe de problemas e condições que não são possíveis de serem adequadamente tratadas pela Lógica Clássica e suas extensões: Lógica Modal, Lógica Multi-Modal, Lógica Temporal, Lógica Deôntica, Lógica Dialética), bem como outras teorias lógicas não-Clássicas :Lógica Nebulosa (Fuzzy), Lógicas Multivaloradas, Mereologia, dentre outras [8].

Embora muitas destas teorias lógicas tenham sido usadas recentemente para modelar, desenhar e implementar soluções de SMAs para problemas importantes, nenhuma delas foi construída com o propósito de representar e trabalhar eficientemente com inconsistências, incertezas e informação limitada simultaneamente, as quais são condições muito freqüentes e difíceis de tratar nos problemas do mundo real . Os lógicos que desenvolveram a Et estavam cientes das limitações de outras teorias lógicas e criaram uma teoria que, apesar de sua abrangência, é fácil de entender e, afortunadamente, fácil de implementar na tecnologia atual de hardware e software [7].

Um dos mais importantes aspectos da Et é seu caráter inclusivo, o que significa que os resultados alcançados por outras teorias lógicas e seus modelos podem ser convertidos e usados em seu conteúdo, o que cria

condições para desenhar e implantar novas e mais abrangentes soluções de problemas, partindo-se dos resultados existentes. Com estes conceitos em vista, o MPE cria um ambiente teórico e prático onde muitas teorias e técnicas podem trabalhar conjuntamente e, mais importante, com mais caminhos e possibilidades de raciocínio para desenhar e construir agentes baseados em conhecimento.

Será discutido, mais adiante neste trabalho, que uma característica importante do MPE é não requerer funcionalidades especiais em linguagens de programação ou em sistemas gerenciadores de bancos de dados para construir soluções segundo os seus conceitos. Os únicos requisitos estão relacionados com o tipo e nível de informação que os agentes devem manipular para implementar o MPE.

Em razão destes argumentos, o MPE pode ser um passo importante em direção a uma mais completa simulação de aspectos da inteligência humana, devido à sua capacidade de implementar características de criatividade, conforme será comentado oportunamente.

Para ilustrar o significado e uso dos conceitos do MPE, são utilizados exemplos extraídos de áreas da Engenharia de Produção e, em particular, da prestação de serviços médicos que é, tradicionalmente, um campo fértil para aplicações de ferramentas de IA. Se o MPE se mostrar útil em campos complexos e que tratam de questões de alta relevância: vida humana,

produção e lucratividade, então é possível que se torne merecedor de atenção e pesquisa por parte das comunidades de IA, de Engenharia de Produção e outras áreas afins.

Um caso prático em medicina foi desenvolvido com o objetivo de validar a aplicabilidade do modelo proposto como instrumento de apoio na solução de um problema de prognóstico de doenças cardíacas. Sua descrição é apresentada ao final deste trabalho.

2. Resumo da teoria de agentes e sistemas multiagentes

2.1 Objetivos

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos básicos relativos aos agentes e sistemas multiagentes (SMAs), de modo a criar um contexto teórico mínimo para o desenvolvimento do restante deste trabalho. A teoria de agentes e SMAs tem diversos autores e linhas de pesquisa e os livros correspondentes atingem várias centenas de páginas. Ressalte-se que muitos aspectos e conceitos sobre agentes não serão tratados, tendo em vista não estender este resumo além do estritamente necessário para o entendimento e fundamentação do MPE. Maiores informações podem ser obtidas nas referências utilizadas na elaboração deste capítulo [5, 6 e 9].

2.2 Agentes

A área de pesquisa denominada IA desenvolveu diversos métodos e técnicas de resolução de problemas, tais como a busca em espaço de estados, planejamento de ações, aprendizagem de máquina, percepção do ambiente, dentre outras. Por serem distintas, essas técnicas se desenvolveram como áreas autônomas, gerando linhas de pesquisa específicas. Cada uma delas gerou sistemas reais voltados para problemas práticos importantes. Uma característica comum a todas elas é tentar reproduzir as capacidades da inteligência humana: pensar, raciocinar,

decidir, planejar, perceber, comunicar e aprender. No entanto, a inteligência não é apenas a soma destas capacidades, mas uma integração delas em uma única entidade. O modelo de agente surgiu como um paradigma integrador destas capacidades da inteligência e das técnicas elaboradas pela IA. Paralelamente aos movimentos e esforços mencionados, se desenvolveu um debate importante dentro da IA com relação aos objetivos científicos de seu trabalho, os quais podem ser sumariados em duas perspectivas [9]:

Perspectiva da simulação: nesta corrente, os pesquisadores defenderam um enfoque voltado para estudar os mecanismos que realizam a inteligência humana, explorando os resultados dos estudos de áreas especializadas das ciências médicas e psicológicas sobre o cérebro e a mente humana, também conhecidas como ciências cognitivas. Nesta ótica, os produtos da IA deveriam simular a mente e o cérebro humano, servindo principalmente como instrumentos de pesquisa cognitiva e não apenas elementos de utilidade prática.

Perspectiva da resolução: esta corrente defende um emprego racional da inteligência, onde mais relevante do que reproduzir a mente ou cérebro humano é ser capaz de aplicar a racionalidade com perfeição, provavelmente além do que os humanos seriam capazes de fazer. Assim, a IA deveria ser um ramo da informática e da engenharia, voltadas para

construir elementos computacionais que exploram os elementos da inteligência dentro de uma visão pragmática de racionalidade e praticidade.

Modernamente, a maioria dos pesquisadores e autores não consideram essas perspectivas como concorrentes, porém complementares, podendo compor forças e recursos para o benefício da sociedade humana na solução dos problemas que requeiram o apoio de entidades inteligentes para serem resolvidos. O modelo de agentes é um exemplo desta visão complementar e integradora das perspectivas mencionadas. O MPE também é um exemplo da adoção de uma perspectiva integradora, ao buscar tanto reproduzir características da inteligência humana quanto aperfeiçoar seu uso pela aplicação de teorias e conceitos lógico-matemáticos que reforçam os aspectos racionais e práticos de sua utilização.

2.2.1 Caracterização do conceito de agente

Em complemento ao que já mencionado na caracterização dos agentes e SMAs, no capítulo anterior, é útil descrever alguns ingredientes que servem para caracterizar um agente em relação a outras entidades [5,9]:

Existência de uma agenda própria: o agente deve ter, por desenho, um conjunto de objetivos a cumprir. Tudo o que o agente fizer será direta

ou indiretamente resultado de sua intenção de cumprir seus objetivos, os quais podem ser traduzidos em sub-objetivos e metas particulares em razão dos problemas que vier a enfrentar e tentar resolver em seu ambiente.

Autonomia de decisão: capacidade de analisar as situações, gerar alternativas (que podem ser traduzidas em metas) e escolher a que melhor atende aos objetivos.

Autonomia de execução: capacidade de operar no ambiente sem intervenção de outros agentes. Ou seja, um agente pode estar sempre ativo em um ambiente, a espera dos estímulos que provoquem sua atuação, sem depender de ser acionado por outros agentes, humanos ou não.

Comunicabilidade: Capacidade de interagir com outros agentes, sejam humanos ou computacionais, para obtenção de dados ou serviços visando cumprir suas metas e objetivos.

2.3 Sistemas multiagentes

Os SMAs podem ser vistos como uma evolução das técnicas de IA e de sistemas distribuídos, os quais desenvolveram técnicas de coordenação e sincronização para seu funcionamento. As primeiras tentativas de resolução distribuída de problemas eram baseadas em sistemas desenhados especificamente para um dado problema, nos quais ainda não

se visualizavam os conceitos de reutilização dos componentes do sistema para outras aplicações de natureza semelhante. Com a criação do conceito de agente, pensou-se em seguida em criar organizações de agentes que pudessem unir suas capacidades, através de mecanismos de comunicação, para atuarem em problemas mais diversos do que os resolvidos pelos primeiros sistemas distribuídos, aproveitando as capacidades de autonomia e decisão dos agentes. Historicamente, já se utilizavam amplamente redes de computadores, locais e de longa distância, e nada mais natural do que agentes operando em pontos diversos de uma rede pudessem agir em conjunto quando fosse adequado ao cumprimento de objetivos que explorassem os recursos distribuídos nas redes [6,9].

A abordagem dos SMAs permite que o sistema, os agentes individuais, seus protocolos de comunicação e modelos organizacionais sejam projetados independentemente de problemas específicos a serem solucionados, mas visando a resolução de famílias de problemas que reúnam, para a sua solução, capacidades e competências semelhantes embutidas nos agentes do SMA. Assim, os agentes podem ser reutilizados em outras aplicações e outras redes, eventualmente com alguma adaptação. Os agentes podem ser projetados para interagirem e cooperarem com outros agentes para realizar tarefas que, executadas isoladamente por um dado agente, não seriam bem sucedidas ou mesmo possíveis. Este objetivo requer o desenvolvimento de estratégias de solução de problemas, comunicação e coordenação que, por um lado,

preservem e respeitem as características individuais dos agentes, mas, por outro lado, permitam a sinergia que somente é possível na formação de grupos ou times de agentes [5,9]. Um trabalho que explora os problemas da comunicação entre agentes e oferece uma solução baseada em lógica paraconsistente é desenvolvida em [15].

O desenvolvimento das teorias de agentes e SMAs resultou num esforço da comunidade de IA em criar padrões de construção que permitam compartilhar e integrar agentes que não tenham sido construídos pelas mesmas pessoas. A FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents – www.fipa.org) é uma associação voltada para a elaboração de especificações sobre a tecnologia de agentes e SMAs. Não tem poder normativo, mas reúne uma série de propostas e idéias que podem ser consultadas e utilizadas pelos interessados no tema [9].

2.4 Agentes baseados em conhecimento

Este tipo de agente é o resultado do progresso alcançado nos últimos 20 anos na área de Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC), desenvolvidos tanto em aplicações acadêmicas quanto comerciais. Os SBCs foram criados para tratar as situações nas quais a formulação do problema a ser resolvido é complexa e, principalmente, quando existe um conhecimento específico sobre como o problema pode ser resolvido. Em termos práticos, tais problemas são rotineiramente resolvidos por

especialistas humanos que detêm este conhecimento sobre um tema ou domínio, e a IA buscou elaborar técnicas e ferramentas que pudessem reproduzir o desempenho dos especialistas humanos através de sistemas computadorizados desenvolvidos especialmente para esta finalidade. Na literatura de IA, tais sistemas também são chamados de sistemas especialistas. Resultados promissores foram alcançados em diversas áreas (diagnóstico médico, administração de crédito, manutenção de equipamentos, dentre muitas outras) e, naturalmente, a idéia foi transportada para a teoria de agentes e SMAs, os quais podem ser uma das formas de implementação de um SBC. A tabela 2.1 retrata algumas aplicações genéricas onde SBCs podem ser aplicados, e foi adaptada a partir de informações obtidas em [6].

Tabela 2.1 – Aplicações genéricas de sistemas baseados em conhecimento.

| | |
|--------------------------|---|
| Interpretação | Inferir situações e conclusões a partir de evidências |
| Predição (Prognóstico) | Inferir conseqüências mais prováveis de determinadas situações |
| Diagnóstico | Deduzir as causas de problemas a partir de evidências |
| Desenho | Especificar objetos a partir de um conjunto de requerimentos |
| Planejamento | Desenvolver planos para atingir objetivos |
| Monitoramento e controle | Comparar 'realizado' versus 'planejado', apontando as exceções |
| Reparos | Identificar as causas de mau funcionamento e recomendar procedimento de conserto. |

Os SBCs e, em particular, os agentes baseados em conhecimento, possuem como característica principal uma base de conhecimento, na qual

pode-se registrar o conhecimento específico e o processo de solução de problemas resolvíveis pelo conhecimento, além de um mecanismo de raciocínio capaz de realizar inferências lógicas sobre a base de conhecimento a partir de informações coletadas do ambiente (via seres humanos, outros sistemas ou sensores) e obter conclusões úteis para solucionar algum problema apresentado ao sistema.

Desafios importantes surgiram e ainda estão presentes ao se construir tais sistemas: i) coletar, analisar e modelar os conhecimentos e métodos de solução do problema, e ii) como representar estes resultados de modo a ser eficiente e eficaz a operação do sistema. Para enfrentar estes desafios, existem:

- arquitetura básica proposta;
- metodologia de desenho e construção; e
- técnicas específicas de representação do conhecimento.

A arquitetura básica de um agente baseado em conhecimento é descrita na figura 2.1, abaixo, que resume os elementos presentes na bibliografia adotada [5,6,9].

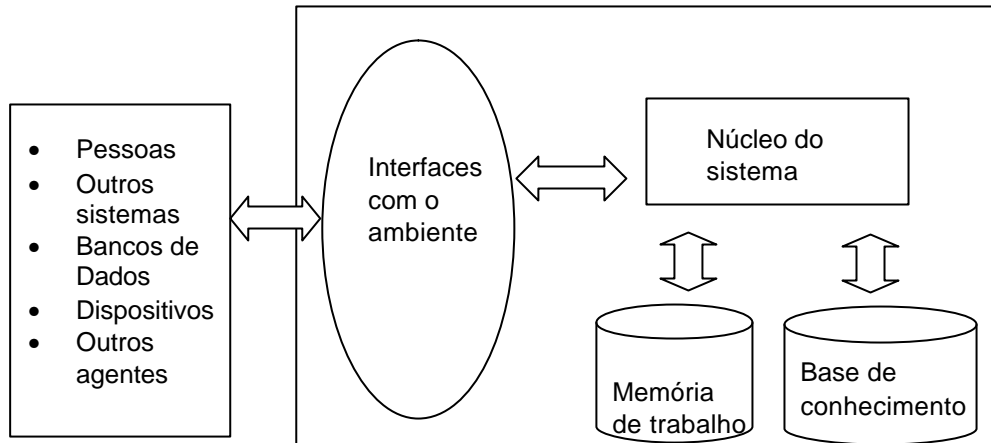


Figura 2.1 – Arquitetura básica de um agente/sistema baseado em conhecimento

Os elementos principais da arquitetura são:

Interface com o ambiente: obtém as informações junto ao usuário sobre o problema em questão e apresenta os resultados obtidos; relaciona-se com outros sistemas ou agentes, bancos de dados e dispositivos de qualquer natureza para coletar dados sobre o problema a ser resolvido.

Memória de trabalho: armazena as conclusões intermediárias e finais sobre o problema, dados coletados, e outros resultados das interações com o ambiente.

Base de conhecimento: registra o conhecimento sobre um tema utilizando uma ou mais técnicas para este fim; bem como o processo de

utilização deste conhecimento na resolução de problemas; seu conteúdo é o responsável pela efetiva e eficaz capacidade do SBC em resolver problemas.

Núcleo do sistema: é o encarregado das principais funcionalidades do sistema, ativando a interface quando necessário, processando o conhecimento na base e, usualmente, apresentando a explicação para as conclusões alcançadas a partir do conteúdo da memória de trabalho. Um componente importante do núcleo é o chamado Motor de Inferência, responsável pelo desenvolvimento do raciocínio sobre o problema a partir dos dados coletados do ambiente e do conteúdo da base de conhecimento.

Uma visão geral da metodologia de desenho e construção é apresentada abaixo. Pode-se verificar que é uma adaptação conveniente de uma metodologia geral de desenvolvimento de sistemas às particularidades de um SBC. Tem 4 fases principais e 11 etapas, organizadas da seguinte forma [9]:

1 – Planejamento

- Identificar o domínio
- Selecionar a equipe e fonte de conhecimento
- Selecionar a ferramenta de desenvolvimento

2 – Aquisição do Conhecimento

- Levantamento
- Conceituação e organização
- Formalização

3 - Implementação

- Representar o conhecimento na ferramenta
- Codificar a interface
- Documentar a interface

4 – Verificação

- Validação do SBC
- Refinamento e aperfeiçoamento

Cabe comentar que a metodologia acima não prevê a codificação do núcleo do sistema, uma vez que, atualmente, as ferramentas de desenvolvimento, comumente chamadas de *shell* trazem embutida este componente, em especial o motor de inferência. Isto tem facilitado o esforço do desenvolvimento de SBCs, pois os encarregados do trabalho podem se concentrar na parte mais crítica e difícil, que é a aquisição do

conhecimento. A dificuldade desta fase reside na usual dependência de obter parcela significativa do conhecimento a partir de pessoas especializadas, que nem sempre conseguem externar seus processos de raciocínio e as regras de pensamento que utilizam. Por isso, a fase de verificação é muito relevante, dado que é através dela que se pode analisar, junto com os especialistas consultados, a qualidade e abrangência do conhecimento registrado durante a implementação e proceder às devidas correções e complementos.

2.5 – Técnicas de representação de conhecimento em agentes

As técnicas de representação do conhecimento mais estudadas e utilizadas são: regras de produção; redes semânticas; *frames*; orientação a objetos; e representação lógica [6,9].

Os primeiros SBCs foram construídos baseados em regras de produção, as quais representam os relacionamentos lógicos entre os conceitos e objetos do domínio de conhecimento em questão. As regras têm a seguinte estrutura:

Se (condições) Então (conclusões e ações)

Essa estrutura captura naturalmente muito do que os especialistas fazem ao analisar relações de causa e efeito e tomar decisões sobre

problemas. Esta estrutura simples, muito prática e relativamente fácil de utilizar, tem importantes limitações: i) se o conhecimento for complexo, o SBC pode precisar de milhares de regras, provocando dificuldades de manutenção e lentidão de uso; ii) o motor de inferência pode não conseguir operar se o encadeamento de regras for muito longo, por limitações de memória.

Outra forma de representação de conhecimento muito utilizada é a rede semântica. Trata-se de um grafo rotulado e direcionado. Os nós do grafo são os objetos e os arcos que ligam os nós representam as relações entre os objetos. A grande vantagem é a possibilidade da representação gráfica do conhecimento e a facilidade de representar hierarquias entre os objetos. Através das hierarquias pode-se fazer os objetos herdarem propriedades ao longo da cadeia hierárquica, simplificando o conteúdo da representação.

Os *frames* são estruturas de dados que podem registrar o conhecimento sobre objetos ou conceitos do mundo real. Cada *frame* possui um nome que identifica o objeto ou conceito que ele representa, o qual é descrito na forma de conjuntos de atributos, chamados *slots*. Através de um *frame* pode-se representar um objeto ou conceito bastante complexo, pois basta organizar os *slots* para contemplar tudo o que se deseja representar. Os *frames* podem ser organizados em classes, o que possibilita a herança de propriedades entre classes que estejam

organizadas dentro de uma hierarquia. Esta propriedade permite a construção de generalizações através de níveis hierárquicos sucessivos, que são necessárias quando se manipulam objetos e conceitos muito complexos e suas relações com outros conceitos e objetos que também podem ser bastante complexos. Um estudo dos *frames* e sobre a aplicação de lógica paraconsistente na solução de problemas de herança é desenvolvido em [16].

Os modelos de representação apresentados até agora têm características que são mais ou menos adequadas dependendo do tipo de conhecimento que se quer representar. Assim, nenhuma delas é ideal em todos os casos, e os pesquisadores buscaram combinar as formas de acordo com a necessidade. Existem formas híbridas, que combinam duas ou mais das formas conhecidas, que produziram as chamadas formas múltiplas de representação de conhecimento. Um caso bastante utilizado é a representação via orientação a objetos, que permite combinar os *frames* com regras de produção. As metodologias de desenvolvimento de sistemas orientados a objetos permitem que um objeto combine os dados dos *slots* dos *frames* com as regras de produção sobre esses dados em uma única entidade.

A última técnica de representação de conhecimento a ser comentada é a representação através de lógica. Foi intencionalmente deixada por último porque é a técnica que servirá de base para o desenvolvimento deste

trabalho. Desde o final da década de 1970, o interesse por esta forma de representação tem crescido e, para muitos pesquisadores, é o instrumento preferido [9]. As razões desta preferência se originam da solidez dos fundamentos teóricos que uma lógica pode oferecer no desenvolvimento de aplicações. A Lógica Clássica, por exemplo, tem uma linguagem formal para representar conhecimento e mecanismos confiáveis e comprováveis de processamento de conhecimento visando elaborar raciocínios cujos resultados sejam logicamente corretos, através do emprego da lógica proposicional e da lógica de predicados [5,9]. Existem vários sistemas de lógica, conforme comentado no capítulo de introdução, desenvolvidos para atender necessidades específicas das diversas ciências. Portanto, é natural aproveitar as técnicas e conceitos dos diversos sistemas de lógica para construir SBCs. Linguagens como Prolog e LISP foram desenvolvidas a partir da Lógica Clássica, e empregadas com sucesso em diversas aplicações de IA. Vale comentar que, utilizando-se Lógica Modal e Lógica Multimodal, foram desenvolvidos modelos de agentes e SMAs formais e sofisticados, os quais são objeto de pesquisa e aplicação prática [11].

Até o presente, as técnicas desta forma de representação seguiram os conceitos e procedimentos da Lógica Clássica e suas extensões, com importantes resultados práticos. Porém, conforme comentado anteriormente, nem todas as situações são representáveis e tratáveis nos modelos clássicos, especialmente quando incerteza, incompletude ou inconsistências fazem parte da realidade do conhecimento ou das situações

que se necessite representar. O MPE visa oferecer uma alternativa de solução para essa limitação a partir da utilização dos conceitos da Et. O próximo capítulo apresenta os princípios e a estrutura conceitual da Lógica Clássica, suas conseqüências para a evolução do pensamento científico, seus limites e a alternativa que a lógica paraconsistente anotada, em particular a Et, oferece para superar esses limites e expandir as possibilidades de progresso nas ciências em geral.

3. Resumo da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial- Et

O objetivo deste capítulo é apresentar, resumidamente, alguns elementos importantes sobre a Lógica Clássica e seus efeitos sobre a forma predominante de pensar e agir da ciência e filosofia. Também se comentam as razões que levaram ao desenvolvimento de novas formas de lógica, chamadas de não-clássicas, em particular as lógicas paraconsistentes. Os conceitos da Et que serão utilizados no MPE também são apresentados; não existe a intenção de tratar estes assuntos de uma maneira formal, isto é, do ponto de vista matemático, mas unicamente introduzir as idéias e conceitos que levaram a escolha da Et como a base conceitual do MPE. As referências utilizadas para elaborar este capítulo contém informações complementares sobre os tópicos abordados [7,8,12].

3.1 – Breve visão sobre a Lógica Clássica e o paradigma científico desenvolvido a partir dela

A Lógica Clássica, ao que tudo indica, foi elaborada por Aristóteles (384-322 A.C.) e seus discípulos e seguidores, na Grécia antiga. Pode ser interpretada como o estudo das leis dos raciocínios válidos, ou seja, das maneiras de pensar que levam a conclusões corretas e verdadeiras. Assim, a partir de certos enunciados, existem maneiras de inferir conclusões sobre eles e chegar a outros enunciados sobre os quais se tenha a certeza de serem válidos.

Para elaborar e raciocinar sobre os enunciados é preciso uma linguagem, que também é usada para investigar os próprios enunciados e decidir a relação que se pode estabelecer entre eles. Em lógica, tais enunciados são chamados de sentenças ou proposições, e eles somente podem ser qualificados como verdadeiros ou falsos. Logo, dado um conjunto de proposições, pode-se estudar as relações que possam existir entre elas e decidir se são verdadeiras ou falsas. Para dirigir o raciocínio lógico clássico sobre as proposições, existem quatro princípios fundamentais, os quais são apresentados em símbolos usualmente empregados na linguagem da Lógica Clássica proposicional [8]:

Princípio da Identidade: $p = p$; toda proposição ou objeto é idêntico a si mesmo.

Princípio da Identidade Proposicional: $p \rightarrow p$; ou seja, toda a proposição implica nela mesma.

Princípio do Terceiro Excluído: $p \vee \neg p$; significando que, de duas proposições contraditórias (isto é, uma nega a outra), uma delas é verdadeira.

Princípio da Não-Contradição: $\neg(p \wedge \neg p)$; afirma que, entre duas proposições contraditórias, uma é falsa.

Estes princípios foram usados por séculos em estudos científicos e filosóficos, e possibilitaram grande parte do progresso que a humanidade alcançou. A Lógica Clássica predomina nos dias de hoje como a base e fundamento da Matemática, da Ciência da Computação, e da maioria das teorias científicas e filosóficas existentes [7,12].

A ciência e a filosofia, a partir da Lógica Clássica, baseavam-se na idéia que a complexidade do mundo dos fenômenos podia e devia ser estudada a partir de princípios e leis gerais simples, como simples são os princípios lógicos. Nesta linha de raciocínio, a complexidade era uma aparência da realidade, cabendo ao pesquisador descobrir essas leis simples que governam os fenômenos aparentemente complexos [7,12].

Criou-se um paradigma de pensamento e ação, conhecido como o paradigma clássico, que segue, dentre outros, os seguintes princípios [7]:

Princípio da generalidade : só interessam leis que expliquem uma ampla categoria de fenômenos; não existe lugar para o particular e o singular;

Princípio da separação : cada componente de um fenômeno deve ser separado de seu ambiente e estudado de forma isolada; adota-se a mesma

idéia de separação entre o observador e os objetos em estudo, para que o conhecimento seja, teoricamente, impessoal; e

Princípio da simplificação : identificar e utilizar as formas mais simples de composição e descrição dos fenômenos.

Esses princípios formam as premissas para a aplicação do método científico e da reflexão filosófica. Este paradigma suportou o desenvolvimento da ciência e filosofia por muitos séculos, e ainda é usado majoritariamente hoje. Foi muito bem sucedido e fecundo, pois é inegável o avanço dos conhecimentos da humanidade seguindo este paradigma, ao ponto que as ciências se desdobraram em muitas, diversas correntes de pensamento filosófico se estabeleceram e, hoje, ninguém pode almejar conhecer a fundo e amplamente nenhuma delas. [7,12]

3.2 – A complexidade do mundo real e a nova forma de pensar que ela requer

Os progressos das ciências naturais e humanas levaram ao reconhecimento das limitações do paradigma clássico, durante o século XX. Em seu início, a física quântica forçou ao reconhecimento de fenômenos contraditórios aos modelos da física clássica. A teoria da relatividade é incoerente com a mecânica newtoniana em certas faixas de velocidade, embora ambas sejam válidas em certas condições de velocidade e

aceleração. As ciências humanas revelam como elementos incoerentes e contraditórios convivem e interagem no interior da mente e das sociedades humanas. As ciências biológicas mostraram como a vida evolui e se mantém a partir da busca do equilíbrio entre forças opostas, em sistemas que são abertos e fechados, simultaneamente, dependendo do ponto de vista escolhido. Dizer que um enunciado qualquer é verdadeiro ou falso não é suficiente, em face aos fatos descobertos, pois também existem as condições 'pode ser' ou 'depende', em muitos fenômenos onde a complexidade se faz presente. Considerar as contradições encontradas como erros de pensamento não tem mais cabimento à luz dos muitos fenômenos complexos observados nas diversas ciências. As contradições e inconsistências não significam erros, mas revelam as inter-relações complexas que existem entre os fenômenos, a causação múltipla dos mesmos e as limitações do conhecimento utilizado para descrever e interpretar os fenômenos [7,12].

Portanto, o desenvolvimento do conhecimento científico colocou em xeque os princípios do paradigma clássico, que supunha que a complexidade era apenas aparente, ao se constatar de forma cabal que a complexidade é parte indissociável de muitos fenômenos, nos quais as interações entre partes geram novas causalidades, impossíveis de serem reconhecidas ao tratar os elementos isoladamente, conforme a visão simplificadora do paradigma clássico. Ou seja, entre o absolutamente verdadeiro e o indubitavelmente falso existe uma gradação potencialmente

infinita de estados em que uma proposição pode se situar ao tentar descrever um fenômeno ou ao estabelecer uma relação entre fenômenos [7, 12].

O reconhecimento da complexidade inerente a muitos fenômenos requer uma nova lógica para representar a realidade e dirigir o pensamento, dado que as contradições, incertezas e a própria incompletude do conhecimento não podem ser ignoradas, mas reconhecidas e trabalhadas ao longo da construção das teorias e realização das pesquisas, de forma tão legítima quanto as anteriores classificações de verdadeiro e falso, as únicas que a Lógica Clássica reconhece [12].

Ao longo do século XX, novas lógicas denominadas de não-clássicas foram desenvolvidas na tentativa de criar novos mecanismos racionais e formais de retratar e lidar com a realidade, a medida que a compreensão sobre a mesma evoluiu [12]. Uma família de lógicas não-clássicas promissora é a formada pelas lógicas paraconsistentes que, como ponto de partida, revogam o princípio da não-contradição. A Et, em particular, também revoga o princípio do terceiro excluído. Ao fazer estas duas revogações, a Et adquire grande capacidade de representação da realidade tal como muitos cientistas a reconhecem atualmente, pois consegue retratar incertezas, inconsistências e incompletude de conhecimento, enquanto preserva e amplia a capacidade descritiva e de raciocínio da Lógica Clássica, conforme mostrado mais adiante neste trabalho.

3.3 – Elementos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial - *Et*

3.3.1 – Introdução histórica

Primeiramente, é preciso explicar o que significa o termo lógica paraconsistente. Foi criado para destacar uma característica importante das lógicas que não adotam o princípio do terceiro excluído.

Entre os estudiosos da lógica, diz-se que uma teoria é consistente se entre seus teoremas (enunciados demonstrados como verdadeiros) não existem aqueles que afirmam algo que seja a negação de outros teoremas da mesma teoria, pois neste caso a teoria seria chamada de inconsistente. Também se diz que uma teoria é trivial se todas as sentenças formuladas em sua linguagem são teoremas. Segundo a Lógica Clássica, uma teoria inconsistente também é trivial, e reciprocamente, pois em seu modelo de pensamento, se for aceita como válida uma contradição então qualquer conclusão torna-se possível. Como este é um resultado indesejável, fica esclarecido porque a Lógica Clássica não admite a contradição como elemento aceitável em uma teoria qualquer sem torná-la trivial. Por outro lado, não adianta criar uma teoria que aceite a contradição mas se torne trivial. Uma teoria é dita paraconsistente se admitir a possibilidade de contradição sem que isto implique na sua trivialização.

Os primeiros lógicos a perceberem a possibilidade de teorias paraconsistentes foram o polonês J. Lukasiewicz e o russo N. Vasilev, por volta de 1910. O primeiro lógico a estruturar um cálculo proposicional paraconsistente foi o polonês S. Jaskowski, discípulo de Lukasiewicz, em 1948, ao publicar suas idéias sobre a contradição e o seu papel na lógica. Os primeiros sistemas completos de Lógica Paraconsistente, com cálculos proposicional, de predicados e de ordem superior, foram elaborados por N.C.A. da Costa, a partir de 1954. A partir destes trabalhos, foram elaboradas teorias de conjuntos paraconsistentes e matemáticas paraconsistentes. Estes resultados permitiram vislumbrar que uma Lógica Paraconsistente pode criar teorias mais amplas do que aquelas baseadas na Lógica Clássica, pois possibilita tanto reproduzir as suas conclusões quanto elaborar outras mais abrangentes. Foi provado que ela permite criar teorias não triviais, onde enunciados inconsistentes sejam tratados rigorosamente [8,12].

A busca por teorias lógicas alternativas à clássica levou ao desenvolvimento de uma categoria de teorias lógicas chamadas de paracompletas. Recebem este nome por excluírem o princípio da não-contradição em sua construção. Existe, também, a categoria de lógicas não-aléticas, que são as lógicas paraconsistentes e paracompletas, simultaneamente. A Et é uma lógica não-alética e, portanto, é menos restritiva que a Lógica Clássica, o que lhe confere uma capacidade de representação e descrição da realidade maior e mais ampla, fator

indispensável para descrever e resolver os fenômenos e problemas complexos.

3.3.2 - A linguagem da *Et*

A capacidade de descrição e de raciocínio sobre a realidade depende do quanto de informação sobre as proposições que descrevem essa realidade pode ser registrada e trabalhada. Na Lógica Clássica, para cada proposição somente se poderia qualificar se ela é verdadeira ou falsa, ou seja, é uma lógica chamada de bivalorada por somente admitir dois valores de anotação. Em razão da complexidade do mundo real, precisamos de uma capacidade mais ampla de anotação, visto que ela requer mais estados do que apenas esses dois para qualificar uma sentença (ex: 'talvez seja possível'; 'com quase certeza', 'com dúvida moderada', 'depende' , etc.). Ou seja, precisamos de uma linguagem que nos permita criar modelos capazes de descrever a realidade que pretendemos estudar e cujos problemas queremos resolver.

A linguagem da *Et* é composta do seguinte vocabulário:

- variáveis proposicionais: ex: p , q , para representar as proposições;
- constantes de anotação: elementos de um reticulado, utilizados para qualificar as proposições (vide abaixo a explicação sobre o reticulado);

- conectivos lógicos: \neg (negação) , \vee (ou) , \wedge (e) , \rightarrow (implica em),
 \leftrightarrow (equivale a), para representar a relação entre as proposições ;

- símbolos auxiliares: (,) , { , } , [,] , para ajudar na construção das sentenças com mais de uma proposição.

A anotação das sentenças é feita a partir de um reticulado definido como $\tau = \langle |\tau|, \leq, \sim \rangle$, onde

1) $|\tau|$ é um conjunto finito não-vazio

2) \leq é uma relação de ordem sobre $|\tau|$

3) sempre existe o supremo para quaisquer dois elementos de $|\tau|$, e sempre existe o ínfimo para quaisquer dois elementos de $|\tau|$

4) está definida a operação \sim , chamada de negação epistêmica, que tem o mesmo significado prático e intuitivo da negação \neg .

Vamos ilustrar os elementos descritos sobre o reticulado com o seguinte exemplo:

Seja o conjunto $|\tau| = \{ V, F, \perp, T \}$, para o qual está definida a seguinte relação de ordem: $\perp < V$, $\perp < F$, $V < T$, $F < T$. Portanto, o supremo é T e o ínfimo é \perp . A operação de negação é definida como $\sim V = F$, $\sim F = V$. $\sim T = T$, $\sim \perp = \perp$. Este é o exemplo de uma anotação paraconsistente, na

qual V significa verdadeiro, F significa falso, \perp significa indeterminado (alguns lógicos também o chamam de paracompleto) e T significa inconsistente. Neste caso, cada sentença anotada pelo reticulado teria o seguinte significado:

$p (V) =$ a sentença p é verdadeira

$p (F) =$ a sentença p é falsa

$p (\perp) =$ a sentença p é indeterminada (não conseguimos decidir se é verdadeira ou falsa com base nas evidências disponíveis)

$p (T) =$ a sentença p é inconsistente (temos simultaneamente evidências a favor da verdade e evidências a favor da falsidade de p)

O exemplo acima revela como um reticulado muito simples permite uma capacidade de representação mais ampla do que a possível pela Lógica Clássica. Reticulados mais elaborados têm, portanto, capacidade de representação maior e mais diversificada, conforme é mostrado mais adiante.

Com um vocabulário, podemos também estabelecer a gramática da linguagem de $E\tau$.

- expressões: qualquer seqüência finita de símbolos do vocabulário.
- fórmulas: valem para as fórmulas as regras abaixo

- se p é uma variável proposicional e α uma anotação então p_α é uma fórmula atômica;
- dadas duas fórmulas A e B quaisquer, então $(\neg A)$, $(A \wedge B)$, $(A \vee B)$, $(A \rightarrow B)$, $(A \leftrightarrow B)$ também são fórmulas;
- uma expressão é considerada fórmula se e somente se for obtida aplicando uma seqüência das regras 1 e 2, acima. A fórmula é chamada complexa quando contém duas ou mais fórmulas atômicas.

Por fim, para concluir a linguagem, resta estabelecer sua semântica, a qual nos permite conhecer o significado do que foi escrito com o vocabulário e a gramática. Chama-se interpretação, representada por \mathcal{I} , a associação de uma anotação a cada proposição da linguagem, ou seja, a cada proposição p se associa a anotação α . Pela interpretação, representamos o que as evidências disponíveis permitem concluir a respeito de uma proposição. No exemplo acima, se é verdadeira, falsa, inconsistente ou indeterminada.

A valoração, representada por \mathcal{V} , é uma função para indicar se uma fórmula é válida segundo a lógica paraconsistente. Esta função relaciona cada fórmula (proposições e suas anotações) com o conjunto formado pelos elementos $\{0;1\}$. Assim, $\mathcal{V}(p_\alpha) = 1$ significa que a fórmula é válida, ou seja, faz sentido como representação da realidade, conforme as evidências, e se

a valoração for 0 significa que a fórmula é inválida. Como regras de valoração, temos:

$$1) V(p_\alpha) = 1 \leftrightarrow I(p) \geq \alpha$$

$$2) V(p_\alpha) = 0 \leftrightarrow I(p) < \alpha$$

3) Se A e B forem fórmulas quaisquer, valem as seguintes regras

$$V(A \wedge B) = 1 \leftrightarrow V(A) = V(B) = 1$$

$$V(A \vee B) = 0 \leftrightarrow V(A) = V(B) = 0$$

$$V(A \rightarrow B) = 0 \leftrightarrow V(A) = 1 \text{ e } V(B) = 0$$

$$V(A \leftrightarrow B) = 1 \leftrightarrow V(A) = V(B)$$

4) $V(\neg A) = 1 - V(A)$, se A for fórmula complexa

É possível, combinando as anotações e as sentenças, registrar na linguagem da Et tanto o nosso conhecimento sobre a realidade, a partir de sentenças como p, quanto o estado de nosso conhecimento a partir das evidências sobre a realidade, pelas anotações. O reticulado apresentado acima é bem simples, mas permite uma representação mais rica do que aquela que seria possível pela Lógica Clássica, muito mais restrita, pois se não tivermos absoluta certeza que uma sentença p é verdadeira, só resta a opção de considerá-la falsa. Esta forma de pensar elimina muita informação a respeito da realidade e de nosso conhecimento sobre ela.

Esta limitação impossibilita a solução de problemas complexos, onde muitas causas podem atuar simultaneamente (característica da complexidade) sem que possamos indicar com precisão o grau de influência e o impacto de cada uma no fenômeno ou problema em estudo. Precisa-se de uma linguagem flexível para representar essa variedade de possibilidades.

Com o intuito de utilizar um maior poder de representação do quanto as evidências afetam nosso conhecimento sobre as proposições, a maioria das aplicações da Et utiliza um reticulado mais informativo do que o empregado no exemplo anterior. Ao invés de utilizar um reticulado formado por apenas um conjunto de símbolos ordenados, emprega-se um reticulado formado por um conjunto de pares ordenados, conforme abaixo:

$$|\tau| = \{ (\mu, \lambda) \mid \mu \in [0;1] \wedge \lambda \in [0;1] \}$$

O primeiro elemento do par ordenado, representado por μ , significa o grau em que as evidências favoráveis suportam uma proposição, e o segundo elemento do par ordenado, representado por λ , significa o grau em que as evidências desfavoráveis negam, ou rejeitam, uma proposição. O exemplo abaixo ilustra esta nova forma de anotação:

Seja p a proposição 'Pedro gosta de ler'. A sentença $p_{(0.8;0.3)}$ deve ser lida como "Pedro gosta de ler, com evidência favorável de 0.8 e evidência desfavorável 0.3". Assim, pode-se indicar que há muitos motivos para

afirmar que Pedro gosta de ler, dadas as evidências que Pedro foi visto várias vezes lendo jornais, revistas e livros em casa e na escola. No entanto, se não houver uma declaração de Pedro afirmando que gosta de ler, nos falta uma evidência importante, pois ele pode ter lido várias vezes por obrigação e não porque gostasse, e por isso não podemos dizer que temos evidência favorável máxima, no caso, com valor 1. Por outro lado, como ouviu-se uma vez Pedro afirmar que gosta de ouvir música, mas não afirmou que gosta de ler, há evidência, embora pequena, de que ele não gosta de ler. Dessa forma, se reconhece que existe alguma evidência desfavorável à afirmação, o que não permite dizer que seja 1 e, conseqüentemente, invalidaria a proposição, mas também não deve ser 0, dado que alguma evidência contrária existe. No caso em questão, os valores de 0.8 e 0.3 foram considerados adequados para representar, ou seja, anotar o quanto as evidências afetam a afirmação feita sobre Pedro.

Até este ponto, pode-se constatar uma importante diferença entre a Lógica Clássica e uma lógica paraconsistente anotada. Na última, temos a capacidade de representar os resultados da consideração de todas as evidências conhecidas ao anotar uma proposição, reconhecendo o estado de nosso conhecimento sobre a mesma. Na primeira, presos à rigidez dos seus princípios, somente poderíamos concluir que a proposição 'Pedro gosta de ler' era falsa, pois não existem evidências que suportem indubitavelmente a afirmação. Daí por diante, os instrumentos da Lógica Clássica não possibilitam manter o conhecimento sobre as evidências

relacionadas a Pedro para elaborar raciocínios onde elas sejam consideradas e, por conseqüência, perde-se informação sobre Pedro que poderia ser útil em alguma situação, especialmente se for uma situação complexa, onde algumas informações, mesmo isoladamente pouco importantes, pequenos detalhes, podem influenciar as conclusões finais.

Voltando ao exemplo, se outras evidências existirem, devem-se rever os valores da anotação para considerá-las apropriadamente. Caso Pedro não tirasse boas notas na escola, teríamos mais evidências desfavoráveis, pois quem não gosta de ler também não gosta de estudar e, conseqüentemente, vai mal na escola. Por outro lado, se Pedro tirasse notas altas na escola, haveria mais evidências favoráveis ao fato de ele gosta de ler, pois alunos com boas notas geralmente são estudiosos e gostam de ler. Dessa forma, é possível considerar toda a informação e evidências disponíveis sobre uma proposição para avaliar o quanto ela é verdadeira e o quanto ela é falsa, e não ficar presos a apenas uma escolha: verdadeira ou falsa. Esta capacidade é muito valiosa para resolver problemas complexos, conforme o MPE, no Capítulo 4, demonstra.

Uma das vantagens do emprego do reticulado na forma (μ, λ) é a facilidade de representar graficamente a anotação em um plano cartesiano, onde o eixo horizontal representa as evidências favoráveis e o eixo vertical as evidências desfavoráveis.

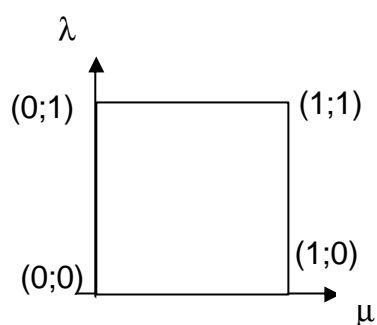


Figura 3.1 – Quadrado Unitário no Plano Cartesiano

Na figura acima, representamos graficamente 4 elementos do reticulado. Estes 4 pontos delimitam o chamado Quadrado Unitário no Plano Cartesiano (QUPC), e são também pontos que simbolizam as condições mais extremas de uma anotação.

(0;0) : chamado de paracompleto ou indeterminado, este ponto significa a falta total de evidências favoráveis e desfavoráveis sobre uma proposição.

(0;1): chamado de falso (F), este ponto representa a situação em que todas as evidências são desfavoráveis à proposição.

(1;1): chamado de inconsistente, este ponto significa que temos evidências totalmente favoráveis e também evidências totalmente desfavoráveis à proposição.

(1;0): chamado de verdadeiro (V), este ponto representa a situação na qual todas as evidências são favoráveis à proposição.

Durante a discussão sobre o MPE, será novamente abordada a representação gráfica do reticulado, seus significados e aplicações no raciocínio. Vale notar a simplicidade e a versatilidade com que este reticulado possibilita a representação do conhecimento sobre as evidências relativas a qualquer proposição. O fato de considerar o intervalo $[0;1]$ também facilita a utilização de conceitos e representações decorrentes de teorias de vasta aplicação em ciência e tecnologia, tais como a teoria da crença, a teoria da probabilidade e a estatística, as quais também trabalham com este intervalo em seus métodos. É característico da Et a incorporação de idéias e conceitos já estabelecidos e comprovados em outros campos de conhecimento para enriquecer a sua forma de representação dos fenômenos e do conhecimento sobre eles através das evidências.

Outro aspecto que vale a pena explorar é a capacidade da Et em revelar quando uma proposição é incompleta em face ao conhecimento disponível sobre um dado objeto, uma característica que não se pode retratar através da Lógica Clássica. O exemplo, a seguir, ilustra este fato:

Considere as proposições sobre Pedro:

- 1 – Pedro gosta de ler.
- 2 – Pedro gosta de viajar.
- 3 – Pedro gosta de dançar.
- 4 – Pedro gosta de ler e dançar.

5 – Pedro gosta de ler, dançar e viajar.

As três primeiras proposições afirmam características elementares de Pedro. As duas últimas combinam o conhecimento contido nas proposições anteriores. Do ponto de vista da Lógica Clássica, as proposições 4 e 5 são igualmente verdadeiras, pois são coerentes com o que se sabe a respeito de Pedro, conforme as proposições 1 a 3. No entanto, é intuitivo admitir que a proposição 5 é mais abrangente, revela completamente a verdade conhecida sobre Pedro, enquanto a proposição 4 é incompleta, apesar de verdadeira. Através do uso da anotação, pode-se refletir este estado de incompletude, utilizando-se o valor de λ para refletir as situações onde uma proposição não contém toda a verdade conhecida a respeito de um objeto. Um valor alto para λ pode ser usado para representar esta situação. Ao longo do estudo do MPE, no Capítulo 4, é visto que uma proposição do tipo da 5 é a preferível e deve ser buscada, ao tentar resolver problemas complexos.

Para concluir esta introdução, segue a forma como a Et trabalha a negação de uma proposição, os conectivos lógicos, e alguns de seus teoremas.

Seja $p_{(\mu;\lambda)}$ uma proposição anotada. Então,

$\neg p(\mu;\lambda) = p(\lambda;\mu)$, ou seja, na negação, invertemos os valores da anotação;

$p(\mu_1;\lambda_1) \vee p(\mu_2;\lambda_2) = p(\mu_3;\lambda_3)$, onde μ_3 é o maior valor entre μ_1 e μ_2 , e λ_3 é o maior valor entre λ_1 e λ_2 . O conectivo 'ou' maximiza os valores da anotação de um conjunto de proposições; e,

$p(\mu_1;\lambda_1) \wedge p(\mu_2;\lambda_2) = p(\mu_3;\lambda_3)$, onde μ_3 é o menor valor entre μ_1 e μ_2 , e λ_3 é o menor valor entre λ_1 e λ_2 . O conectivo 'e' minimiza os valores da anotação de um conjunto de proposições.

Os teoremas, a seguir, são, em grande parte, idênticos aos da Lógica Clássica, com exceção dos 3 últimos.

Sejam A, B, C fórmulas quaisquer; F e G fórmulas complexas; p uma proposição, α e β anotações. Então,

$$A \rightarrow (B \rightarrow A)$$

$$(A \rightarrow (B \rightarrow C)) \rightarrow (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)$$

$$((A \rightarrow B) \rightarrow A) \rightarrow A$$

$$(A, A \rightarrow B) / B \text{ (regra de Modus Ponens)}$$

$$A \vee B \rightarrow A$$

$$A \vee B \rightarrow B$$

$$A \rightarrow (B \rightarrow (A \wedge B))$$

$$A \rightarrow (A \vee B)$$

$$B \rightarrow (A \vee B)$$

$$(A \rightarrow C) \rightarrow ((B \rightarrow C) \rightarrow ((A \wedge B) \rightarrow C))$$

$$(F \rightarrow G) \rightarrow ((F \rightarrow \neg G) \rightarrow \neg F)$$

$$F \rightarrow (\neg F \rightarrow A)$$

$$F \vee (\neg F)$$

ρ_{\perp} , sempre vale a anotação de valor mínimo

$\rho_{\alpha} \rightarrow \rho_{\beta}$, se $\alpha > \beta$

$\rho_{\alpha_1} \wedge \rho_{\alpha_2} \wedge \rho_{\alpha_3} \wedge \dots \wedge \rho_{\alpha_n} \textcircled{R} \rho_{\beta}$, onde β é o maior valor entre $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$

Diversas aplicações em IA e em robótica foram desenvolvidas e implementadas a partir dos conceitos apresentados sobre a Et. A consulta às referências especializadas no tema permitirá conhecer alguns casos reais destas aplicações [8,26,27]. O MPE foca os aspectos semânticos da utilização de um reticulado como (μ, λ) , associado às interpretações que ele possibilita sobre a realidade e o conhecimento proporcionado pelas evidências, durante o desenvolvimento de raciocínios e de soluções sobre problemas complexos, conforme apresentado no capítulo 4. No capítulo 5, abordam-se outros avanços e possibilidades que a utilização de reticulados mais elaborados pode trazer.

4. O modelo paraconsistente evidencial (MPE)

4.1 – Problemas do mundo real e seu mapeamento para o MPE

O objetivo deste capítulo é apresentar um método geral e genérico de solução de problemas que possa ser adaptado às diferentes disciplinas científicas e áreas do conhecimento humano na tratativa de problemas complexos. Não são discutidas metodologias específicas de soluções de problemas, pois existem muitas e é um campo permanente de criação nas diversas áreas do saber humano, mas busca-se uma forma abrangente de abordar este tema. Assume-se apenas que os problemas complexos sejam passíveis de solução a partir de dois conceitos: racionalidade e conhecimento, e, portanto, podem ser resolvidos integralmente por agentes baseados em conhecimento ou, pelo menos, resolvidos com sua contribuição.

Neste ponto, cabe lembrar que a teoria dos agentes e SMAs é parte da IA, que por sua vez é uma área da Ciência da Computação, e esta é uma área de Matemática Aplicada, a qual se fundamenta na Lógica. Logo, qualquer problema a ser resolvido por um agente deve ser estabelecido e resolvido como um problema matemático, para poder ser aproveitado o potencial de contribuição que a Matemática e a Lógica trazem à Ciência e à Tecnologia.

Portanto, em qualquer problema, independente de ser ou não complexo, aplicam-se os estágios básicos utilizados para resolver os problemas da matemática [2]:

- 1) Compreender o problema e encontrar suas causas fundamentais – o estágio de diagnóstico;
- 2) Gerar uma solução a partir do conhecimento relacionado às causas identificadas. A solução requer o desenvolvimento de um plano para ser aplicada – o estágio de planejamento da solução;
- 3) Implementar a solução planejada – o estágio de implementação;
- 4) Avaliar a efetividade e eficiência da solução implementada: se não for considerada adequada ou passível de melhorias, então deve-se retornar a um dos estágios anteriores e repetir o processo – o estágio de avaliação.

Em cada estágio, pode existir mais do que uma opção a seguir para executar o estágio e, em princípio, deve-se escolher a melhor opção (ou o melhor grupo de opções complementares entre si e consideradas adequadas ao problema) em termos de efetividade e eficiência. Para fazer a escolha entre as opções, usa-se o raciocínio para avaliar cada opção. É recomendável que, primeiramente, se identifique todas as possíveis opções

antes de fazer a escolha, embora, muitas vezes, certas opções somente sejam identificadas ao longo do processo de resolver o problema, após o entendimento sobre o mesmo ter amadurecido [2].

Para agir como bom matemático ao enfrentar um problema, deve-se considerar os aspectos positivos e negativos de cada teoria ou técnica, em cada opção avaliada (vantagens, desvantagens, facilidade e custo de implementação, completeza em relação ao problema em questão, etc.). Algumas vezes, técnicas e conhecimentos que parecem, a primeira vista, inconsistentes por não serem diretamente relacionados entre si formam a solução mais elegante, pois cada um captura uma parte da natureza essencial do problema e podem ser combinados para compor a solução final (tal como se fez com a álgebra, geometria e trigonometria na prova clássica do Teorema de Pitágoras).

Uma opção em qualquer estágio da solução de problemas no mundo real é equivalente a uma “proposta” no MPE. Cada proposta pode assumir a forma de uma proposição ou fórmula, em linguagem lógica, e é avaliada em seus aspectos positivos e negativos sobre o problema em questão. As propostas podem ser criadas via uma pesquisa em uma base de conhecimento (contendo referências técnicas, experiências anteriores, um sistema especialista, etc.) ou podem ser criadas através da “combinação” de propostas que tenham aspectos positivos para o problema e não sejam mutuamente exclusivas. Este é o processo que acontece normalmente no

mundo real quando o agente é um ser humano e, conforme será mostrado, outros tipos de agentes podem repetí-lo através do MPE. Na próxima seção deste capítulo é discutido o significado de “proposta” e “combinação”, bem como de outros conceitos do MPE.

4.2 – Terminologia e conceitos do processo de raciocínio do MPE

Tendo em vista os termos e conceitos da Et, é preciso definir outros termos e conceitos adaptados para a estrutura conceitual e funcional dos agentes baseados em conhecimento, com o intuito de dispormos de um modelo prático para resolver problemas através de agentes e, potencialmente, de SMAs. Este é o propósito e a razão de ser do MPE.

Deve ser ressaltado que a terminologia adotada não pretende empregar significados que as mesmas palavras têm em outros ramos do conhecimento. No MPE, os significados são exclusivamente aqueles descritos a seguir.

Agente – este termo é usado como sinônimo que tudo o que emprega o MPE na solução de problemas. Um agente pode ser um software, uma máquina autônoma ou um ser humano. É o mesmo conceito utilizado na literatura de IA [5,9].

Proposta – é uma sentença que declara algo a ser avaliado pelo MPE. Em geral, uma proposta é uma proposição, simples ou composta de várias proposições simples, que sugere uma qualidade sobre alguma coisa ou uma ação a ser realizada, dado que, nos problemas, estamos buscando entender as características de algum objeto ou decidir o que fazer em alguma circunstância. Conforme já comentado anteriormente, cada opção analisada nos estágios da solução de problemas é uma proposta no MPE. Exemplos de propostas: i) de serviços médicos: ‘o paciente tem câncer’ ou ‘a cirurgia de coração é a melhor solução para a doença do paciente’; ii) de Gestão de Produto: ‘a qualidade de nosso produto é inferior ao padrão da indústria’ ou ‘vamos começar o Projeto X em janeiro próximo’ ou ‘devemos descontinuar a fabricação do produto Y para aumentar nossa lucratividade’. Toda proposta terá uma anotação (μ, λ) ao final do processo de raciocínio do MPE.

O objetivo do raciocínio do MPE é duplo: i) aprovar ou rejeitar as propostas; e ii) criar uma proposta boa o suficiente para ser aprovada. Mais adiante, discute-se como realizar este duplo objetivo.

Opinião – Sempre que um agente gera uma proposta, ela tem de ser avaliada por ele e, no caso de um SMA, por outros agentes. Um agente avaliador deve emitir uma anotação e respectivos argumentos de suporte para a anotação produzida, como resultado de sua análise sobre a proposta em questão. Este conjunto de anotação e argumentos de apoio, resultantes

da avaliação de um agente sobre uma proposta, terá o nome de opinião. As opiniões não existem sozinhas e estarão sempre relacionadas e uma dada proposta.

Favorecimento – Este é o nome do valor da evidência favorável μ na anotação (μ, λ) , conforme a Et. No MPE, o favorecimento representa o resultado da consideração de todas as evidências favoráveis à proposta. Quanto maior o favorecimento, melhor as evidências suportam a proposta em face ao problema em questão.

Desfavorecimento – Este é o nome do valor da evidência desfavorável λ na anotação (μ, λ) , conforme Et. No MPE, o desfavorecimento representa o resultado da consideração de todas as evidências que são desfavoráveis à proposta. Quanto maior o desfavorecimento, mais fortemente as evidências rejeitam, ou são contrárias, à proposta.

Evidência – É chamada de evidência a cada unidade de informação utilizada para o cálculo da anotação. As evidências podem ser um dos seguintes exemplos, mas não limitados a eles: o valor de uma variável; uma crença do agente; um estado do agente; uma estimativa ou previsão, produzida ou obtida pelo agente, sobre qualquer um dos exemplos anteriores. As evidências a serem consideradas variam de acordo com o problema e a proposta em estudo.

Valorização – Conforme mencionado no Capítulo 3, a anotação (μ, λ) é da seguinte forma: μ e λ são números reais e pertencem ao intervalo $[0;1]$. Os valores de μ e λ devem ser calculados a partir das evidências disponíveis para a proposta e conforme o problema em vista. Não faz parte do escopo deste trabalho determinar o método para calcular os valores de μ e λ . Há muitos métodos possíveis de serem utilizados de acordo com o desenho e propósito do agente, sua área de especialização e o problema a ser resolvido. O método (ou métodos) deve ser decidido pelo desenhista do agente (a partir, por exemplo, de funções de utilidade, métodos probabilísticos, teoria dos jogos, tabelas de decisão qualitativa, cálculos de custos, cálculos estatísticos, e outros). No entanto, em qualquer método ou combinação de métodos, a normalização é mandatória no cálculo dos valores da anotação, de modo a possibilitar que as anotações nas opiniões produzidas por diferentes agentes (e possivelmente por métodos diferentes) sejam comparáveis entre si. O processo de calcular o valor da anotação, em função das evidências conhecidas pelo agente e pelo requisito de normalização, é chamado de valorização.

Argumentação – No MPE é chamada de argumentação a lista de evidências que suportam a valorização de uma dada anotação em uma opinião ou proposta. Dependendo da proposta e do problema considerados, as evidências a serem processadas na valorização poderão variar. Como exemplo, as evidências necessárias para decidir sobre um diagnóstico de câncer são distintas das evidências para decidir sobre o diagnóstico da

AIDS. Similarmente, as evidências necessárias para a tomada de decisão sobre um projeto por parte do Diretor Financeiro são diferentes daquelas requeridas pelo Diretor de Operações, e ambas podem ser diferentes das que são importantes para o Diretor Comercial. No MPE, a argumentação tem um papel importante por permitir possibilidades de raciocínio que apenas são possíveis quando o mundo é visto sob a ótica da Et, conforme apresentado nas seções seguintes. Cada opinião ou proposta deve ter sua respectiva argumentação de suporte. A discussão sobre argumentação e sua importância para a inferência lógica e cálculo de incertezas é mencionada em [1].

Composição – As opiniões sobre uma proposta, produzidas pelos agentes, devem ser processadas para estabelecer a anotação e argumentação finais para a proposta. A atividade de composição considera cada anotação e respectiva argumentação em todas as opiniões para produzir a anotação e argumentação final da seguinte maneira:

1 – Calcula-se a média para μ e a média para λ , de todas as anotações. Estas médias podem ser ponderadas se for necessário dar diferentes pesos para cada fonte de opinião (ex: considerar o nível de especialidade dos agentes em relação ao problema). A anotação final é (média de μ , média de λ).

2 – A argumentação final é a união (como na Teoria dos Conjuntos) de todas as argumentações presentes nas opiniões. Assim, evidências repetidas e idênticas são apresentadas apenas uma vez, mas evidências diferentes são mantidas, mesmo aquelas referentes a uma mesma variável, mas com conteúdo diverso.

Análise – No processo de análise é elaborada a conclusão sobre a proposta após a composição, e buscam-se respostas para as seguintes perguntas: é a proposta boa o suficiente? Se não for, o que podemos aproveitar dela para criar uma proposta melhor? Para realizar a análise de uma proposta é preciso saber interpretá-la adequadamente à luz de sua anotação e respectiva argumentação. Nas próximas seções deste capítulo é discutido como fazê-lo.

Combinação – A combinação é o processo que seleciona, em um grupo de propostas, os elementos de cada proposta que são adequados para o problema em questão e elimina, se possível, os elementos que são inadequados, para criar uma nova proposta. A combinação também pode acrescentar novos elementos em uma proposta para compensar aqueles causadores de seu desfavorecimento ou aumentar o seu favorecimento, via pesquisa em bases de conhecimento ou por sugestão de outros agentes. Após a combinação, o agente tem uma nova proposta para ser avaliada, repetindo-se o ciclo de raciocínio do MPE.

A figura 4.1 apresenta uma visão sumária de como o processo de raciocínio do MPE funcionaria em um SMA, e o relacionamento entre alguns dos termos e conceitos mencionados anteriormente. Um agente qualquer, em face a um problema, deve buscar em sua base de conhecimento uma ou mais propostas de solução. Cada proposta pode ser avaliada pelos demais agentes do sistema (todos os agentes ou apenas uma parte, dependendo de suas especialidades e do problema em questão; o próprio agente emissor da proposta também pode avaliar se tiver capacidade para tanto), que devolvem ao agente original as suas opiniões sobre cada proposta recebida. A partir das opiniões recebidas, o agente compõe a anotação e os argumentos finais da proposta e a analisa, para saber se é boa o suficiente para o problema. Se for, pode seguir para sua próxima tarefa (ou próximo problema), senão combina as propostas conhecidas, na tentativa de criar uma proposta melhor do que as anteriores e repete o processo de avaliação para a nova proposta. No caso de um único agente, a proposta deve passar à fase de análise logo após ser gerada.

É importante notar que os conceitos do MPE, seu inter-relacionamento e seu encadeamento reproduzem os estágios de solução de problemas matemáticos comentados na seção anterior, e incorporam a capacidade de representação da Et a partir das evidências sobre o problema.

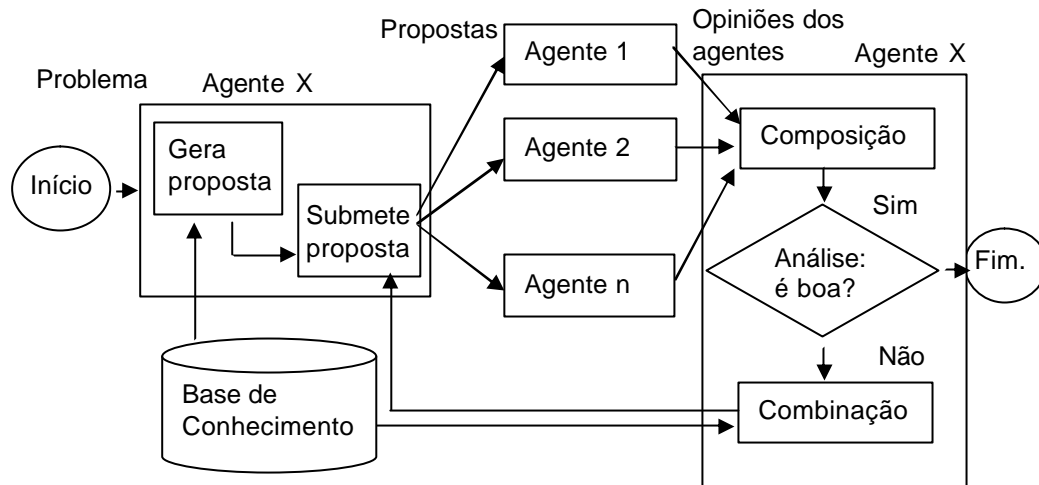


Figura 4.1 – Visão geral fluxo de raciocínio do MPE em um SMA

4.3 – O raciocínio no MPE e interpretação de resultados

Tendo como ponto de partida os conceitos do MPE descritos na seção anterior, pode-se complementar o método de solução dos problemas e sua tradução nos conceitos da Et. O primeiro passo é compreender o significado das anotações e como interpretá-las durante a análise das propostas. O modo mais simples de interpretar uma anotação é representá-la no gráfico da figura 4.2.

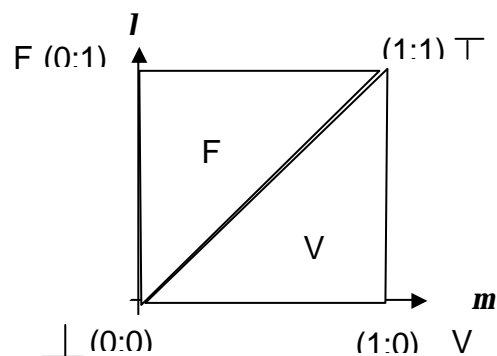


Figura 4.2 – Raciocínio em triângulos

O triângulo V significa que todas as propostas com anotações em seu interior estão mais próximas do ponto V do que do ponto F. O triângulo F significa que todas as propostas com anotações em seu interior estão mais próximas do ponto F do que do ponto V. De acordo com a Et, o ponto V representa a anotação com máximas evidências favoráveis e nenhuma evidência desfavorável, e é, portanto, a melhor condição possível de aprovação para uma proposta. Em oposição, o ponto F significa a mais forte condição de rejeição de uma sentença, pois não apresenta qualquer evidência favorável e todas as evidências disponíveis indicam a negação do que a proposta afirma. Até agora, baseados somente nesta interpretação bem simples do significado das anotações, se estiver no triângulo V deve ser aprovada e, caso contrário, rejeitada.

Esta maneira simples de raciocinar, embora rápida de realizar, deixa algumas relevantes questões em aberto:

- Como proceder se a anotação se encontrar na linha comum aos dois triângulos: sendo $m=1$ o que fazer?
- A simplicidade pode ser perigosa: uma anotação como (0.1; 0) em uma proposta ou opinião significaria uma aprovação, mas ela tem muito pouca evidência favorável; não seria o caso de procurar por uma proposta melhor, com uma anotação mais próxima ao ponto V?

A utilização da figura 4.2 como ferramenta de análise tem capacidade limitada, mas é o primeiro passo no raciocínio MPE e pode ser usada quando uma decisão imediata sobre uma proposta precisa ser tomada. Para analisar as propostas mais profundamente é preciso uma ferramenta melhor, e a figura 4.3 apresenta uma versão aprimorada que mantém a simplicidade de construção.

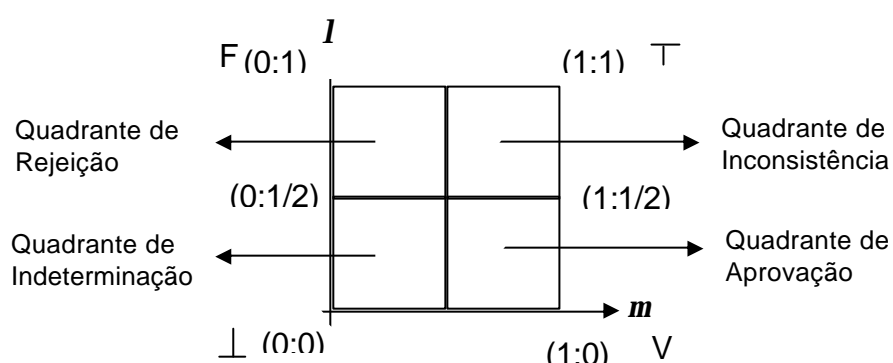


Figura 4.3 – Raciocínio em quadrantes

Com quatro regiões de análise, a figura 4.3 pode revelar muito mais sobre a proposta em relação ao problema e possibilita maior profundidade de avaliação a respeito de uma proposta e sua argumentação. Com os quadrantes, é possível compreender melhor o significado de uma anotação e das evidências que a suportam.

O Quadrante de Rejeição representa a situação onde o desfavorecimento é maior do que o favorecimento, o que indica uma clara decisão de rejeição. No entanto, é bom verificar na argumentação se existe

alguma evidência que possa significar ‘conclusão preliminar’ ou ‘considerando apenas os dados disponíveis’. Em tal situação, se mais dados estivessem disponíveis talvez uma diferente valorização fosse realizada e outra anotação poderia ser produzida. Se esta situação não existe, então podemos terminar o raciocínio e rejeitar a proposta. Caso contrário, é aconselhável esperar e obter os dados faltantes. Em muitas situações, alguns dados demoram mais tempo para serem obtidos e as decisões são tomadas apenas com os dados disponíveis, quando esperar não é possível. Sendo assim, o processo de raciocínio deve considerar esta hipótese e, se o tempo não for restrição, esperar para que todos os dados sejam coletados e somente então proceder à valorização das evidências.

O Quadrante de Indeterminação é também revelador, pois uma anotação em seu interior representa duas possíveis situações: a primeira pode ser similar àquela discutida anteriormente, na qual dados faltantes não permitem uma valorização completa das evidências necessárias; a segunda é que a proposta é irrelevante para o problema, visto não ter favorecimento nem desfavorecimento significativos. Na primeira situação, é aconselhável esperar pelas razões já explicadas. Na segunda, é intuitivo que uma proposta assim não contribui para a solução do problema, e é uma candidata à rejeição.

Até este ponto, é possível observar que o MPE considera toda a informação disponível e sua natureza (se completa ou não, se conclusiva ou

não) e a trata cuidadosamente. Durante o estudo dos outros quadrantes será constatado o quanto esta abordagem é útil durante a análise de problemas complexos. De agora em diante, será assumido que a argumentação não apresenta evidências com indicações de dados faltantes ou incompletos, porque em qualquer caso, se não houver restrição de tempo, é aconselhável aguardar que todos os dados estejam disponíveis para proceder à valorização e analisar a anotação.

4.4 – Os diferentes significados da inconsistência no MPE e como usá-los de forma benéfica no processo de raciocínio

O Quadrante da Inconsistência é o mais interessante para o raciocínio em problemas complexos. Num primeiro momento, pode-se ficar confuso quando uma proposta apresenta simultaneamente altos valores de favorecimento e desfavorecimento. Na forma de pensar da Lógica Clássica, esta é uma situação inadmissível e inválida, pois ela apenas admite que alguma coisa seja verdadeira ou falsa, jamais verdadeira e falsa ao mesmo tempo, sob qualquer ponto de vista. No entanto, o conhecimento e a experiência humana mostram que tais situações podem ocorrer, e é preciso dispor de meios para reconhecer, tratar e resolver problemas nestas circunstâncias (um exemplo marcante ocorreu na Física no começo do século XX, ao se descobrir que o elétron manifestava tanto propriedades de onda quanto de partícula e a evolução dos conceitos teóricos provocada a

partir desta inconsistência, resultaram em avanços conceituais e práticos importantes na Física e na Tecnologia modernas).

Em verdade, a inconsistência é útil para o raciocínio no MPE, pois, quando ocorre, ela permite que se considerem três possibilidades para o seu significado:

- i) Incerteza: as evidências na argumentação são insuficientes para raciocinar objetivamente sobre o problema, deixando abertas possibilidades positivas e negativas; ou
- ii) A proposta é incompleta, e neste caso ela não consegue abarcar as evidências existentes com relação ao problema dado; ou
- iii) Algum erro ocorreu durante o processo de coleta de dados relativos às evidências.

Um estudo introdutório sobre o uso dos conceitos da lógica paraconsistente no desenvolvimento do raciocínio analítico é apresentado em [30], e as suas conclusões são utilizadas e expandidas na construção do MPE.

4.4.1 – Análise e utilidade da inconsistência como incerteza

A incerteza ocorre quando as evidências analisadas são insuficientes para resolver o problema. Mais evidências são necessárias, dado que as evidências disponíveis indicam também outras possíveis opções para resolver o problema (portanto, o raciocínio não é capaz de indicar uma opção específica como a melhor). Na prestação de serviços médicos, um certo conjunto de sintomas pode indicar não apenas uma, mas várias outras doenças. Neste caso, a anotação de uma proposta que sugira apenas uma das doenças possíveis deve ter um favorecimento alto por ser uma opção válida, mas o desfavorecimento também deve ser alto para indicar que outras opções também podem ser válidas, pelas evidências disponíveis. Nesta situação, a argumentação deve indicar as outras opções de doenças e quais outras evidências deveriam ser coletadas para decidir com precisão a doença do paciente.

Outro exemplo de incerteza pode ser considerado na gestão de produto, quando um decréscimo na margem de contribuição pode ser causado por um aumento na despesa de marketing em relação ao orçamento. Mas, se outras despesas também variaram com relação ao orçamento, então outras explicações também são viáveis para a redução na margem, e a anotação deve indicar isto com um desfavorecimento significativo na proposta de aponte apenas a despesa de marketing como causa do problema, a qual deve ter um favorecimento alto por ser também

válida no contexto do problema. O agente deve, portanto, buscar as outras mudanças em outras despesas e outras receitas para diagnosticar completamente a mudança na margem de contribuição.

4.4.2 – Análise e utilidade da inconsistência como incompleta

A situação de proposta incompleta é esclarecedora ao tratar problemas complexos. Uma boa ilustração deste caso pode ser visualizada com um exemplo na prestação de serviços médicos. Num trabalho de diagnóstico, se um conjunto de sintomas leva uma proposta a ser anotada como inconsistente, ele pode indicar que o paciente tem outras doenças não incluídas na proposta. Se for considerado um exemplo no qual as evidências apontam que o paciente tenha uma forte infecção e um câncer, a anotação deveria ter um desfavorecimento alto se a proposta sugerisse que o paciente tem somente câncer. O mesmo deveria acontecer para a proposta que afirmasse ter o paciente apenas uma forte infecção. (Aliás, se um paciente tem câncer e forte infecção simultaneamente, também deveria ser considerada a hipótese do paciente sofrer de AIDS). Logo, se as três doenças estão presentes no paciente, a proposta de diagnóstico que teria alto favorecimento e nenhum (ou pequeno) desfavorecimento é aquela que afirmasse ter o paciente as três doenças, por ser a única para a qual todas as evidências existentes fazem sentido, quando consideradas em conjunto. Neste exemplo, outras propostas de diagnóstico deveriam ser anotadas nos Quadrantes de Rejeição, Inconsistência ou Indeterminação.

A mesma situação de incompletude pode ser ilustrada com um exemplo em Gestão da Produção. Sempre que uma proposta for incompleta, as evidências devem produzir uma anotação no Quadrante de Inconsistência. Se uma companhia tem pequena margem de lucro e uma proposta que declare 'A mão-de-obra tem produtividade abaixo dos competidores' é anotada como inconsistente, pode significar que evidências apontando para outras causas não são consideradas pela proposta. Se o agente identifica que os níveis de estoques estão maiores do que o normal e o valor da provisão para devedores duvidosos está acima dos níveis históricos, então a proposta anterior é claramente insuficiente como diagnóstico do problema, por não ser coerente e inclusiva com relação ao conjunto de evidências conhecido. Sendo assim, uma nova proposta coerente com todas as evidências deve ser produzida para ser anotada no Quadrante da Aprovação após sua análise.

Os exemplos anteriores mostram como a inconsistência, a incompletude e a incerteza, à luz da estrutura conceitual da Et, são reconhecidas e tratadas no MPE. Os modelos de raciocínio baseados em outras lógicas não têm a capacidade natural de reconhecer estas situações e não possuem uma maneira estruturada de superá-las, em razão das limitações inerentes à suas estruturas conceituais. Um outro aspecto muito importante sobre os exemplos anteriores é revelar como a combinação de propostas inconsistentes leva a uma proposta adequada ao problema,

através da análise conjunta da anotação e das evidências contidas na argumentação das propostas iniciais.

4.4.3 – Análise e utilidade da inconsistência como representação de risco

A incompleteza e a incerteza como significados para a inconsistência na anotação têm mais implicações quando a proposta é relacionada à execução de uma ação. Em um problema real, a avaliação das evidências pode revelar condições ou circunstâncias que representam a possibilidade de falha ou impacto negativo na proposta de ação e, sendo assim, se refletiria em um desfavorecimento significativo, mesmo que o favorecimento também seja alto. Isto é exatamente a representação do conceito de risco [3, 4]. Ou seja, uma anotação no Quadrante da Inconsistência pode indicar que existem riscos associados à proposta como resultado da valorização das evidências. Como exemplo, se um agente, ao analisar uma proposta que utiliza um determinado valor de taxas de juros para calcular o retorno de um investimento, perceber que suas projeções de taxas futuras de juros serão diferentes da utilizada na proposta, deve apontar o risco do retorno ser diferente que o projetado com base na sua estimativa de taxas de juros. Isto só pode ser representado ao indicar um desfavorecimento na sua anotação da opinião, suportada com o argumento de projeção de outras taxas para o período do investimento.

Os conceitos de risco e gerenciamento de risco têm sido desenvolvidos recentemente na literatura de Economia, Engenharia, Administração e Medicina, com relevante impacto em termos teóricos e práticos nestas áreas de conhecimento. Seria extenso mencionar a grande quantidade de trabalhos em riscos na bibliografia e está além do escopo deste trabalho discutir este tema por seu conteúdo rico e abrangente. O que importa, neste trabalho, para a estrutura conceitual do MPE é saber que ela possibilita que um agente utilize os conceitos de risco e gerenciamento de risco durante o processo de raciocínio e possa criar propostas que incluam medidas de gerenciamento de risco em seu conteúdo.

4.4.4 – Análise e utilidade da inconsistência como representação de conhecimento incompleto

Antes de estudar o Quadrante de Aprovação, algumas questões importantes podem ser formuladas neste momento:

- i) O que fazemos se nenhuma das propostas produzidas, mesmo após diversas rodadas de combinação, é aprovada? (A inconsistência é uma condição reveladora, mas não se pode ficar nela para sempre!)
- ii) O que o MPE pode revelar se alcançarmos esta condição?

Primeiramente, deve-se verificar se não ocorreram erros em etapas anteriores e um novo processo de coleta de dados e evidências deve ser realizado. Em segundo lugar, o MPE pode refletir a inadequação de uma base de conhecimento, ou do agente, para elaborar a solução de determinado problema. O problema em questão pode requerer conhecimentos, evidências ou outras formas de processar as evidências para valoração que não estejam implementadas na base de conhecimento ou nas funcionalidades do agente. Pode-se ilustrar essa situação recorrendo novamente à prestação de serviços médicos, onde o doente pode ter uma doença que não esteja catalogada (no estágio de diagnóstico), ou que os procedimentos de tratamento não são adequados às condições físicas e mentais do paciente (no estágio de planejamento de solução ou no estágio de avaliação da solução). Outra possível resposta é o MPE indicar, pela persistência de anotações que não estejam no Quadrante de Aprovação, que o problema em questão está fora do escopo do conhecimento e das funcionalidades disponíveis no agente: como exemplo, se alguém apresenta uma questão de gerenciamento de recursos humanos a uma aplicação de gerenciamento financeiro, pode-se esperar resultados estranhos como resposta! Portanto, os desenhistas e responsáveis pela manutenção do agente devem prestar atenção cuidadosa quando um agente (ou, no caso geral, um SMA) não consegue elaborar propostas adequadas (anotadas no Quadrante de Aprovação) para um dado problema.

4.5 – Como identificar a melhor solução

Resta discutir o Quadrante de Aprovação e como trabalhar com ele. A primeira vista, uma proposta situada nele é candidata a ser aprovada por ter o favorecimento alto e um desfavorecimento baixo. Porém, pode-se incorrer nas seguintes situações:

- i) Existe mais do que uma proposta neste quadrante. Então, qual a melhor? ou,
- ii) A proposta não é plenamente satisfatória, pois seu favorecimento não é alto o bastante; ou seu desfavorecimento não é tão baixo quanto se gostaria; ou não existe o conforto suficiente para decidir implementar esta proposta.

Em primeiro lugar, deve ser definido como escolher a melhor entre propostas candidatas à aprovação e, posteriormente, como utilizar o MPE para melhorá-la, se for preciso.

O critério de decisão é muito simples no MPE: a melhor proposta é aquela mais próxima do ponto V e com maior favorecimento. É intuitivo que este critério seleciona a proposta com a melhor combinação de alto favorecimento e baixo desfavorecimento, pois para reduzir a distância de uma dada anotação ao ponto V , deve-se aumentar o favorecimento ou

reduzir o desfavorecimento (ou ambos simultaneamente). O cálculo é baseado na distância geométrica entre o ponto da anotação e o ponto V:

$$D = \text{distância da anotação } (\mu, \lambda) \text{ ao ponto } V : ((1 - \mu)^2 + \lambda^2)^{1/2}$$

O que fazer se duas ou mais propostas tiverem a mesma distância ao ponto V? A melhor é a que tiver o maior favorecimento!

É possível neste ponto argumentar: Por que não escolher a proposta com menor desfavorecimento, quando as distâncias coincidem? A resposta é: este também pode ser um critério válido, se considerar apenas os elementos puramente geométricos. Mas deve-se observar que, neste caso, seria escolhida a proposta com o mais baixo favorecimento, ou seja, com menos evidências favoráveis (a verificação é simples, se analisar os pontos sobre um mesmo arco de círculo com centro no ponto V). Esta forma de pensar ignora uma das mais importantes lições trazidas pela História e pela Economia – quanto maior o risco, maior a recompensa! Não se deve esquecer que o desfavorecimento também significa o nível de risco embutido na proposta e, pelo critério proposto, aquela que tiver mais evidências favoráveis também tenderá a apresentar os maiores riscos, quando as distâncias coincidem. A estrutura da Et captura esta lição importante e o MPE representa-a através do conceito de distância da anotação ao ponto V e o critério de decisão.

Para incorporar os conceitos acima e criar uma medida única para avaliar qual a melhor proposta, pode-se definir a noção de Valor Absoluto da Proposta (VAP), que considera os valores de distância e do favorecimento. O objetivo é fazer que, quando a distância D tende a zero, VAP tende a 1, sendo 1 o valor máximo para o VAP. Assim, a fórmula abaixo permite escolher a melhor proposta como aquela com maior valor absoluto, por considerar simultaneamente os conceitos de distância ao ponto V e o favorecimento:

$$VAP = ((1 - D / \sqrt{2}) + \mu) / 2$$

O VAP serve não somente como medida absoluta para determinar a melhor proposta como deve ser utilizado como critério de parada de ciclos de combinações. Se a diferença entre o VAP da proposta $n+1$ e o VAP da proposta n for menor do que um certo limite (ex: 0,05 ou 0,01), pode-se considerar que não vale mais a pena continuar o esforço de combinações para buscar uma proposta melhor. Identicamente, pode-se usar o VAP como critério de aceitação de uma proposta (ex: consideram-se satisfatórias as propostas com $VAP \geq 0,9$)

4.6 – O aperfeiçoamento das soluções

Agora que é sabido como escolher a melhor proposta de solução a um dado problema, ainda resta a questão sobre o que fazer se a melhor proposta não for boa o suficiente para os objetivos em vista. Novamente, tal

como ocorreu ao longo do raciocínio no MPE, a combinação é a resposta, pois outras propostas geradas anteriormente podem ter em seus argumentos elementos capazes de serem combinados com a melhor proposta para produzir uma outra ainda melhor.

O estudo das evidências que suportam o valor do desfavorecimento pode indicar caminhos para construir uma proposta melhor, uma vez que pode ser possível adicionar elementos que reduzam ou eliminem os fatores que geram o desfavorecimento. Uma situação típica é enfrentada pelos médicos quando os medicamentos apresentam efeitos colaterais. Dependendo das condições físicas do paciente, os efeitos colaterais podem ser perigosos para a sua saúde. Em uma situação onde uma certa droga é o melhor tratamento e as condições físicas do paciente são inadequadas, a proposta deve ter esse fato reconhecido em sua anotação por um valor alto de desfavorecimento, para representar os riscos do medicamento. Os médicos normalmente lidam com este problema adotando medidas de controle dos efeitos colaterais, tais como aplicar a dosagem mínima, monitorar continuamente as condições físicas do paciente para rapidamente detectar indicações da ocorrência dos efeitos indesejados e implementar medidas corretivas urgentes. Este é um exemplo de como adicionar elementos à melhor proposta para aperfeiçoá-la e torná-la mais aceitável, e isto é feito através de consultas adicionais à base de conhecimento com foco nas evidências do desfavorecimento.

Em geral, qualquer proposta pode ser analisada, melhorada e avaliada em ciclos até se tornar plenamente adequada, da mesma forma que os agentes humanos fazem em seu trabalho rotineiro. Os métodos e idéias apresentadas anteriormente ilustram como o MPE ajuda a reproduzir essas características da inteligência humana e elementos básicos de criatividade em agentes, se considerarmos que criatividade pode ser interpretada como a capacidade de criar novos elementos a partir de elementos conhecidos.

5. Algumas potenciais aplicações do modelo proposto

5.1 O potencial do MPE em Engenharia de Produção

Dado que a arquitetura do MPE é voltada para agentes baseados em conhecimento, as possibilidades de aplicação de agentes construídos nos conceitos do MPE são tão vastas quanto a deste tipo de agente. Conforme apresentado na tabela 2.1, trata-se de um conjunto de aplicações de grande importância para Engenharia de Produção e outras ciências aplicadas. No entanto, há duas características interessantes do ponto de vista da Engenharia de Produção que os agentes baseados no MPE podem incorporar: capacidade de aprendizado e solução de problemas em cenários complexos.

5.2 O aprendizado de agentes a partir do MPE

No Capítulo 4, a descrição do processo de raciocínio do MPE mostrou como a combinação de propostas pode ser utilizada para produzir uma solução adequada a um dado problema. Revelou, também, que as soluções são geradas a partir da análise das evidências existentes sobre o problema em questão, conforme o conteúdo da base de conhecimento. Ou seja, cada solução é fruto das evidências e seu processamento através do conhecimento do agente. Portanto, se as soluções e respectivas argumentações, produzidas para os problemas enfrentados pelo agente ao

longo de sua existência, forem sendo armazenadas na sua base de conhecimento, o agente terá capacidade crescente de gerar rapidamente a solução de problemas. Isto se deve ao fato de haver adquirido, a cada solução produzida, mais conhecimento para gerar soluções, desde que as evidências sobre novos problemas sejam semelhantes, ou próximas, às evidências utilizadas na solução de problemas anteriores. Este mecanismo pode ser reconhecido no ser humano, uma vez que à medida que seu conhecimento e experiência aumentam, tem mais facilidade e rapidez de reconhecer padrões e semelhanças com problemas anteriores, as quais aceleram o caminho de geração da solução. Este fato é reforçado pela tendência de, com o passar do tempo, muitos problemas tenderem a se repetir.

O mecanismo descrito torna natural o processo de aprendizado de agentes, o que abre a possibilidade de treinar os agentes na solução de problemas que sejam mais freqüentes, dando-lhes a capacidade de requerer menor tempo para produção de soluções. Assim, o MPE possibilita reproduzir a capacidade de aprendizado das redes neurais em agentes baseados em conhecimento [5].

5.3 A solução de problemas em cenários complexos

Nos exemplos tratados neste trabalho, utilizou-se um reticulado muito simples, que registra apenas os valores associados ao favorecimento e ao

desfavorecimento. No entanto, as LPAs em geral e a Et, em particular, funcionam em qualquer reticulado que seja a base da anotação. Com este fato em mente, é viável aumentar a capacidade de representação de problemas, e suas soluções, de maneiras mais elaboradas e abrangentes.

O reticulado utilizado para a anotação pode ser expandido para incluir outras dimensões, como a representação do tempo (ex: imediato, curto prazo, longo prazo, etc.), de cenários (otimista, pessimista, neutro, etc.), de opções estratégicas (competição elevada, mudanças na legislação, mudanças políticas, alta inflação, etc.), e qualquer outra dimensão que seja útil na representação da realidade em estudo e a solução de seus problemas. Assim, para as dimensões mencionadas, a anotação poderia ter a forma (μ, λ, t, c, e) , baseada em um reticulado com cinco dimensões.

Esta anotação expandida pode suportar condições mais complexas de solução de problemas, tendo em vista que o raciocínio poderia ser realizado em múltiplas dimensões e simultaneamente. Como exemplo, a utilização de computação em grade possibilitaria a geração em paralelo de soluções para diferentes instâncias do reticulado expandido, e poderia ser avaliado em quais condições, no reticulado, se chegaria a uma melhor solução. Esta capacidade também serve para simular soluções de problemas em vários cenários, uma característica requerida na construção de ferramentas sofisticadas de apoio a decisão, um instrumento desejável na Engenharia de Produção [6, 13, 14].

6. Caso prático em medicina

6.1 Descrição do problema

Após sofrer um evento coronariano agudo (angina instável ou infarto agudo do miocárdio), um paciente pode desenvolver mais de um tipo de complicação e evoluir ou não para o óbito (morte). Portanto, o paciente pode ter um bom prognóstico (sem complicações e sem morte) ou ter um mau prognóstico (com complicações e/ou morte), mesmo sendo tratado em hospitais especializados.

Um estudo em andamento na Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) busca identificar os fatores capazes de prever o prognóstico, de forma a providenciar precocemente o tratamento mais apropriado para preservar a vida do paciente e permitir uma melhor qualidade de vida para os sobreviventes.

Com este objetivo em vista, foram analisados os dados clínicos, fatores de risco cardiovascular, terapêuticas aplicadas e resultados de exames, em 431 pacientes acompanhados durante a internação hospitalar. A partir desses dados, o estudo pretende analisar quais são os fatores mais influentes para que certos resultados ocorram nos pacientes, ou seja, mapear os fatores capazes de permitir um prognóstico médico sobre a evolução da situação cardiológica do paciente. O estudo foca três resultados específicos.

6.2 O desenvolvimento da solução utilizando o MPE

Com base no problema, é possível utilizar o MPE para desenvolver uma aplicação capaz de apoiar a realização do prognóstico dos três resultados objeto do estudo. Para este fim, foram executadas as seguintes atividades, as quais se fundamentam na metodologia geral de desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, apresentada em 2.4:

1. Estudar estatisticamente os dados sobre os pacientes, para identificar os valores dos dados mais influentes para os resultados focados no estudo;
2. A partir das conclusões estatísticas, identificar quais evidências são preponderantes para cada prognóstico, ou seja, quais dados e em que condições sobre esses dados são mais relevantes para os prognósticos;
3. Construir uma base de conhecimento, que contenha as evidências a serem verificadas em cada prognóstico e, se satisfeitas, sejam capazes de quantificar as probabilidades associadas;
4. Definir a forma de valorizar as evidências; de forma a calcular o favorecimento e desfavorecimento de cada prognóstico, conforme os dados a serem informados sobre o paciente objeto do prognóstico;

5. Aplicar o processo de raciocínio do MPE de forma a chegar ao prognóstico mais provável para um paciente, a partir dos dados disponíveis sobre ele, utilizando as evidências e suas respectivas regras de valorização registradas na base de conhecimento.
6. Verificar as conclusões do sistema, conferindo a correta aplicação do conhecimento da base e validando seu significado com especialistas da área.

As atividades 1 a 5 foram realizadas através de uma aplicação desenvolvida em Java 2 e MySQL 5.0, em um microcomputador com sistema operacional Windows XP. Os dados sobre os pacientes foram disponibilizados em uma planilha em formato MS-Excel, que continha 42 campos de dados sobre os 431 pacientes considerados no estudo. A partir dessa planilha, os dados foram exportados em arquivo texto e processados pela aplicação de implementação do MPE. A aplicação consistiu de um agente cuja base de conhecimento era composta das evidências que permitiam escolher cada um dos três resultados de interesse no estudo. O agente aplicou o processo de raciocínio do MPE para descobrir qual o prognóstico mais provável, a partir dos dados informados sobre um paciente a ser avaliado.

A atividade 6 foi realizada com a participação dos especialistas em cardiologia encarregados da execução do estudo em referência. Seus nomes estão mencionados na seção de agradecimentos deste trabalho.

6.3 Resultados alcançados

A) O teste das funcionalidades do sistema:

Após construído o sistema, era necessário verificar se o MPE foi corretamente implementado em suas funcionalidades. Para este fim, foram elaborados três conjuntos de regras de conhecimento hipotéticas para os três resultados foco do estudo, de forma que cada resultado pudesse ser satisfeito independentemente dos outros.

Cada resultado era composto de regras contendo de 3 a 5 variáveis, verificadas em condições não similares. Sendo assim, era possível controlar qual resultado, ou conjunto de resultados, era satisfeito em maior grau, para ser avaliado se o sistema era capaz de identificar corretamente a melhor conclusão. Ao se satisfazer uma dada regra em maior grau, não se forçou satisfazer em 100%, mas entre 60% e 80%, visto que essas seriam as condições mais típicas no mundo real, e também proporcionam meios de testar os cálculos de VAP para cada resultado individualmente e combinados entre si.

Nos testes, foram consideradas as 8 condições sobre os três resultados possíveis, ou seja, primeiro se satisfez a uma das regras e as outras não, depois se satisfizeram as regras duas a duas, e depois as três

regras foram satisfeitas simultaneamente. Com este procedimento de testes, foi possível verificar e validar que o sistema construído implementou corretamente as funcionalidades requeridas para os cálculos de VAP de cada resultado de prognóstico individual e das suas combinações.

O sistema foi construído para mostrar, ao final de cada avaliação de dados de um paciente, cada possibilidade de prognóstico e seus valores de favorecimento, desfavorecimento e VAP, ordenados em ordem decrescente de VAP. Assim, o prognóstico mais recomendado era mostrado como o primeiro item da lista, a segunda melhor estimativa de prognóstico era o segundo item da lista, e assim sucessivamente.

B) A primeira versão de regras:

Depois de validado o sistema, foi registrada a primeira versão das regras, baseadas nos resultados da análise estatística sobre a amostra de 431 pacientes. Esta versão de regras para os três resultados foco do estudo foi testada em 18 pacientes, dos quais 16 foram retirados da própria amostra e dois foram hipotéticos, para verificar situações pouco comuns na prática, mas de interesse clínico.

Esta primeira versão de regras teve um comportamento imprevisto, à primeira vista. Para 17 dos 18 pacientes, a opção de prognóstico indicada como a mais provável era o paciente desenvolver os três resultados, e o

verdadeiro resultado observado na amostra somente aparecia como segunda ou terceira melhor opção. Após verificada a correção dos valores produzidos pelo sistema, chegou-se à conclusão que não se tratava de um erro de funcionamento do sistema, mas de uma condição resultante do próprio conhecimento registrado nas regras de cada resultado. Percebeu-se que havia um grande número de variáveis, e suas condições, em comum nas três regras. As regras para os três resultados continham entre 20 e 21 variáveis, das quais 19 variáveis eram comuns. O número de regras com essas variáveis, para cada resultado, situou-se entre 26 e 34. No entanto, era realmente muito provável que se um paciente satisfizesse as regras de um resultado em alto grau, satisfizesse as outras duas regras em alto grau também.

Sendo assim, as conclusões do sistema estavam coerentes com a forma como as regras foram construídas. Aliás, esta situação era um dos motivos da realização do estudo médico, pois as pesquisas médicas continuam buscando compor regras melhores para prever com maior precisão o prognóstico dos pacientes. Sendo assim, a implementação do MPE apenas reproduziu a situação real: os pacientes podem evoluir para um ou mais resultados simultaneamente e dois dos resultados estudados podem predispor ao terceiro resultado (serem intermediários), o que dificulta distinguir os 03 resultados isoladamente.

C) A segunda versão de regras:

Num esforço para superar a incapacidade de determinação das regras da primeira versão, foi feita uma nova análise dos dados estatísticos sobre os pacientes da amostra para elaborar um novo conjunto de regras que apresentasse grande capacidade de diferenciação entre os três resultados. Nesta versão, o número de variáveis situou-se entre 4 e 11, e havia apenas uma regra para cada variável. O número de variáveis em comum, nas regras para os três resultados, foi de apenas um.

Foi feita uma nova seleção de pacientes para testar este conjunto de regras, extraído-se da amostra situações que refletissem os 8 prognósticos possíveis para os três resultados em estudo. Esta seleção conteve 15 pacientes, com dois casos para cada combinação de prognósticos, sendo que foi encontrado apenas um paciente para uma das combinações desejadas. Para esta amostra, em 8 pacientes o sistema identificou corretamente o prognóstico em termos qualitativos (os resultados de prognósticos) e quantitativos (o VAP era maior do que 0,50). No entanto, para 7 pacientes, houve indicação de outros prognósticos, ou o VAP era menor do que 0,50, indicando que o prognóstico era pouco provável, ou seja, não deveria ter ocorrido na prática.

Novamente, a avaliação dos resultados não apontou erro nas conclusões do sistema. No caso do VAP ser baixo, era reflexo do número

de variáveis em cada regra ser bem menor e, assim, muita informação sobre os pacientes não podia ser considerada pelas regras. Ou seja, para ser capaz de maior diferenciação, as regras perdem informação e a valorização das evidências pode produzir favorecimentos de valores baixos, o que resulta em VAPs também baixos. Por fim, há de se levar em conta que alguns resultados podem acontecer independentemente das condições do paciente, mas serem produzidos por variações de tratamento e nas condições ambientais nos hospitais onde os pacientes foram internados e tratados.

Conclusões finais:

O caso prático da utilização do MPE na solução do problema de elaborar prognósticos médicos em doenças cardíacas permite concluir o seguinte:

1) O MPE é capaz de chegar a conclusões racionais a partir de regras baseadas em evidências, e de identificar não só a melhor conclusão bem como as outras conclusões possíveis, em ordem decrescente de probabilidade de ocorrência;

2) Construir regras baseadas em evidências é um processo relativamente simples, capaz de capturar o conhecimento sobre problemas complexos a partir de:

- i) dados estatísticos sobre amostras relacionadas ao problema que se deseja resolver, e

ii) do conhecimento dos especialistas;

3) O MPE pode ser usado para auxiliar ao processo de crítica construtiva do conhecimento embutido em suas regras.

6.4 Descrição do sistema de implementação do MPE

A lógica paraconsistente anotada evidencial visa a representação de evidências sobre proposições, e possibilita efetuar cálculos sobre essas representações para fins de raciocínio e dedução lógicos. Assim, a partir da identificação dos dados relevantes sobre determinados problemas, e suas inter-relações, podemos associar as evidências que devem ser consideradas ao propor soluções para esses problemas, e usar o MPE para raciocinar sobre elas. Ou seja, criar uma base de conhecimento que contenha propostas de solução para os problemas analisados, suportadas por evidências.

A aplicação dos conceitos do Modelo Paraconsistente Evidencial (MPE) para agentes pode ser realizada a partir de um conjunto de informações que sirva de fonte para coletar conhecimento. Este conjunto pode se constituir de um arquivo com registros que contenham dados relacionados a problemas de interesse, sobre os quais se queira adquirir ou organizar conhecimento. Esses dados podem ser analisados, visando

identificar quais são relevantes para deduzir características significativas sobre os problemas que queremos entender ou modelar.

As relações entre os dados relevantes podem se constituir em regras ou leis que representem conhecimento sobre os problemas aos quais estão relacionados. Chamaremos de regras ao conjunto formado por evidências (dados e condições sobre esses dados), formas de valorização dessas evidências, e a proposta de solução do problema que decorrente dessas evidências, conforme os conceitos apresentados no MPE.

O sistema descrito a seguir busca ser uma ferramenta genérica para:

- Registro organizado de dados relacionados a problemas de interesse;
- Ferramenta de análise estatística elementar sobre esses dados;
- A partir da análise estatística, identificar os dados relevantes e suas características relacionadas aos problemas;
- Em seguida, registrar o conhecimento adquirido em uma base destinada a este fim;
- Possibilitar a um agente analisar dados informados por um usuário, relativos aos problemas cujas regras estão registradas na base de conhecimento, e avaliar em que grau os dados estão aderentes ao conhecimento adquirido, e assim poder alcançar conclusões sobre esses problemas, a partir do uso dos conceitos do MPE.

O sistema implementa apenas um agente, para o qual podem ser definidas várias regras. Não se cogitou de implementar um SMA, pois a potencial complexidade que se poderia enfrentar não seria necessária para utilizar o processo de raciocínio proposto no MPE, que é o principal objetivo do sistema construído.

Os módulos do sistema

Os módulos a seguir, utilizados em seqüência, visam a implementação geral e genérica dos conceitos do MPE em um agente. Diversos resultados intermediários são armazenados no banco de dados (BD) do sistema, implementado em MySQL 5.0, na forma como a descrição dos módulos especifica.

Para cada módulo são descritas as funcionalidades implementadas e os algoritmos utilizados. Os módulos foram implementados como programas individuais em Java 2, pois sua complexidade permitiu essa forma de construção.

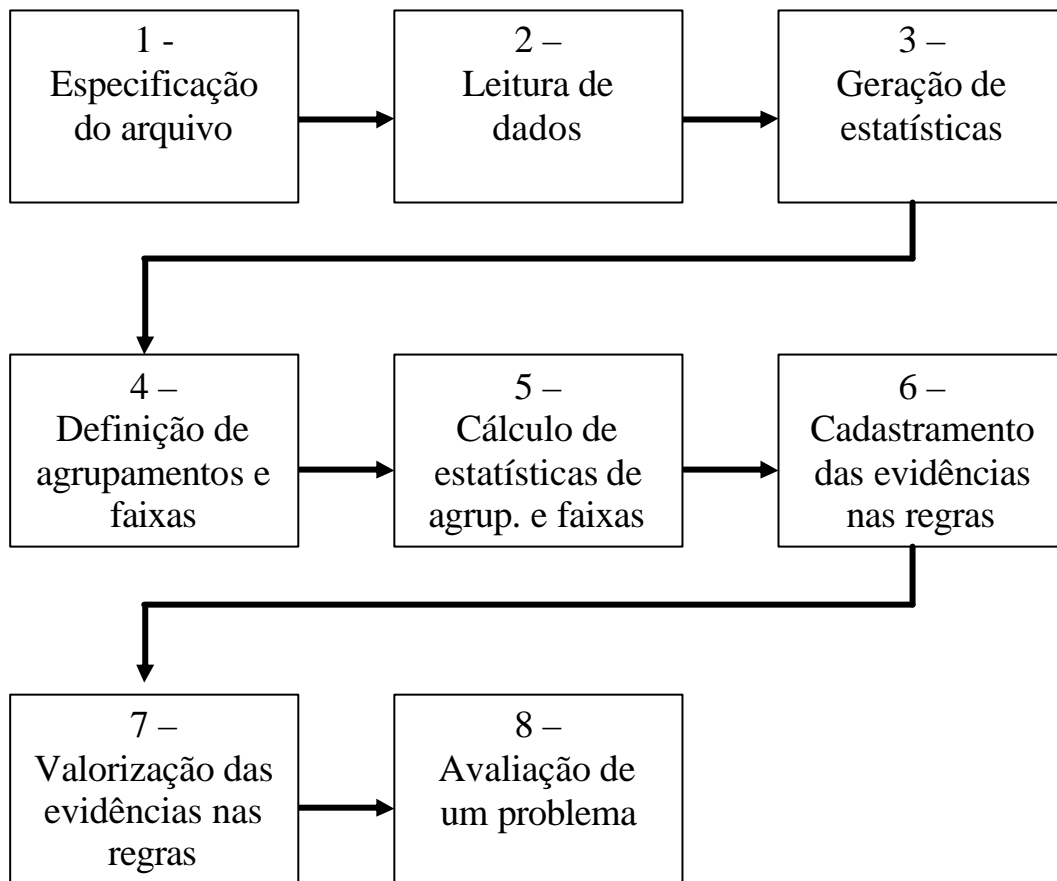


Figura 6.1 – Diagrama de blocos do sistema de implementação do MPE

1 – Especificação do arquivo com dados a serem analisados – a partir de tela alimentada pelo usuário:

Neste módulo se especifica o que é dado (uma possível evidência) e o que é resultado (informações sobre os problemas que se quer estudar).

- Descrever os campos do arquivo: tipo (alfanumérico ou numérico), descrição, e posição no registro;
- Para cada campo, indica se é informação cadastral, se é dado ou resultado;
- Pede um nome para o conjunto de dados representado no arquivo;
- Grava a documentação no BD, com a descrição dos campos;

2 – Leitura de dados

- Pede ao usuário a localização do arquivo;
- Lê o arquivo, em formato .txt;
- Grava tabela em banco de dados (BD), com os campos lidos;

3 – Geração de estatísticas

Neste módulo, se apuram as estatísticas do arquivo como um todo e, também, as estatísticas para cada valor dos campos de resultado.

- Pergunta ao usuário com qual conjunto de dados quer trabalhar;
- Identifica os valores existentes para os campos indicados como resultado;
- Para os campos definidos com dado, calcula média, desvio padrão, o máximo e o mínimo, se for dado numérico, para todo o arquivo;
- Para os campos definidos com resultado, calcula média, desvio padrão, o máximo e o mínimo, se for dado numérico, para cada valor dos campos do arquivo definidos como resultado;

- Calcula o número de ocorrências, se for dado não numérico, para todo o arquivo;
- Calcula o número de ocorrências, se for dado não numérico, para cada valor dos campos do arquivo definidos como resultado;
- Grava as estatísticas no BD com todas as estatísticas apuradas para os dados, por valor dos campos de resultado, e as estatísticas apuradas para todo o arquivo;

4 – Definição de agrupamentos e faixas

O uso de agrupamentos e faixas para os dados permite organizar a informação de maneira agrupada, para os casos onde se precise trabalhar com faixas de valores ou grupos de ocorrências, ao invés do valor explícito do dado.

- Pergunta ao usuário como qual conjunto de dados quer trabalhar;
- Pode existir mais de uma versão de agrupamentos e faixas para cada conjunto;
- O usuário pode definir faixas para os dados numéricos, a partir da tela (deve mostrar as estatísticas calculadas em 3, para cada dado, por valor dos campos de resultado);
- O usuário pode definir agrupamentos para os dados não numéricos, conforme as ocorrências geradas em 3, a partir da tela;
- Pede um nome ao usuário para o conjunto de especificações, e grava especificações de agrupamentos e faixas, no BD;

5 – Cálculo de estatísticas de agrupamentos e faixas

Apura as estatísticas considerando os dados para os quais foram definidas faixas de valores ou agrupamentos.

- Calcula as ocorrências por agrupamentos e faixas, por dado, para todo o arquivo;
- Calcula as ocorrências por agrupamentos e faixas, por dado, para cada valor dos campos de resultado;
- Grava no BD as apurações de ocorrências, com o percentual relativo para cada resultado, e o percentual relativo no arquivo inteiro, para a versão de agrupamentos e faixas usada;

6 – Cadastramento das evidências nas regras

Neste componente se inicia o cadastramento das regras. Para cada valor dos campos de resultados, podem ser cadastrados os dados e as respectivas condições que se quer considerar como evidência.

- Para uma versão de faixas e agrupamentos;
- Pergunta ao usuário o dado que deseja trabalhar;
- Por resultado, mostra na tela: as estatísticas, as ocorrências e percentuais por faixas e agrupamentos para o dado escolhido (em ordem decrescente da faixa e com o acumulado percentual), os percentuais para o arquivo inteiro;
- Por valor de resultado:

- Para o dado escolhido, pergunta se quer incluí-lo como evidência – em caso afirmativo, perguntar a regra para o dado:
 - Usar relações =, >=, <=, not;
 - Permitir combinações de e e ou;
 - Permitir mais de uma sentença para o mesmo dado;
- Grava no BD as regras de evidências por dado, por valor de resultado.
- Permitir cadastrar mais de uma versão de regras.

7 – Valorização das evidências nas regras

Neste módulo se completa a definição das regras, estabelecendo-se os pesos que serão atribuídos a cada condição sobre os dados que seja satisfeita. O usuário pode definir o total de pesos arbitrariamente, pois assim é possível prever os casos onde apenas um subconjunto das evidências seja necessário para atingir 100% de favorecimento. Os pesos podem ser negativos, pois dessa forma se indicam as condições desfavoráveis ao resultado em vista.

- Para uma versão de regras, de uma versão de faixas e agrupamentos, de um conjunto de dados;
- Para cada valor dos campos de resultado, mostra as regras de evidências gravadas, na tela;
- Pergunta ao usuário os pesos de cada regra;

- O usuário deve definir o valor total dos pesos atribuídos às regras.
- Permitir mais de uma versão de regras valorizadas, chamadas de regras de raciocínio;

8 – Avaliação de um problema

Neste módulo, o usuário irá informar os dados que dispõe sobre o fato/problema que quer avaliar com o sistema. O sistema irá mostrar na tela os dados que estão presentes em ao menos uma das regras, para que ele informe os valores. Se não tiver o valor, deixa em branco.

- Pede ao usuário definir a versão de regras de raciocínio que quer usar;
- Pede ao usuário os dados sobre o problema que quer analisar, conforme especificado na descrição dos dados cadastrados nas regras;
- Aplica o agente que usa a versão de regras de raciocínio desejada;
- Avalia conforme o MPE,
- Aplica o agente que combina regras de raciocínio de diferentes resultados, dois a dois e mostra os cálculos do MPE;
- Aplica o agente que combina regras de raciocínio de diferentes resultados, 3 a 3, e mostra os cálculos do MPE;
- Sucessivamente, até esgotar as combinações possíveis de regras por resultado, de acordo com o número de regras na base de conhecimento.

- Mostra em ordem decrescente de VAP, os resultados da avaliação das regras por resultado e as suas combinações.

Neste módulo são aplicadas as seguintes fórmulas, em cada nível de combinação das regras (uma a uma isoladamente, combinadas duas a duas, combinadas três a três, e assim por diante):

Favorecimento = (somatório dos pesos das condições que foram satisfeitas)
/ (total de pesos)

Após calcular os favorecimentos de cada regra, o respectivos desfavorecimentos de cada regra i é calculado da seguinte forma:

Desfavorecimento i = máximo ($(1 - \text{Favorecimento } i)$; (Favorecimentos j , onde j é diferente de i))

A regra de cálculo do Desfavorecimento é a forma de registrar, neste valor, os casos onde existe incerteza que a respectiva regra (ou combinação de regras) seja a melhor, ou que a regra (ou combinação de regras) seja incompleta para a solução do problema, conforme a discussão sobre como utilizar a inconsistência para retratar essas condições, no capítulo da apresentação do MPE.

7. Conclusões e futuros desenvolvimentos

Pelos elementos apresentados neste trabalho, pode-se perceber que o MPE tem características capazes de contribuir nos esforços em desenvolvimento para emular a inteligência humana em muitas áreas de pesquisa em IA e, concomitantemente, no desenvolvimento das ciências em geral e da Engenharia de Produção, em particular.

O MPE é inclusivo com relação a outras teorias e técnicas e não exclui nenhuma, em princípio. O caso prático utilizou estatística básica para capturar conhecimento sobre as variáveis influentes em prognósticos médicos. O MPE pode e deve ser usado para desenvolver, testar, validar teorias em diversos campos do conhecimento, por sua capacidade de considerar toda a informação disponível para representar as condições sobre o ambiente e as evidências sobre um problema, bem como criar e avaliar opções de soluções de problemas. A eficiência e eficácia de uma aplicação desenvolvida com base no MPE serão dependentes das teorias e conhecimentos subjacentes incorporadas em bases de conhecimento e nos métodos de valorização, e, neste sentido, é uma ferramenta de apoio para desenvolver e testar teorias. O caso prático refletiu concretamente esta possibilidade ao demonstrar as diferenças de resultados ao se utilizarem muitas variáveis e poucas variáveis nas duas versões de regras que foram construídas.

Outro ponto que vale a pena destacar é a capacidade de simulação, pelo MPE, de mecanismos básicos de criatividade através do processo de combinação. É razoável ter a expectativa que sejam feitos desenvolvimentos importantes em simulação de criatividade no MPE, por meio de uma versão aprimorada do processo de combinação apresentado neste trabalho.

Outras possibilidades a vislumbrar são o potencial de aprendizado dos agentes e a resolução de problemas de alta complexidade, se forem utilizados reticulados mais sofisticados na anotação que suporta o raciocínio no MPE, conforme discutido no Capítulo 5.

Finalmente, é preciso reconhecer que o MPE não é um trabalho terminado, mas uma proposta de linha de pesquisa em IA e Engenharia de Produção. Aperfeiçoamentos e acréscimos são esperados à medida que outros pesquisadores se unam ao esforço de estudar um modelo que busca uma representação de importantes características da inteligência e raciocínio humanos por meio de uma teoria lógica, a Et, que se propõe a retratar de forma simples as condições presentes no conhecimento e na experiência humanas.

Se houver a intenção de continuar o desenvolvimento do MPE, é possível chegar, em longo prazo, a uma nova metodologia de desenho e

construção de agentes baseados em conhecimento. Para este fim, há de se aprofundar o estudo do MPE nos seguintes tópicos:

- As bases de conhecimento: quais formas são possíveis para elaborar o seu conteúdo; como organizá-lo para possibilitar rapidez na identificação e avaliação das evidências favoráveis e desfavoráveis a uma dada sentença/proposta?
- Como representar e processar conhecimento na Et diretamente? Seria este um mecanismo eficiente de construção e processamento de bases de conhecimento?
- As rotinas de busca na base de conhecimento: quais funcionalidades e como realizá-las de forma eficiente, visando a pesquisa nas bases de conhecimento amplas a partir das evidências disponíveis, em um dado momento?
- A valorização: quais métodos são mais recomendados (probabilísticos, tabelas de decisão, funções de utilidade, etc.) para cada tipo de problema e respectivo conhecimento?
- Quais as regras de normalização, capazes de lidar com os diferentes métodos de valorização sem prejudicar a comparabilidade dos resultados?
- A combinação: é possível expandir a capacidade de criar novas soluções, via acréscimo de elementos retirados aleatoriamente da base de conhecimento? Ou se deve focar exclusivamente nas

evidências existentes sobre o problema, conforme sugerido no estágio atual do MPE?

- Como deve ser o protocolo de comunicação em um SMA para suportar a utilização do MPE?
- Podemos também pensar na possibilidade dos agentes, além de avaliarem uma proposta e emitir sua opinião, sugerirem mudanças nas propostas enviadas por outros agentes? como fazê-lo de forma eficaz e segura?

Cada tópico acima pode ter o tamanho e a dificuldade capazes de exigir o esforço coordenado de pesquisadores dedicados. No entanto, sem tais trabalhos, poderá não ser possível construir, com uma adequada relação custo-benefício, uma metodologia de desenho de agentes prática e relevante baseada no MPE.

8. Referências bibliográficas

- 1 – Fox, J.; McBurney, P. *Decision making by intelligent agents: logical argument, probabilistic inference and the maintenance of beliefs and acts*; 9th Workshop on Non-monotonic Reasoning (NMR'2002) Toulouse, April 2002.
- 2 – Polya, G. – *How to solve it, A new aspect of Mathematical Method*; Princeton University Press, 1995
- 3 – Project Management Institute, *A Guide to Project Management Body of Knowledge - 2000 edition – Chapter 11*. www.pmi.org.
- 4 – COSO (The Committee of Sponsoring Organisations), *Enterprise Risk Management Framework*, www.coso.org.
- 5 – Russell, S.; Norvig, P. *Artificial Intelligence – Second Edition*, Pearson Education, 2003
- 6 – Turban, E.; Aronson, J.E. *Decision Support Systems and Intelligent Systems – Sixth Edition*, Prentice Hall, 2001.
- 7 – Morin, E. *Ciência com consciência 6.ed.*, Editora Bertrand-Brasil, 2002.

8 – Costa, N.C.A; et all, *Lógica Paraconsistente Aplicada*, Editora Atlas, 1999.

9 – Rezende, S.O. (org.), *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*, Editora Manole, Barueri-SP, 2003.

10 – DeLoach, S.A., *Multiagent systems Engineering: A Methodology and Language for Designing Agent Systems*, Proceedings of Agent-Oriented Information Systems (AOIS), 1999.

11 – Fagin, R. et all, *Reasoning about Knowledge*, The MIT Press, Cambridge - Massachusetts, 1995.

12 – da Costa, N.C.A., *O conhecimento científico – segunda edição*, Discurso Editorial, São Paulo, 1999.

13 - Slack, N. et all; *Administração da Produção, Segunda Edição – SP* , Ed. Atlas, 2003.

14 - Hill, T.; *Manufacturing Strategy: The strategic management of the manufacturing function, Second Edition* – London, Macmillan, 1993.

15 – Almeida Prado, José Pacheco de; *Uma arquitetura para Inteligência Artificial Distribuída Baseada em Lógica Paraconsistente Anotada*. Tese

(doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. São Paulo, 1996.

16 – Ávila, Bráulio Coelho; *Uma abordagem Paraconsistente Baseada em Lógica Evidencial para Tratar Exceções em Sistemas de Frames com Múltipla Herança*. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. São Paulo, 1996.

17 – Petrie, Charlies; *Agent-Based Software Engineering, in Agent-oriented software engineering* – Lecture Notes in AI 1957, Springer-Verlag, 2001, pp 58-76.

18 – Jennings, Nicholas R.; *On agent-based software engineering*; Artificial Intelligence 117, Elsevier, 2000, pp 277-296.

19 – Pearl, Judea; *Reasoning with cause and effect*, AI Magazine, Spring 2002, pp 95-111.

20 – Hogg, Lisa M.J.; Jennings, Nicholas R. *Socially Intelligent Reasoning for Autonomous Agents*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.31, September 2001.

21 – Li, Yuefeng; Zhang, Chengqi, *Information Fusion and Decision Making for Utility-based Agents*, Proceedings of the Third World Milticonference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 1999, pp 377-384.

22 – Han, D.C. et all, *Identically Handling Interactions with Human and Software Agents*, Proceedings from Workshop on Human and Multi-Agent Systems, in AAAMAS 2003, Melboune, Australia, ACM, 2003.

23 – Santos, C.L.R.; Sichman, J.S., *Significado e Representação de Organizações em Sistemas Multi-Agentes: Uma análise Preliminar*, Anais do 10. Encontro Nacional em Inteligência Artificial ENIA 97, Brasília, 1997.

24 – Gal, Y.; Pfeffer, A., *A Language dor Modeling Agents' Decision Making Processes in Games*, Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems, AAAMAS 2003, Melboune, Australia, ACM, 2003.

25 – Yu, Edmund S., *Evolving and Messaging Decision-Making Agents*, Proceedings of the Fifth Internationsl Conference on Autonomous Agents, Montreal, Canada, ACM, 2001.

26 – Nakamatsu, K., et all, *Intelligent Real-Time Traffic Signal Control Based on a Paraconsistent Logic Program EVALPSN*, Lecture Notes in Computer Science 2639, Springer, 2003, pp 719-723.

27 – Nakamatsu, K., et al., *Defeasible Deontic Action Control Based on Paraconsistent Logic Program and its Hardware Implementation*, Proceedings of the CIMCA 2003, Viena, Austria, 2003.

28 – Ephrati, E.; Rosenschein, J.S., *Divide and Conquer in Multi-Agent Planning*, www.citeseer.ifi.unizh.ch.

29 – Sawamura, H., *Computational Dialectics for Arguing Agents*, www.cllc.vuw.ac.nz/hajimepapers.

30 – Wong, P.; Besnard, P., *Paraconsistent Reasoning as an Analytic Tool*, Logic Journal of the IGPL, vol. 9 no. 2, pp 217-229, Oxford University Press, 2001.

31 – Subbu, R.; Sanderson, A.C., *Distributed Search and Decision-Making using Cooperative Coevolutionary Agents*, Papers from 2002 AAAI Spring Symposium, Technical Report SS-02-03, AAAI Press, Menlo Park, California.

32 – Das, S.K., et al., *Decision making and plan management by autonomous agents: theory, implementation and applications*, Proceedings of Autonomous Agents 97, Marina Del Rey, California, ACM, 1997.

33 – Kersten, G.E.; Lo, G., *Negotiation Support Systems and Software Agents in Ebusiness Negotiations*, Proceedings of the First International Conference on Eletronic Business, Hong Kong, 2001.

34 – Ekenberg, L., The Logic of Conflicts between Decision Making Agents, *Journal of Logic Computat*, vol 10 no. 4, Oxford University Press, 2000, pp 583-602.

35 – Glass, A., Grosz, B.J., *Socially Conscious Decision-Making*, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Kluwer Academic Publishers, 2003, pp 317-339.

36 – Liew, A.; Sundaram, D., *Complex Decision Making Processes: their Modelling and Support*, Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences, Honolulu, IEEE, 2005.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)