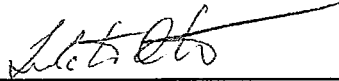


TRICOORD+ : UM MODELO DE RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM SISTEMAS
MULTIAGENTES

José Avelino Placca

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:



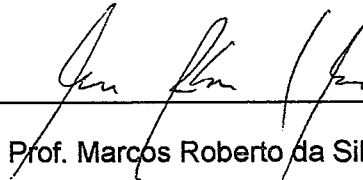
Profa. Inês de Castro Dutra, PhD



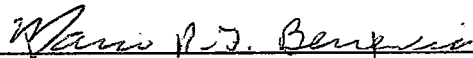
Profa. Ana Cristina Bicharra Garcia, PhD



Prof. Helder Manuel Ferreira Coelho, PhD



Prof. Marcos Roberto da Silva Borges, PhD



Prof. Mário Benevides, PhD



Prof. Felipe Maia Galvão França, PhD

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2007

PLACCA, JOSÉ AVELINO

Tricoord+ : Uma extensão do Modelo Tricoord para resolução de conflitos em Sistemas Multiagentes [Rio de Janeiro] 2007.

VII, 114p. 29,7 cm
(COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação. 2007)

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Sistemas Multiagentes
2. Projeto de Engenharia
3. Resolução de Conflitos

I. COPPE/UFRJ

II. Título (série)

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à Deus, por me conceder a grandiosa experiência de viver, apreender e superar obstáculos.

Agradeço à Petrobrás pelo patrocínio à minha tese e em especial aos engenheiros projetistas do Cenpes-Petrobrás Mauro Leite e Djalene Rocha pelas sugestões, críticas e auxílio no levantamento das informações técnicas que substanciaram o presente trabalho.

Agradeço as minhas professoras orientadoras, Inês de Castro Dutra e Ana Cristina Bicharra Garcia pela paciência, dedicação, atenção e sobretudo pelas valiosas orientações sem as quais não seria possível a conclusão do presente trabalho.

Agradeço finalmente à minha família, em especial à minha esposa Luciene e minhas filhas Gabriela, Isabelle e Larissa pelo apoio, incentivo e compreensão e principalmente por acreditarem no sucesso dessa empreitada.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

TRICOORD+ : UMA EXTENSÃO DO MODELO TRICOORD PARA RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM SISTEMAS MULTIAGENTES

José Avelino Placca

Fevereiro/2007

Orientadores: Inês de Castro Dutra

Ana Cristina Bicharra Garcia

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Sistemas Multiagentes (SMA) têm sido utilizados como paradigma para resolução de diversas classes de problemas, em especial problemas que tenham as seguintes características: problemas inerentemente distribuídos, problemas complexos ou grandes demais que inviabilizem a solução por um único agente devido a limitação de recursos ou necessidades de desempenho e problemas que necessitem de mecanismos de negociação para obtenção de uma solução de consenso.

O objetivo do presente trabalho é propor um Modelo para Resolução de Conflitos em Sistemas Multiagentes aplicado a tarefa de groupware, particularmente ao Projeto de Engenharia Distribuído.

O presente trabalho parte da premissa de que não existe uma estratégia de resolução de conflitos que seja adequada a qualquer tipo de Sistema Multiagente, porém os conflitos detectados podem ser classificados e a utilização de uma estratégia específica em função do tipo de conflito pode conduzir a resultados mais satisfatórios. A proposta apresentada amplia as potencialidades das estratégias existentes na literatura adicionando duas inovações: um tratamento diferenciado em função do ciclo de desenvolvimento de um projeto de engenharia e a re-utilização de casos e estratégias utilizadas no projeto. A proposta de implementação baseia-se no Modelo Tri-Coord+, o qual parte das premissas anteriores e se constitui numa extensão do Modelo Tri-Coord - Modelo para Resolução de Conflitos em SMA baseado em Leis Sociais e inspirado na teoria da Tri-partição dos poderes de Charles de Montesquieu.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

TRICOORD+ : AN EXTENSION OF THE TRICOORD MODEL FOR CONFLICT
RESOLUTION IN MULTIAGENT SYSTEMS

José Avelino Placca

February/2007

Advisors: Ines de Castro Dutra
Ana Cristina Bicharra Garcia

Department: System Engineering

Multiagent systems (MAS) have been utilised to solve several classes of problems, whose solutions are infeasible when using one single agent, because of performance or computational requirements, or because of the need of interaction to obtain a solution. Usually, these problems are intrinsically distributed, very complex or very large problems.

This work has as its main objective to propose a Model for Conflict Resolution in Multiagent systems with application to groupware, more specifically to Distributed Engineering Design.

Our work assumes that there is no general resolution conflict that is suitable to be applied to any multiagent system. However conflicts can be detected and classified in order that a specific solution can be used to obtain good solutions. Our proposal enhances other works in the literature by adding two novelties: (1) a differentiated approach that takes into account the development of engineering designs, and (2) re-utilization of cases and strategies used in the design.

Our proposal, the Tri-Coord+ Model, is an extension of Tri-Coord, a model for conflict resolution in multiagent systems based and inspired on Charles de Montesquieu's Three Powers of State.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. SISTEMAS MULTIAGENTES APLICADOS A TRABALHO COLABORATIVO.....	5
2.1. PROJETO DE ENGENHARIA DISTRIBUÍDO.....	5
2.2. SUPORTE AO TRABALHO EM GRUPO.....	6
2.3. SISTEMAS MULTIAGENTES (SMAS)	9
2.3.1. CONCEITO.....	9
2.3.2 CARACTERÍSTICAS	11
2.3.3. ESTRATÉGIAS DE INTERAÇÃO, COOPERAÇÃO E COMUNICAÇÃO	13
2.3.3.1. <i>Aspectos Gerais</i>	<i>13</i>
2.3.3.2. <i>Classificação quanto às relações de interdependência existentes</i>	<i>14</i>
2.3.3.3. <i>Comunicação.....</i>	<i>15</i>
2.4. RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM SISTEMAS MULTIAGENTES	17
2.4.1. TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO DE CONFLITO	18
2.4.2. CONCEITUAÇÃO PARA SMAS.....	20
2.4.3. PROTOCOLOS DE NEGOCIAÇÃO	21
2.4.3.1. <i>Votação.....</i>	<i>23</i>
2.4.3.1.1. <i>Eleitores confiáveis.....</i>	<i>23</i>
2.4.3.1.2. <i>Eleitores estrategistas (falsos).....</i>	<i>24</i>
2.4.3.2. <i>Leilão.....</i>	<i>25</i>
2.4.3.2.1. <i>Configurações dos leilões.....</i>	<i>25</i>
2.4.3.3. <i>Barganha</i>	<i>26</i>
2.4.3.4. <i>Redes de contrato.....</i>	<i>27</i>
2.4.4. METODOLOGIAS PARA RESOLUÇÃO DE CONFLITOS DE CRENÇA	28
2.4.4.1 <i>Conflitos de Crença/Descrença.....</i>	<i>30</i>
2.4.4.1.1 <i>Estratégia Dependente de Domínio Padrão</i>	<i>30</i>
2.4.4.1.2 <i>Estratégia de Dados Dinâmicos Dependentes.....</i>	<i>31</i>
2.4.4.2 <i>Conflitos Descrença.....</i>	<i>34</i>
2.4.4.3 <i>Considerações.....</i>	<i>35</i>
3. TRABALHOS RELACIONADOS	37
3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. CLASSIFICAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DE CONFLITOS EM SMAS	41
3.3. CRÍTICAS AOS MODELOS PROPOSTOS NA LITERATURA.....	45
4. UM MODELO DE ESTRUTURAS SOCIAIS APLICADO AOS SMAS: MODELO TRICOORD	47
4.1. DEFINIÇÃO DO MODELO TRI-COORD	48
4.2. ARQUITETURA DO MODELO TRI-COORD	52
4.3. LIMITAÇÕES DO MODELO TRI-COORD	55
5. O MODELO TRI-COORD+.....	59
5.1. AGENTES.....	62
5.1.1. AGENTES DE TAREFAS	62

5.1.2. AGENTE EXECUTIVO	63
5.1.3. AGENTE JUDICIÁRIO.....	63
5.1.4. AGENTE LEGISLATIVO.....	64
5.2. AMBIENTE	64
5.3. CONFLITOS	66
5.4. INOVAÇÕES DO MODELO TRI-COORD+.....	67
5.5. ANÁLISE DO MODELO TRI-COORD+ EM RELAÇÃO À OUTRAS ABORDAGENS.....	67
6. APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO TRI-COORD+.....	73
6.1. DOMÍNIO DE APLICAÇÃO: PROJETO DE PLATAFORMAS DE PETRÓLEO	73
6.2. VALIDAÇÃO DO MODELO TRICOORD+	74
6.2.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO	75
6.2.1. A DISCIPLINA DE PROCESSO	76
6.3. AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO S-TRICOORD+	78
7. CONCLUSÃO.....	84
APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	88
1. PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO: STRICOORD+.....	88
1.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	88
1.2. LISTA DE CASOS DE USO	89
1.3. DIAGRAMA DE CASO DE USO	91
1.4. DIAGRAMA DE CLASSES.....	92
1.4. DIAGRAMA DE CLASSES.....	93
1.5. TABELA DE ATORES	93
1.5. TABELA DE ATORES	94
1.6. TABELA DE CASO DE USO	95
1.7. INÍCIO DE UMA SESSÃO	102
2. S-TRICOORD+	103
2.1. INÍCIO DE UM PROJETO.....	103
REFERÊNCIAS	109

1. Introdução

A área de suporte ao trabalho em grupo apoiado por computador visa prover ferramentas computacionais para facilitar a interação humana, no sentido de aumentar o potencial de grupos de trabalho envolvidos na realização de tarefas comuns (ELLIS 1991).

Cada vez mais ambientes multi-mídia e multi-plataformas são colocados à disposição de grupos de pessoas para a realização de tarefas individuais ou em comum, integrando atividades de comunicação e processamento de informações. Sistemas computacionais com essas características fazem parte da classe de sistemas estudados pela comunidade de CSCW (Computer Supported Cooperative Work), que, em muitos casos, reúne especialistas multi-disciplinares, particularmente das áreas de Ciências Sociais e de Ciências da Computação.

Dentre as diversas classes de problemas abordados por CSCW, estamos interessados na classe de aplicações restrita a um grupo de trabalho com propósito específico e bem delineado e tenha potencialidade para assistir o grupo de trabalho em atividades de comunicação, colaboração e coordenação de suas atividades.

Grupos de engenheiros-projetistas localizados geograficamente em diferentes localidades e atuando num projeto de engenharia realizado de forma distribuída, se constituem no objeto de estudo de aplicações groupware, as quais, por sua vez, suportam diversas estratégias e modelos de implementação. Dentre essas estratégias destacamos o paradigma de SMA devido a sua aplicabilidade em ambientes complexos e dinâmicos, e ao suporte à tarefas distribuídas com elevado grau de autonomia de seus componentes.

Porém a aplicação de SMA em tarefas de groupware, particularmente num projeto de engenharia distribuído, não é uma atividade simples. Os agentes individuais necessitam serem coordenados e, dependendo do tipo de tarefa a ser executada, conflitos de várias naturezas poderão surgir.

As soluções atualmente disponíveis tratam apenas aspectos específicos em função do tipo de projeto de engenharia desenvolvido. Uma completa automação do processo de detecção e tratamento de conflitos em projetos dessa natureza se

constitui numa atividade muito complexa devido a dinamicidade do desenvolvimento de projetos de engenharia distribuídos.

O objetivo geral do presente trabalho é propor um Modelo para resolução de conflitos em um Sistema Multiagente aplicado à tarefa de projeto de engenharia distribuído. O fluxo de trabalho dos diversos especialistas num projeto de engenharia e as diversas fases por que passa um produto durante seu desenvolvimento no referido processo são abordados de maneira especial pelo modelo proposto. A ocorrência de conflitos se dá nas diversas tarefas e fases citadas e uma única estratégia de resolução não retorna resultados satisfatórios por deixar de explorar características inerentes ao tipo de conflito detectado.

A presente proposta parte da premissa de que não existe uma estratégia de resolução de conflitos que seja adequada a qualquer tipo de Sistema Multiagente, porém os conflitos detectados podem ser classificados e a utilização de uma estratégia específica em função do tipo de conflito pode conduzir a resultados mais satisfatórios (WANYAMA *et al.*, 2005, JIANG *et al.*, 2002, BARBER *et al.*, 2000, LIU, 1998, MATTA, 1996).

As inovações com relação aos trabalhos citados residem em duas abordagens não contempladas: um tratamento diferenciado em função do ciclo de desenvolvimento de um projeto de engenharia e a re-utilização de casos e estratégias utilizadas no projeto.

Vamos utilizar como domínio da nossa aplicação o projeto de uma plataforma off-shore de petróleo, que constitui uma tarefa bastante complexa no que tange a diversidade de sistemas, variáveis e pessoas envolvidas.

Podemos sub-dividir um projeto de plataforma de petróleo em diversos projetos específicos para cada área de engenharia envolvida, a saber:

- Arranjo
- Elétrica
- Naval
- Segurança
- Telecomunicações
- Ventilação e Ar Condicionado
- Processo

Em geral, cada uma das áreas citadas realiza um projeto com a participação de diversos profissionais e cujo resultado final esperado é um conjunto de especificações de parâmetros, configurações necessárias e equipamentos requeridos.

Para realizar tal tarefa, em geral, várias divergências de parâmetros e especificações intra-área disciplinar e inter-área disciplinar devem ser resolvidas.

As reuniões envolvendo as pessoas responsáveis são uma tarefa custosa e nem sempre resulta sucesso no que tange a eliminação total dos citados conflitos.

Devido ao caráter inter-disciplinar das atividades e variantes envolvidas, muitas vezes ocorrem ambigüidades com relação à nomenclatura, termos e unidades utilizadas nas especificações. Um documento final e padronizado deve ser produzido reunindo todas as especificações de cada área disciplinar. A eliminação das divergências e ambigüidades é feita, então, de maneira manual e muitas vezes de forma imprecisa.

Neste trabalho apresentamos uma solução automatizada para resolução de conflitos com base no Modelo Tricoord (PLACCA, 1999).

O Modelo Tri-Coord (PLACCA, 1999) implementa um ambiente auto-regulador para resolução de conflitos em Sistemas Multiagentes baseado em Leis Sociais. O referido modelo apresenta uma estrutura especial para resolução e tratamento de conflitos em SMAs baseada na organização governamental da nossa sociedade, isto é, a estrutura da Tri-Partição dos Poderes. O Modelo Tri-Coord é baseado na existência de três agentes especiais:

a) Agente Executivo – responsável pela gerência e monitoramento do ambiente. Ele atende e autoriza serviços no ambiente e resolve conflitos de natureza mais simples.

b) Agente Legislativo – responsável pela elaboração das Leis Sociais aplicadas aos agentes. Ele constrói as leis através da interação com os usuários, pela troca de informação com outras sociedades ou ainda através de um processo de Data Mining em Banco de Dados existentes.

c) Agente Judiciário – responsável pela arbitragem da solução do conflito quando este não puder ser resolvido pelo Agente Executivo.

O Modelo Tri-Coord+, objeto da presente tese, vem a ser uma extensão do Modelo Tri-Coord e foi construído baseado em dois paradigmas largamente utilizados em SMAs: a utilização de estruturas e modelos oriundos de Ciências Sociais em ambientes multiagente e a utilização de estratégias e técnicas específicas de resolução de conflitos em SMAs em função do tipo de conflito detectado. Além disso características inerentes a um Projeto de Engenharia Distribuído são melhores exploradas através de duas inovações: um tratamento diferenciado em função da fase de desenvolvimento em que se encontra o projeto e a re-utilização de casos e estratégias utilizadas no projeto.

As contribuições do presente trabalho além da solução apresentada para o gerenciamento de conflitos em SMA aplicado a um projeto de engenharia distribuído podem ser sumarizadas em:

- Automatização do processo de um projeto de engenharia distribuído
- Resolução de conflitos flexível de acordo com a demanda e tipo do conflito a ser resolvido
- Estrutura organizacional do SMA baseada na Teoria da Tri-Partição dos Poderes
- Extensão e melhoramento do Modelo Tricoord para aplicações de projeto de engenharia distribuído

No capítulo 2 são apresentados conceitos e terminologia usuais em Suporte ao Trabalho em Grupo, uma revisão de conceitos básicos sobre Sistemas Multiagentese uma uma discussão sobre as principais técnicas de resolução de conflitos em SMAs, o capítulo 3 aborda alguns trabalhos relacionados, especialmente o trabalho de (LIU, 1998) adotado no presente Modelo; o capítulo 4 apresenta um modelo para resolução de conflitos em sistemas Multiagentes: o Modelo Tri-Coord; o capítulo 5 apresenta a presente proposta de tese: uma extensão do Modelo Tri-Coord, o Modelo Tri-Coord+; o capítulo 6 apresenta uma aplicação do Modelo proposto no cenário de projeto de plataformas de petróleo e finalmente o capítulo 7 é destinado a conclusões.

2. Sistemas Multiagentes aplicados a Trabalho Colaborativo

2.1. Projeto de Engenharia Distribuído

O desenvolvimento de projetos de engenharia realizados de maneira distribuída por grupos de projetistas localizados geograficamente em diferentes localidades tem aumentado nos últimos anos, com perspectivas de grande crescimento devido à inovações tecnológicas, barateamento de custos de tecnologias, expansão da rede de comunicações e o crescimento da economia mundial. Estudos têm mostrado (MACGREGOR *et al.*, 2001) que problemas como: informação insuficiente, problemas com ferramentas de suporte e conflitos de pessoas são incrementados devido à distribuição, enquanto novos problemas, específicos da distribuição, são acrescentados requerendo novas estratégias de solução.

Um aumento da distribuição no espaço e no tempo entre os membros de uma equipe de projetistas resulta em baixos níveis de compreensão do trabalho a ser desenvolvido quando utilizadas estratégias tradicionais de gerenciamento de projeto, daí a necessidade de estratégias específicas para o projeto distribuído.

Uma opinião extensamente difundida é que o projeto é uma atividade social (BUCCICARELLI, 1988) que inicia-se a partir de especificações iniciais de diferentes pessoas com seus conhecimentos e crenças particulares e, conseqüentemente, com suas diferentes necessidades e objetivos finais. A comunicação e a colaboração desempenham importante papel na busca do equilíbrio entre estas diferentes perspectivas para se conseguir a solução que melhor satisfaça todos os membros da equipe e, o mais importante, satisfaça o cliente. A interação social está conseqüentemente no núcleo do trabalho de um projeto. Dessa maneira passamos a perceber o projeto como uma atividade altamente diversa. O reflexo dessa diversidade se traduz nas diversas pesquisas que correlacionam o desenvolvimento de um projeto com outros domínios do conhecimento. Conceitos como conhecimento/informação, estratégias de comunicação aliadas à gerência do conhecimento e conceitos de trabalho cooperativo suportado por computador (CSCW) estão cada vez mais presentes no estudo do desenvolvimento e gerenciamento de projetos.

Levando-se em conta conhecimento/informação podemos ver o processo de desenvolvimento de um projeto como uma evolução das idéias e informações, na medida que cada vez mais os projetistas utilizam-se de experiências passadas ou no conhecimento pessoal para suportar seu projeto (MARSH, 1997). Dessa maneira, uma

comunicação eficaz entre as equipes de projeto distribuídas e o uso intensivo do conhecimento adquirido faz da gerência do conhecimento uma área chave no domínio em questão. O projeto é conseqüentemente uma atividade social altamente diversa, e seu sucesso depende da eficácia dos canais de colaboração e de comunicação entre membros da equipe de projeto. A diversidade da atividade junto com exigências sempre crescentes do cliente significa que as equipes, sempre maiores no tamanho e na complexidade, são improváveis de estar no mesmo espaço físico.

Para melhor decidir como possibilitar o desenvolvimento de um projeto distribuído é necessário inicialmente compreender o que é e como diferir um projeto distribuído de um projeto tradicional. Basicamente um projeto distribuído inclui diferentes níveis de distribuição, desde as equipes de projetistas separadas em salas e andares distintos de um edifício ou localizados em países diferentes com diferentes fusos-horários. As equipes de projetistas podem ser internas ou externas à organização e as relações podem ser temporárias ou permanentes e, ainda, o trabalho realizado pode ser feito de maneira síncrona ou assíncrona. Tais variáveis mostram a importância do contexto num projeto distribuído e os desafios em resolver os problemas ocasionados pela distribuição. Potencialmente, um incremento na distância entre as equipes de projetistas resulta em mais problemas de reconciliação de diversas perspectivas. Isto é devido à complexidade do ambiente de trabalho e da dificuldade de estabelecer ligações sociais, as quais são mais facilmente sustentadas “face-a-face”.

A confiança, mais difícil de se obter e sustentar em ambientes distribuídos, foi mostrado ser um fator crítico no sucesso das equipes (JARVENPAA *et al.*, 1998, LIPNACK *et al.*, 2000). Dessa maneira, a diferença chave entre o projeto tradicional e o projeto distribuído é que o projeto distribuído tem o seu sucesso altamente dependente da comunicação e da colaboração entre os membros da equipe. Se a comunicação e a colaboração eficazes não puderem ser iniciadas e sustentadas, o trabalho de projeto tem pouca possibilidade de sucesso. No trabalho distribuído, os níveis de uma comunicação direta são extremamente reduzidos porque os projetistas estarão em espaços físicos diferentes.

2.2. Suporte ao Trabalho em Grupo

Alguns projetos de Engenharia, devido à complexidade das disciplinas envolvidas, custo e disponibilidade de profissionais especializados e exigências de cronograma não podem ser desenvolvidos por um único engenheiro, sendo, portanto,

realizados por uma equipe de profissionais, em geral coordenada por um gerente de projeto.

O trabalho em equipe, cada vez mais, tem se tornado essencial para as empresas que buscam qualidade e agilidade em seus processos de negócios. Porém, em muitos casos, o sucesso de uma equipe esbarra na falta de comunicação e integração entre as pessoas e áreas envolvidas.

As soluções usadas tradicionalmente para a distribuição da informação baseiam-se na circulação de papéis, cartas e memorandos, geralmente transportados de mesa em mesa por meio de um mensageiro. A comunicação entre as pessoas é feita por telefone, email, fax ou quadros de avisos. Vários inconvenientes estão relacionados a esses métodos, dentre eles estão:

- Excesso de papel;
- Inconsistência da informação;
- Circulação deficiente da informação;
- Reuniões improdutivas;
- Comunicação ineficiente.

Trabalho Cooperativo Suportado por Computador (CSCW) ou Computação Colaborativa pode ser definido como a disciplina de pesquisa para o estudo das técnicas e metodologias de trabalho em grupo e das formas como a tecnologia pode auxiliar este trabalho.

A Computação Colaborativa propõe uma maneira inovadora de se resolver os problemas citados inicialmente e fornecer novos recursos para suportar o trabalho em grupo. Os principais objetivos a serem atingidos são:

- Possibilitar o trabalho em grupo de pessoas separadas fisicamente;
- Eliminar ações improdutivas no processo de negócio;
- Melhorar a criação colaborativa de produtos do trabalho, como documentos, projetos, especificações, etc.;
- Auxiliar na tomada de decisões;
- Comunicar os membros dos grupos de trabalho sobre eventos importantes;

- Fortalecer a sinergia entre os membros dos grupos de trabalho.

Como toda área recente de pesquisa, as definições em trabalho cooperativo ainda apresentam algumas controvérsias. O contexto de atuação das pesquisas nesta área é muito abrangente, não cabendo, inclusive, dentro das próprias fronteiras do termo Trabalho Cooperativo Suportado por Computador (GREENBERG, 1991)

Uma análise das contribuições de pesquisa apresentadas mostram, por exemplo, que não são todas as aplicações desenvolvidas nesta área que objetivam especificamente a realização de um trabalho. Algumas das sugestões apresentadas envolvem o estudo de atividades puramente de interação social, de lazer ou educacionais. Dentre as atividades suportadas, nem todas apresentam o caráter puramente cooperativo, se caracterizando por atividades de competição ou negociação. Muitas aplicações também não se propõem a dar total suporte às atividades em grupo, se preocupando apenas em auxiliá-las em momentos críticos. Finalmente, a tecnologia utilizada por estas aplicações não se restringe apenas ao uso de computadores, lançando mão de outras formas de suporte tecnológico como vídeo e telefonia.

O termo groupware costuma ser usado quase como sinônimo de CSCW, porém alguns autores identificam uma tendência diferenciada no emprego destes termos. Enquanto CSCW é usado para designar a pesquisa na área do trabalho em grupo e como os computadores podem apoiá-lo, groupware tem sido usado para designar a tecnologia (hardware e/ou software) gerada pela pesquisa em CSCW (GRUDIN, 1994, ELLIS *et al.*, 1991, QUATERMAN, 1990). Assim, sistemas de correio eletrônico, teleconferências, suporte a decisão e editores de texto colaborativos são exemplos de groupware, na medida em que promovem a comunicação entre os membros de um grupo de trabalho, e que contribuem com isso para que o resultado seja maior que a soma das contribuições individuais de cada membro do grupo.

As aplicações para o suporte de trabalho cooperativo incluem mecanismos de comunicação que permitam às pessoas ver, ouvir e enviar mensagens umas às outras; mecanismos de compartilhamento da área de trabalho que permitam às pessoas trabalharem no mesmo espaço de trabalho ao mesmo tempo ou em momentos diferentes; e mecanismos de compartilhamento de informações que permitam o trabalho de várias pessoas sobre a mesma base de informações.

Dentre as diversas aplicações de groupware existentes, podemos citar: correio eletrônico, agenda eletrônica, vídeo conferência, Sistema de Apoio à Decisão

em Grupo, Sistemas de Gerenciamento de Documentos e Gerenciadores de Fluxos de Trabalho (Workflow).

Além dos termos groupware e CSCW, outras siglas e expressões freqüentemente são associadas a esta área, mas todas tentam expressar como os computadores e a tecnologia de redes podem facilitar a comunicação entre os membros de um grupo.

Algumas são mais restritivas na medida em que definem sistemas de suporte a uma atividade específica. Por exemplo, a sigla GDSS ("Group Decision Support Systems") representa os sistemas que apóiam a atividade de tomada de decisão. Já os Sistemas de Suporte a Reuniões são mais abrangentes, incluindo desde salas eletrônicas até os próprios sistemas de tomada de decisão. A sigla CMC, que significa Comunicação Mediada por Computador, é ainda mais abrangente, englobando o universo computador/comunicação. Enquanto a área CSCW preocupa-se especificamente com a aplicação do computador à comunicação dentro do contexto do trabalho, CMC significa somar computador à comunicação em qualquer contexto.

2.3. Sistemas Multiagentes (SMAs)

2.3.1. Conceito

Um Sistema Multiagente faz uso do conceito de "comunidade de agentes inteligentes", cujo enfoque se baseia na existência de uma sociedade, composta por vários agentes que atuam no sistema por meio de cooperação e concorrência, sendo que é desse "comportamento social" que emerge a inteligência do sistema. Assim, o objetivo maior dos pesquisadores em SMA está na coordenação de tal comportamento social inteligente, uma vez que esta coordenação envolve conhecimento, objetivos, habilidade e planejamento sobre os agentes e não necessariamente está voltada para a busca da solução de um problema específico, como é o caso da Resolução Distribuída de Problemas (RDP), que se volta para estratégias nas quais a decomposição e coordenação do processamento em um sistema distribuído sejam conjugadas com as demandas estruturais do domínio das tarefas (TOMINAGA, 1996).

Já nos Sistemas Multiagentes, não se parte de um problema específico como nos sistemas RDP, mas se busca a coordenação entre um conjunto de agentes autônomos, possivelmente pré-existent, estudando a forma como eles podem

coordenar seus conhecimentos, metas, habilidades e planos conjunta e harmoniosamente, de forma a realizar uma ação ou resolver um problema (BOND e GASSER, 1988).

Então, nesta abordagem a idéia consiste em coordenar o comportamento inteligente de um conjunto de agentes autônomos, cuja existência pode ser anterior ao surgimento de um problema em particular. Os agentes devem raciocinar a respeito das ações e sobre o processo de coordenação em si. As suas arquiteturas são mais flexíveis e a organização do sistema está sujeita à mudanças visando adaptar-se às variações no ambiente e/ou no problema a ser resolvido (OLIVEIRA, 1996). O termo agente, neste caso, designa uma entidade inteligente, agindo racional e intencionalmente em relação aos seus próprios objetivos e ao atual estado do seu conhecimento. Já, pelo termo autônomo, entende-se que cada agente possui sua própria existência, a qual não se justifica pela presença ou não de outros agentes nem pela existência prévia de algum problema. Considera-se, portanto, como sendo um sistema no qual convivem vários agentes, que podem vir a colaborar entre si, mas não necessariamente (TOMINAGA, 1996).

As razões para o crescente interesse na pesquisa em Sistemas Multiagentes incluem sua habilidade para (GREEN *et al.*, 1997):

- Resolver problemas que são muito grandes para um único agente devido a limitações de recursos;
- Prover soluções para problemas inerentemente distribuídos, por exemplo tráfego aéreo;
- Prover soluções que advêm de fontes de informações distribuídas;
- Aumentar velocidade (se a comunicação é mínima), aumentar confiabilidade (capacidade de se recuperar de uma falha de um componente individual, com pouca degradação de desempenho), prover extensibilidade (capacidade de alterar o número de processadores dedicados a um problema), tolerar dados e conhecimentos incertos;
- Oferecer clareza e simplicidade conceitual do projeto.

Para um SMA resolver problemas comuns coerentemente os agentes devem se **comunicar**, **coordenar** suas atividades e **negociar** quando entrarem em conflito.

Conflitos podem resultar de contenção de recursos limitados até questões mais complexas de computação onde os agentes discordam por causa de discrepâncias entre seus domínios de especialidade. Coordenação é requerida para determinar a estrutura organizacional entre um grupo de agentes e para alocação de tarefas e recursos, enquanto negociação é requerida para a detecção e resolução de conflitos. Os agentes interagem e trocam informações através de uma linguagem de comunicação, que pode variar de uma Linguagem de Comunicação de Agentes *ad hoc* até uma Linguagem de Comunicação de Agentes padrão, tipo KQML.

2.3.2 Características

Segundo ALVARES e SICHMAN (1997) do ponto de vista de concepção do sistema, o SMA apresenta as seguintes características:

Os agentes são concebidos independentemente de um problema particular a ser resolvido. O projeto de um agente deve resultar numa entidade capaz de realizar um determinado processamento, e não numa entidade capaz de realizar este processamento exclusivamente no contexto de uma aplicação alvo particular.

A concepção das interações também é realizada independentemente de uma aplicação-alvo particular. Busca-se desenvolver protocolos de interação genéricos, que possam ser reutilizados em várias aplicações similares. Um exemplo de um tal protocolo seria um protocolo de apresentação de um agente quando este ingressa numa sociedade. Obviamente, um protocolo deverá ser instanciado com dados do domínio do problema para poder ser efetivamente utilizado numa aplicação.

A mesma filosofia anterior pode ser estendida ao projeto das organizações. Normalmente, se distinguem as funcionalidades necessárias a uma resolução particular dos agentes que irão efetivamente implementar tais funcionalidades.

Durante a fase de resolução, os agentes utilizam suas representações locais dos protocolos de interações e das organizações para raciocinar e agir. Deste modo, não existe um controle global do sistema, este é implementado de forma totalmente descentralizada nos agentes.

Uma vez que os agentes são concebidos independentemente de um problema particular a ser resolvido, torna-se possível, a reutilização de tais componentes quando se desejar projetar aplicações similares. Os agentes irão

instanciar dinamicamente as organizações e interações quando um problema for apresentado ao sistema. De certo modo, pode-se considerar que certas propriedades globais do sistema que eram totalmente pré-definidas pelo projetista na abordagem RDP, e que eram também ligadas ao modelo algorítmico subjacente, são agora representadas de modo explícito e efetivamente utilizadas pelos próprios agentes do sistema. A figura 1 mostra a estrutura de um SMA segundo a concepção de SICHMAN (1995).

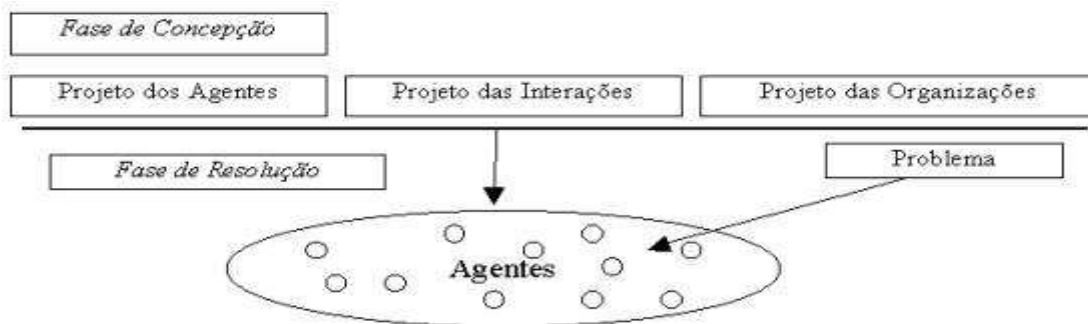


Figura 1: Estrutura de um SMA segundo SICHMAN (1995)

Outras considerações importantes na abordagem SMA são colocadas por (SICHMAN *et al.*, 1992) e (DEMAZEAU e MÜLLER 1990):

- Os agentes devem ser capazes de decompor as tarefas baseados no conhecimento que eles possuem de si próprios e dos outros agentes;
- Como os agentes são autônomos, eles podem possuir metas próprias e decidir o que fazer, a qualquer momento;
- Os agentes possuem capacidade para resolver seus problemas e os problemas que surgirem no ambiente;
- Os agentes podem entrar e sair do ambiente a qualquer momento. Portanto, em SMAs os agentes devem ser capazes de modificar o conhecimento que possuem dos outros agentes do ambiente.
- Os agentes devem ser capazes de reconhecer modificações no ambiente quando estas ocorrerem, alterando sua representação interna do ambiente.

2.3.3. Estratégias de Interação, Cooperação e Comunicação

2.3.3.1. Aspectos Gerais

O termo **interação** no contexto dos SMA significa a existência de qualquer tipo de ação coletiva no sistema.

A interação com outros agentes implica que:

- cada agente passa a ter conhecimento das atividades dos outros agentes.
- são conhecidos os objetivos globais, o que pode levar a ações de cooperação ou competição.

Quando os agentes executam uma política de **cooperação**, esta é o resultado da interação. Assim, o agente executa uma ação ou assume qualquer decisão, como consequência da influência gerada pela presença ou conhecimento de outro agente.

Dessa maneira podemos dizer que a cooperação irá ocorrer entre dois ou mais agentes, quando eles necessitarem realizar uma mesma tarefa a qual não são capazes de fazer individualmente. Desta maneira, os agentes precisam compartilhar seu conhecimento, já que possuem apenas o conhecimento parcial a respeito de todo o problema.

MOULIN e CHAIB-DRAA, (1996) propõem quatro objetivos genéricos para cooperação em um grupo de agentes:

- aumentar a rapidez de conclusão da tarefa através do paralelismo;
- aumentar o conjunto ou escopo de tarefas concluídas pelo compartilhamento de recursos;
- aumentar a probabilidade de conclusão de tarefas pelo empreendimento de tarefas duplicadas, possivelmente com diferentes métodos de realização daquelas tarefas;
- diminuir a interferência entre tarefas evitando interações prejudiciais.

O mesmo trabalho citado (MOULIN e CHAIB-DRAA, 1996) examina a cooperação entre especialistas com conhecimento distribuído, no contexto de suporte

baseado em conhecimento, para colaboração entre diferentes departamentos de engenharia em cumprir tarefas de projeto. Na realidade, (MOULIN e CHAIB-DRAA, 1996) examinam o problema do raciocínio colaborativo no qual sistemas inteligentes cooperativamente desenvolvem um projeto.

A cooperação está fortemente ligada à aplicação específica, pois a sua base de trabalho implica a procura coletiva de um objetivo comum (a resolução de um problema naquele domínio). A forma como a cooperação se desenrola depende, obviamente, de como o problema a resolver é decomposto e distribuído.

Num sistema multiagente e seguindo um dos modelos possíveis (JENNINGS e WITTIG, 1992), é possível distinguir duas formas de cooperação, quanto à partilha de informação: partilha de resultados e partilha de tarefas.

A cooperação do tipo de partilha de resultados acontece quando um agente conclui sobre um dado item de informação. Implica o conhecimento sobre os outros agentes -- "modelo dos agentes conhecidos" verificando se há agentes interessados nesse tipo de informação. Os agentes partilham entre si resultados parciais que são gerados com base em perspectivas possivelmente diferentes de uma tarefa global.

A cooperação do tipo de partilha de tarefas acontece quando um agente detecta que não tem informação ou capacidades suficientes para executar uma dada tarefa. Para isso é necessário ter conhecimento sobre os outros agentes--"modelo dos agentes conhecidos" para concluir se há agentes capazes de o ajudar. Os agentes do sistema interagem pela partilha de carga computacional para a execução de subtarefas de uma tarefa global. Além disso o agente necessita de conhecimento sobre cooperação .

2.3.3.2. Classificação quanto às relações de interdependência existentes

De acordo com as relações de interdependência existentes, a cooperação pode ser classificada em quatro tipos: horizontal, em árvore, recursiva e híbrida (ZHANG e BELL, 1991).

- **Cooperação horizontal** Para a resolução dos seus problemas, os agentes não são dependentes de qualquer outro agente do sistema. No entanto, o uso de informação proveniente de um outro agente pode aumentar o grau de confiança que estes agentes receptores atribuem às suas soluções (é como escutar uma segunda opinião).

- **Cooperação em árvore** Para resolver os seus próprios problemas, os agentes dependem de outros agentes do sistema.
- **Cooperação recursiva** Vários agentes dependem uns dos outros para resolver os seus problemas.
- **Cooperação híbrida** Verifica-se quando ocorre cooperação horizontal inserida em cooperação recursiva ou em árvore.

2.3.3.3. Comunicação

A **comunicação** fornece a base necessária para a realização da cooperação entre múltiplos agentes. A comunicação entre os vários agentes resolvedores de problemas permite a exploração em comum dos seus recursos e conhecimentos próprios, tornando possível o trabalho em paralelo de diferentes partes do problema, e a obtenção mais rápida da resolução do problema.

A comunicação entre os agentes, que pode implicar a troca de informação mais ou menos completa, pode ser realizada por dois métodos distintos: o envio ou troca de mensagens e a utilização de uma estrutura de "blackboard".

No envio de mensagens é necessário definir linguagens e protocolos de comunicação. A troca de informação entre os agentes é realizada por envio de mensagens, que obedecem a um formato comum e bem definido, necessariamente perceptível por todos os agentes (eventualmente heterogêneos). O agente receptor da mensagem efetua a leitura desta, e de acordo com a informação aí presente e o seu próprio conhecimento, determina as ações a executar, que podem implicar no envio de novas mensagens. O agente emissor de uma mensagem pode, para a sua divulgação aos outros agentes, fazer uso de mecanismos de endereçamento direto (quando o agente receptor é único e conhecido), difusão local (quando existem múltiplos agentes receptores), ou difusão global (quando os possíveis agentes receptores são todos aqueles presentes no sistema).

Na utilização de uma estrutura "blackboard", a comunicação entre os agentes é efetuada pela escrita e leitura de informação numa estrutura compartilhada, denominada "blackboard". Um "blackboard" é uma arquitetura que permite a integração de módulos ou programas individuais em uma única e integrada aplicação (HAYES-ROTH, 1995). Quando determinado item de informação presente no

"blackboard" é importante para um agente, este lê essa informação e executa as ações que considera adequadas, de acordo com o seu conhecimento próprio.

Um sistema "blackboard" é composto por três componentes básicos (OLIVEIRA, 1996):

A estrutura de dados "blackboard" ou simplesmente o "blackboard", é uma base de dados global, partilhada pelas diferentes fontes de conhecimento, que contém dados de entrada, soluções parciais e outros dados representativos do estado de resolução do problema. O "blackboard" serve também como um meio de comunicação e como um suporte para o mecanismo de ativação das fontes de conhecimento.

Fontes de conhecimento ("knowledge sources") são módulos independentes e separados de conhecimento aplicável aos possíveis estados do problema, mas que coletivamente contêm o conhecimento necessário para resolver o problema. Associado com cada fonte de conhecimento existe uma condição de ativação que traduz as condições de estado do problema nas quais uma dada fonte de conhecimento pode contribuir para a solução. Esta condição de ativação é comunicada ao mecanismo de controle. Eventualmente, diferentes contextos de ativação podem ativar a mesma fonte de conhecimento.

Um mecanismo de controle dirige o processo de resolução do problema, decidindo qual a fonte de conhecimento mais apropriada será utilizada em cada passo do processo de resolução do problema. O escalonamento das ativações das fontes de conhecimento num sistema "blackboard" não é um simples artefato destinado a permitir a execução sequencial (num único processador) pois envolve também a escolha do curso de resolução do problema. Este componente, que é separado das fontes de conhecimento, toma decisões acerca do curso da resolução do problema dinamicamente (em tempo de execução).

O conhecimento descrito nas fontes de conhecimento pode ser expresso sob a forma de regras "Se-Então", onde a parte "Se" contém as pré-condições para a execução, e a parte "Então" contém a ação ou conclusão.

Dependendo do estado de resolução do problema, o mecanismo de controle pode aplicar qualquer tipo de fontes de conhecimento:

- Orientadas por objetivos -- efetuando raciocínio por encadeamento inverso.
- Ativadas pelos dados -- efetuando raciocínio por encadeamento direto.

No raciocínio por encadeamento inverso ("backward chaining") ou orientado por objetivos ("goal-driven"), o processo inicia-se com a resolução de um determinado objetivo ("goal") e o mecanismo de inferência pesquisa outras regras cujas pré-condições sejam agora satisfeitas pela nova base de dados.

No raciocínio por encadeamento direto ("forward chaining") ou ativado pelos dados ("data driven"), quando a execução de uma regra ou a aquisição de um fato novo atualizam a base de dados, o mecanismo de inferência pesquisa outras regras cujas pré-condições sejam agora satisfeitas pela nova base de dados.

Deste modo a execução de uma regra desencadeia a execução de outra regra ao modificar a base de dados.

2.4. Resolução de Conflitos em Sistemas Multiagentes

Os diversos tipos de conflitos podem surgir quer durante a partilha de tarefas quer durante a partilha de resultados, e podem ainda ser classificados como positivos ou negativos. As situações de conflitos são sempre possíveis, uma vez que os agentes presentes numa comunidade cooperativa possuem conhecimento e métodos de resolução distintos (OLIVEIRA, 1996). Levando-se em conta esses aspectos os conflitos podem ser classificados em:

Conflitos positivos na partilha de tarefas:

Ocorrem sempre que existem vários agentes capazes de executar uma tarefa requerida por um dado organizador. Esta situação competitiva tem de ser tratada por meio da negociação. A seleção do agente ao qual atribuir a responsabilidade de execução da tarefa (agente respondente), deve ser realizada pelo agente organizador.

Conflitos negativos na partilha de tarefas:

Ocorrem quando não existe nenhum agente capaz de executar (ou não querendo executar) uma tarefa requerida por um dado organizador. O organizador tem de escolher um plano alternativo para contornar esta situação. O agente organizador deverá tentar satisfazer o seu objetivo, utilizando um novo plano.

Conflitos positivos na partilha de resultados:

Vários agentes possuem, relativamente a uma mesma informação, resultados diferentes, mas complementares (ou resultados semelhantes, associados a graus de credibilidade diferentes).

Conflitos negativos na partilha de resultados:

Vários agentes possuem, relativamente a uma mesma informação, resultados contraditórios ou inconsistentes. A resolução de tais conflitos, implica a capacidade de determinação da qualidade (quantitativa ou qualitativa) dos resultados obtidos, e conhecimento específico do domínio. É necessário existir um perito para a resolução destes conflitos, que pode ser representado como uma entidade inteligente isolada, ou distribuído por todos (ou apenas alguns) agentes da comunidade.

2.4.1. Técnicas de Resolução de Conflito

A Negociação entre dois ou mais agentes é a troca de mensagens baseada num dado protocolo, destinada ao estabelecimento de um acordo (não assumido tacitamente pelos agentes envolvidos), sobre a efetivação de uma dada forma de cooperação.

A negociação traduz-se na decisão de quais tarefas desenvolver, e a consequente atribuição de tarefas específicas a determinados agentes. Este processo implica uma comunicação entre os agentes, com vista à coordenação da sua atividade cooperativa. A coordenação entre os agentes do sistema é um ponto fundamental para a resolução de problemas distribuídos, e foca principalmente a utilização de recursos. Estes recursos distribuídos podem ser físicos (capacidade de computação, facilidade de comunicação, etc), ou relativos a informação (conhecimento específico do domínio, resultados de tarefas).

No mercado econômico, negociações são necessárias para que acordos entre empresas ou nações sejam realizados. De maneira geral, entende-se por negociação uma discussão em que as partes interessadas trocam informações entre si, até chegarem a um consenso.

Segundo (MARTINELLI e ALMEIDA, 1998) em um contexto social, três condições são essenciais para que uma pessoa possa negociar com êxito:

- **Precisar negociar:** deve-se possuir consciência das necessidades;

- **Querer negociar:** quando existe uma vontade firme de encontrar soluções mutuamente satisfatórias. Idealmente, buscam-se acordos cooperativos, nos quais as partes envolvidas realizam esforços em um mesmo sentido; e,
- **Saber negociar:** implicando no estabelecimento de estratégias eficazes e na capacidade de acionamento de táticas adequadas a cada situação particular. A estratégia deve estabelecer um planejamento, execução e controle em seqüência lógica e pré-determinada. As táticas relacionam-se com métodos de argumentação, baseados em mecanismos da lógica e das ciências comportamentais, e desenvolvimento de habilidades para a realização de concessões e superação de impasses.

As etapas de um processo de negociação, segundo o modelo apresentado em (PUGLIESI, 2001) são:

1. **Preparação:** corresponde ao planejamento inicial. Deve considerar o histórico das relações, os objetivos ideais (máximo desejável) e reais (mínimo necessário), a presunção da necessidade das partes envolvidas, o planejamento de concessões, o levantamento de conflitos potenciais e o estabelecimento de expectativas positivas através de comunicações preliminares;
2. **Abertura:** possui como objetivo básico criar um clima propício ao desenvolvimento da negociação. Engloba a redução de tensões iniciais, a exposição de objetivos do processo e o estabelecimento de um acordo comum de como ele irá prosseguir;
3. **Exploração:** visa detectar necessidades, expectativas e motivações da outra parte;
4. **Apresentação:** comunicação detalhada da proposta incluindo suas características, problemas que soluciona e benefícios para a outra parte;
5. **Clarificação:** consiste no esclarecimento de dúvidas e na argumentação;
6. **Ação final:** é a conclusão de acordos ou a desistência do processo; e,

7. **Controle e avaliação:** confronto previsto ou realizado e adoção de ações corretivas.

De acordo com (SMITH e DAVIS, 1983) existem três componentes da negociação que são essenciais em um contexto de resolução de problemas: há troca de informações entre as partes; cada parte avalia as informações trocadas pela sua ótica; e, o acordo final ocorre por concordância de ambas as partes.

A negociação como processo visando a resolução de problemas interessa particularmente às áreas da informática e em especial aos SMAs.

2.4.2. Conceituação para SMAs

Segundo (RAO e GEORGEFF, 1991), um agente autônomo possui suas próprias crenças, desejos, capacidades e conhecimentos. Sendo assim, agentes podem possuir metas divergentes, onde a **negociação** constitui um fator muito importante para garantir a harmonia dentro de uma organização.

Para (JENNINGS e CAMPOS, 1998), *“o propósito da negociação é chegar a um acordo sobre a provisão de um serviço de um agente para outro”*.

A negociação é um de uma série de métodos através dos quais disparidades entre agentes são acordadas quando se verificam incertezas ou conflitos. Além disso, considerando-se a complexidade dos atuais problemas e sistemas, nem sempre é possível se buscar soluções ótimas, mas sim soluções que sejam flexíveis, onde restrições possam ser relaxadas ou negociadas para que a solução do problema possa prosseguir.

A necessidade de uma negociação decorre da existência de relacionamentos positivos ou negativos entre os diferentes planos dos agentes. Relacionamentos negativos são todos aqueles que geram conflitos durante a execução ou na utilização de um recurso; relacionamentos positivos são aqueles que geram algum benefício, ou seja, o desenvolvimento e a execução dos planos de forma eficiente.

Negociação entre agentes constitui um dos temas centrais da IAD (Inteligência Artificial Distribuída). O objeto principal da negociação são as modificações nos planos dos agentes e a identificação de situações onde potenciais interações são possíveis (MOULIN e CHAIB-DRAA, 1996). Estas etapas (modificação e identificação) disparam processos de negociação entre os agentes visando obter uma decisão comum. A negociação é usada freqüentemente na resolução de conflitos e alocação de recursos, sendo um fator importante na modelagem de SMA. Segundo

(KRAUS, 2000), negociação pode ser definida como “*uma discussão em que as partes interessadas trocam informações e chegam a um acordo. Uma negociação possui três importantes componentes: (a) existe troca de informações, (b) cada parte envolvida na negociação avalia a informação de suas próprias perspectivas e, (c) o final é alcançado pela seleção mútua*”.

Durante uma negociação, os vários integrantes do sistema empenham-se na busca de uma solução, podendo gerar novos comprometimentos e metas. O processo de negociação pode gerar muitos resultados, entre eles podemos citar:

1. Uma resolução, que resulta em novos comprometimentos;
2. Um bloqueio, pois os participantes de uma negociação não conseguem chegar a um acordo; ou,
3. Uma apelação, onde alguns participantes podem estar descontentes com o resultado e apelam para outros participantes, que podem configurar uma nova negociação para chegarem a um acordo do que fazer com os resultados anteriores.

2.4.3. Protocolos de negociação

Nenhum outro autor realizou um estudo tão aprofundado sobre protocolos de negociações quanto SANDHOLM (1999). Por esta razão, nesta seção serão apresentados os mecanismos de negociação segundo as definições dadas por SANDHOLM.

A tecnologia multi-agentes facilita as negociações em decisões operacionais. Essa automação pode salvar tempo de trabalho de negociadores humanos, assim como outros ganhos são possíveis.

Protocolos de negociação podem ser avaliados de acordo com certos critérios (medidas). SANDHOLM (1999) define alguns termos tais como:

Bem-estar social: é a soma de todos os saldos e utilidades dos agentes numa dada solução. Mede os bens globais dos agentes. Pode ser usado como um critério para comparar mecanismos alternativos, comparando as soluções que os mecanismos conduzem. Quando medido em termos de utilidades, o critério é um tanto arbitrário, porque requer comparações de utilidade entre agentes, e realmente cada função de utilidade dos agentes pode ser especificada somente em transformações com afinidade positiva;

Eficiência Pareto: é uma outra solução para o critério de avaliação que leva a uma perspectiva global. Mecanismos alternativos podem ser avaliados de acordo com a eficiência Pareto comparando as soluções que os mecanismos conduzem. A solução x é eficiente Pareto, isto é, Pareto ótimo, se não há outra solução x' tal que pelo menos um agente é melhor que em x' do que em x e nenhum agente é pior do que em x' do que em x . Então, eficiência Pareto mede os bens globais, e não requer comparações duvidosas de utilidade entre agentes. Bem-estar social maximizando soluções é um sub conjunto de eficiência Pareto. Uma vez que a soma dos saldos é maximizada, o saldo de um agente pode aumentar somente se o saldo de outro agente diminuir;

Racionalização individual: a participação numa negociação será individualmente racional para um agente se o saldo do agente na solução negociada não for menor que o saldo que o agente teria não participando da negociação. Um mecanismo é individualmente racional se a participação for individualmente racional para todos agentes. Somente mecanismos individualmente racionais são viáveis. Se a solução negociada não for racionalmente individual para alguns agentes, o agente interessado não participará na negociação;

Estabilidade: entre agentes interessados, mecanismos devem ser desenvolvidos para serem estáveis, isto é, eles devem motivar cada agente a comportar-se do modo desejado. Algumas vezes é possível desenvolver mecanismos com estratégias dominantes. Isso significa que um agente é melhor usando uma estratégia específica, não importando a estratégia que o outro agente usa. Entretanto, freqüentemente a melhor estratégia do agente depende da estratégia que os outros agentes escolhem. Em tais configurações, estratégias dominantes não existem, e outros critérios de estabilidade são necessários. A mais básica é o equilíbrio de Nash. No equilíbrio de Nash, cada agente escolhe a estratégia que é a melhor resposta para as outras estratégias dos agentes.

Eficiência computacional: claramente, mecanismos devem ser desenvolvidos para que quando agentes forem usá-los, menos computação seja necessária. Classicamente, mecanismos têm sido desenvolvidos para que eles conduzam a soluções que satisfaçam alguns dos critérios de avaliação. Desses mecanismos, o com o menor overhead computacional terá preferência.

Entretanto, uma aproximação mais avançada seria explicitamente a troca do custo do processo pela qualidade da solução; e,

Eficiência da distribuição e comunicação: se todos forem iguais, protocolos distribuídos devem ser preferidos para evitar um simples ponto de falha e uma baixa performance, entre outras razões. Simultaneamente deve-se minimizar a quantidade de comunicação que é requerida para convergir numa solução global desejável. Em alguns casos, ocorre conflito entre esses dois objetivos.

A seguir serão apresentados alguns tipos de protocolos de negociação usando os critérios de avaliação apresentados acima. SANDHOLM (1999) apresenta uma descrição em detalhe de cada um.

2.4.3.1. Votação

Em uma votação cada agente manifesta a sua preferência por meio de um voto. A preferência que apresentar o maior número de votos é considerada a preferência da maioria. Um modelo de voto é constituído por 3 elementos ou grupos de elementos: uma ou mais questões a serem votadas, as alternativas de voto de cada questão e os eleitores. Pode-se representar, em um modelo multi-agentes, que agentes votam. Os votos constituem a entrada de um mecanismo de apuração, o qual gera como saída o resultado da apuração.

2.4.3.1.1. Eleitores confiáveis

Eleitores confiáveis são aqueles nos quais têm-se o conhecimento de todas suas preferências e pode-se confiar nelas.

O objetivo clássico tem sido derivar uma regra de escolha social que classifica saídas sociais viáveis baseado em classificações individuais dessas saídas. Vamos considerar o conjunto de agentes como A e o conjunto de saídas viáveis para a sociedade como O . Além disso, vamos considerar que cada agente $i \in A$ tem uma relação de preferência assimétrica e estritamente transitiva κ_i em O . Uma regra de escolha social leva como entrada as relações de preferências dos agentes $(\kappa_1, \dots, \kappa_{|A|})$ e produz como saída as preferências sociais denotada por uma relação κ^* . Intuitivamente, as seguintes propriedades de uma regra de escolha social demonstram-se desejáveis (SANDHOLM, 1999):

- Uma preferência social ordenando κ^* deve existir para todas as entradas possíveis;
- κ^* deve ser definida para cada par $o, o' \in O$;
- κ^* deve ser assimétrico e transitivo sobre O ;
- A saída deve ser eficiente Pareto (uma solução é Pareto eficiente se não há qualquer outra solução que deixe todos os agentes em situação tão boa quanto a primeira e pelo menos um dos agentes em situação melhor);
- O esquema deve ser independente de alternativas irrelevantes; e
- Nenhum agente deve ser um ditador no sentido que $o \kappa_i o'$ implica $o \kappa^* o'$ para todas preferências dos outros agentes.

Infelizmente não é possível satisfazer essa consideração: “*Nenhuma regra de escolha social satisfaz essas seis condições.*”.

Então, para desenvolver regras de escolha social, as propriedades acima citadas têm que ser relaxadas. A primeira propriedade é relaxada no domínio no qual a regra trabalhada é restrita. A terceira propriedade também pode ser relaxada. Isso é feito, por exemplo, no **protocolo de pluralidade** que é um protocolo majoritário onde todas as alternativas são comparadas simultaneamente, e onde o que tiver maior número de votos ganha.

2.4.3.1.2. Eleitores estrategistas (falsos)

No caso anterior, era assumido que, na execução do método de escolha social, todas as preferências dos agentes são conhecidas. Na realidade, raramente isso acontece. Agentes normalmente têm que explicitamente declarar suas preferências. Assume-se que o conhecimento das preferências é equivalente a assumir que o agente revela sua preferência confiavelmente. Mas se um agente pode se beneficiar mentindo sobre suas preferências, ele o fará. Isso complica o desenvolvimento dos mecanismos de escolha social. Uma área da teoria dos jogos chamada *desenvolvimento de mecanismos* explora tais mecanismos de interação para agentes racionais. O objetivo é gerar protocolos tais que, quando os agentes forem

usá-los de acordo com alguns conceitos de solução estáveis, como por exemplo, o equilíbrio de estratégia dominante, o equilíbrio de Nash e seus refinamentos, ou outro tipo qualquer de equilíbrio, então saídas de desejo social aparecerão. As estratégias não são externamente impostas aos agentes. Ao invés disso cada agente usa a estratégia que é melhor para si mesmo.

2.4.3.2. Leilão

Leilões também têm muitas aplicações práticas em ciências da computação, e existem muitos sites de sucesso para compra e venda de itens usando protocolos de leilão. Diferentemente da votação onde as saídas comprometem todos agentes, nos leilões a saída é normalmente um negócio entre dois agentes, o leiloeiro e o licitante. Também, na votação, o desenvolvedor do protocolo assume querer acentuar os benefícios sociais, enquanto nos leilões, o leiloeiro quer maximizar seus próprios lucros. A teoria do leilão analisa protocolos e estratégias dos agentes nos leilões.

Um leilão tem como elementos um leiloeiro e potenciais licitantes. Leilões são normalmente discutidos em situações onde o leiloeiro quer vender um item e receber o maior pagamento possível, enquanto os licitantes querem adquirir o item com o menor preço possível.

2.4.3.2.1. Configurações dos leilões

Há três diferentes configurações de leilões, dependendo de como um valor de um item de um agente é formado (SANDHOLM, 1999):

1. Em valores de leilões privados, o valor dos bens depende somente das próprias preferências do agente. Um exemplo é o leilão de um bolo, onde o licitante campeão irá comê-lo. A chave é que o licitante campeão não irá revender o item ou ganhar utilidade mostrando-o para os outros, porque em tais casos o valor dependerá da avaliação dos outros agentes. O agente freqüentemente assume saber exatamente o valor do bem;

2. Por outro lado, em leilões de valor comum, o valor de um item de um agente depende inteiramente dos valores dos itens dos demais agentes. Por exemplo, leilões de títulos do governo cumprem esse critério. Ninguém prefere segurar os títulos, e os valores que os títulos possuem vêm inteiramente da possibilidade da revenda;

3. Em leilões de valores correlatos, o valor de um agente depende em parte da sua própria preferência, e em parte do valor dos outros agentes. Exemplo: uma negociação dentro de configurações de contratação. Um agente pode tratar uma tarefa ele mesmo no caso do seu local de negócio definir o custo de tratamento da tarefa. Por outro lado, o agente pode recontratar a tarefa no caso do custo depender unicamente dos valores dos outros agentes.

2.4.3.3. Barganha

Nas configurações de barganha, agentes podem fazer um acordo mútuo de benefício, mas existe um conflito de interesses sobre qual acordo fazer. Em micro economia clássica, assuntos de monopólio ou competição perfeita são freqüentemente feitos. Um monopolista pega todos os ganhos da interação enquanto um agente encarando uma competição perfeita pode não ter benefício. O mundo real normalmente consiste em um número finito de agentes competidores. Há dois sub campos da teoria da barganha (SANDHOLM, 1999):

1. **Teoria da barganha axiomática:** teoria da barganha axiomática não usa a idéia de um conceito da solução onde a estratégia dos agentes forma algum tipo de equilíbrio, ao invés disso, propriedades desejadas para uma solução, chamada axioma da solução barganhada, são postuladas, e então o conceito de solução que satisfaz esses axiomas é procurado. A solução da barganha de Nash é historicamente um conceito de solução mais fácil e que usa essa aproximação. Os axiomas da solução de barganha de Nash são (SANDHOLM, 1999):

- **Invariância:** as funções de utilidade numérica dos agentes somente representam preferências ordinais entre saídas. Entretanto, deve ser possível transformar as funções de utilidade na seguinte maneira: para qualquer aumento na função linear f , $u^*(f(o), f(o_{recuo})) = f(u^*(o, o_{recuo}))$;

- **Anonimato:** a troca de rótulos dos jogadores não afeta a saída;

- **Independência de alternativas irrelevantes:** se algumas saídas o são removidas, mas o^* não, então o^* ainda contém a solução; e,

- **Eficiência Pareto:** não é razoável dar a ambos jogadores uma utilidade muito grande.

2. Teoria da barganha estratégica: diferentemente da teoria da barganha axiomática, a teoria da barganha estratégica não postula propriedades como axiomas no conceito da solução. Ao invés disso, a situação de barganha é modelada como um jogo, e o conceito da solução é baseado na análise de quais estratégias dos jogadores estão em equilíbrio. Segue que para alguns jogos a solução não é única. Por outro lado, a teoria da barganha estratégica explica melhor o comportamento da utilidade racional. Teoria da barganha estratégica usualmente analisa barganhas seqüenciais, onde agentes alternam as ofertas para cada um numa ordem específica. O agente *um* é o que começa a fazer a primeira oferta.

Os dois modelos de barganha discutidos acima assumem a racionalidade perfeita dos agentes. Não é requerida nenhuma computação na procura de um contrato desejável mutuamente. O espaço de negócios assume ser totalmente compreendido pelos agentes e o valor de cada contrato é conhecido. Por outro lado, trabalhos futuros devem focar no desenvolvimento de métodos onde o custo da procura para soluções será explícito. Isso se torna particularmente importante já que as técnicas de barganha são escaladas pelos problemas combinatórios com um espaço de negociação multidimensional. Há atualmente duas pesquisas ocorrendo na barganha. Na procura deliberativa intra-agente, um agente localmente gera alternativas, avalia-as, contra especula-as, examina o processo de negociação, entre outros. Na procura comprometida entre agentes, os agentes fazem acordos com cada um a respeito da solução. Os acordos podem ocorrer sobre uma parte da solução num primeiro momento. O resultado do acordo provê contexto mais focado na procura deliberativa intra-agente. A procura comprometida pode também envolver iterativamente renegociação de algumas partes da solução que já foi acordada, mas se tornou menos desejável que o novo acordo.

2.4.3.4. Redes de contrato

Esta estrutura é baseada no anúncio de tarefas, lances de ofertas e pronunciamento de "contratos". A arquitetura básica associa nós com os papéis de gerentes e contratados, tal que qualquer nó pode, a qualquer momento, ser tanto um gerente como um contratado em tarefas distintas (MOULIN e CHAIB-DRAA, 1996).

Conforme (KRAUS, 2000), em uma rede de contratos, há dois papéis que os agentes podem assumir:

- **Gerente:** decompõe um problema, procura contratados para atacar partes do problema e monitora a sua execução; e,

- **Contratado:** pode executar uma subtarefa, ou pode transformar-se recursivamente em gerente e subempreitar subpartes da tarefa a outros contratados.

Nessa rede de contratos, os gerentes e os contratados são descobertos através de um processo de licitação onde um gerente anuncia uma tarefa; os contratados avaliam a tarefa em termos de sua capacidade e dos recursos necessários para executá-la; os contratados fazem ofertas ao gerente; o gerente escolhe um único contratado e espera o resultado. Assim, através de comunicação totalmente distribuída, gerentes e contratados são selecionados. Um nó pode ser simultaneamente gerente e contratado, e, em vez de ficar ocioso esperando a produção de seus contratados, o gerente pode assumir outras tarefas nesse meio tempo.

O conjunto de todos os nós processadores é a Rede de Contratos. Cada nó, como citado, assumirá o papel de um gerente, responsável pela monitoração da execução da tarefa e processamento de seus resultados, ou o de um contratado, que será responsável pela execução propriamente dita da tarefa. Entretanto, cabe ressaltar que ele poderá, eventualmente, perceber ser necessário passar outras subtarefas para outros nós. É neste sentido que se afirma que ele será, simultaneamente, um contratado para uma tarefa e um gerente para outras. Assim, os nós, individualmente, não estão associados a priori a nenhum papel de gerente ou contratado. Desta forma, o controle é realizado dinamicamente e de forma distribuída.

2.4.4. Metodologias para Resolução de Conflitos de Crença

Os objetivos distintos de cada agente individual de um SMA se constituem num conjunto natural de eventuais conflitos, onde diferentes perspectivas que consideram informações compartilhadas são geradas por diferentes agentes. As múltiplas perspectivas de conflito podem ser: (1) crenças incompatíveis considerando algum conceito compartilhado, ou (2) crenças reconciliáveis consideradas sobre algum conceito compartilhado (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999). Estes tipos de conflitos são chamados de conflitos positivos e conflitos negativos, respectivamente. O tipo de sistema SMA considerado é aquele constituído de agentes cooperativos autônomos com capacidade de revisão de crenças.

Nesse contexto existem dois tipos de conflitos negativos (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999):

- *Conflitos de Crença/Descrença* – quando alguns agentes têm crença em determinada proposição (acreditam) e outros agentes não têm crença na mesma proposição (não acreditam);
- *Conflitos de Descrença* – quando os agentes detectam conjunto de crenças incompatíveis e têm, como consequência, que eliminar conclusões previamente obtidas (manutenção da razão).

Enquanto que no caso dos conflitos de Crença/Descrença, a metodologia para resolução de conflito têm que decidir qual estado de crença deve ser adotado, no caso de conflitos de Descrença, deve-se tentar encontrar alternativas para considerar conclusões obtidas anteriormente.

O conceito de resolução de conflito tratado aqui tem algumas particularidades com relação à resolução de conflito tradicional. Um conflito nesse cenário é dinâmico, pode ter múltiplos episódios durante sua existência, e somente deixa de existir quando todos os agentes envolvidos acreditarem na proposição em questão. Novos episódios de conflito ocorrem sempre que alguma troca em relação ao conflito for detectada, ou ainda quando o número de agentes envolvidos ou suas respectivas perspectivas forem alteradas. A cada instante um novo episódio de um conflito existente é detectado e uma re-avaliação do conflito é desempenhada, ocasionando-se uma nova saída gerada.

Metodologias específicas foram projetadas para resolução dos seguintes tipos de conflitos de crença negativos (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999):

- Uma metodologia para resolução de conflitos de Crença/Descrença – um processo de seleção baseado na verificação da credibilidade dos valores do estado da crença oposta, e
- Uma metodologia para resolução de Conflitos de Descrença – um processo de pesquisa para uma única alternativa consensual baseada na estratégia "próximo melhor candidato".

As metodologias apresentadas se baseiam na capacidade de revisão de crenças, uma vez que a resolução dinâmica de conflitos requer que o SMA abandone conclusões prévias para que possa assumir novas conclusões.

2.4.4.1 Conflitos de Crença/Descrença

Conflitos de Crença/Descrença resultam da atribuição do estado de crença contraditório ao mesmo conceito/proposição por diferentes agentes. Para resolver este tipo de conflito, e uma vez que a resolução do conflito é alcançada através de uma atividade dinâmica, os agentes envolvidos têm que manter duas visões separadas: cada uma das suas perspectivas individuais. Dessa maneira a solução do conflito é gerada em sociedade. Enquanto a responsabilidade pela geração de perspectivas individuais é unicamente do agente em si, a resposta para um conflito depende da aplicação de metodologias de resolução de conflitos de Crença/Descrença. Essa metodologia engloba duas estratégias complementares (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999):

- Estratégia dependente de domínio padrão – onde cada domínio tem múltiplos critérios de processamento das perspectivas definidos a priori pelo projetista do sistema, e que podem ser trocados durante a execução, através da uma interface do usuário, e
- Estratégia dependente de dados dinâmicos – onde cada episódio de conflito será analisado antecipadamente para decidir qual critério de processamento das múltiplas perspectivas será aplicado.

2.4.4.1.1 Estratégia Dependente de Domínio Padrão

O conhecimento representado num SMA é organizado em domínios com características pré-definidas. Estas propriedades incluem, entre outras, (i) listas de candidatos para atributos de conceitos do domínio ordenados por preferência – representando valores alternativos para atributos de conceitos listados, e (ii) uma lista de critérios de processamento de perspectivas padrões múltiplas, ordenada por preferência – especificando o conjunto de políticas, organizadas por preferência, que podem ser usadas para acomodar as perspectivas de conflitos dos domínios. Com o objetivo de processar múltiplas perspectivas de agentes com relação ao estado de crença de uma proposição, três critérios de processamento são considerados:

- Critério **CONsenso** (CON) – A proposição compartilhada será (i) *Confirmada (Acreditada)*, se todas as perspectivas de todos os agentes envolvidos forem confirmadas, ou (ii) *Não confirmada (não acreditada)*, caso contrário.

- Critério **MAJoritário (MAJ)** – A proposição compartilhada será (i) *Confirmada*, desde que a maioria das perspectivas dos diferentes agentes envolvidos seja confirmada e, (ii) *Não Confirmada*, caso contrário.
- Critério **Pelo Menos Um (PMU)** – A proposição compartilhada será (i) *Confirmada desde que pelo menos uma das perspectivas dos diferentes agentes envolvidos seja confirmada*, e (ii) *Não Confirmada*, caso contrário.

O critério padrão de processamento de múltiplas perspectivas de domínio é pré-definido pelo conhecimento do engenheiro, de acordo com características do conhecimento de domínio representado.

O critério CON é selecionado sempre que o consenso das perspectivas dos agentes envolvidos sobre a crença é mandatório (por exemplo, somente quando todos os agentes confirmam que o gerador foi desligado é que o sistema irá assumir que o gerador foi desligado); O critério MAJ é selecionado se a crença numa proposição compartilhada depende da maioria dos agentes envolvidos (por exemplo, somente depois de receber a confirmação de uma mensagem de alerta sobre um possível mal funcionamento de dispositivos da maioria dos agentes é que o sistema irá tomar as devidas providências); O critério PMU é escolhido quando uma única perspectiva de crença é suficiente para que a proposição compartilhada seja considerada (por exemplo, a ocorrência de uma única mensagem de um sério alarme é suficiente para disparar uma dada ação do sistema).

Apesar desses critérios permitirem um mecanismo de processamento de múltiplas perspectivas dependentes do domínio, esse mecanismo não é suficientemente flexível no sentido de eliminar gargalos originados por certos estados de crença.

2.4.4.1.2 Estratégia de Dados Dinâmicos Dependentes

Características de dados dependentes como: confiabilidade de agentes e força de suas crenças podem ser usadas para resolver conflitos de Crença/Descrença (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999). Apesar de não haver modificação nos três critérios básicos de processamento de múltiplas perspectivas, sua aplicação depende a priori de um processo de seleção. O processo de seleção dinâmica é baseado na atribuição

de valores de credibilidade associados com cada estado de crença. Diferentes procedimentos de atribuição de credibilidade são:

Procedure baseada em fundamentos originais - *Foundations ORigin* based Procedure (*FOR*)

As perspectivas dos agentes são baseadas no seu conjunto individual de fundamentos que resulta do processo de observação, suposição ou comunicação. Como resultado dessas ações são assumidas proposições. Com essa procedure a credibilidade atribuída aos fundamentos observados e aos fundamentos assumidos é, respectivamente, 1 e $1/2$. A credibilidade de alguma perspectiva é um valor entre 0 e 1, onde 1 significa que a perspectiva é 100% credível (dependente somente dos fundamentos observados), $1/2$ significa que a perspectiva tem 50% de chances de ser credível, e 0 significa que nenhuma credibilidade é associada à perspectiva. Dessa maneira, a credibilidade do estado de crença de uma perspectiva de um agente é afetada pela confiabilidade do agente. A procedure FOR calcula os valores de credibilidade atribuídos ao estado Acreditado e Não-Acreditado e escolhe como aplicar os critérios básicos de processamentos de múltiplas perspectivas, dando como saída o estado de crença mais credível. Se o estado de crença mais credível é:

(i) *Não-acreditado* então o critério CON é aplicado ao episódio do conflito;

(ii) *Acreditado* então, se a maioria das perspectivas é a favor da proposição, o critério MAJ é aplicado, caso contrário, o critério PMU é aplicado ao episódio do conflito.

A confiabilidade dos agentes é dinâmica: um episódio de agente que se concretiza aumenta sua confiabilidade (a perspectiva individual do agente coincide com a saída do episódio) enquanto que um episódio de agente não concretizado diminui sua confiabilidade (a perspectiva individual do agente é contraditória com a saída do episódio). Inicialmente, a confiabilidade dos agentes é igual a 1, mas a medida que o tempo passa e os episódios de conflitos são processados, a confiabilidade de um agente pode variar entre 0 e 1, onde 1 significa que a informação comunicada pelo agente tem a maior credibilidade, e 0 significa que a informação enviada pelo agente não tem nenhuma credibilidade.

- Procedure baseada no estado de crença - *BE*lief Status based Procedure (*BES*)

Cada perspectiva tem um valor de credibilidade o qual é igual a confiabilidade do agente. As perspectivas diferentes em favor de cada estado de crença são contadas e a procedure BES escolhe aplicar o critério básico de processamento de múltiplas perspectivas, cuja saída é o estado de crença mais credível. Se o estado de crença mais credível é:

- (i) *Não Acreditado* – então o critério CON é aplicado ao episódio do conflito;
- (ii) *Acreditado* – então, se a maioria das perspectivas é a favor da crença na proposição, o critério MAJ é aplicado, caso contrário o critério PMU é aplicado ao episódio do conflito.

A metodologia de resolução de conflito Crença/Descrença inicia-se aplicando a procedure FOR. Se a procedure FOR é capaz de determinar o estado de crença mais credível, o critério de processamento selecionado é aplicado e o episódio é resolvido. Entretanto, se o resultado da aplicação da procedure FOR der um empate entre as perspectivas em conflito, a metodologia de resolução de conflitos Crença/Descrença procede com a aplicação da procedure BES. Se a procedure BES é capaz de estabelecer o estado de crença mais credível, o critério de processamento selecionado é aplicado e o episódio é resolvido. Finalmente, se nenhuma das procedures acima é capaz de resolver o conflito, a metodologia de resolução de conflitos Crença/Descrença tenta um último recurso :

- Procedure de Relaxação Global do Domínio - *Global Domain Relaxation Procedure (GDR)*

A aplicação do critério de processamento de múltiplas perspectivas de menor demanda pode eventualmente resolver o episódio de conflito. Esta estratégia é muito primitiva e depende das características do domínio: alguns domínios podem permitir relaxamento enquanto outros não. O ranking dos critérios de processamento de múltiplas perspectivas de acordo com seu grau de demanda é: primeiro, o critério CON, segundo, o critério MAJ , e por último, o critério PMU. Se este procedimento é permitido, o critério de domínio padrão é relaxado de acordo com a ordem estabelecida.

A seqüência de aplicação das procedures descritas é estruturada de acordo com o conjunto de informações usado pela procedure para decidir qual estado de crença deve ser adotado: primeiro, a procedure FOR – baseada na credibilidade dos fundamentos que inclui a confiabilidade dos agentes; segundo, a procedure BES –

baseada na confiabilidade dos agentes e na contagem das perspectivas a favor de cada estado de crença ; e por último, a procedure GDR – o último recurso que é independente dos dados envolvidos no episódio de conflito. Não existe garantia que no final da aplicação da procedure GDR o conflito seja resolvido. Resolução dinâmica de conflitos depende da disponibilidade das metodologias de revisão de crença com o sistema, no sentido de abandonar a saída do episódio de conflito prévio e adotar uma nova solução para o episódio de conflito. Cada agente é capaz de manter suas perspectivas individuais desde que aumente a visão global (a saída do episódio de conflito mais recente) a qual pode trocar assim que um novo episódio de conflito for detectado (um novo episódio de conflito é detectado sempre que uma perspectiva ou o número de agentes envolvidos trocam).

2.4.4.2 Conflitos Descrença

Em SMAs com manutenção da razão a detecção de crenças (ou conjuntos inválidos) incompatíveis com o sistema dispara um procedimento de manutenção da razão fazendo as conclusões previamente acreditadas em não-acreditadas. Embora esta atividade seja essencial para a manutenção de crenças bem fundamentadas, o sistema pode fazer um esforço para tentar acreditar suas conclusões o máximo possível. Para resolver este tipo de conflito o sistema necessita conhecer como prover alternativas para suportar conclusões inválidas. A pesquisa para a “próxima melhor” solução é um mecanismo de relaxamento. O processo de seleção desenvolvido baseia-se em:

- Procedure de Ordem Preferencial - *Preference Order Procedure (PRO)*

A procedure de ordem preferencial é baseada no relaxamento dos atributos do fundamento do conflito de Descrença detectado, de acordo com uma pontuação de preferências pré-definida. Como já foi dito, cada domínio de conhecimento tem listas de conceitos de domínio ordenadas pelos seus atributos candidatos. Cada lista contém um conjunto de possíveis instâncias ordenadas por preferência (o primeiro elemento é o melhor candidato, o segundo elemento é o segundo melhor e assim por diante) para os atributos do conceito de domínio especificado, representando valores alternativos para os atributos do conceito. Quando um conflito de Descrença ocorre, isto significa que o suporte construído originalmente (feito pelos melhores atributos candidatos) torna-se inválido, e uma pesquisa por novas alternativas de suporte baseada na estratégia do “próximo melhor” tem que ser iniciada. Isto é conseguido

procurando por instâncias do “próximo melhor” para fundamentos das proposições invalidadas, os quais, quando encontrados, proporcionarão novos suportes válidos para o conceito.

Quando existem instâncias alternativas para os fundamentos dos conceitos, os agentes trocam seus próximos melhores candidatos juntamente com suas ordens de preferências afetadas pela confiabilidade dos agentes.

No caso de fundamentos mantidos por um único agente esse processo é um simples processo de seleção do próximo melhor. No caso de fundamentos mantidos por grupos de agentes, um candidato de consenso tem que ser encontrado: se as propostas obtidas são: (i) idênticas – um novo fundamento tem que ser encontrado; (ii) diferentes – os agentes que propuseram candidatos com ordem de maior preferência geram a nova próxima melhor proposta até que eles cheguem ao final dos candidatos. Os fundamentos alternativos encontrados através dessa procedure são assumidos pelo sistema. A credibilidade do resultado dos novos fundamentos é uma função do candidato usado de menor preferência e da confiabilidade dos agentes envolvidos. A confiabilidade dos agentes não é afetada pela atividade de resolução de conflitos de Descrença.

A metodologia de resolução de conflitos Descrença inicia aplicando a procedure PRO. Se a procedure PRO é capaz de determinar novos fundamentos para o conflito de crença, o episódio do conflito foi resolvido. Entretanto, se a procedure PRO não for capaz de resolver o conflito, a metodologia de resolução de conflito Descrença procede com a aplicação da procedure GDR já apresentada.

A sequência da aplicação das procedures descritas é novamente estruturada de acordo com o conjunto de informações usadas pela procedure para decidir qual estado de crença deve ser adotado: primeiro, a procedure PRO - baseada na disponibilidade do próximo melhor candidato para os fundamentos; e por último, a procedure GDR – o último local que é independente dos dados pertencentes ao episódio do conflito. Não existe garantia que ao final da aplicação da procedure GDR o conflito é resolvido (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999).

2.4.4.3 Considerações

O conceito de resolução dinâmica de conflito tratado aqui classifica um conflito como uma ocorrência de um episódio múltiplo, o qual termina somente quando todos os agentes envolvidos acreditam na informação compartilhada. Novos episódios de

conflitos ocorrem sempre que alguma mudança a respeito do conflito é detectada, seja porque o número de agentes envolvidos mudou ou porque as perspectivas por eles compartilhadas mudou. Sempre que um novo episódio de conflito existente é detectado, uma re-avaliação do conflito é executada, o resultado precedente do episódio é deixado de lado e o resultado novo do episódio é gerado. Embora os conflitos dirigidos possam ser considerados específicos da estrutura proposta, as metodologias desenvolvidas são gerais e podem ser aplicadas a tipos mais gerais de conflitos. De um lado, os conflitos de Crença/Descrença representam o tipo negativo de conflitos onde uma escolha fundamentada entre dois resultados opostos tem que ser feita, enquanto que de outro lado, o conflito Descrença é um tipo negativo de conflito (resultado da detecção de um conjunto inválido de crenças) onde as regras de solução buscam uma solução de consenso. A busca para um consenso é uma metodologia bem aceita para o tipo geral de conflitos negativos, especialmente quando mais de duas perspectivas irreconciliáveis estão no conflito - os agentes envolvidos tentam encontrar a sustentação alternativa para acreditar em uma única perspectiva.

As metodologias executadas tentam resolver os conflitos detectados mas não podem, de antemão, garantir se seu esforço será bem sucedido ou não (MALHEIRO e OLIVEIRA, 1999).

3. Trabalhos Relacionados

3.1. Introdução

Dentre as diversas classificações de SMAs apresentadas na seção 2 destacamos a que separa os SMAs em Cognitivos e Reativos. De acordo com o que foi exposto, os SMAs Cognitivos são inspirados nas sociedades humanas, os agentes possuem conhecimento explícito e possuem mecanismos de comunicação direta.

O objetivo da presente proposta é apresentar um Modelo que otimize as interações entre agentes num SMA aplicado a um Projeto de Engenharia Distribuído ou a um Projeto de Engenharia Concorrente. Dessa maneira estaremos interessados em SMAs Cognitivos e técnicas e paradigmas de SMAs respectivos.

Dentre as diversas abordagens de SMAs Cognitivos podemos vislumbrar em sua grande maioria tratamentos especiais relativos à cooperação, coordenação, comunicação, protocolos de interação e técnicas de negociação entre agentes (JUNG e TAMBE, 2000, PYNADATH e TAMBE., 2002, SICHMAN e DEMAZEAU, 2001, LUGO *et al.*, 2001, ZHANG e BELL, 1991, CHAIB-DRAA, 2002).

Dentre as técnicas apresentadas na literatura estaremos interessados particularmente nas técnicas de SMAs Cognitivos voltadas para ambientes de elevado grau de interação entre os agentes e cujos agentes tenham elevado grau de conhecimento individual (uma tarefa de groupware aplicada a Projeto de Engenharia Concorrente requer tais características) (ELLIS *et al.*, 1991). Dentre os diversos trabalhos que contemplam tais características dos SMAs podemos destacar as seguintes estratégias:

- a) Tratamento específico em função do tipo de conflito (MATTA, 1996, LIU *et al.*, 1998)
- b) Técnicas de negociação (SYCARA, 1991)
- c) Raciocínio Social (SICHMAN e DEMAZEAU, 2001)
- d) Ações Sociais (CASTELFRANCHI, 2001)
- e) Mapas Causais (CHAIB-DRAA, 2002)
- f) Processos Sociais (DELLAROCAS e KLEIN, 2001)

Dentre as estratégias relacionadas podemos destacar dois enfoques com predominância: a aplicação de conceitos de Ciências Sociais em SMAs (DELLAROCAS e KLEIN, 2001) e a utilização de estratégias específicas em função do tipo de conflito identificado (MATTA, 1996, LIU *et al.*, 1998).

A utilização de conceitos de Ciências Sociais em SMAs pode ser encontrada em (DELLAROCAS, 2001, CONTE *et al.*, 1999, JENNINGS e CAMPOS, 1998).

Vários pesquisadores têm estudado os conceitos de Ciências Sociais no contexto de SMAs (CONTE, 1999). Tais trabalhos têm tipicamente produzido ontologias para descrever os conceitos de Ciências Sociais aplicados a SMAs. Entretanto, um grupo de pesquisadores tem proposto arquiteturas para desenvolver agentes com consciência social. Em (JENNINGS, 1998b) é proposto o conceito de responsabilidade social dos agentes. Em (CASTELFRANCHI, 2001) é apresentado o conceito de agente normativo, isto é, agentes capazes de reconhecer, adotar e seguir normas.

A estratégia de utilizar técnicas específicas de tratamento de conflito em função do tipo de conflito detectado requer uma prévia classificação dos mesmos.

O trabalho apresentado por (MATTA, 1996) identifica duas classes de conflitos em Engenharia Concorrente :

a) Conflitos entre o projeto e os requisitos: o projeto feito por um engenheiro não satisfaz os requisitos correspondentes. Na presente proposta nós não estudaremos esta classe de conflitos.

b) Divergências entre alguns participantes do grupo de projeto no tocante à especificação de parâmetros do projeto. Tais conflitos se originam de problemas causados por estratégias utilizadas e proposições feitas pelos projetistas. Os conflitos de estratégia advêm da inconsistência de métodos e ferramentas utilizadas pelos projetistas e na alocação de tarefas para cada projetista. A divergência entre as responsabilidades dos participantes e o fracasso na cooperação também ocasionam conflitos de estratégia. Os conflitos sobre proposições feitas podem aparecer devido a dois fatores: divergência da terminologia dos participantes e de seus respectivos pontos de vista ou falta de consenso sobre as condições sobre as quais a proposição é feita. A figura 2 abaixo exhibe uma tipologia de tais conflitos (MATTA, 1996):

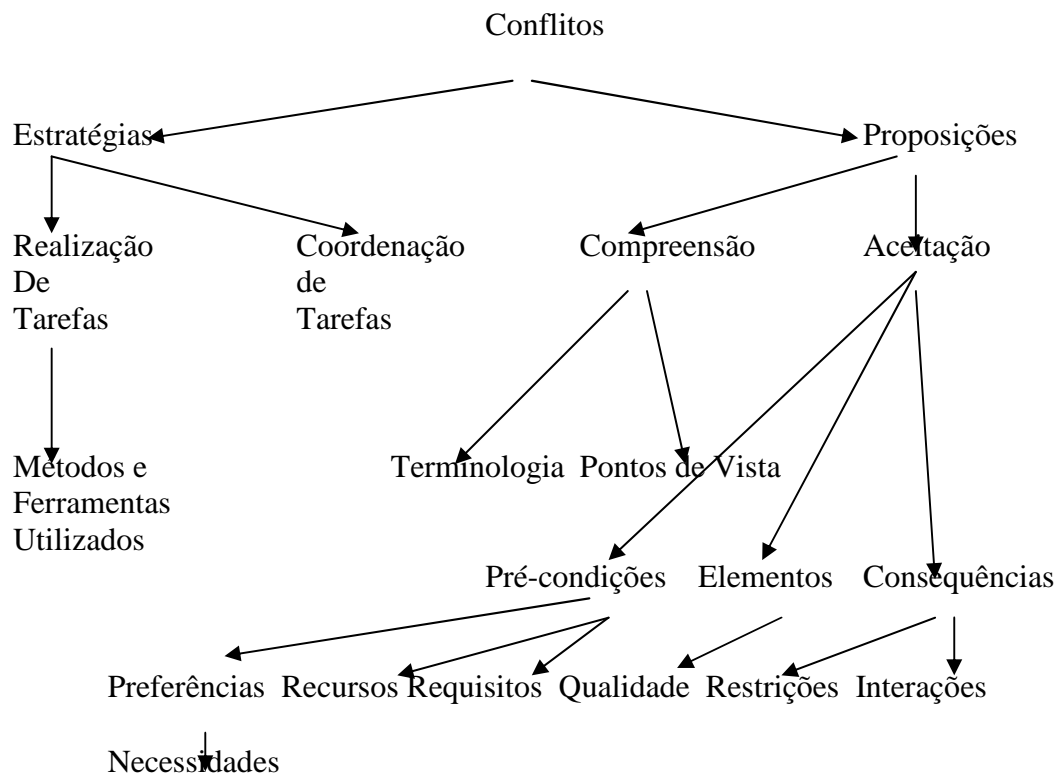


Figura 2: Tipologia de conflitos

Para determinar em qual etapa da Engenharia Concorrente um conflito pode aparecer e como tratá-lo, vamos analisar um modelo para a tarefa de Engenharia Concorrente, proposto por (MATTA, 1996), o qual enfatiza o surgimento de possíveis conflitos tanto devido à modificações nos requisitos como devido a modificações no próprio artefato construído.

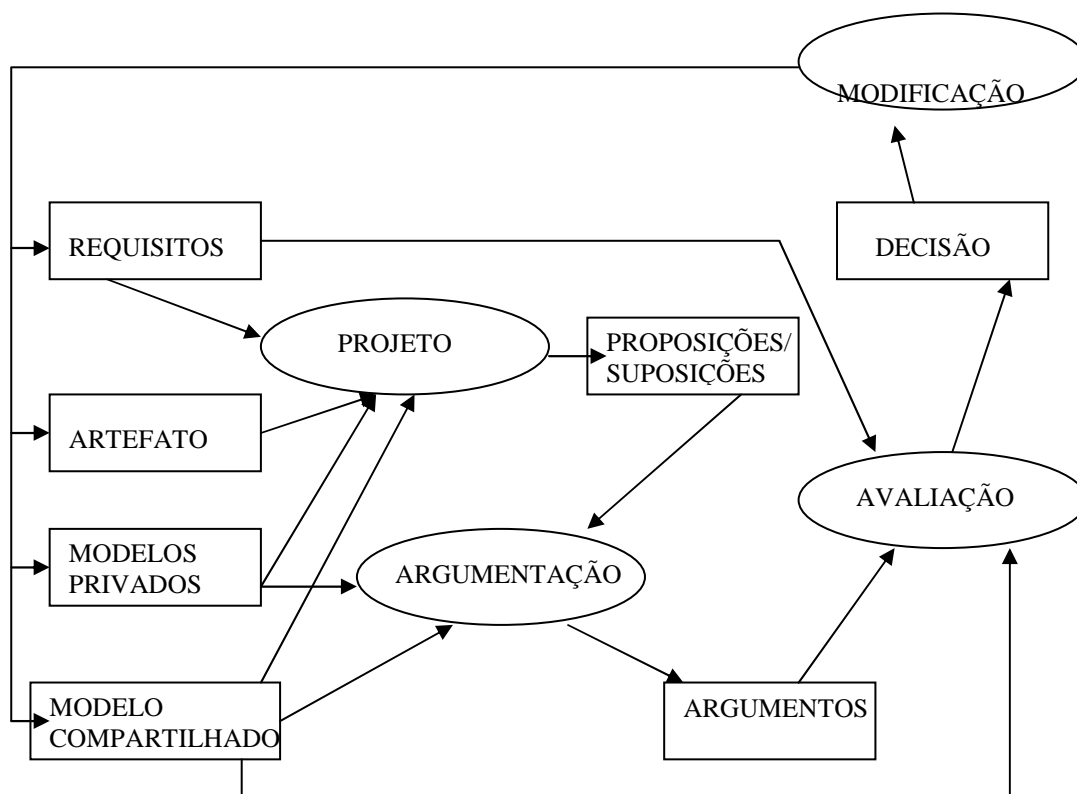


Figura 3: Fluxo de Dados da Engenharia Concorrente

De acordo com a figura 3, podemos distinguir três sub-tarefas principais:

a) Tarefa de Projeto (Design): de acordo com seu conhecimento privado (Modelo Privado), cada projetista gera algumas proposições para satisfazer os requisitos do problema;

b) Tarefa de Argumentação: para promover a aceitação de sua proposição pelo grupo, um participante apresenta uma justificativa com um certo número de argumentos. Suposições feitas na tarefa de Projeto são usadas para determinar argumentos e defini-los. A Argumentação tenta fazer com que os outros participantes troquem de opinião realçando a utilidade e a necessidade de uma proposição. Essas ações formam uma parte importante da negociação, a qual objetiva resolver um conflito.

c) Tarefa de Avaliação: o grupo avalia a integração das proposições no artefato. Proposições podem não satisfazer as necessidades dos participantes e

conflitos podem surgir. Dessa maneira, a sub-tarefa principal da Avaliação consiste em detectar e resolver conflitos.

Proposições podem ser relativas aos requisitos ou ao modelo do artefato. As decisões sobre qual objeto (requisitos ou artefato) pode ser modificado no próximo ciclo do processo e quais as partes das modificações podem ser feitas são tomadas na sub-tarefa de Aceitação.

O Modelo Compartilhado pode ser reorganizado e modificado porque outros conhecimentos compartilhados podem ser explicitados a cada ciclo.

A tarefa de gerenciamento de conflitos consiste em inicialmente determinar um conflito (sua natureza) e, então, resolvê-lo.

Um outro trabalho baseado numa prévia classificação dos conflitos é apresentado em (LIU *et al.*, 1998). A abordagem sugerida para a escolha de uma determinada arquitetura ou estratégia é classificar os tipos de conflitos que podem ocorrer num SMA e então escolher uma estratégia de resolução de conflito mais apropriada.

O ponto de partida do presente Modelo é o trabalho apresentado por (LIU *et al.*, 1998) o qual pressupõe uma prévia classificação dos conflitos para posterior utilização de uma estratégia de resolução mais adequada ao tipo de conflito ocorrido.

3.2. Classificação e Representação de Conflitos em SMAs

No seu trabalho LIU *et al.* (1998) propõe a escolha dinâmica da estratégia de resolução de conflito em função do tipo de conflito detectado.

Partindo do princípio de que não existe uma estratégia para tratamento de conflitos em sistemas multiagentes que apresente resultados satisfatórios em qualquer situação ou domínio, a presente proposta tem como ponto de partida o trabalho apresentado por LIU *et al.* (1998) que propõe a escolha dinâmica da estratégia mais apropriada para resolução de conflitos em SMAs.

Um sistema multiagente pode ser visto como um grupo de entidades independentes, interagindo entre si com o intuito de alcançar um objetivo comum. Devido ao conhecimento limitado dos agentes, escassez de recursos e fatores

inerentes ao domínio da aplicação, a ocorrência de conflitos entre os agentes é inevitável. Dessa maneira a existência de um mecanismo eficiente de detecção e resolução de conflitos é vital para o bom desempenho do SMA.

Levando-se em conta que os conflitos gerados são de natureza distinta, os mesmos poderão ser classificados e uma estratégia de resolução apropriada, levando-se em conta as particularidades do conflito, poderá apresentar resultados mais satisfatórios do que uma estratégia mais genérica.

A proposta de LIU *et al.* (1998) é que os agentes possam selecionar dinamicamente a estratégia de resolução mais apropriada levando-se em consideração: a natureza do conflito, as leis organizacionais correntes e soluções preferenciais.

Em (LIU *et al.*, 1998) o foco é a classificação e a representação dos conflitos. A classificação dos conflitos está intimamente ligada à natureza dos mesmos. Levando-se em conta a natureza do conflito, o espaço de busca de possíveis soluções alternativas para resolução do conflito fica reduzido e permite ao agente assumir um comportamento mais adequado ao tipo de conflito detectado. A representação dos conflitos apresentada por LIU *et al.* (1998) fornece um framework que possibilita um melhor entendimento e tratamento do conflito.

A classificação proposta por LIU *et al.* (1998) apresenta três categorias de conflitos: conflitos de objetivos, conflitos de planos e conflitos de crenças.

Conflitos de objetivos podem ocorrer devido aos agentes se encontrarem em estados conflitantes (o agente-A necessita do recurso-X ligado, enquanto o agente-B necessita do recurso-X desligado). Tais conflitos requerem a modificação dos objetivos dos agentes através de alguma forma de relaxamento de restrições.

Conflitos de planos podem ocorrer devido à seqüências incompatíveis de ações dos agentes mesmo que seus objetivos individuais (e parciais) sejam compatíveis (o agente-A deve transportar o componente-Z da localização-X para a localização-Y enquanto o agente-B deve transportar o componente-Z da localização-W para a localização-X). Os conflitos de planos requerem a modificação dos planos dos agentes em geral pela re-organização ou re-agendamento dos mesmos.

Conflitos de crenças podem ocorrer devido a capacidade de raciocínio dos agentes, os quais poderão inferir conclusões impróprias as quais poderão não estar

diretamente relacionadas a objetivos ou planos conflitantes (o agente-A acredita que possui a ferramenta-X, o agente-B acredita que possui a ferramenta-X; um bloqueia o acesso do outro ao recurso).

As classes de conflitos apresentadas não são mutuamente exclusivas ou independentes. Pode ocorrer que, após uma estratégia de resolução ser utilizada, um conflito originalmente de uma dada classe se transforme num conflito de outra classe. Por exemplo, depois de um agente modificar seu objetivo para resolver um conflito, um outro agente poderá ter que re-escalonar algumas ações (agora conflitantes).

O trabalho de LIU *et al.* (1998) apresenta uma estreita correspondência com o enfoque de atribuir atitudes mentais aos agentes com intuito de prever seu comportamento (RAO e GEORGEFF, 1991). Um possível conjunto de atitudes mentais dos agentes é descrito como Crenças-Desejos-Intenções (BDI), onde as “crenças” do modelo BDI correspondem às crenças descritas por LIU *et al.* (1998), os “desejos” correspondem aos objetivos e as “intenções” correspondem aos planos.

A representação dos conflitos apresentada por LIU *et al.* (1998) é organizada em três níveis (figura 4). O primeiro nível é a estrutura de objetivos, a qual representa a inter-dependência entre os objetivos dos agentes. O segundo nível é o espaço dos planos, o qual mostra as relações temporais e causais das ações do SMA. O terceiro nível é o espaço de crenças, o qual representa as relações entre as crenças dos agentes. Todos os níveis são conectados uns aos outros através de conexões lógicas e através das interações com os recursos do sistema.

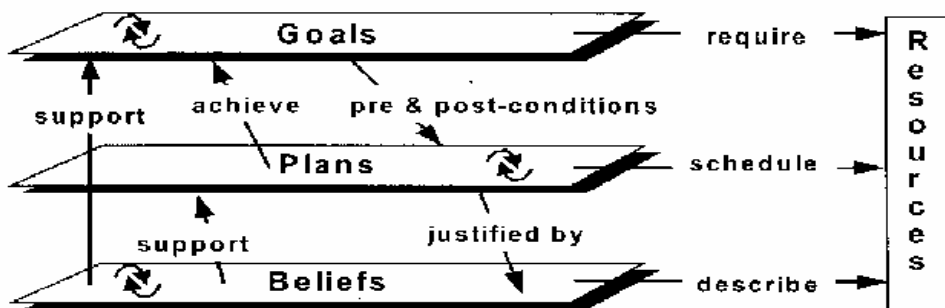


Figura 4: Representação de conflitos em três níveis (LIU et al.,1998)

Nível 1: Estrutura de Objetivos

A estrutura de objetivos pode ser representada como uma estrutura clássica de objetivos AND/OR. A estrutura de objetivos pode ser construída através de atividades sociais como negociação, cooperação e observação das modificações do ambiente. A dependência entre os objetivos são representadas como links que conectam os objetivos dos agentes a outros objetivos ou a objetivos de outros agentes. Essas conexões podem ser fortes ou fracas o que corresponde a condições necessárias ou opcionais para os links.

Nível 2: Estrutura de Planos

O segundo é a representação das relações temporais entre os agentes que buscam atingir seus objetivos. Neste nível uma dependência unidirecional pode ser representada como uma ligação causal que especifica a ordem que as ações necessitam ser executadas. As ações são agrupadas e ordenadas em planos. Esta ordenação combinada com as ligações das ações aos objetivos torna possível determinar as relações de precedência temporal para os objetivos. Através da comparação de planos de diferentes agentes, um agente pode determinar a origem de um conflito e determinar se um conflito de objetivo ou plano existe.

Nível 3 – Espaço de Crenças

Vários sistemas baseados em agentes suportam pontos de vista de agentes locais e subjetivos (BARBER *et al.*, 2000, RAO e GEORGEFF, 1991). Devido a estes agentes poderem ter diferentes pontos de vista locais, eles armazenam crenças inconsistentes sobre o ambiente ou sobre os outros agentes. Uma crença tem três componentes: quem tem a crença, o seu conteúdo e as ligações que suportam ou contradizem sua evidência. O conteúdo de uma crença pode ser descrições de fatos, dependências causais entre objetivos e planos ou a avaliação do conhecimento dos agentes. Técnicas desenvolvidas para sistemas de Hipóteses baseados em manutenção de verdade podem ser aplicados para manter a estrutura de crenças (RAO e GEORGEFF, 1991).

A classificação de conflitos em SMAs pode aumentar a eficiência da resolução dos conflitos uma vez que reduz o espaço de solução de um dado conflito.

Um agente somente precisa considerar as soluções específicas para sua classificação. A compreensão da natureza de um conflito permite ao agente fazer um mapeamento das estratégias de resolução de conflito e descobrir a modificação necessária para a eliminação do conflito. Por exemplo: Raciocínio Evidencial (CARLEY e PRIETULA, 1998) pode ser bastante eficiente em conflitos de crenças porém não se aplica para conflitos de planos ou objetivos. Da mesma maneira, Relaxamento de Restrições (SATHI e FOX, 1989) têm melhores resultados para conflitos de objetivos. Assim, através da classificação de um conflito, um agente pode focar a busca para estratégias apropriadas tornando o processo de resolução de conflito mais eficiente.

3.3. Críticas aos Modelos Propostos na literatura

O modelo proposto por LIU *et al.* (1998) parte do pressuposto que não existe uma única estratégia para resolução de conflitos em SMAs que apresente resultados satisfatórios qualquer que seja o tipo de conflito e/ou o domínio da aplicação do SMA. Dessa maneira, a escolha dinâmica de uma estratégia mais apropriada em função do tipo de conflito detectado proporcionaria mais flexibilidade e eficiência ao tratamento do conflito.

No que concerne à aplicação da abordagem proposta por LIU *et al.* (1998) no domínio de aplicação da Engenharia Concorrente ou a um Projeto de Engenharia Distribuído alguns aspectos inerentes ao domínio de um projeto de engenharia não são contemplados.

Dois aspectos não abordados por LIU *et al.* (1998) são:

a) a implementação de um mecanismo de revisão de soluções de conflitos (o que corresponde num projeto de engenharia à fase de revisão de projeto).

b) A implementação de um mecanismo de atualização dinâmica da base de conhecimento (o que corresponde num projeto de engenharia à utilização de soluções adotadas numa especificação inicial para as especificações posteriores).

Uma tarefa de groupware, particularmente um Projeto de Engenharia Distribuído, raramente tem uma evolução seqüencial até sua conclusão final. Em

geral, durante as etapas do projeto, alternativas são discutidas e testadas e, muitas vezes, especificações são re-feitas em função de novos requisitos do projeto. Dessa maneira, uma solução para um eventual conflito detectado e resolvido numa fase inicial do projeto poderá ter que ser revista numa fase posterior.

O segundo aspecto trata da atualização dinâmica da base de conhecimentos, possibilitando que soluções adotadas na fase inicial de um projeto possam ser aproveitadas como regra em situações de conflito similares em fases posteriores.

O Modelo Tri-Coord+ apresentado nas seções seguintes procura conjugar ambas as idéias destacadas na presente seção: a utilização de conceitos de Ciências Sociais em SMAs e a escolha do tipo de estratégia em função do tipo de conflito detectado.

4. Um Modelo de Estruturas Sociais aplicado aos SMAs: Modelo TriCoord

A implementação dos mecanismos abordados no capítulo anterior foi feita no contexto do Modelo Tri-Coord+.

O Modelo Tri-Coord+ é uma extensão do Modelo Tri-Coord (PLACCA, 1999), que é um modelo de coordenação-tripla para resolução de conflitos de agentes em ambientes fechados. Tricoord+ tem por objetivo apresentar novas potencialidades ao Modelo anterior de maneira a consolidar e justificar sua estrutura como solução viável para o gerenciamento de SMAs aplicados à tarefa de groupware.

Como objetivos do Modelo Tri-Coord podemos citar:

a) diminuir a necessidade de comunicação síncrona entre os usuários e agentes participantes, tendo em vista ser este um processo custoso e demorado;

b) propiciar mecanismos ágeis para que conflitos de natureza simples sejam resolvidos automaticamente pelo ambiente ou, na pior das hipóteses, através da atuação objetiva de um agente especial.

A distribuição das responsabilidades a cada agente especial tem por intuito equilibrar as tarefas pertinentes à execução, julgamento e caracterização de conflitos, a fim de otimizar a resposta do ambiente de interação.

A idéia de um ambiente auto-regulador tem diversos paralelos em outras áreas, apresentando resultados altamente satisfatórios no que tange à rapidez com que o ambiente se estabiliza.

Em Teoria Econômica, os cenários com mercado (comércio) livre - com o mínimo de intervenção estatal - se constituem numa ótima alternativa para se atingir uma estabilidade de preços através da equalização gradativa entre oferta e demanda. Isto é, o próprio comportamento do mercado, regido pelas suas correspondentes regras sociais são suficientes para a estabilização de preços, sem interferência externa.

4.1. Definição do Modelo Tri-Coord

O Modelo Tri-Coord parte do pressuposto que sociedades de agentes se comportam de maneira semelhante à sociedades humanas. Dessa maneira temos a seguinte caracterização de agentes e ambiente:

Agente

- a constituição dos agentes de tarefas;
- objetivo a ser atingido pelos agentes de tarefas num dado ambiente;
- as ações possíveis (válidas) para cada agente de tarefa;
- conjunto de atributos que caracterizam o estado de um agente;

Ambiente

- conjunto de regras (leis sociais) do ambiente;
- conjunto de ações/valores de atributos para inicialização do ambiente;
- os estados do ambiente que caracterizam uma situação de pendência, onde pendência é qualquer estado do sistema que contém um conjunto de atributos com valores incompletos, os quais são necessários para a obtenção do estado-meta.
- os estados do ambiente que caracterizam uma situação de conflito, onde conflito é qualquer estado do sistema que contém um conjunto de atributos com valores incompatíveis com o conjunto de valores do estado-meta;
- os estados do ambiente que caracterizam a necessidade de intervenção externa;
- os mecanismos de aquisição automática de conhecimento para a atualização do conjunto de leis sociais;

O objetivo a ser atingido se caracteriza pelo conjunto dos estados dos agentes e ambiente na situação desejada ou almejada (estado-meta). Por exemplo num jogo de xadrez o objetivo a ser atingido por cada um dos agentes é qualquer uma das situações que caracterize a vitória do agente sobre o oponente (situações de xeque-mate ou desistência do oponente).

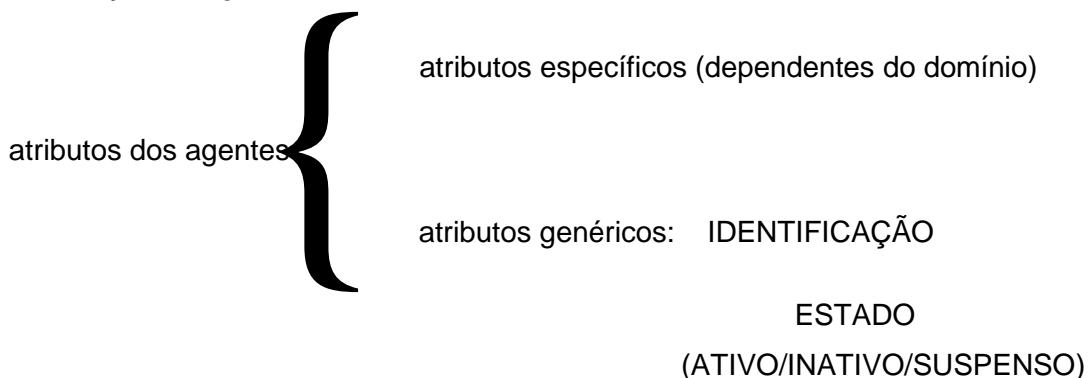
A determinação do conjunto de ações válidas para cada agente de tarefa vai depender estritamente do domínio em questão. Consideramos ações válidas toda e qualquer ação possível de ser executada pelo agente no contexto considerado, podendo ser esta uma ação passiva, cooperativa ou hostil.

Uma ação passiva é qualquer ação executada pelo agente de tarefas que embora possa modificar o estado do agente e/ou do ambiente, faz com que o estado do sistema permaneça inalterado em relação ao estado-meta (objetivo final).

Uma ação cooperativa é qualquer ação executada pelo agente de tarefas que faz com que o estado do sistema se aproxime do estado-meta.

Uma ação hostil é qualquer ação executada pelo agente de tarefas que faz com que o estado do sistema se afaste do estado-meta.

Alguns dos atributos de um agente também são estritamente dependentes do domínio em questão. Outros, porém, são de carácter genérico e dizem respeito a forma de atuação do agente. Dessa maneira, temos:



O conjunto de leis sociais do ambiente irá definir a resposta do ambiente após a interação de um ou mais agentes de tarefas. Podemos descrever tais regras como um dos tipos abaixo:

- i) regras para resolução de conflitos, como por exemplo:

Se (ação_agente ==> conflito) então

ação_ambiente_resolução_conflito;

avisa_todos_agentes;

fim-se

ii) regras para resolução de pendências, como por exemplo:

Se (ação_agente ==> pendência) então

ação_ambiente_resolução_pendência;

avisa_todos_agentes;

fim-se

iii) regras para aplicação de penalidades (em função da ação/estado do agente), como por exemplo:

Se (estado_agente ==> infração) então

ação_ambiente_penalidade;

fim-se

iv) regras para detecção do estado-meta, como por exemplo:

Se (estado_sistema == estado-meta) então

finaliza_sistema;

fim-se

A inicialização do ambiente constitui-se em valorar os atributos dos agentes e do ambiente e é altamente dependente do domínio de aplicação. Por exemplo, num jogo de xadrez, as peças devem ocupar suas respectivas posições para o início da partida.

Toda situação de pendência somente poderá ser constatada verificando-se o estado de todos os agentes de tarefas, isto é:

Para I := 1 até NUM_TOTAL_AGENTES faça

verifica_estado_pendência[I];

fim-para

Toda situação de conflito somente poderá ser constatada verificando-se o estado de todos os agentes de tarefas, isto é:

Para I := 1 até NUM_TOTAL_AGENTES faça

verifica_estado_conflito[I];

fim-para

Em qualquer sistema multiagente devemos nos preocupar com a ação a ser executada quando da ocorrência de situações não previstas ou situações não tratáveis no momento. Dessa maneira o ambiente deverá reconhecer tais situações e acionar algum tipo de mecanismo de intervenção externa (ao ambiente) para resolução. No Modelo Tri-Coord as situações de conflito que não possuem ações de resolução deverão acionar a intervenção do Agente Especial Judiciário. De maneira genérica teremos:

Se (ação_agente ==> conflito) E (ação_ambiente_resolução = NULL)

então

Requisita_Agente_Judiciário;

fim-se

No Modelo Tri-Coord existe um Agente Especial Legislativo responsável por avaliar as interações ocorridas e acrescentar/modificar leis sociais existentes em função de uma nova configuração para o ambiente, baseada em históricos ou registros das interações ocorridas.

A questão da aquisição de conhecimento para a formação de uma base de regras consistente e adequada ao contexto do problema a ser resolvido não será abordada na presente dissertação por se constituir em objeto de pesquisa distinto (e suscetível de várias abordagens) do problema em questão. Em (SHOHAM e TENNENHOLTZ, 1996) é mostrado, através de um modelo formal que, dado um

sistema multiagente e um conjunto de estados-meta, a tarefa de encontrar leis sociais úteis para o problema em questão é um problema NP-completo.

No Modelo Tri-Coord o papel do Agente Legislativo é prover mecanismos para a formação de uma base de regras, a qual, por sua vez, deverá ser criticada e adequada por especialistas da área.

O conjunto de regras inicial utilizado no protótipo de implementação do Modelo Tri-Coord, foi construído com base na experiência coletada junto com especialistas da área escolhida para instanciação do modelo.

4.2. Arquitetura do Modelo Tri-Coord

Vamos apresentar os componentes principais do Modelo Tri-Coord já referenciados e de que maneira tais componentes se inter-relacionam.

Como ilustrado na Figura 5, a base de comunicação é uma estrutura de blackboard pela qual as informações são acessadas ou modificadas. Um blackboard é uma arquitetura que permite a integração de módulos ou programas individuais em uma única e integrada aplicação (HAY-ROTH, 1995). No Modelo Tri-Coord o blackboard garante um ambiente dinâmico de interação entre os agentes.

A medida que as interações vão ocorrendo, elas são automaticamente refletidas no blackboard que, por sua vez, é monitorado pelos agentes especiais que irão tomar as ações pertinentes.

Os agentes especiais têm função específica na resolução dos conflitos, cabendo às tarefas de aplicação de sanção (Agente Executivo), julgamento de situações pendentes (Agente Judiciário) e atualização do conjunto de regras e Leis Sociais (Agente Legislativo).

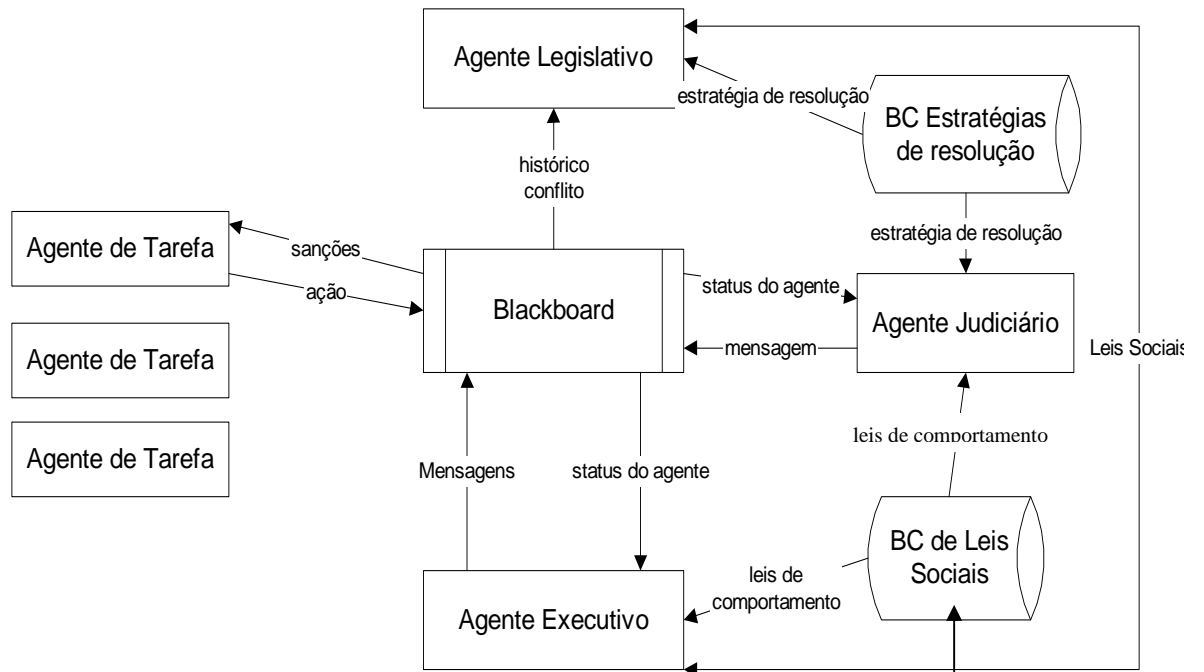


Figura 5: Modelo Tri-Coord

Podemos observar através da figura 5 que os agentes de tarefas interagem com o ambiente através da estrutura de Blackboard, a qual registra suas ações e possibilita que os agentes infratores tomem conhecimento de eventuais sanções.

O Agente Executivo lê o estado dos agentes de tarefas e de acordo com a Base de Casos (BC) de Leis Sociais dispara uma possível sanção.

O Agente Judiciário lê o estado dos agentes de tarefas e intervém nas situações pré-estabelecidas, utilizando para a tomada de decisão uma BC de leis Sociais e uma BC de Estratégias de resolução de conflitos.

Finalmente, o Agente Legislativo recebe o histórico dos conflitos ocorridos e atualiza a BC de Estratégias de resolução de conflitos.

O Blackboard é um banco de dados onde cada tipo de agente tem uma visão que compreende o estado dos agentes e suas respectivas ações. Sua função principal é sinalizar a ocorrência de conflitos.

Alguns dos atributos dos agentes que podem ser monitorados via blackboard são:

- Identificação: pode ser utilizado o próprio endereço IP do processo
- Ação do Agente: identificação do tipo de ação executada pelo agente.
- Descrição do conflito: identificação do tipo de conflito ocorrido.
- Status: indicativo do estado do agente, podendo ser ATIVO/INATIVO/SUSPENSO
- Pontuação: valor numérico com o saldo positivo de pontos de cada agente que será decrementado a cada infração cometida. Inicialmente cada agente recebe uma pontuação inicial.
- Com_Ag_Exe: campo de comunicação do agente Executivo com o agente. Pode ser ACK-VERDE sinalizando que não houve infração cometida; ACK-AMARELO sinalizando que a infração cometida foi de nível médio e devidamente penalizada no atributo pontuação e ACK-VERMELHO sinalizando que a infração cometida deverá ser julgada pelo Agente Judiciário
- Com_Ag_Jud: campo de comunicação do agente Judiciário com o agente de tarefas. Pode ser: EM JULGAMENTO, indicando que a solução para o conflito ocorrido será demandada através de decisão do agente Judiciário; LIBERADO, indicando que o agente de tarefas já obteve uma resolução para seu conflito e pode continuar realizando ações e AGUARDANDO USUÁRIO, caso em que o agente Judiciário identifica que a única solução possível para o conflito é a interação humana.

A identificação dos conflitos e sinalizações dos estados dos agentes se dá através do blackboard que, por sua vez, possibilita a tomada de ações por parte dos agentes especiais.

As informações descritas acima se constituem num conjunto inicial de parâmetros considerado útil para o tratamento de conflitos proposto porém, estudos mais aprofundados devem ser feitos no sentido de identificar outros atributos que influenciem de maneira relevante a interação entre agentes e entre o agente e o ambiente.

Toda comunicação entre agentes e entre o agente e o ambiente se dá através do blackboard. A importância da comunicação em ambientes cooperativos é imperiosa uma vez que a quantidade de conhecimento de um agente é diretamente proporcional

ao número de alternativas possíveis dentro do espaço de soluções para uma dada situação. Por outro lado, em determinadas situações, a ausência de informação é mais interessante do que sua disponibilização. Por exemplo: o voto secreto numa eleição para cargo público garante que o eleitor não vai se influenciar, ou até mesmo ser manipulado, pelo fato de não conhecer o voto dos demais eleitores. O Modelo Tri-Coord permite a parametrização do nível (em termos de quantidade) de informação a ser disponibilizada e veiculada pelos agentes computacionais, permitindo cenários onde a ausência de informação seja benéfica para o sucesso do projeto.

A atuação dos agentes especiais pode ser descrita, resumidamente como:

- agente especial Executivo cuja função é a fiscalização do ambiente e a aplicação de sanções aos agentes que infringirem as regras (estado suspenso), bem como a responsabilidade de viabilizar toda e qualquer comunicação necessária aos agentes em processo de negociação, observa o Blackboard para identificar à luz da BC de Leis Sociais, os possíveis conflitos existentes e sinalizar ao Agente as situações que requerem a sua atuação.
- agente especial Judiciário somente será acionado em situações de conflito que não puderem ser resolvidas espontaneamente pelos agentes e exigirem uma atuação centralizada de um árbitro que resolverá o conflito, convocando um processo de audiência com a comunicação síncrona de todos os agentes envolvidos.
- agente especial Legislativo, em conjunto com um agente humano (regulador), realiza um processo de Aquisição de Conhecimento com o intuito de atualizar o conjunto de Leis Sociais vigente, considerando o histórico dos conflitos anteriores e a demanda dos agentes por determinada tarefa. Dessa maneira o conjunto de Leis Sociais estaria sendo constantemente atualizado, podendo inclusive importar novas regras de outros ambientes similares, de maneira a otimizar a interação dos agentes.

4.3. Limitações do Modelo Tri-Coord

A classe de problemas que pretendemos atacar se constitui em sistemas computacionais aplicados à tarefa de Projeto de Engenharia Distribuído (ou

Engenharia Concorrente), que se constitui num sub-conjunto das aplicações abrangidas por CSCW.

A utilização do paradigma de SMAs para tais problemas traz inúmeras vantagens inerentes à características dos mesmos: flexibilidade, rapidez do tempo de resposta, escalabilidade, etc.

O principal problema na aplicação de SMAs para essa classe de tarefas é a detecção e o tratamento de conflitos entre os agentes computacionais. Devido à complexidade dos agentes de tarefas, pois o SMA é do tipo Cognitivo, os métodos de resolução de conflitos tradicionais não produzem bons resultados. O Modelo Tri-Coord+, apresentado na próxima seção, pretende solucionar tais deficiências.

O Modelo Tri-Coord conforme descrito anteriormente, resolve parte dos problemas levantados, porém não apresenta estrutura adequada para as seguintes situações:

- a) O mecanismo de atualização da Base de Dados de Leis Sociais bem como sua interação com os demais componentes do modelo depende exclusivamente da atuação e do conhecimento de um especialista humano;
- b) O Agente Judiciário funciona como última instância na resolução de conflitos, faltando, portanto, flexibilidade para a resolução de casos especiais;
- c) Situações de negociação simples do tipo mercado ou leilão, típicas em ambientes SMAs não estão contempladas no modelo;
- d) O Agente Executivo não possui mecanismos que permitam identificar o tipo de conflito ocorrido e selecionar o tipo de estratégia de resolução mais adequado.

As limitações do Modelo Tri-Coord foram, em parte, detectadas a partir da utilização do protótipo de implementação (S-TriCoord+) em simulações de projetos de plataforma de petróleo.

A construção do conjunto inicial de Leis Sociais demonstrou ser uma tarefa difícil, uma vez que os especialistas envolvidos num projeto de plataforma de petróleo não possuem grande conhecimento inter-disciplinar e a análise comparativa de históricos de projetos anteriores, em geral, é feita apenas dentro de cada disciplina devido ao elevado grau de combinações de grandezas inter-disciplinares. A

inexistência de um mecanismo de mineração de dados de históricos de projetos anteriores limitou bastante o conjunto de Leis Sociais utilizado, o que, por sua vez, comprometeu a performance do protótipo S-Tri-Coord como um todo, pois o sucesso na utilização do Modelo Tri-Coord está diretamente ligado à existência de um conjunto de regras eficiente e abrangente. A mesma situação ocorre no campo das Ciências Sociais: uma sociedade com um conjunto de leis ineficiente e limitado tende a ter um processo de resolução de conflitos de interesses difícil e custoso.

A segunda deficiência elencada do Modelo Tri-Coord, a falta de flexibilidade do Agente Judiciário como instância final para resolução de conflitos, pode ser vista sob dois aspectos de interesse ao nosso estudo: os procedimentos rotineiros utilizados na condução de um projeto de engenharia inter-disciplinar, no que tange à resolução de conflitos e à própria constituição hierárquica do Poder Judiciário na nossa sociedade.

No primeiro caso observamos que a condução de um projeto de engenharia realizado por diversas equipes de especialistas têm, em geral, diversas instâncias para resolução de eventuais conflitos: no âmbito da própria equipe, com a arbitragem da decisão final sobre o conflito pelo gerente da equipe e no âmbito do projeto como um todo, onde a decisão final fica a cargo do gerente do projeto.

No caso da estrutura do Poder Judiciário da nossa sociedade observamos que quanto mais especializada e distribuída é sua estrutura, mais ágil e eficiente é o seu funcionamento. Tal fato pode ser comprovado pela agilidade proporcionada pelos Juizados Especiais de Pequenas Causas que além de aliviarem o volume de trabalho dos Tribunais de instâncias superiores, têm proporcionado uma resposta muito mais rápida nas demandas por eles apreciadas.

A terceira deficiência elencada, a inexistência de mecanismos de leilão ou votação, diminui a potencialidade do Modelo TriCoord uma vez que um grande número de conflitos poderia ser resolvido diretamente pelos agentes envolvidos. Num projeto de engenharia distribuído é comum os projetistas envolvidos numa divergência qualquer tentarem resolver a mesma antes de recorrer a uma solução arbitrária do gerente da equipe ou do projeto. Além disso, a utilização de mecanismos de leilão ou votação têm se mostrado muito eficiente em SMAs, principalmente em situações onde haja disputa por recursos compartilhados (algo relativamente comum num projeto de engenharia distribuído).

Finalmente, a última deficiência elencada, a falta de flexibilidade do Agente Executivo no que tange a estratégia por ele utilizada para resolução dos conflitos, limita o Modelo Tri-Coord a fornecer a mesma resposta independente do tipo de conflito ocorrido. A referida abordagem não é atualmente a mais utilizada em SMAs aplicados à Engenharia Concorrente (MATTA, 1996, LIU, 1998). Além disso, num projeto de engenharia distribuído, em geral, os conflitos ocorrem em níveis distintos e, para cada um deles, a estratégia de solução é específica. Por exemplo: divergências entre especificação de parâmetros do projeto entre projetistas são resolvidas de maneira diferente do que divergências entre especificações do projeto e requisitos do sistema.

Levando-se em conta esses levantamentos, o Modelo Tri-Coord+ que será apresentado na próxima seção procurou atacar tais deficiências baseando-se em duas premissas: a utilização de mecanismos e conceitos de Ciências Sociais em Sociedades de Agentes e a escolha do método ou estratégia mais apropriada para resolução de conflitos em SMAs dependente do tipo de conflito identificado.

5. O Modelo Tri-Coord+

A motivação para a construção do Modelo Tri-Coord+ advém do propósito em apresentar soluções para as limitações do Modelo Tri-Coord apresentadas no capítulo 6 e no objetivo de se construir um modelo robusto e flexível para aplicações envolvendo tarefas de groupware baseado na premissa de que sociedades de agentes computacionais tendem a se comportar como a sociedade humana.

Em adição, o Modelo Tri-Coord+ contempla a premissa de que não existe uma estratégia de resolução de conflitos que seja adequada a qualquer tipo de Sistema Multiagente, porém os conflitos detectados podem ser classificados e a utilização de uma estratégia específica em função do tipo de conflito pode conduzir a resultados mais satisfatórios (WANYAMA e FAR, 2005, JIANG e NEVIL, 2001, MATTA, 1996, BARBER *et al.*, 2000, LIU *et al.*, 1998).

As inovações residem em duas abordagens não contempladas em outros trabalhos:

- tratamento diferenciado em função do ciclo de desenvolvimento de um projeto de engenharia
- re-utilização de casos e estratégias utilizadas no projeto também são contempladas no referido Modelo.

O Modelo Tri-Coord+ mantém a estrutura principal apresentada pelo Modelo Tri-Coord (PLACCA, 1999), isto é, os Agentes Especiais denominados: Agente Executivo, Agente Legislativo e Agente Judiciário, em analogia à Teoria da Tri-partição dos Poderes de Charles de Montesquieu.

A seguir seguem as definições utilizadas no presente Modelo:

Definição - Agente

Um Agente (A_i) é definido como uma tupla = $\langle LA, CA, PC, EM \rangle$ onde:

LA = lista de atributos do agente é tal que $LA = \{a_1, \dots, a_k\}$, onde para cada $a_i = va_i$ temos o valor do estado do atributo a_i . Da lista de atributos do agente, existe um atributo especial a_c que indica se o mesmo se encontra em conflito.

CA = conjunto de ações que o agente pode executar.

PC = protocolo de comunicação do agente.

EM = estado-meta.

Definição - Ação

Uma ação é uma função F aplicada a um agente, sob um conjunto de pré-condições (CPC), que produz uma mudança nos valores dos atributos do agente e/ou nos valores dos atributos do ambiente: $F(A_i)(a_1, \dots, a_k) = \{a_1 = nva_1, \dots, a_k = nva_k\}$, onde nva_i indica o novo estado do atributo a_i .

O conjunto CPC é um subconjunto de LA. Uma pré-condição presente em todas as ações é que $a_e = \text{ATIVO}$ (atributo de estado do agente).

Definição - Estado-Meta

O Estado-meta EM é uma lista de valores finais dos atributos-objetivos do agente = $\{ema_1, \dots, ema_k\}$. Dizemos que um agente atingiu seu estado-meta quando qualquer ema_k é diferente de NULO e o atributo indicador de conflito do agente é falso. ($a_c = \text{FALSO}$).

Definição - Conflito

Um Conflito (Cf) entre os Agentes (A_i) e (A_j) é definido por:

a) Conflito de objetivo (CfO): existe um atributo-objetivo $a_i=va_i$ do Agente A_i e um atributo-objetivo $a_j=va_j$ do Agente A_j tal que: va_i é diferente de va_j e a_i e a_j representam um parâmetro comum (um parâmetro é comum quando o mesmo tem o mesmo nome e representa a mesma grandeza). O atributo do agente $a_c = \text{verdadeiro}$, indica que o agente está com conflito pendente.

b) Conflito de plano (CfP): ocorre quando dado um agente A_i com uma sequência de estado-meta: ema_i e ema_j , tal que ema_j depende de ema_i , isto é: $ema_j = f(ema_i)$ e um Agente A_j com estados-meta ema_j e ema_i , tal que ema_i depende de ema_j , isto é: $ema_i = f(ema_j)$.

c) Conflito de crença (CfC): ocorre quando o conjunto de valores dos atributos do ambiente va_i para o Agente A_i é diferente dos valores dos atributos do ambiente va_j para o agente A_j no mesmo instante de tempo.

Definição - Estratégia de Resolução de Conflito (E)

Uma Estratégia de Resolução de Conflitos E é definida como um conjunto de ações (A) executadas pelos agentes de maneira que, considerando todos os agentes A_i , não exista nenhum conflito C_k entre os agentes pertencentes à A .

Uma estratégia é considerada adequada desde que elimine todos os conflitos com o menor numero de interações dos agentes envolvidos.

O Modelo Tricoord+ é apresentado na figura a seguir (figura 6):

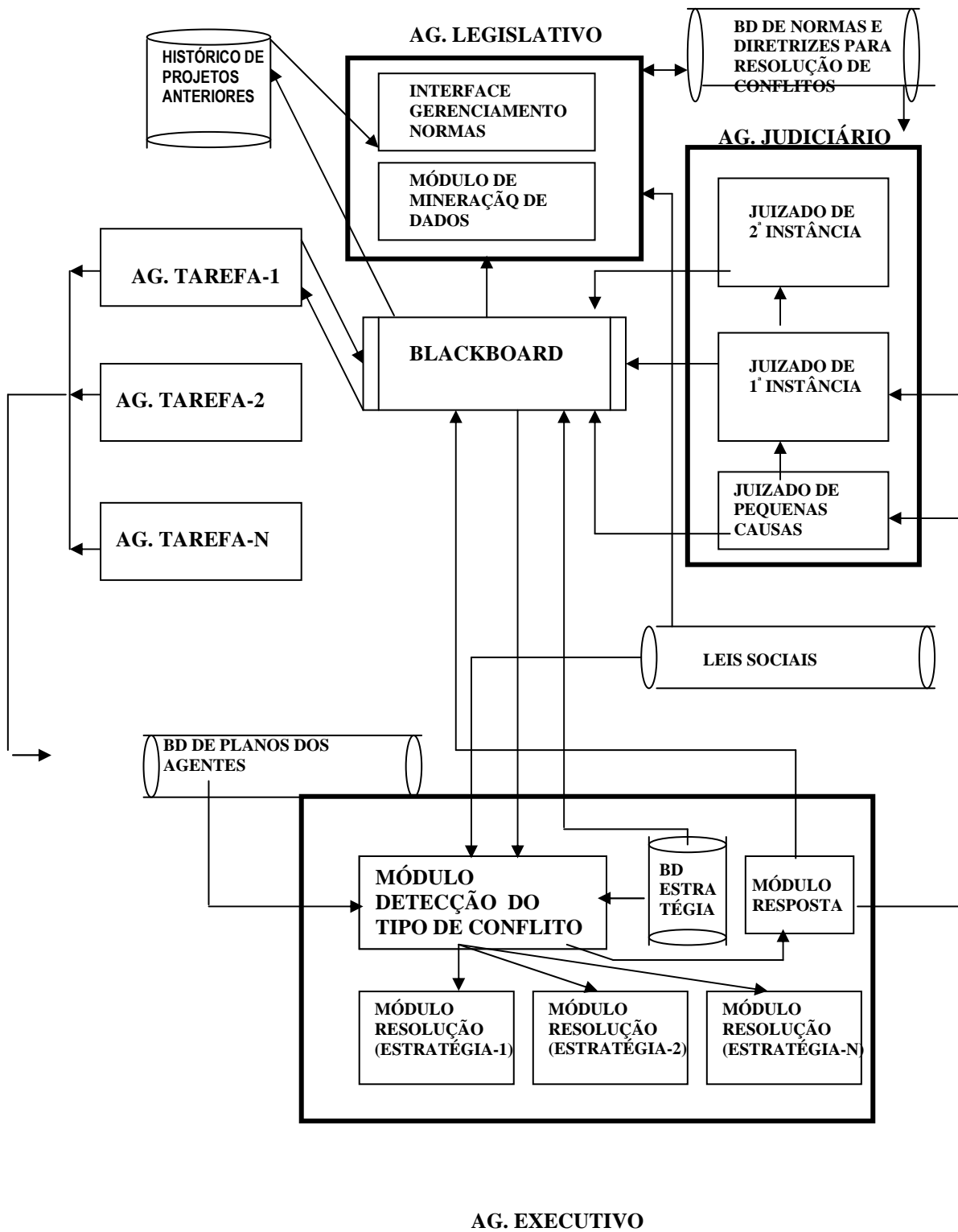


Figura 6: Modelo Tri-Coord+

Como ilustrado na Figura 6, o Modelo Tri-Coord+ mantém uma estrutura de blackboard pela qual as informações são acessadas ou modificadas, porém os agentes de tarefas também podem se comunicar entre si e resolver conflitos sem a necessidade da intervenção de um agente especial.

A seguir especificaremos detalhadamente o Modelo proposto em termos de agentes, ambiente e interações.

5.1. Agentes

O Modelo Tri-Coord+ é constituído por quatro tipos de agentes: agentes de tarefas, Agente Executivo, Agente Legislativo e Agente Judiciário.

5.1.1. Agentes de Tarefas

O Agente de Tarefas é o agente computacional que atua no ambiente, em nome de um usuário e com um objetivo específico. O Agente de Tarefas representa o Engenheiro/projetista que têm por objetivo realizar um conjunto de especificações de parâmetros de projeto, as quais, após a resolução de eventuais conflitos, se constituirão na saída desejada.

Cada Agente de Tarefas tem uma estrutura própria (identificação, conjunto de dados privados, conjunto de métodos privados e um endereço IP que possibilita ao mesmo enviar e receber mensagens).

Embora seja facultado ao Agente de Tarefas o envio de mensagens de texto livre (prática muito comum na execução de projetos), existe um protocolo de comunicação definido para possibilitar a troca de mensagens e a execução de determinadas ações de maneira automática.

A atuação mais ou menos autônoma do Agente de Tarefas vai depender da configuração feita pelo agente humano (projetista). O modelo Tricoord+ permite ao projetista configurar o seu respectivo Agente de Tarefas informando apenas os valores dos parâmetros primitivos (ou utilizando-se de valores de algum projeto similar), as fórmulas dos parâmetros derivados e as condições de relaxamento de restrições e prioridades de especificação. A partir dessa configuração inicial o desenvolvimento do projeto segue de forma automática.

5.1.2. Agente Executivo

O Agente Executivo é o responsável pelo gerenciamento imediato dos conflitos e pela comunicação de sanções ou decisões aos agentes.

No Modelo Tri-Coord+ o Agente Executivo passou a ter uma estrutura mais complexa que permite a implementação da abordagem da escolha da estratégia mais adequada em função do tipo de conflito detectado. Dessa maneira o Agente Executivo é constituído de:

a) Módulo de Detecção: responsável por identificar o tipo de conflito ocorrido e escolher a estratégia de resolução mais apropriada;

b) Módulo de Resolução: implementa as diversas estratégias contempladas no Banco de Dados de Estratégias de Resolução de Conflitos. A cada nova estratégia adicionada ao Banco de Dados, o respectivo Módulo de Resolução deverá ser disponibilizado. Dentre as estratégias que poderão ser contempladas podemos citar: Mecanismos de Votação, Eleição, Leilão, etc.

c) Módulo de Resposta: responsável pela emissão da resposta gerada.

d) Banco de Dados de Estratégias de Resolução e Tipos de Conflitos: guarda as estratégias de resolução pertinentes em função do tipo de conflito.

5.1.3. Agente Judiciário

O Agente Judiciário é o responsável em dirimir conflitos pendentes que não puderem ser resolvidos pelo Agente Executivo. Utiliza-se, em geral, de um processo de audiência onde todos os agentes envolvidos são convocados para uma comunicação síncrona a fim de dirimir o conflito.

No Modelo Tri-Coord+ o Agente Judiciário também passou a ter uma estrutura mais complexa composta dos seguintes módulos:

a) Juizado de Pequenas Causas: responsável por conflitos não resolvidos pelo Agente Executivo e que se situam num nível mais baixo de prioridade e importância.

b) Tribunal de 1ª Instância: responsável pelos conflitos de um grau mais elevado de prioridade e importância.

c) Tribunal de 2ª Instância: responsável por dirimir os possíveis recursos (não aceitação) das soluções ditadas pelo Tribunal de 1ª Instância.

5.1.4. Agente Legislativo

O Agente Legislativo é o responsável pela manutenção e renovação do conjunto de leis e regras utilizados no ambiente. Está constantemente observando o ambiente para incorporar regras que atendam uma necessidade de demanda do momento.

No Modelo Tri-Coord+ o Agente Legislativo passou a ter dois módulos:

- a) Módulo de Interface para permitir a interação manual através de um Agente Humano;
- b) Módulo de Mineração de Dados para permitir a inferência de novas regras baseadas no Histórico de Projetos anteriores.

5.2. Ambiente

O ambiente do Modelo Tri-Coord+ pode ser caracterizado como sendo um ambiente:

- Multi-agente – pois permite a interação de múltiplos agentes;
- Dinâmico – pois enquanto um agente atua o ambiente pode se modificar através de estímulos distintos da atuação do agente;
- Cooperativo – pois pressupõem-se que os agentes visam atingir um objetivo maior comum.

As estruturas que integram o ambiente do Modelo Tri-Coord+ são:

- Banco de Dados de Leis Sociais
- Banco de Dados de Sanções (parte do BD de Leis Sociais)
- Banco de Dados de normas e diretrizes para resolução de conflitos
- Banco de Dados de estratégias de resolução de conflitos
- Banco de Dados de históricos de projetos anteriores
- Blackboard com o estado atual dos agentes

O Banco de Dados (BD) de Leis Sociais contém um conjunto de regras sociais que regem a interação dos agentes., como por exemplo:

Se num_alerta_conflito > 5 então

Agente.pontuação -= 5

Isto, é, se o agente já recebeu 5 mensagens de alerta indicando um conflito causado por sua atuação e o mesmo ainda não foi resolvido, o agente será penalizado em 5 pontos. Na sociedade humana observamos esse tipo de tratamento quando, por exemplo, um consumidor que atrasa sistematicamente o pagamento de suas dívidas junto a um estabelecimento comercial, tem, após um certo número de advertências, o seu limite de crédito reduzido ou mesmo extingüido.

O BD de sanções contém as respectivas punições a cada infração de uma lei social. Exemplo:

Se agente.pontuação <= 10 então

Agente.status = "INATIVO"

Isto é, caso a pontuação atinja determinado limite o agente será colocado num estado correspondente que identifica sua situação. Fazendo uma analogia com o Sistema de Trânsito, observamos tal situação com os motoristas que atingem o limite de pontos negativos estipulado pelo Código Nacional de Trânsito e têm sua habilitação suspensa ou cassada.

O BD de normas e diretrizes para resolução de conflitos contém um histórico das decisões tomadas nos conflitos já ocorridos e funciona como uma jurisprudência para ser usada em conjunto com o BC Leis Sociais. Sua estrutura é composta de uma hierarquia de tipos de conflitos ocorridos com uma ligação a uma correspondente hierarquia de diretrizes de resolução de conflitos (Figura 7).

Tipo de conflito ←————→ Diretriz

Valores requeridos conflitantes de
necessidades dos Espaço em disco

Atendimento eqüitativo dos
agentes envolvidos

Figura 7: relação entre tipo de conflito e estratégia utilizada

O Banco de Dados de estratégias de resolução de conflitos contém, para cada tipo de conflito detectado, uma lista com as possíveis estratégias de resolução (em ordem de prioridade) e que possibilita ao Agente Executivo executar o procedimento mais adequado para aquela situação.

O Banco de Dados de históricos de projetos anteriores contém as informações relativas a parâmetros e especificações de projetos já realizados.

O Blackboard é um banco de dados onde cada tipo de agente tem uma visão que compreende o estado dos agentes e suas respectivas ações. Sua função principal é sinalizar a ocorrência de conflitos.

A utilização da estrutura de Blackboard é muito comum em SMAs (HAY-ROTH, 1995) e até mesmo em SMAs aplicados à Engenharia Concorrente (YAN *et al.*, 1996).

5.3. Conflitos

No contexto do Modelo Tricoord+, definimos conflito como toda situação, resultante da atuação de agentes projetistas ou agentes especiais, que conduz:

- a) a uma especificação diferente do mesmo parâmetro do projeto de engenharia (conflito de objetivo);
- b) a uma sequência divergente de ações ou especificação de parâmetros do projeto (conflito de planos);
- c) a uma interpretação de dados ou de informações divergentes por parte de dois ou mais projetistas (conflito de crenças)

Em todas as situações elencadas a existência do conflito não permite que o objetivo final do projeto de engenharia (especificação dos parâmetros do projeto) seja atingido.

5.4. Inovações do Modelo Tri-Coord+

O Modelo Tri-Coord+ implementa a estratégia apresentada por (LIU *et al.*, 1998) de tratamento diferenciado em função do tipo de conflito detectado apresentando, porém, inovações pertinentes ao domínio de aplicação de CSCW.

Dois aspectos não abordados por (LIU *et al.*, 1998) são abordados pelo Modelo Tri-Coord+ :

- a) a implementação de um mecanismo de revisão de soluções de conflitos (o que corresponde num projeto de engenharia à fase de revisão de projeto e ao Modelo Tri-Coord+ à instância do Agente Judiciário).
- b) A implementação de um mecanismo de atualização dinâmica da base de conhecimento (o que corresponde num projeto de engenharia à utilização de soluções adotadas numa especificação inicial para as especificações posteriores e ao Modelo Tri-Coord+ à instância do Agente Legislativo).

Uma tarefa de groupware, particularmente um Projeto de Engenharia Distribuído, raramente tem uma evolução seqüencial até sua conclusão final. Dessa maneira, uma solução para um eventual conflito detectado e resolvido numa fase inicial do projeto poderá ter que ser revista numa fase posterior. Essa tarefa cabe ao Agente Judiciário do Modelo Tri-Coord+.

O segundo aspecto trata da atualização dinâmica da base de conhecimentos, possibilitando que soluções adotadas na fase inicial de um projeto possam ser aproveitadas como regra em situações de conflito similares em fases posteriores. Essa tarefa cabe ao Agente Legislativo do Modelo Tri-Coord+.

5.5. Análise do Modelo Tri-Coord+ em relação à outras abordagens

As vantagens apresentadas pelo Modelo Tri-Coord+ em relação a outros modelos para tratamento de interação de agentes computacionais reside no fato de que o mesmo provê uma estrutura reguladora do ambiente computacional independente de características comportamentais dos agentes de tarefas. A grande maioria dos demais modelos procura enfatizar uma propriedade comportamental dos agentes de tarefas com intuito de melhorar a performance na resolução de uma tarefa

específica. Porém tal abordagem limita a atuação dos agentes ao campo de trabalho (ambiente computacional) ligado à propriedade comportamental reproduzida no agente.

A tabela 1 apresenta um quadro comparativo entre a estratégia utilizada pelo modelo Tri-Coord+ e demais estratégias citadas no capítulo 4. As métricas utilizadas foram: gargalo computacional, estimativa de taxa de comunicação entre agentes, complexidade dos agentes, atualização dinâmica da base de conhecimentos, utilização de diferentes estratégias de resolução de conflitos e aplicação em Sistemas de Apoio à Decisão. As três primeiras métricas dizem respeito às performance do SMA, enquanto que as três últimas métricas estão relacionadas à aspectos relevantes no contexto de um Projeto de Engenharia Distribuído. Na primeira métrica consideramos a existência de gargalos computacionais no caso da estratégia se basear em módulos ou componentes centralizados para a resolução do conflito; em contrapartida consideramos a não-existência de gargalos computacionais caso a estratégia se baseie na resolução de conflitos de forma distribuída.. Com relação à segunda métrica utilizada, consideramos como alto o grau de comunicação entre os agentes para os modelos cujo número de troca de mensagens entre os agentes seja proporcional às ações individuais dos agentes, na proporção de quatro ou mais mensagens para cada ação do agente; em contrapartida, consideramos como baixo nível de comunicação entre os agentes os modelos onde o número de troca de mensagens é igual ao número de ações do agente e, finalmente, consideramos como médio nível de comunicação entre os agentes os modelos onde o número de troca de mensagens é no mínimo dois e no máximo três mensagens para cada ação do agente. Com relação à terceira métrica utilizada, consideramos como alto nível de complexidade dos agentes, os modelos que oferecem estruturas especiais para o tratamento de exceções com o mínimo de intervenção humana; em contrapartida, consideramos como baixo nível de complexidade dos agentes, modelos que tratam as exceções exclusivamente através de intervenção humana e, finalmente, como médio nível de complexidade, os modelos mistos, isto é, aqueles que possuem igual número de tratamento de exceções de forma automática e através de intervenção humana.

Na estratégia baseada na Arquitetura Cliente/Servidor é necessária a existência de um agente centralizador (Servidor) que recebe requisições dos agentes de tarefas (Clientes). Para aplicações onde o número de agentes é elevado, o agente centralizador poderá não responder em tempo satisfatório as requisições recebidas. Dessa maneira podemos concluir que: referida estratégia possui gargalo

computacional no sentido que a estratégia se baseia num módulo centralizado para a resolução de conflito: possui alta taxa de comunicação entre os agentes uma vez que para cada ação do agente é necessária a troca de 4 ou mais mensagens entre o agente de tarefas (cliente) e o agente centralizador (a partir da requisição inicial até a comunicação de conclusão da operação) e possui alta complexidade dos agentes uma vez que o servidor deve possuir um extenso conjunto de regras e tratamento de exceções para tratar os diversos tipos de requisições dos agentes/clientes com o mínimo de intervenção humana.

Na estratégia baseada no ambiente regulador (SATHI e FOX, 1989) o relaxamento das restrições, leis e convenções não garante, dependendo do domínio da aplicação, a solução do conflito o que pode levar a um ciclo interminável de reavaliações de alternativas. Dessa maneira, apesar da referida estratégia não possuir gargalo computacional, uma vez que solução do conflito se realiza de forma distribuída, podemos concluir que a mesma possui alta taxa de comunicação entre os agentes, uma vez que a média de troca de mensagens para a técnica de relaxamento de restrições é superior a 4 e média complexidade dos agentes uma vez que sempre se fará necessária a intervenção humana para as situações limites onde o relaxamento de restrições não pode prosseguir em virtude de ter-se esgotado o intervalo de variação previamente determinado.

A estratégia baseada no modelo de Rede de Contratos (Contract Net) pressupõe a existência de agentes especialistas num dado serviço e que anunciam seus serviços e agentes-clientes que necessitam do serviço de um outro agente. Para aplicações de Engenharia Concorrente nem sempre os conflitos são oriundos de divergência de tarefas que necessitam ser executadas. Em muitos casos divergências de especificações, pontos de vista e sequência de operações a serem executadas são a causa de conflitos. Em tais situações a estratégia de Rede de Contratos não é adequada. Dessa maneira, embora referida estratégia não apresente gargalo computacional em virtude não possuir nenhum módulo centralizado para a resolução de conflito e de possuir uma média complexidade dos agentes uma vez que a intervenção humana ocorre num conjunto muito reduzido de situações, a mesma não apresenta resultados satisfatórios nos quesitos de avaliação referentes SMAs aplicados a Projeto de Engenharia Distribuído não sendo, portanto, viável sua aplicação do problema em questão.

A estratégia baseada em Leis Sociais (SHOHAM e TENNENHOLTZ, 1996), a qual forneceu subsídios ao presente trabalho, não apresenta gargalos computacionais

uma vez que a solução dos conflitos se dá de forma distribuída e apresenta uma complexidade dos agentes de nível médio, assim como a taxa de comunicação entre os agentes porém, não disponibiliza mecanismos de atualização do conjunto de leis sociais bem como de tratamento de exceções, o que pode conduzir a constantes intervenções do agente humano no contexto de um projeto de engenharia distribuído.

A estratégia adotada por (LIU, 1998) é a que conduz a melhores resultados em SMAs aplicados a Engenharia Concorrente, razão pela qual se constitui no ponto de partida da presente proposta. A utilização de diferentes estratégias para resolução de conflito se aplica muito bem no contexto de um projeto de engenharia distribuído, porém a mesma não possui um mecanismo de atualização dinâmica da Base de Casos assim como não possui um mecanismo de revisão de projeto o que torna a estratégia pouco flexível e difícil adaptação para projetos de engenharia complexos.

Finalmente, o Modelo Tricoord+ apresenta tanto a taxa de comunicação entre os agentes como a complexidade dos agentes de nível médio, similar às duas últimas abordagens com a vantagem de prover atualização dinâmica da Base de Casos, de se utilizar de diferentes estratégias para a resolução de conflito além de prover mecanismos de revisão de projeto, obtendo-se, dessa forma, excelentes resultados no contexto de um projeto de engenharia distribuído.

A Tabela 1 resume a presente análise comparativa.

Estratégia	Gargalo Computacional	Taxa de comunicação entre agentes	Complexidade dos agentes	Atualização dinâmica da BC	Utilização de Diferentes Estratégias	Aplicação em Sist. Apoio Decisão
Arquitetura Cliente/Servidor	SIM	ALTA	ALTA (SERVIDOR)	NÃO	NÃO	SIM
Ambiente Regulador (Relax.Rest.)	NÃO	MÉDIA	MÉDIA	NÃO	NÃO	SIM

Contract Net	NÃO	ALTA	BAIXA	NÃO	NÃO	NÃO
Leis Sociais	NÃO	MÉDIA	MÉDIA	NÃO	NÃO	SIM
Classif. Conflitos (LIU <i>et al.</i> , 19 98)	NÃO	MÉDIA	MÉDIA	NÃO	SIM	SIM
Modelo Tri-Coord+	NÃO	MÉDIA	MÉDIA	SIM	SIM	SIM

Tabela 1: Quadro comparativo entre as principais abordagens

Com relação a estratégia adotada por (LIU *et al.*, 1998), a tabela 2 apresenta um quadro comparativo mais detalhado entre a sua abordagem e o Modelo Tri-Coord+, visto adotarem enfoques similares.

(LIU <i>et al.</i> , 1998)	<u>Tri-Coord+</u>
descentralizado	descentralizado
Não permite revisão de ações	Permite revisão de ações
regras fixas	regras dinâmicas

Tabela 2: Quadro comparativo (LIU *et al.*, 1998) X Tri-Coord

Em função das simulações efetuadas e das comparações realizadas com outros Modelos podemos citar como vantagens do Modelo Tri-Coord+:

- Flexibilidade

- Dinamicidade
- Portabilidade
- Independência do tipo de agente computacional
- Possibilidade de monitoração/avaliação
- Justiça

As desvantagens observadas se resumem a:

- Requer um planejamento cuidadoso do conjunto de regras iniciais
- Requer intervenção humana em casos especiais
- É direcionado para o trabalho cooperativo
- Os agentes devem “respeitar o ambiente”

Finalmente, podemos concluir que o Modelo Tri-Coord+ proposto permitirá o tratamento tanto de ambientes cooperativos, competitivos e até mesmo ambientes com alto grau de anarquia entre os agentes. A constante atualização do conjunto de Leis Sociais possibilita a adaptação dinâmica do ambiente em função da situação corrente ou das tarefas correntemente realizadas. Ao mesmo tempo temos a garantia da preservação da ordem no ambiente através do mecanismo de fiscalização e sanção imposto pelo agente especial executivo. Finalmente temos o agente especial judiciário, encarregado de dirimir os conflitos, não sobrecarregado de tarefas e em condições de responder aos eventuais conflitos em tempo satisfatório.

Acreditamos que o Modelo Tri-Coord+ apresenta uma solução independente de características peculiares dos agentes de tarefas para ambientes computacionais de enfoque colaborativo, pois provê um mecanismo eficaz na resolução de conflitos, além de supervisão, fiscalização e controle dos agentes de tarefas, somado a um mecanismo de auto-aprendizagem no sentido de prover uma adaptação dinâmica do ambiente em função das ações e processos correntes.

Vamos a seguir apresentar um domínio de aplicação do Modelo Tri-Coord+ no campo da Engenharia Concorrente, mais especificamente, aplicado ao projeto de uma plataforma de petróleo.

6. Aplicação e Validação do Modelo Tri-Coord+

6.1. Domínio de aplicação: projeto de plataformas de petróleo

Um protótipo do Modelo Tri-Coord+, escrito em linguagem C++, em plataforma Windows, chamado de S-Tricoord+ foi aplicado à tarefa de projeto de uma plataforma de petróleo. Nessa tarefa o projeto final é o resultado de diversos projetos em diferentes áreas de engenharia: Estrutura, Naval, Civil, Elétrica, Processos, Segurança, Meio-Ambiente, etc. Cada um desses projetos pode ser sub-dividido em vários sistemas, tendo um projetista responsável por cada sistema (por exemplo o projeto da planta de Processo de Óleo e Gás é, em geral, sub-dividido em 19 sub-sistemas).

O Modelo proposto é uma extensão da arquitetura Tri-Coord, a qual integra vários agentes de tarefas (projetistas) cada qual com a tarefa de especificar e dimensionar uma série de parâmetros relativos a um sistema em particular. O conjunto de todos os sistemas se constitui na especificação global de uma plataforma de petróleo, em termos de valores de parâmetros para os diversos equipamentos que a compõe.

O que se espera de cada projetista é que ele conclua as especificações do sub-sistema do qual é responsável, sem estar em conflito/pendência com outros projetistas e dentro do tempo e do orçamento previstos. A conclusão de todos os sub-sistemas resultará automaticamente na conclusão geral do projeto de planta de uma plataforma de petróleo ou, em outras palavras, na obtenção do estado-meta.

A implementação do Modelo Tri-Coord+ é uma proposta descentralizada de sistema multi-agente com o objetivo de otimizar o tratamento de conflitos entre diversos agentes num ambiente aberto. Cada agente representa um projetista responsável em especificar determinada parte de um projeto de engenharia. Dessa maneira, um agente ao “entrar num projeto”, deverá se identificar e selecionar os parâmetros que utilizará na especificação do seu sistema. Tais parâmetros tanto podem ser parâmetros novos como parâmetros já utilizados por outros agentes. Estamos considerando a possibilidade de que os nomes dados a um parâmetro e seu correspondente significado real não são de comum conhecimento pela comunidade que compartilha o mesmo ambiente computacional. Dessa maneira o sistema teria que dispor de mecanismos para reconhecer que: “TemperSepar” e “Temperatura_Separação”, por exemplo, se referem à mesma grandeza física que se

deseja dimensionar. Não há limites no número de agentes participantes (característica de um sistema aberto) o que possibilita, inclusive a utilização do modelo num ambiente como a Internet. Após “entrar num projeto” o objetivo de cada agente passará a ser finalizar o dimensionamento dos parâmetros de que necessita (interagindo ou não com outros agentes), a fim de obter uma lista de saída (normalmente uma lista de equipamentos ou de parâmetros de saída dependentes dos parâmetros de entrada especificados). A interação agente versus agente e agente versus ambiente se dá sempre que um conflito ocorrer e ações serão tomadas no sentido de resolver tais conflitos, conduzindo a uma situação satisfatória para todos os agentes participantes do projeto.

Um sistema de engenharia com as características descritas e implementado através do paradigma de SMAs requer uma estrutura robusta para resolução de conflitos, pois as interações entre agentes são numerosas e complexas.

Outro fato a ser considerado num projeto de engenharia é que um agente (projetista) deve ser capaz de identificar (e decidir) situações que, embora se caracterizem por divergência de valores, não se constituam necessariamente em conflitos. Nessas situações o agente tem que decidir se o valor que ele deseja registrar é compatível com o mesmo valor já calculado por outro agente. Se tais valores são compatíveis então não existe conflito, apesar dos valores não serem idênticos. Dessa maneira a detecção de conflitos deve ser mais complexa do que simplesmente uma verificação de valores.

Nesse contexto o Modelo Tri-Coord+ disponibiliza uma estrutura de vários níveis para resolução de conflitos, robusta no sentido de poder tratar qualquer tipo de conflito e flexível o suficiente devido ao Agente Legislativo ser continuamente atualizado em função do Histórico de Projetos Anteriores.

6.2. Validação do Modelo Tricoord+

O Modelo Tricoord+ foi utilizado por um grupo de engenheiros do CENPES – Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez - Petrobrás para a simulação de projetos de plataforma de petróleo já realizados naquele centro de pesquisas.

Como o desenvolvimento de projetos dessa natureza requer a utilização de diversos softwares e ambientes computacionais, ao longo do seu ciclo de vida, deu-se ênfase na utilização do S-Tricoord+ para a simulação das situações de conflitos mais

comuns no desenvolvimento de projetos desta natureza e que constituem o aspecto de maior impacto em termos de tempo e custo no desenvolvimento do projeto.

No item 8.3 são apresentadas algumas informações relevantes a respeito do projeto em questão, a aplicação do S-Tricoord+ no seu desenvolvimento e os resultados obtidos a partir das avaliações realizadas pela equipe de engenheiros do Cenpes.

6.2.1. Descrição do Processo

Uma plataforma produz gás e óleo em um processo que envolve um sistema central (planta de óleo e/ou gás) e uma série de sistemas associados que provêm a infra-estrutura de funcionamento (geração de energia, alojamento, etc.). O projeto do sistema central e dos sistemas auxiliares é realizado pela disciplina de Processo, a partir das bases de projeto, que podem sofrer modificações à medida que avançam as atividades de perfuração e se revêem os dados sobre o reservatório.

O projeto básico de facilidades de produção para uma plataforma de petróleo começa com uma estimativa do número, tipo e dimensões dos equipamentos e sistemas de processo necessários para atender as Bases de Projeto. Esta estimativa inicial, feita pela disciplina de Processo, é essencial para que as disciplinas de Equipamentos e Arranjo possam, também, estimar preliminarmente o peso total e a área da futura planta de processo.

A estimativa inicial de peso total e de área da planta de processo permite que os setores responsáveis pelo dimensionamento da estrutura, fixa ou flutuante, necessária para suportar a planta de processo antecipem sua participação no projeto da plataforma em cerca de dois a três meses. Esta antecipação representa ganhos econômicos significativos para a PETROBRAS pois ao encurtar-se o ciclo de projeto básico, detalhamento, construção e instalação de uma plataforma permite-se que a produção do campo de petróleo se inicie mais cedo.

A estimativa inicial da planta de processo, geralmente se baseia na experiência do técnico responsável por esta atividade e consultas a projetos anteriores de porte similar. Dependendo do técnico escolhido para a execução desta tarefa diferentes estimativas podem ser obtidas.

Num projeto novo, uma estimativa inicial muito conservadora pode acarretar um ônus ao custo final da plataforma. Devido ao cronograma de projeto, a otimização do dimensionamento da estrutura não pode levar em conta o peso e a área real da

planta de processo. Por outro lado, uma estimativa inicial menor do que a necessária também não é adequada porque implica em considerável re-trabalho e até atrasos no projeto básico.

Conclui-se então que é altamente desejável um elevado grau de acerto na estimativa inicial do número, tipo e dimensões dos equipamentos e sistemas de processo e conseqüentemente do peso total e da área da planta de facilidades de produção. Além disso, o procedimento para a obtenção dessa estimativa deve produzir o melhor resultado independentemente do maior ou menor grau de experiência do projetista.

Dentre as tecnologias atualmente disponíveis para a solução do problema acima citado, destaca-se como a mais promissora o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, sub-área de Inteligência Artificial. Tal tecnologia tem sido empregada na criação de sistemas de apoio ao projeto. O sistema ADDVAC (apoio a projeto de sistema de ventilação e ar condicionado em plataformas) (GARCIA, 1997) e o sistema ADDPROC (apoio a estimativa de planta de Processo) são exemplos de sistemas inteligentes de apoio ao desenvolvimento de projetos elaborados para a Divisão de Projetos de Exploração (DIPREX—CENPES).

6.2.1. A Disciplina de Processo

Uma planta de processo é desenvolvida a partir da elaboração dos vários sistemas que a compõem. Podem-se agrupar os sistemas representados, de acordo com sua complexidade e importância no PROCESSO, em:

SISTEMAS PRINCIPAIS:

- sistema de recebimento;
- sistema de aquecimento;
- sistema de separação;
- sistema de transferência de óleo;
- sistema de tratamento de óleo;
- compressão de gás;

- tratamento de gás;
- gás combustível;
- água quente;
- água de resfriamento;
- captação de água;
- injeção de água.

SISTEMAS SECUNDÁRIOS:

- tratamento de águas oleosas;
- ar comprimido;
- óleo diesel;
- sistema de drenagem;
- alívio;
- dosagem química;
- água doce/potável.

Para chegar a um Projeto de Referência, os projetistas executam uma análise sobre os projetos existentes no banco de dados. O projeto que melhor satisfaz esta avaliação é selecionado como Projeto de Referência (melhor alternativa).

Os parâmetros iniciais de projeto podem ser classificados como:

- **Parâmetros Primitivos:** São os dados de entrada. Valores advindos das bases de projeto (fornecidos pelo usuário);
- **Parâmetros Derivados:** São dados cujos valores são gerados por fórmulas.

Cada projetista tem sob sua responsabilidade a especificação de um ou mais módulos (subsistemas), para os quais terá que especificar quais parâmetros compõem o referido módulo e, para cada parâmetro, se o parâmetro for primitivo, seu valor e, se o parâmetro for secundário, a fórmula de cálculo. O conjunto final dos parâmetros e seus respectivos valores se constitui na saída do projeto de cada módulo.

O conjunto de parâmetros a ser especificado por um projetista pode ter interseção com o conjunto de parâmetros de outros projetistas, advindo daí situações de conflito.

A validação do presente modelo deu-se com a aplicação de diversos casos de testes onde cada caso de teste é composto pelo conjunto de variáveis necessárias para a especificação inicial do projeto de engenharia, regras utilizadas, dados de ajustes e históricos de projetos anteriores similares. Os casos de testes foram montados a partir do histórico de projetos realizados pelo Centro de Pesquisas da Petrobrás (Cenpes) e sua validação foi feita em função da avaliação do desempenho do modelo proposto em determinadas simulações com os registros históricos do projeto em questão.

6.3. Avaliação do Protótipo S-TRICOORD+

O protótipo S-Tricoord+ foi utilizado na simulação de detecção e tratamento de conflitos na especificação de parâmetros de diversos projetos de plataformas off-shore de petróleo junto a Diretoria de Projetos do Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez da Petrobras, sob coordenação do Engenheiro Mauro Leite.

Atualmente os projetos de plataforma de petróleo desenvolvidos pelo Cenpes utilizam-se de diversos aplicativos, os quais não são integrados e apenas sinalizam eventuais conflitos, não dispondo de nenhum mecanismo para o tratamento e resolução dos mesmos.

Sempre que ocorre a detecção de algum conflito na especificação de parâmetros do projeto, os engenheiros responsáveis tem que resolver o mesmo, muitas vezes através de um processo de negociação que ocorre invariavelmente através de uma reunião ou contato direto entre as partes envolvidas.

Dessa maneira as reuniões para resolução de conflitos são bastante numerosas e custosas podendo chegar (considerando-se as reuniões informais) a mais de 300 durante todo o período do projeto (média de 6 meses de trabalho).

Além disso, um outro problema detectado é a falta de padronização na nomenclatura das variáveis utilizadas, podendo ocorrer que uma mesma grandeza seja identificada por nomes diferentes ao longo dos diversos sub-sistemas de uma plataforma de petróleo.

Apesar de todos os projetos anteriores ficarem armazenados numa base de dados e de servirem como referência para os novos projetos, não existe nenhum

mecanismo automático para recuperação de casos similares de resolução de conflitos em projetos anteriores.

A tarefa de identificação das estratégias mais utilizadas foi realizada através de um “brain-storm” com a equipe de projetistas privilegiando-se os conflitos de especificação de parâmetros por serem muito comuns nas fases iniciais de desenvolvimento do projeto. Algumas estratégias foram identificadas e a cada uma delas foi atribuído um grau de prioridade de utilização de acordo com registros históricos dos projetos considerados.

A seguir seguem as duas estratégias principais identificadas e seus respectivos algoritmos que definem o conjunto de ações a serem executadas e que foram implementadas no S-TRICCOORD+.

Estratégia 1: Resolução de conflitos de especificação de parâmetros – prioridade I

Tipo de conflito: objetivo

- 1) Após a identificação do conflito, avisar todos os projetistas envolvidos e aguardar até N sessões (onde cada sessão é definida como um período de atuação do projetista desde a sua entrada no sistema “login” e sua saída do mesmo de modo regular “logout”) ou até o decurso do intervalo de tempo T;
- 2) Caso o conflito persista, identificar o número de módulos afetados pelo conflito (num_modulos);
- 3) Caso $\text{num_modulos} < N_MIN$ então aplicar regra de relaxamento de restrições;
- 4) Caso contrário: realizar votação entre os projetistas envolvidos.

Estratégia 2: Resolução de conflitos de especificação de parâmetros – prioridade II

Tipo de conflito: objetivo

- 1) Após a identificação do conflito, avisar todos os projetistas envolvidos e aguardar até N sessões (onde cada sessão é definida como um período de atuação do projetista desde a sua entrada no sistema “login” e sua saída do mesmo de modo regular “logout”) ou até o decurso do intervalo de tempo T;

- 2) Caso o conflito persista, identificar o número de equipamentos (N_EQUIP) afetados pelo dimensionamento do parâmetro em cada sub-sistema envolvido no conflito;
- 3) Considerar o valor de especificação para o sub-sistema com o maior número de equipamentos envolvidos.

A instanciação das referidas estratégias foi feita de forma a considerar os valores médios das grandezas envolvidas na base de casos de projetos ajustado pelo índice do fator de produção da plataforma (IFP), onde $IFP = \text{capacidade de produção da plataforma do projeto} / \text{capacidade de produção média da base de casos}$.

Dessa maneira temos para o parâmetro N (número de sessões):

$$N = N_{\text{médio}} * IFP$$

Da mesma maneira, o parâmetro T (intervalo de tempo):

$$T = T_{\text{médio}} * IFP$$

Finalmente para o parâmetro N_MIN (número mínimo de módulos):

$$N_{\text{MIN}} = N_{\text{MINmédio}} * IFP$$

O que para os ensaios realizados chegamos à:

$$N = 5 * 0.85 = 4,25 \rightarrow N = 4$$

$$T = 36 * 0.85 = 30,6 \rightarrow T = 30 \text{ (horas)}$$

$$N_{\text{MIN}} = 4 * 0.85 = 3,4 \rightarrow N_{\text{MIN}} = 3 \text{ (módulos)}$$

Finalmente, para as estratégias apresentadas a instanciação com os valores calculados dos parâmetros utilizados conduziu à:

Estratégia 1: Resolução de conflitos de especificação de parâmetros – prioridade I

Tipo de conflito: objetivo

- 1) Após a identificação do conflito, avisar todos os projetistas envolvidos e aguardar até 4 sessões ou até o decurso do intervalo de tempo $T = 30$ horas;
- 2) Caso o conflito persista identificar o número de módulos afetado pelo conflito ($n_{\text{módulos}}$);
- 3) Caso $n_{\text{módulos}} < 3$ (N_{MIN}) então aplicar regra de relaxamento de restrições;
- 4) Caso contrário, realizar votação entre os projetistas envolvidos.

Estratégia 2: Resolução de conflitos de especificação de parâmetros – prioridade II

Tipo de conflito: objetivo

- 1) Após a identificação do conflito, avisar todos os projetistas envolvidos e aguardar até 4 sessões ou até o decurso do intervalo de tempo $T = 30$ horas;
- 2) Caso o conflito persista identificar a quantidade de equipamentos afetada pelo dimensionamento do parâmetro em cada sub-sistema envolvido no conflito.
- 3) Considerar o valor de especificação para o sub-sistema com o maior número de equipamentos envolvidos.

Em seguida foram levantados os históricos de 05 projetos de plataforma de petróleo, com suas respectivas memórias de cálculo e os registros de reuniões realizadas durante o desenvolvimento dos mesmos. Desses foram considerados mais adequados, em função de quantidade de informação disponível, os projetos de três dessas plataformas.

O desenvolvimento de um projeto de plataforma de petróleo pode ser dividido em 5 grandes disciplinas: Elétrica, Instrumentação, Segurança, Naval e Processo. Devido ao interesse em considerar possíveis situações de conflito na especificação de parâmetros do projeto foi considerada apenas a disciplina de Processo, a qual, por sua vez, produz, em média, a especificação de aproximadamente 160 equipamentos

diferentes, dos quais cerca de 20% com interface comum para um ou mais equipamentos acoplados, o que perfaz um total de 32 equipamentos cuja especificação é suscetível a produzir algum tipo de conflito devido divergências entre os projetistas responsáveis. Desse conjunto foram selecionados 9 equipamentos (equivalente a 30% desse total), que constituem o conjunto que mais apresenta divergência de especificação nos projetos consultados.

Para cada um dos parâmetros selecionados foram identificados todos os valores intermediários de especificação ao longo do projeto e o valor final resultado das deliberações tomadas pela equipa de projetistas envolvida.

Em seguida, para cada projeto foi realizada uma simulação da especificação dos parâmetros selecionados considerando-se como estratégia básica de resolução de conflitos a estratégia citada anteriormente.

A utilização da referida estratégia conduziu a um valor próximo do valor real (com uma margem de 5% de variação) em 82,4% dos casos simulados, conforme tabela abaixo que descreve os resultados obtidos na simulação efetuada em um dos projetos selecionados.

Equipamento	No. Médio espec. (projeto)	No. Médio espec. (STRI)	Valor Final (projeto)	Valor Final (STRI)	Variação
trocador de calor	4	3	69	69	0%
bomba de circulação de água	5	2	151	155	+2,65%
compressor de gás booster	5	2	15000	15500	+3,33%
filtro de gas booster	3	2	15500	15500	0%
bomba de injeção água	2	2	820	820	0%
unidade de compressão de gás	5	3	18.8 E6	18.8 E6	0%
separador atmosférico	4	2	16000	16500	3,125%
pré-aquecedor de óleo e água	4	2	28.8 E6	28.8 E6	0%
bomba de transferência de diesel	3	2	525	550	4,76%

Tabela 3: Tabela de parâmetros do projeto

Dessa maneira e diante das necessidades e deficiências dos aplicativos atualmente utilizados no Cenpes, o protótipo STRICOORD+ mostrou-se como uma alternativa eficaz para o tratamento de conflitos num projeto de engenharia, proporcionando economia de tempo, custos e padronização nas soluções adotadas.

O quadro abaixo resume uma breve comparação entre as duas abordagens (utilizada atualmente no Cenpes e a proposta do Modelo Tricoord+):

	Sistema atual (Cenpes)	S-Tricoord+
Tempo estimado de projeto	6 meses	4 meses (*)
Número médio de reuniões (**)	120	60 (*)

Tabela 4: Tabela comparativa de parâmetros de estimativa de projeto

(*) projeção

(**) considerando-se reuniões informais

Do conjunto de simulações e testes realizados concluímos que, além da resposta eficaz do aplicativo STRICOORD+ para a detecção e tratamento de conflitos num ambiente de projeto de engenharia distribuído, o mesmo contribuiu para um aumento da confiabilidade por parte dos projetistas ao resultado retornado pelo aplicativo devido ao caráter “impessoal” do mesmo.

7. Conclusão

A utilização de estruturas sociais como estratégia para o gerenciamento de sistemas multiagentes tem sido uma técnica largamente utilizada em aplicações baseadas em SMAs (JENNINGS e CAMPOS, 1998, LUGO *et al.*, 2001, SICHMAN *et al.*, 2001, KARUNATILAKE *et al.*, 2006). Uma corrente bastante difundida para o problema de detecção e resolução de conflitos em SMAs é a escolha da técnica apropriada em função do tipo de conflito detectado (WANYAMA *et al.*, 2005, JIANG *et al.*, 2002, MATTA, 1996, BARBER *et al.*, 2000, LIU *et al.*, 1998).

Aplicações de SMAs em Projetos de Engenharia Concorrente, casos típicos de tarefas de groupware ou CSCW aplicados à Engenharia são exemplos de classes de aplicações onde a detecção e resolução de conflitos é essencial para o sucesso da tarefa-meta.

O problema enfocado na presente dissertação diz respeito ao ambiente de interação entre agentes e propõe um modelo para tratamento das interações entre agentes cooperativos visando proporcionar uma maior autonomia dos agentes bem como uma otimização no tratamento de eventuais conflitos durante a execução de um trabalho cooperativo entre múltiplos agentes.

A nossa proposta consiste na extensão do Modelo Tri-Coord (PLACCA, 1999), que é um modelo de auxílio à resolução de conflitos em ambientes fechados, com múltiplos agentes, isto é, ambientes onde as leis ou regras de interação, comportamento e atuação estão bem definidas no ambiente. O referido modelo é baseado na aplicação de Leis Sociais e foi inspirado na teoria da tri-partição dos poderes de Charles de Montesquieu e na teoria do Contrato Social de Jean Jaques Rosseau.

O ponto de partida do presente Modelo é o trabalho apresentado por (LIU *et al.*, 1998) o qual pressupõe uma prévia classificação dos conflitos para posterior utilização de uma estratégia de resolução mais adequada ao tipo de conflito ocorrido.

A escolha da estratégia de resolução de conflito em função de uma prévia classificação dos mesmos também é a base do trabalho de (MATTA, 1996), o qual prevê uma classificação de conflitos mais abstratas no topo da hierarquia e conflitos mais concretos nos níveis mais baixos. As estratégias correspondentes também são dispostas numa hierarquia e no caso de falha de uma dada estratégia selecionada é escolhida uma nova estratégia de categoria mais genérica que a primeira.

O Modelo Tri-Coord+, extensão do Modelo Tri-Coord, apresenta soluções para as limitações do seu predecessor e para o modelo proposto por (LIU *et al.*, 1998) e agrega novas potencialidades de tratamento de conflito à sua estrutura, mais especificamente:

- tratamento diferenciado em função do ciclo de desenvolvimento de um projeto de engenharia;
- re-utilização de casos e estratégias utilizadas no projeto;

O Modelo Tri-Coord apresenta três agentes especiais: Agente Executivo, Agente Legislativo e Agente Judiciário com competência para atuar no ambiente sempre que determinada situação forçar sua atuação.

O Modelo Tri-Coord+ ampliou a estrutura dos agentes especiais da seguinte maneira:

- Agente Executivo: passou a ter um módulo de detecção do tipo de conflito para posterior escolha da estratégia mais adequada. Dessa maneira o modelo passa a suportar diferentes estratégias de resolução de conflito e provê um tratamento mais eficiente em função do tipo de conflito detectado.
- Agente Judiciário: passou a ter múltiplas instâncias, permitindo que a solução de um dado conflito possa ser “questionada” pelos agentes de tarefas mais de uma vez, modelando de forma mais fidedigna as situações que ocorrem num projeto de Engenharia Distribuído.
- Agente Legislativo: passou a ter um mecanismo de atualização das Bases de Dados utilizadas através de um processo de mineração de dados no BD de Históricos de projetos anteriores, permitindo uma atualização do conjunto de Leis Sociais mais dinâmico de forma a refletir na atuação dos agentes especiais as situações ocorridas em projetos anteriores.

A arquitetura do Modelo Tri-Coord+ permite que o BD de Leis Sociais seja organizado, inicialmente, de acordo com as peculiaridades do projeto a ser executado, permitindo a utilização de regras de caráter preventivo, restritivo ou punitivo. A organização de um conjunto inicial de regras com ênfase nas de caráter preventivo tende a minimizar a ocorrência de conflitos e, conseqüentemente, otimizar a performance do sistema.

As vantagens apresentadas pelo Modelo Tri-Coord+ em relação a outros modelos para tratamento de interação de agentes computacionais reside no fato de que o mesmo provê uma estrutura reguladora do ambiente computacional, independente de características comportamentais dos agentes de tarefas. A grande maioria dos demais modelos citados procura enfatizar uma propriedade comportamental dos agentes de tarefas com, intuito de melhorar a performance na resolução de uma tarefa específica. Porém tal abordagem limita a atuação dos agentes ao campo de trabalho (ambiente computacional) ligado à propriedade comportamental reproduzida no agente.

Outra característica positiva do modelo Tri-Coord+ está no fato de dispensar estruturas de gerenciamento ou monitoramento com atuação centralizadora que conduz, inevitavelmente, a gargalos computacionais.

Em função de comparações realizadas com outros Modelos podemos citar como vantagens do Modelo Tri-Coord+:

- Flexibilidade
- Dinamicidade
- Portabilidade
- Independência do tipo de agente computacional
- Possibilidade de monitoração/avaliação
- Justiça

As desvantagens observadas se resumem a:

- Requer um planejamento cuidadoso do conjunto de regras iniciais
- Requer intervenção humana em casos especiais
- É direcionado para o trabalho cooperativo
- Os agentes devem “respeitar o ambiente”

Como contribuições resultantes do presente trabalho podemos citar:

- Permitirá o estudo e análise de técnicas mais sofisticadas de interação entre agentes;
- Permitirá a expansão de trabalhos de pesquisa em ambientes cooperativos.

Finalmente, podemos concluir que o modelo Tri-Coord+ proposto permitirá o tratamento tanto de ambientes cooperativos, competitivos e até mesmo ambientes com alto grau de anarquia entre os agentes. A constante atualização do conjunto de Leis Sociais possibilita a adaptação dinâmica do ambiente em função da situação corrente ou das tarefas correntemente realizadas. Ao mesmo tempo temos a garantia da preservação da ordem no ambiente através do mecanismo de fiscalização e sanção imposto pelo agente especial executivo e finalmente temos o agente especial judiciário, encarregado de dirimir os conflitos não sobrecarregado de tarefas e em condições de responder aos eventuais conflitos em tempo satisfatório.

Acreditamos que o Modelo Tri-Coord+ apresenta uma solução independente de características peculiares dos agentes de tarefas para ambientes computacionais de enfoque colaborativo, pois provê um mecanismo eficaz na resolução de conflitos, além de supervisão, fiscalização e controle dos agentes de tarefas, somado a um mecanismo de auto-aprendizagem no sentido de prover uma adaptação dinâmica do ambiente em função das ações e processos correntes.

Novas capacidades podem ser adicionadas ao Modelo Tricoord+ pois sua estrutura permite a incorporação de diferentes estratégias e técnicas de resolução de conflito. No contexto de um projeto de engenharia distribuído, a resolução de conflitos através de negociação baseada em argumentação tem sido uma técnica muito utilizada (KARUNATILAKE et al., 2006, KASAS e MORAITIS, 2006), bastando, para isso, a adaptação do protocolo de comunicação entre os agentes projetistas.

Outra inovação ao Modelo Tricoord+ seria a implementação de estratégias de diálogo entre os projetistas baseada no trabalho de (AMGOUD e HAMEURLAIN, 2006) que poderia potencializar a solução espontânea do conflito sem a necessidade da intervenção dos Agentes Especiais.

APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE IMPLEMENTAÇÃO

1. Protótipo da aplicação: STRICOORD+

Este capítulo tem o objetivo de descrever o protótipo de implementação do Sistema Tricoord+ (STRICOORD+)

O STRICOORD+ foi implementado utilizando a técnica de modelagem de objetos Unified Modeling Language (UML).

1.1. Descrição do Sistema

O STRICOORD+ visa à automação das atividades realizadas por agentes projetistas durante a fase de design de um projeto de engenharia realizada de forma concorrente e distribuída.

A implantação do sistema tem como objetivo interligar os processos através da automação, proporcionando uma resposta mais rápida aos conflitos, evitando assim, excessiva perda de tempo, o que aumentará a eficiência da execução do projeto.

Atualmente, um dos grandes problemas na execução de um projeto de engenharia distribuído é a perda de tempo. Além dessa perda de tempo, a agência ainda apresenta outros problemas, que serão solucionados com a execução do projeto proposto. São eles:

- Divergência entre os projetistas
- Emissão de relatórios não confiáveis podendo ocorrer erros manuscritos.

O STRICOORD+ representa uma proposta para solucionar os problemas acima.

O STRICOORD+ tem as seguintes funcionalidades:

- Controle de Projetos;
- Controle de Projetistas

Com a utilização do STRICOORD+, uma organização ou empresa de engenharia terá, devido a automação das atividades utilizando a tecnologia de multiagentes:

- Agilização dos seus serviços;
- Maior segurança na manutenção de suas informações;
- Um ambiente de trabalho bem menos sujeito a erros;
- Um controle geral de todos os procedimentos da organização.

O Sistema tem por base o registro das especificações de um projeto de engenharia com o monitoramento dinâmico de todas as etapas e sub-produtos através dos agentes especiais do Modelo Tri-Coord+.

O Sistema possui os seguintes tipos de usuários: gerente, projetista.

1.2. Lista de Casos de Uso

Lista de Casos de Uso

I – Sequência de Operações de um Projeto já existente

Ator: Agente Projetista

01. Iniciar Agente Projetista
02. Abrir Projeto existente
03. Cadastrar Novo Parâmetro de projeto
04. Alterar Dados/Valor de parâmetro
05. Alterar Sequência de cálculo de parâmetros
06. Consultar parâmetros
07. Consultar conflitos
08. Finalizar Design
09. Impetrar recurso – 1^a instância
10. Impetrar recurso – 2^a instância

11. Participar audiência – 1ª instância
12. Participar audiência – 2ª instância
13. Participar votação – 2ª instância

Ator: Agente Executivo

14. Aceitar Resolução de Conflito

Ator: Agente Judiciário

15. Aceitar Resolução de Conflito – 1ª instância
16. Aceitar Recurso – 2ª instância
17. Aceitar resultado votação – 2ª instância

II – Sequência de operações – Projeto Novo

18. Cadastrar Novo Projeto
19. Cadastrar Novo Módulo
20. Cadastrar Projetista
21. Alocar projetista ao projeto

III – Sequência de operações eventuais

22. Cadastrar Novo Setor
23. Cadastrar Novo Cargo
24. Cadastrar Nova Regra

IV – Sequência de ações típicas do Agente Executivo

25. Identificar ocorrência de conflito
26. Selecionar regra para resolução de conflito
27. Finalizar tratamento de conflito (encerrado/recurso)

V – Sequência de ações típicas do Agente Judiciário

28. Iniciar sessão de julgamento – 1ª instância
29. Finalizar sessão de julgamento – 1ª instância
30. Iniciar sessão de julgamento – 2ª instância

31. Finalizar sessão de julgamento – 2ª instância

VI – Sequência de ações típicas do Agente Legislativo

32. Cadastrar nova regra de ambiente

33. Cadastrar nova regra de projeto

34. Executar Mineração de Dados sobre Histórico de Projetos

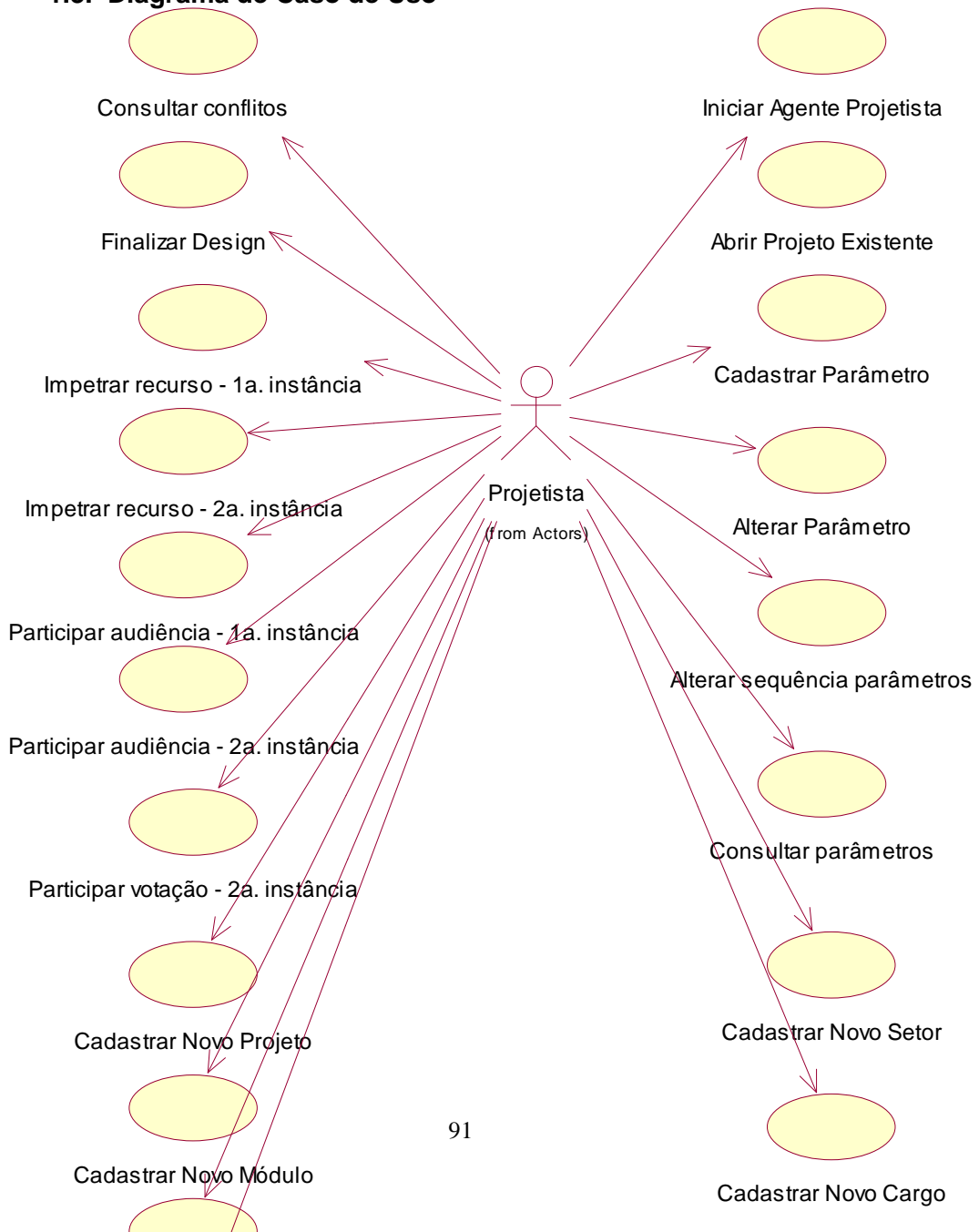
35. Confirmar inclusão de regras extraídas da Mineração de Dados

VII – Sequência de ações do Blackboard

36. Receber e tratar mensagem

37. Enviar mensagem

1.3. Diagrama de Caso de Uso



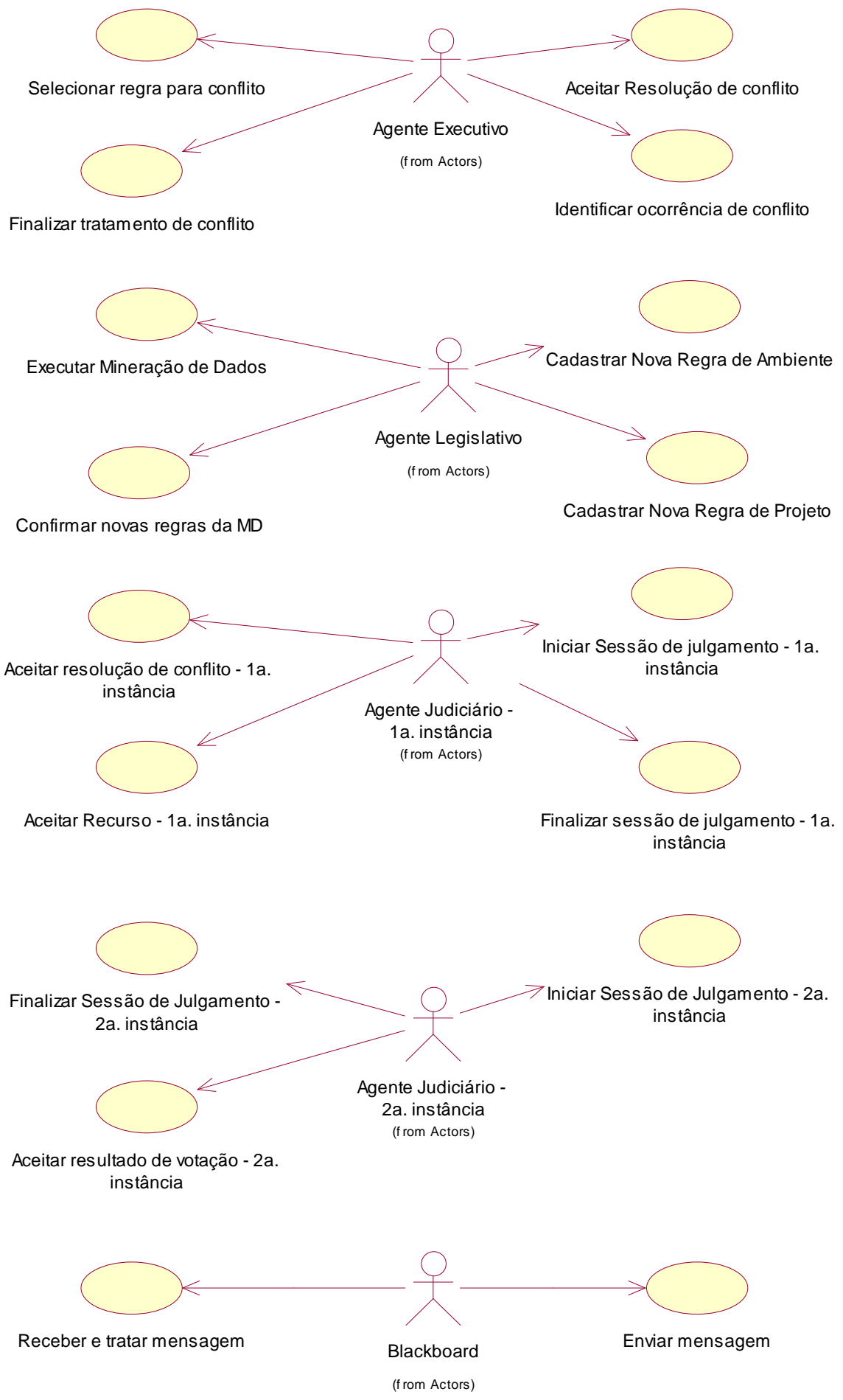


Figura 8: Diagrama de Caso de uso

1.4. Diagrama de Classes

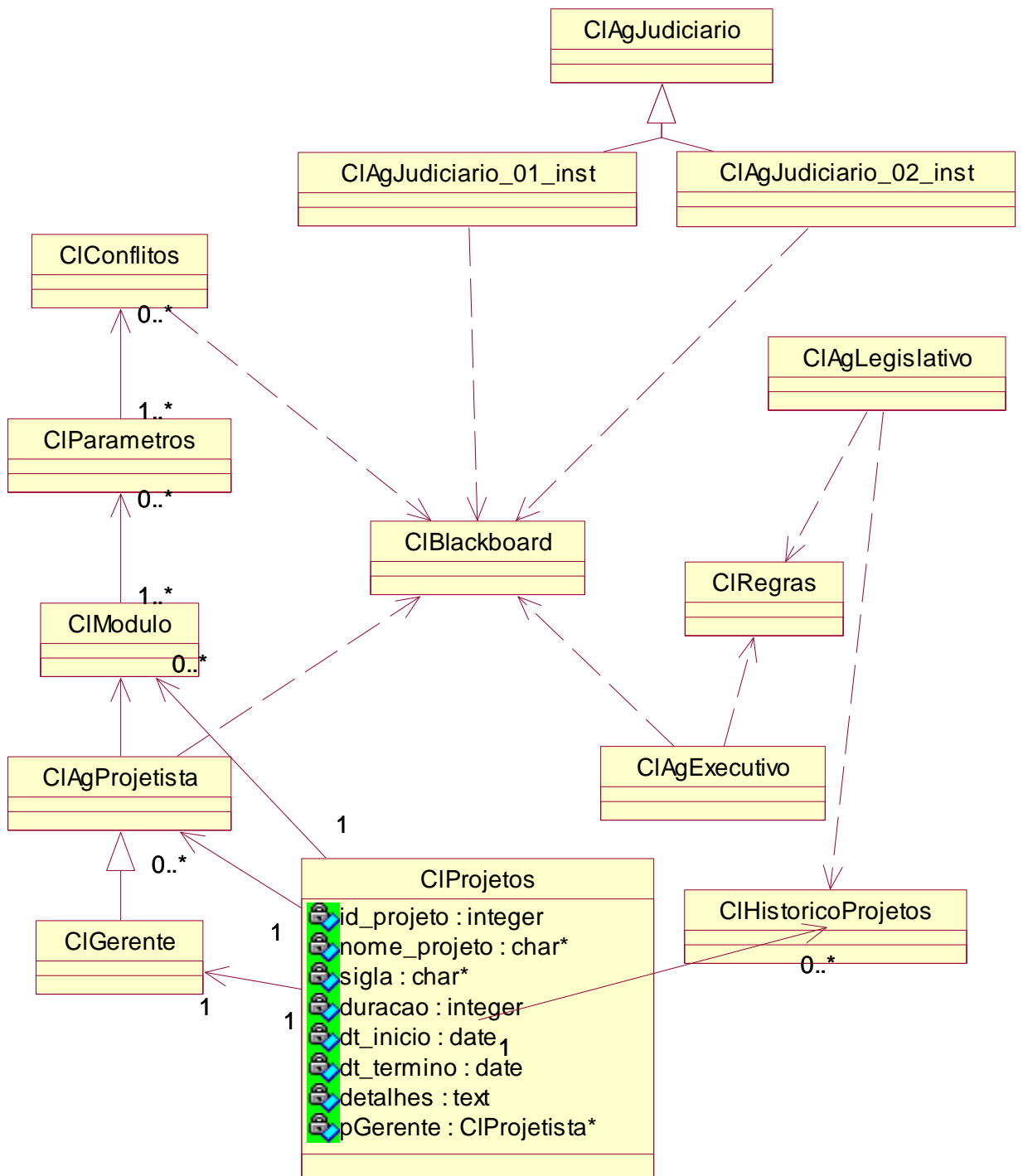


Figura 9: Diagrama de Classes

1.5. Tabela de Atores

Termo	Categoria	Descrição
Gerente	Ator	Pessoa responsável em cadastrar novos projetos e projetistas
Projetista	Ator	Pessoa responsável pela especificação dos parâmetros do projeto
Agente Executivo	Ator	Agente Especial responsável em monitorar a atuação dos agentes projetistas
Agente Legislativo	Ator	Agente Especial responsável em gerenciar o conjunto de regras a serem utilizadas no projeto.
Agente Judiciário	Ator	Agente Especial responsável em decidir situações de conflitos não resolvidos pelo Agente Executivo
Blackboard	Ator	Estrutura de dados utilizada para o compartilhamento de informações e mensagens

Tabela 3: Tabela de Atores

1.6. Tabela de Caso de uso

Nº	Requisitos do sistema	Casos de usos	Ator
1a	Efetuar Login do projetista	Iniciar Agente Projetista	Projetista
1b	Habilitar Módulos do projetista		
1c	Avisar demais projetistas		
2a	Carregar dados de projeto	Abrir Projeto existente	Projetista
2b	Habilitar módulos do projeto		
2c	Informar ao projetista sobre a operação		
2d	Habilitar opções de manutenção do projeto		
3a	Incluir parâmetro de projeto	Cadastrar Novo Parâmetro de projeto	Projetista
3b	Sinalizar possível conflito		
3c	Excluir parâmetro de projeto		
4	Alterar valor de parâmetro	Alterar Dados/Valor de parâmetro	Projetista
5a	Incluir novo parâmetro na sequência	Alterar Sequência de cálculo de parâmetros	Projetista

5b	Alterar parâmetro na sequência		
5c	Excluir parâmetro na sequência		
6a	Exibir consulta na tela	Consultar parâmetros	Projetista
6b	Imprimir relatório		
6c	Pesquisar parâmetro		
7a	Exibir consulta na tela	Consultar conflitos	Usuário
7b	Imprimir relatório		
7c	Pesquisar conflito		
8a	Efetuar logout do projetista	Finalizar Design	Projetista
8b	Avisar demais projetistas		
9a	Enviar msg Agente Judiciário	Impetrar recurso – 1 ^a instância	Projetista
9b	Enviar msg demais projetistas		
10a	Enviar msg Agente Judiciário	Impetrar recurso – 2 ^a instância	Projetista

10b	Enviar msg demais projetistas		
11a	Requisitar dados ao agente projetista-1	Participar audiência – 1 ^a instância	Projetista
11b	Requisitar dados ao agente projetista-2		
11c	Informar o resultado aos projetistas		
11d	Alterar o valor do parâmetro no BD.		
12a	Enviar mensagem aos agentes em conflito	Participar audiência – 2 ^a instância	Projetista
12b	Informar demais agentes sobre votação		
12c	Iniciar sessão de votação		
13a	Iniciar sessão de votação	Participar votação – 2 ^a instância	Projetista
13b	Informar resultado da votação		
13c	Alterar o valor do parâmetro no BD		
14	Agente projetista confirma o resultado	Aceitar Resolução de Conflito	Projetista
15a	Agente projetista confirma o resultado	Aceitar Resolução de Conflito – 1 ^a instância	Projetista

15b	Informar resultado aos demais projetistas		
15c	Alterar resultado no BD		
16a	Agente projetista envia recurso	instância	Aceitar Recurso – 2 ^a
16b	Agente Judiciário registra recurso		
16c	Informar demais agentes		
17a	Agente projetista aceita resultado	instância	Aceitar resultado votação – 2 ^a instância
17b	Agente Judiciário alterar valor do parâmetro no BD		
17c	Informar demais agentes		
17d	Registrar que o valor do parâmetro não poderá mais ser modificado.		
18a	Incluir projeto	Cadastrar Novo Projeto	Projetista
18b	Alterar projeto		
18c	Excluir projeto		
19a	Incluir módulo		Projetista

19b	Alterar módulo	Cadastrar Novo Módulo	
19c	Excluir módulo		
20a	Incluir projetista	Cadastrar Projetista	Projetista
20b	Alterar projetista		
20c	Excluir projetista		
21	Alocar projetista ao projeto	Alocar Projetista	Projetista
22a	Incluir Setor	Cadastrar Setor	Projetista
22b	Alterar Setor		
22c	Excluir Setor		
23a	Incluir Cargo	Cadastrar Cargo	Projetista
23b	Alterar Cargo		
23c	Excluir Cargo		
24 a	Incluir Regra	Cadastrar Regra	Projetista

24b	Alterar Regra		
24c	Excluir Regra		
25	Identificar conflito	Identificar ocorrência de conflito	Ag. Executivo
26	Selecionar regra para conflito	Selecionar regra para conflito	Ag. Executivo
27	Finalizar conflito	Finalizar tratamento de conflito	Ag. Executivo
28	Inicializar sessão – 1 ^a instância	Inicializar sessão – 1 ^a instância	Ag. Judiciário
29	Finalizar sessão – 1 ^a instância	Finalizar sessão – 1 ^a instância	Ag. Judiciário
30	Inicializar sessão – 2 ^a instância	Inicializar sessão – 2 ^a instância	Ag. Judiciário
31	Finalizar sessão – 2 ^a instância	Finalizar sessão – 2 ^a instância	Ag. Judiciário
32	Incluir nova regra de ambiente	Cadastrar Nova Regra de Ambiente	Ag. Legislativo
33	Incluir nova regra de projeto	Cadastrar Nova Regra de Projeto	Ag. Legislativo
34	Executar mineração de dados	Executar Mineração de Dados	Ag. Legislativo
35	Confirmar regras de mineração	Confirmar regras da mineração	Ag. Legislativo

36	Receber e tratar mensagem	Receber e tratar mensagem	Blackboard
37	Enviar mensagem	Enviar mensagem	Blackboard

Tabela 4: Tabela de Casos de Uso

1.7. Início de uma Sessão

- 1) Agente Projetista (Gerente) cria um Novo Projeto
- 2) Agente Projetista inicia uma sessão
- 3) Agente Projetista cadastra/altera parâmetro
- 4) Agente Executivo identifica o tipo de conflito
- 5) Agente Executivo dispara ação de resolução de conflito
- 6) Agente Projetista discorda da especificação arbitrada
- 7) Agente Judiciário realiza julgamento (1ª instância)
- 8) Agente Projetista discorda do resultado do julgamento
- 9) Agente Judiciário realiza julgamento do recurso (2ª instância)
- 10) Agente Projetista (Gerente) encerra o projeto
- 11) Agente Legislativo incorpora histórico e conhecimento do projeto realizado

2. S-TRICOORD+

2.1. Início de um Projeto

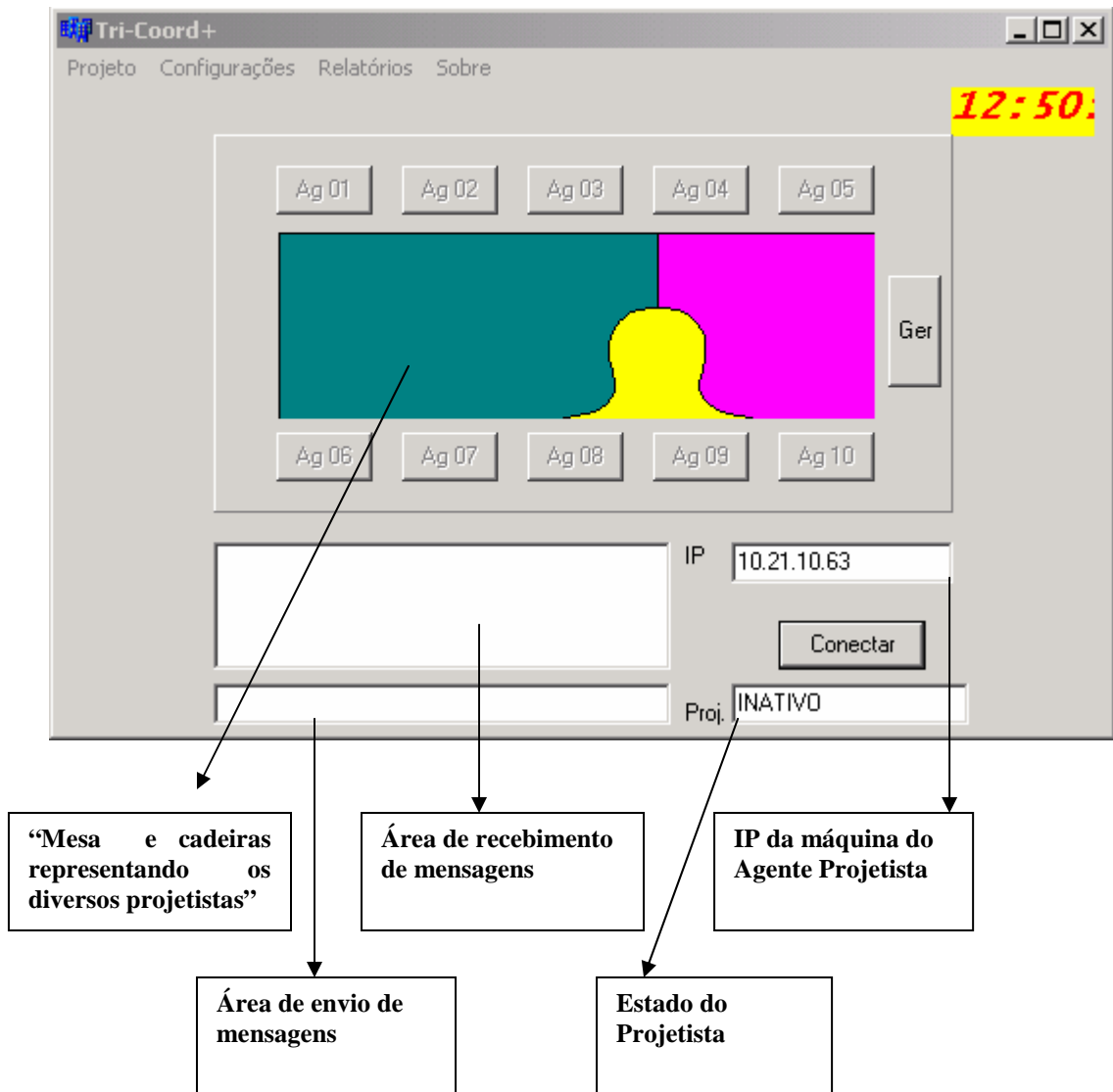


Figura 10: Tela Inicial do S-Tricoord+

A Figura 12 mostra a tela inicial do S-TRICOORD+. Nessa tela o engenheiro/projetista pode se logar, iniciar uma sessão e escolher qual o projeto em que deseja trabalhar.

Após escolher o módulo/projeto desejado, o engenheiro poderá visualizar os parâmetros de especificação que estão sob sua responsabilidade (Figura 13). É importante ressaltar que essa atividade pode ser feita simultaneamente entre os vários engenheiros/projetistas.

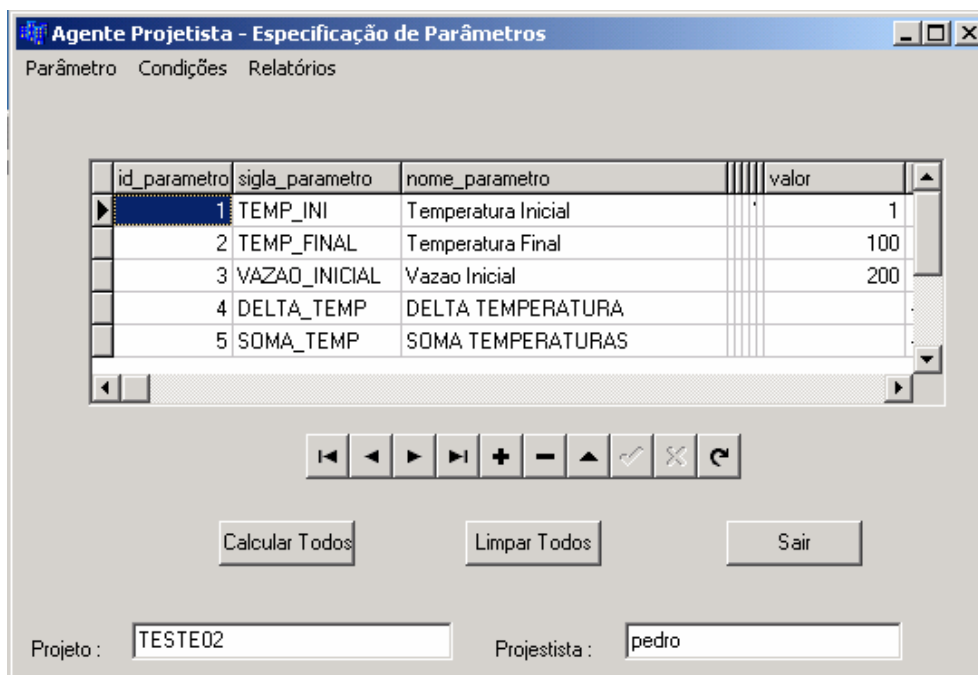


Figura 11 – Tela de Especificação de parâmetros

O engenheiro/projetista poderá cadastrar um novo parâmetro, alterar o valor de algum parâmetro já cadastrado ou ainda acrescentar ao seu módulo (subsistema) um parâmetro já previamente cadastrado.

As situações de conflito ocorrem quando um projetista altera o valor de algum parâmetro compartilhado por outros subsistemas ou quando simplesmente acrescenta algum parâmetro já cadastrado ao seu subsistema.

Quando um conflito é detectado devido à especificações divergentes dos diferentes engenheiros, o Agente Especial Executivo, após a detecção do referido conflito, inicia seus procedimentos para o tratamento e resolução do mesmo e todos os agentes envolvidos recebem mensagens relativa ao ocorrido.

Nesse primeiro nível de tratamento de conflitos, o Agente Executivo escolhe uma estratégia de tratamento, dentre as estratégias previamente disponibilizadas (e priorizadas), de acordo com o tipo do conflito detectado. (Figura 14)

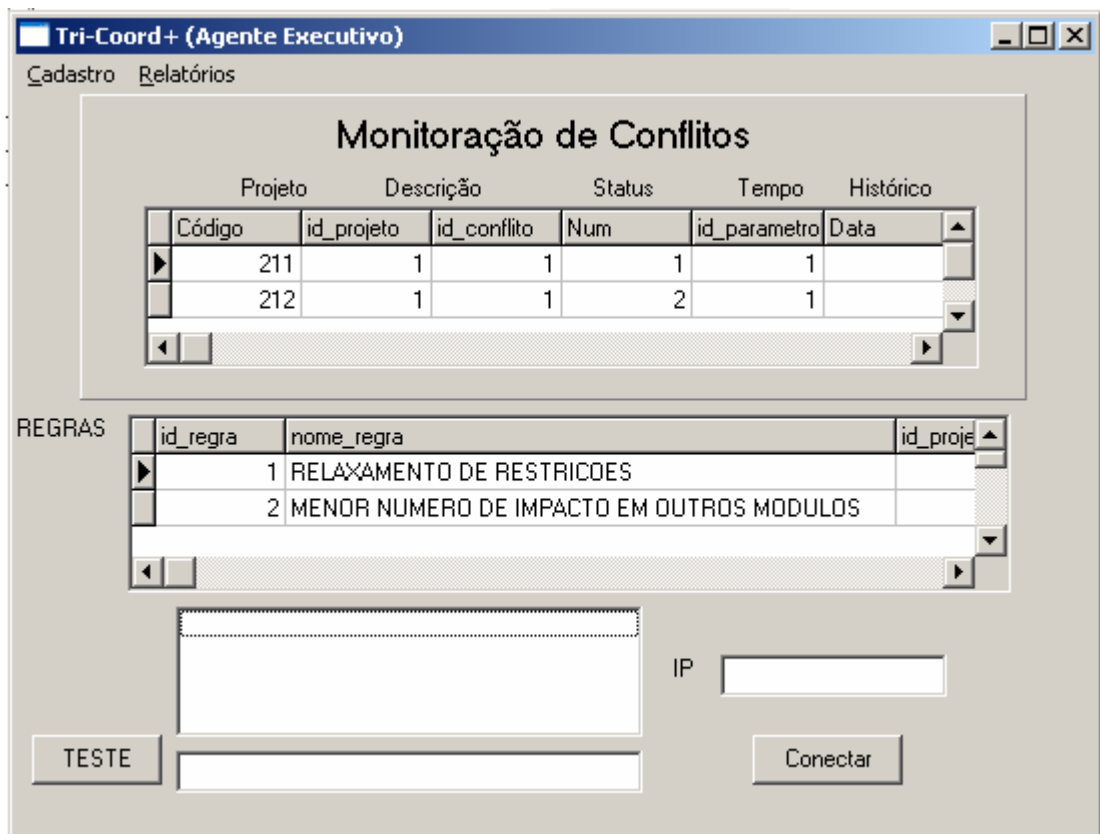


Figura 12: Agente Executivo

O Agente Judiciário é o responsável em decidir situações de conflitos oriundas de recurso interposto por algum agente projetista que não aceitou o resultado retornado pelo Agente Executivo. A solução arbitrada pelo Agente Judiciário leva em conta regras de solução de conflito previamente cadastradas como: prioridades dos módulos no projeto, data da especificação do parâmetro, número de impactos causados pelo valor do parâmetro em questão, etc. (Figura 15)

Tri-Coord+ (Agente Judiciário)

Atualiza

CONFLITOS PENDENTES:

ID_CONFLITO	ID_PARAMETRO	ID_PROJETO	ID_MODULO1	ID_MODULO2	VAR1	VAR2	VALOR_FINAL
1	1	1	0	0	55	50	

Agente A

Mod: Valor:

DATA ESP:

Agente B

Mod: Valor:

DATA ESP:

Solução

VALOR ARBITRADO: MEDIA
VALOR FINAL: 110

Conflito: Projeto: Parametro:

IP:

Figura 13: Agente Judiciário

Após a elaboração da sentença (solução do conflito), os agentes em questão são notificados do resultado, facultando, ainda, ao agente que teve seu pleito indeferido a possibilidade de um novo recurso (revisão de projeto) (Figura 16)

Judiciário - 2a. Instância

Agente A
 Par: Valor:

PERC. RELAXAMENTO:

Agente B
 Par: Valor:

PERC. RELAXAMENTO:

Votação

Ag 01 Ag 02 Ag 03 Ag 04

Ag 05 Ag 06 Ag 07 Ag 08

Resultado

Figura 14: Agente Judiciário – 2ª. instância

O Agente Legislativo é o responsável pelo gerenciamento das regras de tratamento de conflito e regras de design utilizadas. As regras podem ser inseridas via interface pelo usuário ou podem ser prospectadas via processo de Data Mining sobre a base de dados de projetos anteriores (a ser implementado). (Figura 16)

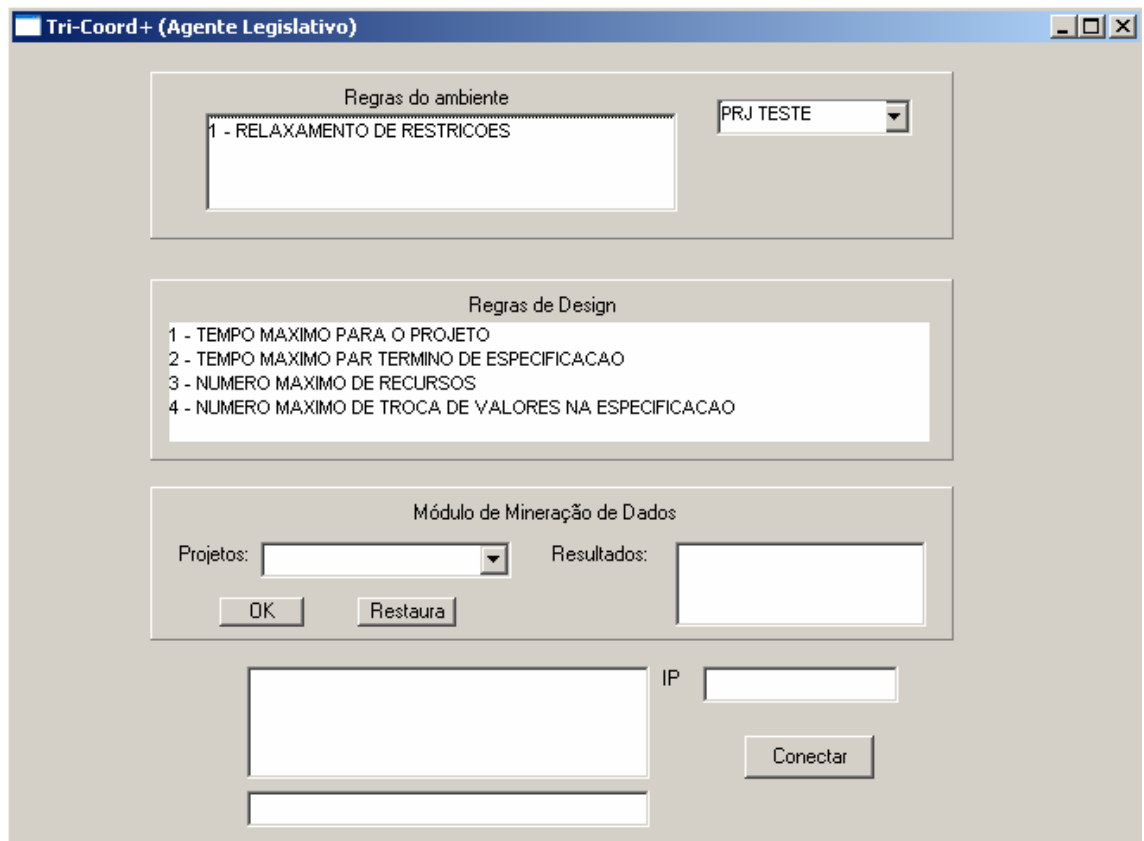


Figura 15: Agente Legislativo

O Blackboard funciona como uma estrutura de dados de área compartilhada para mensagens.

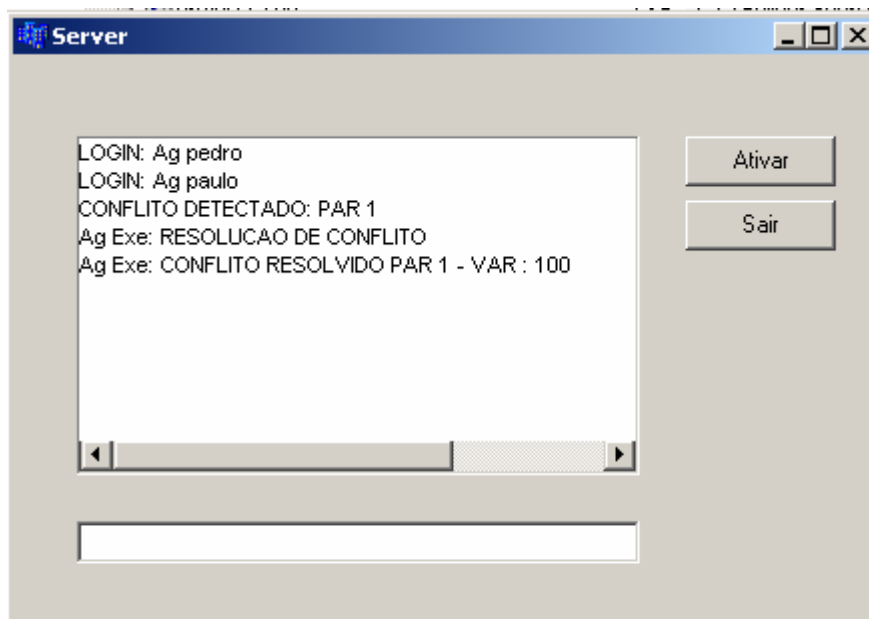


Figura 16: Blackboard

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, L. O.; SICHMAN, J. S., 1997. *Introdução aos Sistemas Multiagentes*. In: JAI, XVII Congresso da SBC, Brasília (DF).

AMGOUD, L., HAMEURLAIN, N., 2006. *A formal model for designing dialogue strategies*, AAMAS-2006, Proceedings on Agent Communication - 2006, Japan, pp. 414-416, May.

BARBER, K.S., LIU, T.H.. and HAN, D.C., 2000. *Strategic Decision-Making for Conflict Resolution in Dynamic Organized Multi-Agent Systems*, University of Texas at Austin, in GDN 2000, PROGRAM 2000.

BOND, A.H. and GASSER, L., 1988. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, San Mateo (CA).

BUCCICARELLI, L.L., 1988. *An ethnographic perspective on engineering design*. *Design Studies* 9(3): 159-168.

CARLEY, K.M., PRIETULA, M.J., 1998. *Webbots, Trust and Organizational Science*. AAI Press/The MIT Press.

CASTELFRANCHI, Cristiano, 2001. *Modeling Social Action for AI Agent*, *Artificial Intelligence*, N°103, pp.157-182.

CHAIB DRAA, Braim, 2002. *Causal Maps: Theory, Implementation and Practical Application in Multiagent Environments*, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 14, No. 6..

CONTE, R., FALCONE, R. and SARTOR, G., 1999. *Special issue on Agent and Norms*, *Artificial Intelligence and Law*, 7 (1), March, 1999.

DASTANI, M., RIEMSDIJK, M., MEYER, J.J., 2006. *Goal Types in Agent Programming*, AAMAS-2006, Proceedings on Agent Communication - 2006, Japan, pp. 1285-1287, May.

DEMAZEAU, Yves & MÜLLER, Jean-Pierre, 1990. *Decentralized Artificial Intelligence*. Proceedings of the First European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World. Cambridge: North-Holland.

DELLAROCAS, Chysanthos and KLEIN, Mark, 2001. *Civil agent societies: Tools for inventing open agent-mediated electronic marketplaces*, MIT Press.

ELLIS, C.A. , GIBBS, S.J. and REIN, G.L., 1991. *Groupware: some issues and experiences*, Communications of the ACM, January 1991, Vol. 34 – No. 1.

GARCIA, A. C.B., 1997. *ADDVAC: Applying Active Design Documents for the Capture, Retrieval and Use of Rationale During Offshore Platform VAC Design* ,National Conference on Artificial Intelligence.

GREENBERG, S., 1991. *Computer-supported cooperative work and groupware: an introduction to the special issues*. International Journal of Man-Machine Studies vol 34, pp. 133-141.

GREENBERG, S., 1991. *Personalizable groupware: Accommodating individual roles and group differences*. Proceedings Second European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, ed. Bannon, L., Robinson, M. & Schmidt, K., Set 1991, pp. 17-31.

GRUDIN, J., 1991a. *CSCW: The Convergence of Two Development Contexts* - Proc. HCI '91, New Orleans, pp. 91-97., Abril/Maio 1991.

GRUDIN, J., 1991b. *Obstacles to user involvement in software product development, with implications for CSCW* - Int. Journal of Man-Machine Studies, vol. 34.

GRUDIN, J., 1994. *Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus* - Computer, maio/1994.

HAYES-ROTH, B., 1995. *An architecture for adaptive intelligent systems*, Artificial Intelligence, Volume 72.

JARVENPAA, S.L. and LEIDNER, D.E., 1998. *Communication and trust in Global Virtual Teams*. *Journal of Computer Mediated Communication* 3(4).

JENNINGS, N.; WITTIG, T. ,1992. *ARCHON: Theory and Practice*, in Avouris, N. M. and Gasser, L., Eds. *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis*, pages 179-195. Kluwer Academic Press.

JENNINGS, N.; WOOLDRIDGE, 1998. *M. Agent Technology - Foundations, Applications, and Markets*. Springer-UNICOM.

JENNINGS, N. and CAMPOS, J.R., 1998. *Towards a Social Level Characterisation of Socially Responsible Agents*, IEEE Proceedings on Software Engineering, 144 (1), pp. 11-25.

JIANG, T. and NEVILL, G.E., 2001. Conflict Cause Identification in Web-Based Concurrent Engineering Design System, Vol. 10, No. 1, pp. 15-25.

JUNG, H. and TAMBE, M., 2000. *Towards Argumentation as Distributed Constraint Satisfaction*. Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents, ACM Press, pp. 324-331.

KARUNATILAKE, N., JENNINGS, N., RAHWAN, I., RAMCHURN, S.D., 2006. *Managing Social Influences through Argumentation-Based Negotiation*, AAMAS-2006, Proceedings on Agent Communication - 2006, Japan, pp. 426-428, May.

KASAS, A., MORAITIS, P., 2006. *Adaptive Agent Negotiation via Argumentation*, AAMAS-2006, Proceedings on Agent Communication - 2006, Japan, pp. 384-391, May.

KRAUS, S., 2000. *Strategic Negotiation in Multiagent Environments*. The MIT Press.

LIPNACK, J. and STAMPS, J., 2000. *Virtual teams: People working across boundaries with technology*. New York, John Wiley & Sons.

LIU, T.H. and others, 1998. *Classification and Representation of Conflict in Multi-Agent Systems*, Technical Report, University of Texas, Jan/1998.

LUGO, G., SICHMAN, J. and HUBNER, J., 2001. *Representação e Evolução de Esquemas Sociais em SMA: um enfoque funcional*. Anais do ENIA'2001 - XXI Congresso da SBC. Fortaleza, CE

MAES, P., 1994. *Modeling Adaptive Autonomous Agents*. Artificial Life Journal, v.1, n. 1&2, p.135-162. MIT Press.

MACGREGOR, S.P., THOMSON, A.I. and JUSTER, N.P., 2001. *Information sharing within a distributed, collaborative design process: a case study*. ASME Design Engineering Technical Conferences, Pittsburg, Pennsylvania.

MALHEIRO, B. and OLIVEIRA, E.,1999. *Relatório Técnico Anual :Metodologias para Resolução de Conflitos de Crença*, Nucleo de Inteligencia Artificial Distribuida & Robotica, Faculdade de Engenharia,Universidade do Porto, Portugal.

MARSH, J.R., 1997. *The capture and utilisation of experience in engineering design*. PhD Thesis, Department of Engineering. Cambridge University, Cambridge, UK.

MARTINELLI, D.P., ALMEIDA, A P., 1998. *Negociação e solução de conflitos: do impasse ao ganha-ganha através do melhor estilo*. São Paulo: Editora Atlas.

MATTA, N., 1996. *Conflict Management in Concurrent Engineering: Modeling Guides*, Proceedings of ECAI'96 Workshop on Modelling conflicts in AI, H.J. Muller,R. Dieng (Eds), Budapest, August 1996.

MOULIN, B. and CHAIB-DRAA, B. 1996. *An Overview of Distributed Artificial Intelligence*. In G.M.P. O'Hare and M.R. Jennings (Eds.): Foundations of Distributed Artificial Intelligence. John Wiley, New York, NY, USA.

OLIVEIRA, F.M., 1996. *Inteligência Artificial distribuída*. In: IV ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA, Londrina-Itajaí-Canoas, Brasil, Abril 1996.

PLACCA, J.A., 1999. *Um Modelo Multiagente descentralizado em ambientes fechados baseado em Leis Sociais*, Dissertação de Mestrado, IC/UFF, Niterói, RJ, Brasil.

PLACCA, J.A. and GARCIA, A.C.B., 2001. A Multiagent System Applied to the Design of Petroleum Off-Shore Platforms, Proceedings of the 3rd International Conference on Enterprise Information Systems, Setubal, Portugal, July 7-10, 2001

PLACCA, J.A., GARCIA, A.C.B. and DUTRA, I.C., 2004. Um Modelo de resolução de conflitos em Sistemas Multiagentes aplicado ao projeto de plataforma off-shore de petróleo, 20o. Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA – 2004 – Rio de Janeiro/RJ.

PLACCA, J.A., 2006. Tricoord+ : An Extension of the Tricoord Model for conflict resolution in Multiagent Systems based on Social Laws, Doctoral Symposium of the 8th International Conference on Enterprise Information Systems, 2006, Paphos.

PUGLIESI, M.. 2001. *Conflito, estratégia e negociação*. São Paulo, Editora WVC.

PYNADATH, D.V. and TAMBE, M.,2002. *The Communicative Multiagent Team Decision Problem: Analyzing Teamwork Theories and Models*, Journal of Artificial Intelligence Research, 16, 2002, pp.389-423.

QUATERMAN, J., 1990. *The matrix: computer networks and conferencing systems worldwide* - Bedford, MA: Digital Press.

RAO, A .S., GEORGEFF, M.P., 1991. *Modeling Rational Agents within a BDI – Architecture* – Proceedings of the International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, pp. 473-484, Morgan Kaufmann Press.

RASMUSSEN, L. ,2000. *Decentralized coordination for open distributed systems*, Swedish Institute of Computer Science.

ROCHA, A. P. C., 1994. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

SANDHOLM, T., 1999. *Distributed Rational Decision Making*. In: Weiss, G. (ed.): *Multiagent Systems A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT press, pp. 201.

SATHI, A . and FOX M.S., 1989. *Constraint-directed Negotiation of Resource Reallocations*. In *Distributed Artificial Intelligence II*, Gasser, L. and Huhns, M.N. Eds. (London: Pitman Publishing), 163-193.

SHOHAM, Y., TENNENHOLTZ, M., 1996. *On social laws for artificial agente societies: off-line design*, Artificial Intelligence Magazine, Vol. 73, No 1-2, pp. 231-252.

SICHTMAN, J.; DEMAZEAU, Y.; BOISSIER, O., 1992. *When can knowledge-based systems be called agents?* In XII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, IX Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, p. 172-185.

SICHTMAN, J.S., 1995. *Du Raisonement social chas les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance*. Tese de doutorado. Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle, Institut National Polytechnique de Grenoble, Set/1995.

SICHTMAN, J.S., DEMAZEAU, Y. ,2001. *On Social Reasoning in Multiagent Systems*. Revista Ibero-Americana de Inteligncia Artificial, 13, 68-84.

SMITH, R.G. and DAVIS, R. 1983. *Negotiation as a metaphor for distributed problem solving*. In *Artificial Intelligence*. v. 20, pp.63-109.

SYCARA, K. P., 1991. *Cooperative Negotiation in Concurrent Engineering Design, Computer aided cooperative product development*, Proceedings of MIT-JSME workshop, D. Sriram, R. Logcher, S. Fukuda (Eds), Cambridge, MA.

TOMINAGA, P., 1996. *Processo de Negociação em Sistemas Multi-Agentes: Modelagem e Análise com Redes de Petri*. CPGCC / DCC / ICE / Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado.

YAN Y., LIU P., ZHENG D., MA CHANGCHAO, JURGEN B., REN S., 1996. Tsinghua University, Beijing, China, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Oct., pp. 14-17.

WANYAMA, T., FAR, B., 2005. *A Multi-agent framework for conflict analysis and negotiation: Case of COTS selection: Software Agent and its Applications*, IEICE transactions on information and systems, vol. 88, no. 9, pp. 2047-2058.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, 1996. N. Software Agents. IEE Review, pp.17-20.

ZHANG, C., BELL, D. A. , 1991. *HECODES: A Framework of HEterogeneous COoperative Distributed Expert System*, Data & knowledg Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 251-273, May.