

3 Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta os trabalhos que estão relacionados à linha de pesquisa desta dissertação. São apresentadas brevemente sete abordagens de governança de sistemas multi-agentes relacionadas com o trabalho de (Paes, 2005a), no qual esta dissertação se baseia. Além disso, são apresentados outros trabalhos que, de maneira indireta, se relacionam com o tema aqui abordado. No final do capítulo, esses trabalhos são analisados em relação às limitações que esta dissertação pretende atacar.

3.1. **ISLANDER: um Editor de Instituições Eletrônicas**

O trabalho de (Cruz, 2001; Esteva et al., 2002; Esteva, 2003; Esteva et al., 2001) apresenta o ISLANDER Editor, uma ferramenta para a especificação e verificação de instituições eletrônicas para a regulação de interações em Sistemas Multi-Agentes abertos. A ferramenta permite a combinação de especificação gráfica com textual, baseada em uma linguagem declarativa textual para a especificação dos componentes das instituições e a verificação das instituições.

As instituições eletrônicas definem as interações válidas, os papéis participantes e as normas que regularão as interações (Esteva, 2003; Esteva et al., 2001). Os elementos que definem as instituições eletrônicas são conceituados em um modelo formal, no qual é fundamentada a linguagem declarativa chamada ISLANDER, que é usada pela ferramenta de edição e verificação. Além disso, esse trabalho apresenta um mecanismo de software que verifica se as normas estão sendo cumpridas.

O modelo conceitual é independente de arquitetura e de linguagem, além de identificar quatro elementos básicos em uma instituição eletrônica:

- 1- *Dialogic frameworks* - define as mensagens que podem ser trocadas pelos agentes, os papéis participantes e seus relacionamentos. Para isso é proposto o uso de ontologias (vocabulários) para representar o domínio,

e de uma linguagem comum de conteúdo, para expressar a comunicação entre os agentes, que podem ter sua linguagem própria e ontologia.

- 2- *Cenas* - definem a conversação, ou seja, um conjunto específico de interações entre papéis de agentes, formalizados por um protocolo de comunicação bem definido, que especificam em que momento (estado) do protocolo os papéis de agentes podem entrar ou deixar a cena.
- 3- *Estruturas performativas* - expressam os relacionamentos entre múltiplas cenas, possivelmente concorrentes, definindo regras que restringem a navegação dos agentes pelas cenas. Ou seja, quais cenas podem ser atingidas por quais papéis de agentes.
- 4- *Normas* - governam a organização, definindo os compromissos, obrigações e direitos dos agentes participantes das interações. As normas representam as conseqüências das ações dos agentes, que podem ser a aquisição de obrigações ou de permissões de atuação nas cenas.

Essa abordagem não pode forçar os agentes – que são autônomos e podem ser desenvolvidos por outras pessoas – a cumprirem suas obrigações. Entretanto, a instituição eletrônica sabe quais são as obrigações adquiridas de cada agente e quando um agente deixou de cumprir uma norma, o que a permite restringir as ações dos agentes que violaram as normas.

A especificação de uma instituição eletrônica é feita de maneira textual, de acordo com a linguagem declarativa textual – ISLANDER - proposta nesse trabalho. Porém, o protocolo da cena, o relacionamento entre papéis e a estrutura performativa são representados através de grafos, já que essa abordagem é mais adequada ao entendimento humano. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta de edição, chamada ISLANDER Editor, que combina a especificação textual com a gráfica para facilitar o trabalho do projetista da instituição. Veja um exemplo de especificação em ISLANDER na Figura 3-1.

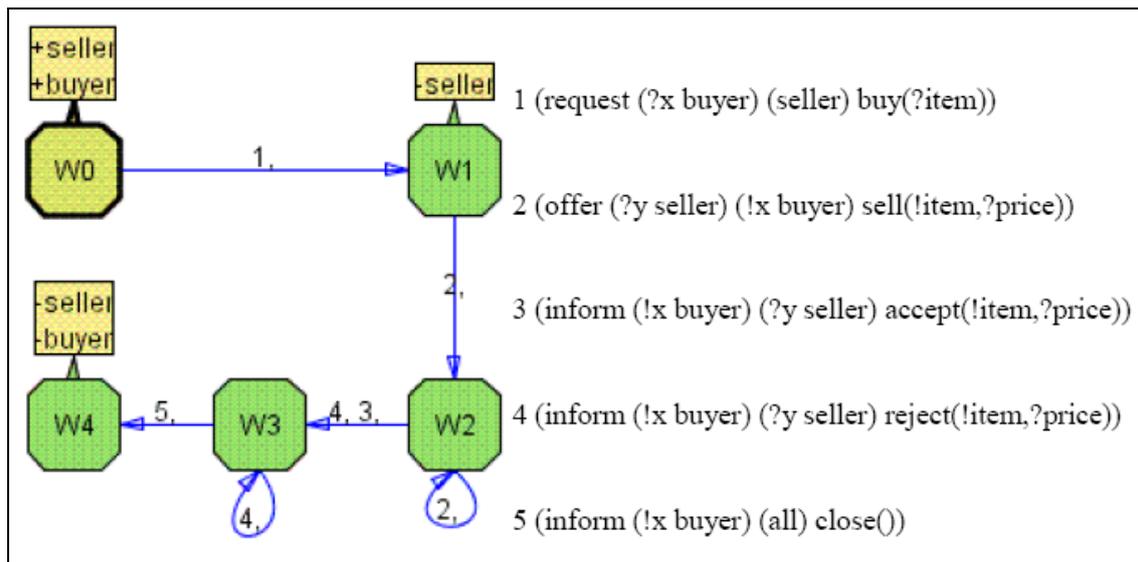


Figura 3-1 - Cena simples de Compra/Venda de produto (Esteva, 2003)

Além de permitir a especificação das instituições eletrônicas, o editor permite também um conjunto de verificações, para validar se a especificação está correta. Para isso, as seguintes propriedades são avaliadas:

- 1- *Integridade* – todos os elementos referenciados devem estar especificados.
- 2- *Liveness* – os agentes não ficarão bloqueados indefinidamente; sempre poderão atingir a cena final e sair da instituição.
- 3- *Corretude do Protocolo* – o protocolo está sintaticamente correto, ou seja, o grafo do protocolo está conectado, o estado inicial não é alcançado após se ter saído dele, o estado final não possui arcos de saída e os tipos das variáveis estão bem definidos.
- 4- *Corretude das Normas* – os agentes podem cumprir as normas especificadas.

Esse trabalho propõe também um mecanismo de software para verificar se as normas estão sendo cumpridas. O mecanismo de software possui módulos que controlam a entrada dos agentes na instituição e nas cenas, e propõe, para cada agente, um controlador (*governor*), que fornecerá o suporte necessário para a participação nas interações.

De acordo com (Paes, 2005a), a principal diferença desse trabalho para a abordagem de leis em que esta dissertação se baseia está no modelo conceitual, pois para a especificação das interações são utilizados conceitos diferentes, com

diferentes comportamentos. O trabalho em questão não trata a comunicação entre os elementos do modelo conceitual através do uso de eventos, o que possibilitaria maior expressividade na combinação de elementos, como a ativação e desativação de normas sensíveis ao tempo.

Análise

Esse trabalho provê uma linguagem declarativa textual para especificação das instituições. A ferramenta combina essa linguagem textual com elementos gráficos para a geração da especificação dos elementos reguladores. No entanto, ele não provê explicitamente uma linguagem gráfica, com um conjunto de diagramas que permitam abstrair diferentes perspectivas dos elementos reguladores das interações. Os gráficos para especificar os protocolos e outros elementos de regulação das instituições não são baseados em uma linguagem padrão mundialmente conhecida, como é o caso da UML.

3.2.

LGI: Interação Governada por Lei

Esse trabalho (Minsky e Ungureanu, 2000; Minsky, 2005; LGI, URL, 2005) propõe um mecanismo, chamado LGI (Interação Governada por Lei), para a coordenação de sistemas heterogêneos e distribuídos onde as diferentes partes que participam das interações podem ser projetadas e construídas de maneira independente e muitas vezes com pouco ou nenhum conhecimento umas das outras.

O LGI é um modo de interação que permite que um grupo de agentes distribuídos possa interagir entre si com a garantia de que estão seguindo um conjunto de regras de coordenação explicitamente definido.

Essa abordagem foi proposta com base em um conjunto de princípios que deve ser satisfeito. Os princípios são os seguintes:

- 1- *O mecanismo deve garantir o cumprimento da política de coordenação.*
Dado que os membros do grupo que participam das interações podem ter sido *implementados* de maneira independente, deve haver uma maneira de garantir o cumprimento (*enforcement*) das regras.
- 2- *O mecanismo de aplicação das regras deve ser descentralizado.* Esse princípio está relacionado à escalabilidade, já que esses sistemas podem crescer com a entrada de novos membros, e deve-se evitar o risco de se introduzir um perigoso ponto de falha no caso de um mecanismo centralizado.
- 3- *A política de coordenação deve ser separada do mecanismo de coordenação.* Isso significa que as políticas de coordenação devem ser especificadas de maneira explícita e formal, de modo a permitir que todos os membros que participam de uma interação adotem o mesmo conjunto de regras, especificada por uma linguagem padrão.
- 4- *Deve ser possível realizar a implantação e a aplicação das regras de maneira incremental.* Se a implantação não puder ser feita de maneira incremental, sem impactar as partes do sistema que não operam sob a lei, dificilmente essa abordagem seria usada em sistemas de larga escala.

O modelo conceitual identifica como elementos básicos de uma LGI: o grupo de agentes; as leis que regem as interações dentro do grupo, definidas

explicitamente; um conjunto de estados de controle relativos aos agentes, sujeitos à dinâmica da lei; o conjunto de mensagens trocadas entre os agentes; um conjunto de eventos regulados pelas leis, como a chegada de uma mensagem; e as operações primitivas que ocorrem como consequência dos eventos regulados.

A especificação da lei pode ser feita em uma linguagem baseada em Prolog (Bowen, 1979; Colmerauer e Roussel, 1992) ou em uma linguagem baseada em Java (Java, URL, 2007). Trata-se de uma especificação textual, que é interpretada pelo *middleware* Moses (LGI, URL, 2005), responsável pela aplicação das leis. Veja um exemplo de especificação de lei em LGI na Figura 3-2.

```
law(pingpong,language(prolog)).
sent(X,ping(M),Y):-not(pingTo(Y)@CS),do(add(pingTo(Y))),do(forward).
arrived(X,ping(M),Y):-do(add(pingFrom(X))),do(deliver).
sent(X,pong(M),Y):-pingFrom(Y)@CS,do(remove(pingFrom(Y))),do(forward).
arrived(X,pong(M),Y):-do(remove(pingTo(X))),do(deliver).
disconnected:-do(quit).
```

Figura 3-2 – Versão Prolog da lei de Ping-Pong em LGI ¹

Esse sistema é formado pelos seguintes componentes: controladores, secretárias e interfaces entre agentes. Os principais componentes de mediação são os controladores, agentes de confiança que garantem o cumprimento da lei, realizam a mediação descentralizada da interação e são associados aos agentes que interagem. A Figura 3-2 mostra um exemplo de interação LGI. As secretárias auxiliam na gerência dos grupos de agentes e as interfaces permitem o envio de mensagens.

¹ <http://www.moses.rutgers.edu/examples/pingpong/Pingpong.law>

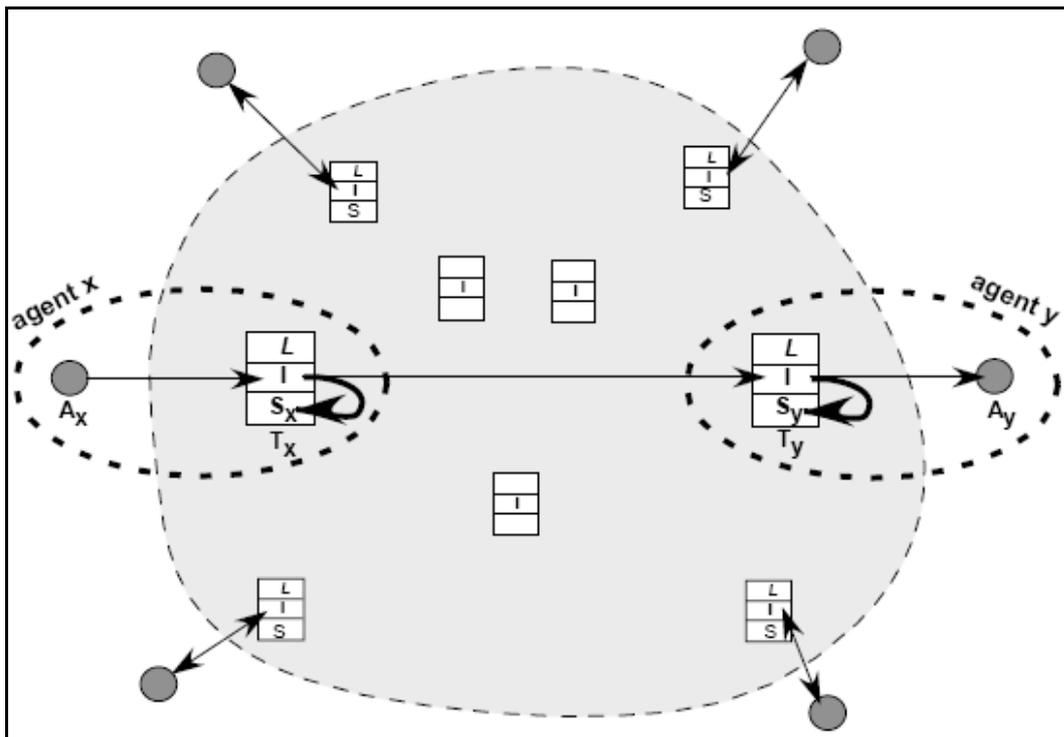


Figura 3-3 - Interação LGI (Minsky, 2005). ²

Semelhante à abordagem de leis apresentada em (Paes, 2005a), esse trabalho propõe um modelo conceitual de leis, possivelmente sensíveis ao tempo, definido através de uma linguagem declarativa, e externo ao Sistema Multi-Agentes por ele governado. Além disso, o trabalho em questão apresenta um mecanismo de software mediador para a interceptação das mensagens e verificação de conformidade das mesmas em relação às leis.

A principal diferença entre esse trabalho e o de (Paes, 2005a) está no mecanismo de software, que utiliza uma abordagem descentralizada para mediação. Essa abordagem permite uma mediação mais escalável, aumentando, porém, o trânsito de mensagens entre os agentes. Além disso, o modelo conceitual possui algumas diferenças em relação ao proposto em (Paes, 2005a), como a não especificação das cenas e o fato do protocolo não ser baseado em uma máquina de transição de estados.

² Atores, representados por círculos, interagindo na internet (nuvem sombreada) através de seus *controladores* privados (caixas), operando dentro da lei L. Agentes são representados por elipses pontilhadas que englobam pares de ator/controlador. As setas finas representam mensagens e as largas, modificação de estado.

Análise

Esse trabalho propõe duas linguagens declarativas textuais baseadas em Prolog ou Java para especificação das leis que governam as interações, mas não define a notação para a especificação dos elementos de lei.

3.3. Modelagem de Organizações Eletrônicas

Esse trabalho (Vazquez Salceda e Dignum, 2003) argumenta que uma *instituição eletrônica* consiste de padrões abstratos que regulam as interações, e que organizações *eletrônicas* são construídas de acordo com esses padrões. Ele foca em como uma *organização* deve ser especificada de acordo com os padrões abstratos dados pela *instituição eletrônica* na qual ela se baseia. Ou seja, como se deve definir uma relação formal entre as *normas abstratas*, especificadas nos *estatutos e regulamentações* da *instituição*, e as *regras concretas e procedimentos* da organização, na qual os agentes interagem, de maneira a permitir as interações reguladas pelas normas e punições no caso de violações.

O artigo argumenta que as outras abordagens ou trabalham em um nível baixo de abstração, com políticas e procedimentos, ou em um nível alto, com especificações formais, como a lógica deôntica (Stanford Encyclopedia of Philosophy, URL, 2006). Níveis de abstração mais baixos permitem uma implementação fácil, mas de difícil verificação de correteude em relação às regulamentações originais. Níveis de abstração mais altos se aproximam das regulamentações originais, facilitando a verificação de correteude, mas não indica como as normas devem ser checadas na instituição.

Como proposta de solução, é apresentado o *framework HarmonIA*, que define uma estrutura multi-nível, do nível mais abstrato do sistema normativo até a implementação final da organização, relacionando os níveis através de transformações. São, ao todo, quatro níveis:

- 1- *Nível Abstrato*: estatutos e normas abstratas. Utiliza uma linguagem baseada na lógica deôntica, chamada *ANorms*, para especificar as normas abstratas.
- 2- *Nível Concreto*: políticas e normas concretas. Utiliza uma linguagem igual à *ANorms*, mas de diferentes predicados, chamada *CNorms*, para especificar as normas concretas.
- 3- *Nível de Regras*: refinamento das políticas e das normas concretas. Utiliza lógica dinâmica proposicional (Meyer, 1988.), uma redução da lógica deôntica, para representar ações e restrições de tempo.

- 4- *Nível de Procedimentos*: implementação (computacional) das políticas e das normas concretas de uso pelos agentes. Sugere a criação de um interpretador de regras, a ser incorporado pelos agentes que irão interagir na organização, ou a tradução das regras para procedimentos (protocolos) que devem ser seguidos pelos agentes.

Assim como a abordagem de (Paes, 2005a), esse trabalho propõe tanto a modelagem conceitual explícita das normas que regularão as interações, quanto a implementação concreta dos procedimentos que deverão verificar o cumprimento dessas normas.

Contudo, esse trabalho não apresenta explicitamente no seu modelo conceitual elementos como papéis e cenas, nem implementa o nível mais concreto de verificação das normas, deixando apenas sugestões de como essa implementação deve ser feita.

Análise

Essa abordagem propõe o uso iterativo e incremental de uma linguagem baseada em lógica deôntica para a especificação das regras que regem as interações. Contudo, ela não permite que essa especificação seja feita baseada em uma linguagem gráfica.

3.4.

Um Modelo de Quase Tudo: Estrutura de Normas e Ontologias em Organizações de Agentes

Esse trabalho (Dignum, V. et al, 2004) propõe o *framework* OMNI (*Organization Model for Normative Institutions* ou Modelo de Organização para Instituições Normativas), para a modelagem de organizações de agentes. Esse framework permite o balanceamento dos requisitos globais da organização com a autonomia dos agentes individuais. Ele se aplica a Sistemas Multi-Agentes abertos ou fechados, além de permitir a especificação dos objetivos globais do sistema independentemente dos objetivos individuais dos agentes do sistema.

Nessa abordagem, a estrutura da organização de agentes leva em consideração tanto as normas de regulação de interações quanto o significado das interações. Para isso, ele provê um modelo (Figura 3-3) de três dimensões – Normativa, Organizacional e Ontológica – e de três níveis – Abstrato, Concreto e de Implementação –, baseado, entre outros, no HarmonIA (Vazquez Salceda e Dignum, 2003), que foi visto na seção 3.3.

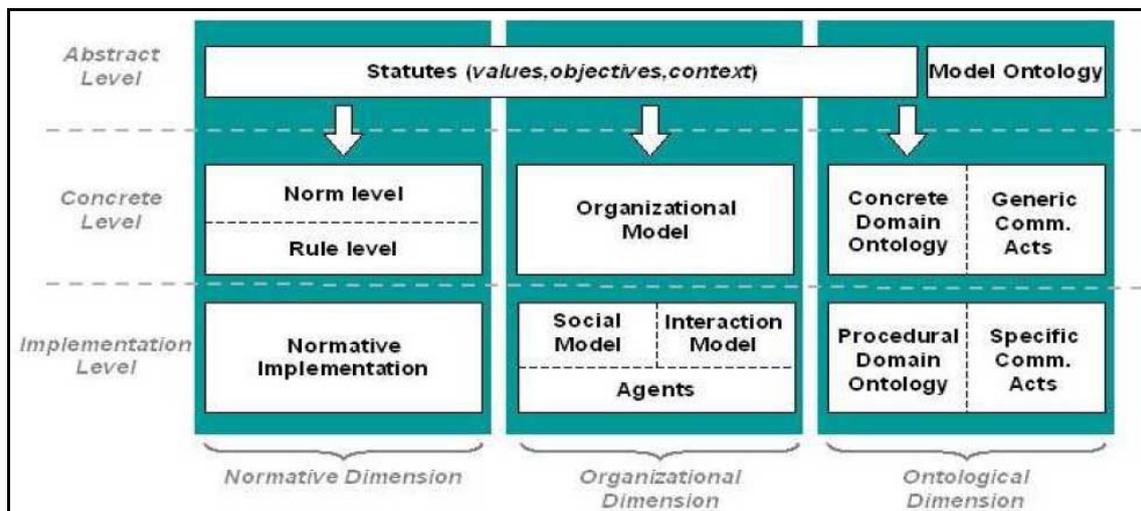


Figura 3-4 - O *framework* OMNI (Dignum, V. et al, 2004)

A divisão em três níveis de abstração, com o aumento do detalhamento da implementação, propicia o projeto de Sistemas Multi-Agentes gerenciáveis. O nível Abstrato é similar à análise de requisitos. O nível Concreto leva ao refinamento dos requisitos para a formulação de normas, regras papéis, marcos (*landmarks*) e conceitos ontológicos concretos. E, por fim, no nível de

Implementação, as dimensões Normativa e Organizacional são implementadas em uma arquitetura multi-agentes, garantindo a aplicação das normas (*enforcement*).

Todas as dimensões do *framework* têm uma semântica lógica e formal para garantir a consistência e a possibilidade de verificação.

Na dimensão Organizacional é permitido definir os objetivos da organização, assim como os relacionamentos entre os papéis, as cenas de interação, os marcos (*landmarks*, que são famílias de protocolos), os contratos sociais (restrições de atuação de um papel), os agentes representando papéis e os protocolos.

Na dimensão Normativa são definidas as normas abstratas, utilizando a linguagem *ANorms*. No nível Concreto, essas são traduzidas em normas concretas, descritas em *CNorms*. As normas concretas são transformadas em regras utilizando-se a Lógica Dinâmica Proposicional. Nessa dimensão, também são especificadas as possíveis violações, as reações da organização às violações e os papéis reguladores. No nível Concreto são especificados também os protocolos de baixo nível e suas regras relacionadas. Por fim, na dimensão Ontológica são representados o conhecimento do domínio e os protocolos de comunicação.

Esse trabalho pode ser usado em Sistemas Multi-Agentes abertos e fechados e, por conta de sua estrutura modular, também pode ser adaptado a diferentes tipos de domínio. Além de propor um método para a especificação modular da organização, é possível uma verificação formal de consistência. Essa abordagem pode garantir o cumprimento das leis ou permitir violações, reagindo a elas, diferente de (Paes, 2005a,b), que não permite violações

Semelhante ao trabalho de (Paes 2005a,b), é apresentado um modelo conceitual relacionando elementos como normas, cenas, protocolos, restrições e papéis de agentes. Existe também a possibilidade de definir o tempo como elemento atuante. Contudo, esse modelo conceitual possui diferenças estruturais com o modelo proposto em (Paes 2005a,b), além de não ser baseado em eventos.

De modo semelhante ao trabalho de (Vazquez Salceda e Dignum, 2003), visto na seção 3.3, essa abordagem não implementa o nível mais concreto de verificação das normas, deixando apenas sugestões de como tal implementação deve ser feita.

Análise

Essa abordagem permite a especificação de normas, cenas, protocolos, papéis de agente etc., porém não define uma linguagem gráfica, de mais fácil compreensão pelos seres humanos, para a especificação dos elementos em diagramas.

3.5. Agentes Governados por Normas em seu Julgamento

Essa tese (Kollingbaum, 2005) segue uma linha de agentes cognitivos, com base na arquitetura BDI (Rao e Georgeff, 1991)³ e apresenta um modelo e uma arquitetura de *agentes* que são *governados por normas em seu julgamento* (Kollingbaum & Norman, 2003a; Kollingbaum & Norman, 2003b). Os agentes dessa arquitetura selecionam suas ações não somente de acordo com o que acreditam, desejam e pretendem, mas também de acordo com o que lhes são permitidos, proibidos ou obrigados a fazer em um contexto social específico.

Esses agentes mantêm os *conceitos mentais* explícitos, representando as obrigações, os privilégios, as proibições, os poderes, as imunidades e etc. Esses conceitos normativos são os elementos definidos da posição normativa do agente dentro de uma sociedade. Manter uma representação explícita de conceitos normativos permite ao agente refletir sobre essas normas durante sua *tomada de decisão* - o agente torna-se autônomo em relação às normas.

A Arquitetura de Agentes Normativos NoA (*Normative Agent Architecture*), além de adotar novas normas, pode permitir ao agente a resolução de conflitos entre novas normas e as normas que o agente já possui.

O trabalho em questão provê um modelo abstrato de NoA, a *linguagem* para a especificação de planos objetivos e normas, e uma *máquina interpretadora* que implementa a *tomada de decisão* baseada nas normas adotadas e *checa* se há *conflitos* entre as normas adotadas, e se os efeitos das ações escolhidas são *consistentes* com as normas adotadas.

Contudo, esse trabalho obriga a adoção de uma arquitetura de agentes cognitivos, e segue uma linha de agentes autônomos diferente da linha de (Paes, 2005a,b). Além disso, é baseado em um controle sobre o interior do agente, ou seja, nas intra-ações, e não nas interações. Outra diferença é que esse trabalho propõe um modelo conceitual para a especificação das normas, sem levar em consideração elementos como cenas e papéis de agente.

³ A arquitetura BDI (*Belief-Desire-Intention*) propõe agentes que possuem crenças, desejos e intenções e selecionam o curso de suas ações conforme essas.

Análise

O trabalho propõe uma linguagem declarativa, baseada no modelo conceitual, para a especificação de planos, objetivos e normas, porém não apresenta a notação gráfica para facilitar a especificação dessas regras.

3.6. Normas Abstratas e Instituições Eletrônicas

Esse trabalho (Dignum, 2002) argumenta que as normas que pertencem aos estatutos e regulamentações de uma instituição eletrônica são geralmente descritas de maneira vaga e abstrata de propósito, para evitar a dependência de implementação circunstancial da norma. Por outro lado, torna-se muito difícil checar se os protocolos de iteração seguem essas normas.

A solução apresentada mostra como se deve conectar as *normas abstratas* com os *protocolos institucionais*, de modo a permitir que as normas especificadas possam ser incorporadas na estrutura de uma instituição, e que os agentes participantes possam se comportar de acordo com essas, sendo eventualmente punidos no caso de violação.

Esse artigo aponta as diferenças entre os níveis de abstração e os relacionamentos entre esses níveis, apresentando a tradução de *normas abstratas* para *normas concretas* e maneiras de se implementar *normas concretas* na instituição. As *normas abstratas*, que estão em um nível mais geral, são traduzidas para o nível dos processos e da estrutura da instituição, gerando as *normas concretas*. O passo seguinte é a tradução da norma para o nível de implementação.

Com as traduções, busca-se permitir que as normas possam ser cheçadas diretamente pela instituição e que ações possam ser tomadas nos caso de violação.

As normas são expressas como fórmulas de lógica deôntica (Stanford Encyclopedia of Philosophy, URL, 2006). Para as normas serem implementadas, as instituições podem buscar meios de forçar os agentes a cumprirem as normas, checando as condições necessárias para a sua validade, ou meios de reagir às violações das mesmas, conforme as necessidades de eficiência e controle. Nos dois casos, as instituições devem ter procedimentos para checar a violação da norma e *triggers* para reagir à violação.

Esse trabalho também separa a especificação das regras de interação dos agentes da especificação do Sistema Multi-Agente. Porém, ele foca nos graus de abstração das normas e no relacionamento entre esses graus, diferentemente da abordagem de leis de (Paes, 2005a), que propõe um grau de especificação mais

concreto das leis, o que torna a especificação mais próxima do contexto da implementação da aplicação.

Apesar de argumentar que as instituições eletrônicas devem ser capazes de checar o cumprimento das normas e reagir conforme as violações, o trabalho em questão não descreve como essas tarefas devem ser feitas.

Análise

Esse trabalho provê mecanismos para a modelagem conceitual das normas, partindo do abstrato para o concreto, com o uso de fórmulas de lógica deôntica. Porém, ele não fornece uma linguagem gráfica para a especificação das normas.

3.7.

Agentes Deliberativos Normativos: Princípios e Arquitetura

Esse artigo (Castelfranchi et al, 2000) argumenta que não só a adoção de normas pode ser útil em sociedades de agentes, mas também a possibilidade de uma violação inteligente, já que normas podem ser incoerentes, podem gerar conflitos, podem causar resultados negativos ou simplesmente podem não abranger todas as circunstâncias.

Visando a possibilidade de o agente deliberadamente decidir se vai obedecer ou violar uma norma explicitamente representada, o artigo propõe uma *arquitetura de agentes* cognitivos com base na arquitetura BDI (Rao e Georgeff,1991).

Trata-se de uma arquitetura genérica para *agentes deliberativos normativos* que inclui componentes específicos para gerenciar as normas e as relações entre normas, objetivos e planos.

A arquitetura de agentes é proposta com base em um conjunto de *princípios* que os agentes deliberativos normativos devem ser capazes de seguir. Os princípios são os seguintes:

- 1- *Reconhecer e entender que a norma existe na sociedade;*
- 2- *Adotar essa norma como parte de suas decisões e de seu comportamento;*
- 3- *Deliberadamente obedecer a norma;*
- 4- *Deliberadamente violar a norma em caso de conflitos com outras normas ou com seus próprios objetivos.*

Esses princípios formam a base da arquitetura do agente autônomo normativo, que pode tomar decisões de acordo com normas sociais e reagir às violações por parte de outros agentes. O agente deliberativo deve conhecer as normas ativas e decidir se vai obedecê-las ou não, de acordo com seus objetivos.

As normas devem fazer parte das representações mentais dos agentes cognitivos, se relacionando de diversas maneiras com suas crenças, objetivos e planos, podendo ainda determinar o comportamento do agente.

Essa abordagem não provê ao agente a capacidade de checar se um dado comportamento está de acordo com as normas, nem se os outros agentes as estão

seguindo, deixando de garantir a confiança no cumprimento das leis da sociedade de agentes; principalmente se for aplicada em um ambiente aberto.

O trabalho em questão não apresenta um modelo conceitual de leis relacionando as normas, os relógios e os papéis. Além disso, ele impõe aos agentes uma arquitetura específica, chamada BDI (Rao e Georgeff, 1991).

Análise

Esse trabalho não descreve como as normas devem ser especificadas.

3.8. Outros Trabalhos

Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos que se relacionam com esta dissertação de maneira indireta, mas que por apresentarem soluções para problemas específicos, permitem um entendimento mais amplo da área de conhecimento em que esta dissertação se concentra.

Projeto de Comportamento Normativo através de Marcos

Esse artigo (Aldewereld et al, 2006a) propõe um *framework* para projetar protocolos a partir de uma especificação de normas. Considerando a diferença entre a especificação declarativa de normas utilizando lógica temporal (expressiva, mas em alto nível de abstração) e a especificação de protocolos (eficiente, mas muito restritiva), esse trabalho busca uma conexão entre esses dois níveis. Essa conexão é feita a partir de uma camada chamada *landmark* (marco ou ponto de referência) entre a especificação (declarativa) de normas e a especificação (operacional) de protocolos.

O trabalho argumenta que a partir da especificação das normas, é possível extrair padrões de *marcos* para projetar protocolos, descobrindo quais são os estados mais importantes e as restrições entre esses. *Marcos* são famílias de protocolos e representam passos que qualquer protocolo deve conter e a ordem em que os passos devem ser seguidos. A partir dos *marcos*, é possível projetar os protocolos e até verificar se o protocolo está de acordo com as normas.

Relacionado com o trabalho de Normas Abstratas e Instituições Eletrônicas (Dignum, 2002), por buscar a conexão entre os diferentes níveis de abstração entre normas e protocolos, esse trabalho não implementa os mecanismos de software de aplicação das leis nem apresenta um modelo conceitual completo para a especificação das mesmas.

Verificação de Protocolos em Conformidade com a Norma

O objetivo desse artigo (Aldewereld et al, 2006b) é garantir que os protocolos de interação, que indicam o comportamento de agente, estejam de acordo com as normas, de maneira que, caso um agente siga qualquer um dos

caminhos do protocolo, é garantido que ele não estará violando nenhuma das normas.

Nesse sentido, é proposto um método formal baseado em lógica temporal para a checagem de conformidade com normas por parte dos protocolos baseados em conhecimento (*knowledge based*). A especificação dos protocolos é feita através de sua tradução para uma linguagem de programação.

Esse trabalho não garante a aplicação da lei ou um modelo conceitual com elementos importantes das interações, como cenas e papéis.

Projetando Aplicação de Norma em Instituições Eletrônicas

O objetivo do trabalho de (Grossi et al, 2006) é prover uma teoria para a compreensão das noções de aplicação da lei (*enforcement*) e para se projetar mecanismos de aplicação e garantia da lei em instituições eletrônicas.

O artigo argumenta que há duas maneiras de lidar com as violações: a primeira é impedir a violação; uma solução que garante o cumprimento da lei e a confiança no cumprimento das leis por parte dos agentes que interagem. Contudo, essa solução limita a autonomia dos mesmos. A outra solução é garantir que a instituição eletrônica possa reagir de acordo com as violações, ou seja, aplicar sanções aos *violadores* das normas. Ainda existe a possibilidade de a instituição eletrônica combinar as duas soluções.

No caso da segunda solução, as instituições eletrônicas devem especificar e lidar com sanções para cada possível violação das normas. O artigo busca, ainda, definir como as sanções são projetadas.

Uma outra sugestão contida em (Grossi et al, 2006) é que pelo menos um nível de controle da lei seja implementado na instituição eletrônica, de maneira a centralizar e programar o controle. Essa foi a solução adotada pela abordagem de leis de (Paes, 2005a).

Normas em Sistemas Multi-Agentes: da Teoria à Prática

Esse trabalho (Vázquez-Salceda, 2005) foca na implementação de mecanismos para garantir a aplicação das normas e verificação do cumprimento dessas, buscando entender como checar uma norma, como detectar a violação e como lidar com ela.

O objetivo desse artigo é estender as normas do formalismo de ISLANDER (Esteva, 2003; Esteva et al., 2001) com mais expressividade, envolvendo proibições, permissões e obrigações, e permitindo o uso de operadores temporais. Além disso, ele deve prover alguns mecanismos para facilitar a implementação da aplicação dessas normas, da perspectiva da *instituição eletrônica*, em plataformas de agentes, como *lista negra*, *alarmes de ação*, *disparos de relógios* e *autorizações*.

Para isso, é feita uma categorização das normas, baseada nos atores envolvidos, na possibilidade de verificação dos estados e ações, nas expressões normativas e nos aspectos temporais. Para cada categoria, é dado um conjunto de orientações para a implementação das normas pertencentes à mesma.

Esse trabalho é um complemento a ISLANDER (Esteva, 2003; Esteva et al., 2001), pois acrescenta o aspecto temporal à especificação das normas. Entretanto, ele ainda não permite a comunicação baseada em eventos entre os elementos do modelo conceitual.

Programação de Instituições Eletrônicas Orientada a Normas: Uma Abordagem Baseada em Regras

A abordagem descrita em (García-Camino et al, 2006) propõe meios de especificar e gerenciar explicitamente normas (obrigações, permissões e proibições) com os quais seja possível capturar diferentes noções de deontica e seus relacionamentos.

Trata-se de um formalismo baseado em regras, que inclui a especificação e edição de restrições em tempo de execução para dar maior expressividade e precisão às construções, levando a uma a programação de instituições eletrônicas orientada a normas.

Essa abordagem apresenta uma linguagem que funciona como uma “linguagem de máquina”, para a qual é possível se mapear e se executar outras linguagens normativas de alto nível. Com isso, ela busca prover uma camada abaixo da camada das linguagens de especificação de normas baseadas na lógica deontica para se especificar e executar normas que podem ser condicionais ou que podem ter restrições temporais.

Diferentemente da abordagem de (Paes, 2005a,b), essa abordagem não apresenta um modelo conceitual abstrato, baseado em elementos como cenas e

papéis, nem tampouco oferece um mecanismo de verificação e aplicação das normas.

3.9. Crítica aos Trabalhos

As abordagens de governança de Sistemas Multi-Agentes aqui descritas provêm de alguma forma um modelo de abstração que separa as regras de regulação, tratadas como entidades de primeira ordem, do comportamento dos agentes.

Algumas abordagens consideram o aspecto interno do agente, através de arquiteturas de agentes que levam em consideração as normas como parte do processo mental do agente (Kollingbaum, 2005; Kollingbaum & Norman, 2003a; Kollingbaum & Norman, 2003b; Castelfranchi et al, 2000; Alonso, 1998; Artikis, 2003; Boman, 1999; Boman & Verhagen, 1998; Conte & Castelfranchi, 1995; Conte et al., 1999; Jones & Sergot, 1993; Krogh, 1995).

Outras abordagens focam no aspecto externo do comportamento dos agentes, buscando regular as interações, como é o caso de (Esteva, 2003; Cruz, 2001; Esteva et al., 2002; Minsky e Ungureanu, 2000; Minsky, 2005; Vazquez Salceda e Dignum, 2003; Dignum, V. et al, 2004; Dignum, 2002; Aldewereld et al, 2006a; Aldewereld et al, 2006b; Grossi et al, 2006; Vázquez-Salceda, 2005; García-Camino et al, 2006). A abordagem de leis (Paes, 2005a,b), na qual esta dissertação se baseia, segue essa linha.

Essas abordagens de regulação de interações entre agentes propõem o uso de linguagens declarativas para a especificação das regras de regulação, como normas, protocolos, cenas e papéis. Somente (Esteva, 2003; Cruz, 2001; Esteva et al., 2002; Dignum, V. et al, 2004) propõem que parte da especificação seja gráfica, facilitando a compreensão e comunicação dos modelos.

Contudo, nenhuma das abordagens encontradas na literatura propõe que tal especificação seja feita com o uso de uma linguagem gráfica baseada em um padrão mundial, como é o caso da UML, considerando os benefícios de compreensão e comunicação humana de gráficos em relação a textos, e aproveitando a familiaridade dos projetistas de software com os diagramas e elementos da UML.