

# Modelando Sistemas Multi-Agentes Normativos com a Linguagem MAS-ML

Emmanuel S. S. Freire<sup>1</sup>, Enyo J. T. Gonçalves<sup>2</sup>, Mariela I. Cortés<sup>1</sup>, Yrleyjânder S. Lopes<sup>1</sup>

Grupo de Engenharia e Sistemas Inteligentes (GESSI)

<sup>1</sup>Departamento de Computação – Universidade Estadual do Ceará (UECE)  
Avenida Paranjana, 1700 – 60740-000 – Fortaleza – CE – Brazil

<sup>2</sup>Departamento de Computação – Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Estrada do Cedro, Km 5 – 63900-000 – Quixadá – CE – Brazil

{savio.essf, yrleyjander}@gmail.com, mariela@larces.uece.br, enyo@ufc.br

***Abstract.** In Multi-Agent Systems (MAS), the agent's behavior is governed by norms, that their static elements need to be modeled at design time. In this context, the language MAS-ML (Multi-Agent System Language) provides several mechanisms for modeling of the properties of the entities that compose a MAS, but the support of the norm concepts is limited. This paper aims to extend the abstract and concrete syntax of the MAS-ML along with the definition of the new static diagram to support the modeling of MAS along with the static elements of the norms. Thus, there may be a more complete view of the system through a single modeling language.*

***Resumo.** Nos Sistemas Multi-Agentes (SMAs), o comportamento de agentes é governado por normas, cujos elementos estáticos precisam ser modelados adequadamente em tempo de design. Neste contexto, a linguagem MAS-ML (Multi-Agent System Modeling Language) fornece diversos mecanismos para a modelagem das propriedades das entidades que compõem um SMA, porém o suporte aos conceitos das normas é limitado. Este artigo tem como objetivo estender as sintaxes abstrata e concreta de MAS-ML juntamente com a definição de um novo diagrama estático para dar suporte à modelagem de SMA considerando os elementos estáticos das normas. Com isso, será possível ter uma visão mais completa do sistema através de uma única linguagem de modelagem.*

## 1. Introdução

Os sistemas centrados em agentes [Padilha e Jacome, 2002] [Casillo, 2008] vêm sendo amplamente explorados pela comunidade científica como uma abordagem adequada para o desenvolvimento de sistemas computacionais complexos. No entanto, o desenvolvimento deste tipo de sistemas não é trivial, requerendo de um esforço de engenharia no intuito de dar suporte adequado às diversas atividades de desenvolvimento.

Segundo Russell e Norvig (2004), um agente de software é uma entidade capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores. Os agentes inteligentes podem ser classificados de acordo com

a maneira que eles coletam informações e agem no ambiente. No caso de vários agentes cooperando ou disputando entre si, inseridos em um mesmo ambiente e trocando informações, chamamos esse sistema de multi-agente (SMAs).

De forma geral, agentes são inseridos em ambientes e, se relacionam com outros agentes para alcançar seus objetivos. Neste contexto, o comportamento dos agentes é governado por um conjunto de normas especificado para restringir suas ações. Com isso, a pesquisa em normas para SMAs tem como foco o comportamento de um agente ou grupo de agentes, definindo o que é obrigado, permitido ou proibido de fazer [Figueiredo e Silva, 2010]. As normas podem ser definidas em tempo de *design* ou em tempo de execução. No entanto, a consideração de normas em tempo de modelagem propicia uma visão mais completa do sistema e pode influenciar na modelagem das entidades que integram o sistema. Adicionalmente, a verificação de conflitos pode ser realizada durante a fase de definição das normas e problemas detectados antes mesmo do sistema ser implementado podem ser solucionados [López Y López, 2003].

Dada à importância da modelagem de normas em forma concomitante com a modelagem das demais entidades que participam de um SMA, se torna indispensável à existência de linguagens de modelagem que possibilitem o projeto de SMAs com normas. Poucas são as linguagens de modelagem para SMAs que fornecem suporte à modelagem de normas em associação com as entidades previstas em um SMA. Dentre elas, a linguagem MAS-ML (*Multi-agent System Modeling Language*) [Silva, 2004] permite a modelagem de todas as entidades previstas em um SMA a partir dos conceitos definidos no *framework* conceitual TAO (*Taming Agents and Objects*) [Silva et. al., 2003], porém, o suporte à modelagem dos conceitos referentes a normas ainda é limitado.

O objetivo desse artigo consiste na extensão da linguagem MAS-ML no intuito de dar suporte à modelagem de normas, com base no *framework* conceitual definido em [Figueiredo, 2011]. A extensão exige alterações nas diversas camadas que compõem a arquitetura da linguagem de modelagem, ou seja, (i) sintaxe abstrata, (ii) sintaxe concreta e (iii) diagramas. Com isso, além de possibilitar a modelagem de entidades de um SMA, também possibilita a modelagem das normas que serão utilizadas para guiar o comportamento destas entidades. Este trabalho está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3 é apresentado o referencial teórico, no qual é apresentada a linguagem MAS-ML e os conceitos relacionados a normas para SMAs. Em seguida, na Seção 4, é descrita a extensão da linguagem MAS-ML proposta para modelar SMAs com normas. Um estudo de caso referente à extensão é mostrado na Seção 5 e, finalmente, as conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 6.

## 2. Trabalhos Relacionados

Algumas linguagens de modelagem têm sido propostas para a modelagem das entidades que compõem um SMA, no qual o comportamento dessas entidades é regido por normas.

Wagner (2003) propõe a linguagem de modelagem AORML (*Agent-Object-Relationship Modeling Language*). As entidades definidas em AORML são: evento, ação, alegação, compromisso, agente ou objeto. Esta linguagem permite a modelagem dos três conceitos deônticos das normas, juntamente com ações não-comunicativas. Podemos destacar os seguintes pontos fracos: (i) não define ambientes, logo não é possível modelar

agentes que estejam se movendo de um ambiente para outro; (ii) não permite a definição de normas para grupos de agentes; (iii) não oferece suporte para a definição de sanções.

AML (*Agent Modeling Language*) [Danc, 2008] é uma linguagem de modelagem visual semi-formal para especificação, modelagem e documentação de sistemas que incorpora os conceitos da teoria de SMAs. As entidades definidas por AML são agentes, recursos e ambientes. A linguagem possibilita descrever normas para um papel específico e para um grupo de indivíduos. Proporciona também, uma forma de restringir tanto ações comunicativas como não-comunicativas e a definição de um período no qual as normas ficarão ativas. Algumas desvantagens de AML são descritas a seguir: (i) não oferece suporte para a definição de sanções; (ii) não permite a definição de normas para um ambiente; (iii) não prevê a ativação de restrições pelo cumprimento ou violação de normas.

NormML (*Normative Modeling Language*) [Figueiredo, 2011] é uma linguagem de modelagem de normas para SMAs. Seu metamodelo é resultado da extensão do metamodelo da SecureUML [Basin, Doser e Lodderstedt, 2006]. Com a linguagem é possível modelar todos os elementos que compõem as normas (i) conceitos deônticos, (ii) entidades envolvidas, (iii) ações, (iv) restrições de ativação, (v) sanções e (vi) contexto. Assim, normas podem ser definidas para agentes, organizações, suborganizações, papéis de agente e ambiente, juntamente com seus períodos de ativação e sanções. NormML possui ferramenta de suporte para a modelagem de normas e para a checagem de conflitos entre as normas. Algumas deficiências podem ser levantadas: (i) não define as propriedades das entidades do sistema; (ii) não define a troca de papéis por um agente; (iii) não define elementos gráficos para as entidades definidas na linguagem; (iv) não permite a modelagem das entidades que fazem parte de um SMA, como por exemplo, do agente.

Silva (2003) propõe a linguagem MAS-ML cuja definição é baseada no *framework* conceitual TAO [Silva et al., 2003], possibilitando a modelagem de todas as entidades, suas propriedades e relacionamentos tipicamente encontrados em SMAs. A linguagem (i) possibilita a restrição das ações de um agente, de uma organização e/ou de uma suborganização por meio de um papel ativo ao qual o mesmo se encontra associado; (ii) permite a definição de normas de obrigação no contexto de organizações e suborganizações; (iii) possui ferramenta de suporte para a modelagem dos conceitos definidos na linguagem. Entretanto, a linguagem apresenta algumas deficiências, tais como: (i) não permite a definição de normas aplicadas no contexto de um ambiente; (ii) não permite a definição de normas de proibição para papéis de agente; (iii) não permite a definição de normas de proibição e permissão para agentes, organizações e suborganizações; (iv) não prevê a modelagem de sanções nem de ativações das normas.

A partir da análise apresentada e considerando a necessidade de uma linguagem de modelagem que possibilite a modelagem de normas juntamente com as entidades previstas em um SMA, destacamos MAS-ML por (i) possuir uma ontologia adequada, (ii) modelar adequadamente ambientes e a interação entre agente e ambiente, (iii) apresentar suporte parcial à modelagem de alguns dos elementos que compõem normas para SMAs, e (iv) possuir ferramenta de suporte. Com isso, o metamodelo de MAS-ML se torna apto a receber os conceitos relacionados a normas previstos em Figueiredo (2010).

### 3. Referencial Teórico

Nesta seção, a linguagem MAS-ML, a definição e as características das normas são apresentados de maneira sucinta.

#### 3.1. MAS-ML

MAS-ML [Silva, 2004] é uma linguagem de modelagem que estende a UML para permitir a modelagem de SMAs, com base no *framework* conceitual TAO [Silva et al., 2003]. A partir da ontologia definida no TAO a linguagem MAS-ML é capaz de oferecer suporte ao desenvolvimento de sistemas multi-agentes (SMAs) de larga escala.

Silva (2004) define os seguintes diagramas estáticos na linguagem MAS-ML: (i) diagrama de classes, estendido a partir da UML a fim de representar os relacionamentos entre as classes e outras entidades do SMA.; (ii) diagrama de organização, que tem como objetivo modelar todas as organizações de um sistema.; (iii) diagrama de papéis, que é responsável pela representação dos relacionamentos entre os papéis do agente e os papéis de objeto identificados nos diagramas de organização. Adicionalmente, em MAS-ML também foram definidos os diagramas de seqüência e de atividade, para representar os aspectos dinâmicos de SMAs, ou seja, representar as interações entre as instâncias do SMA e as ações de cada instância.

Para a modelagem dos diagramas definidos na linguagem, Farias et al. (2009) desenvolveram a ferramenta MAS-ML tool como um *plug-in* da plataforma Eclipse [ECLIPSE, 2011]. Isso implica que os usuários podem trabalhar com modelagem de SMAs ao mesmo tempo em que fazem uso dos recursos oferecidos pela plataforma Eclipse. Com esta ferramenta é possível a modelagem dos diagramas estáticos de classes e organização definidos em MAS-ML.

#### 3.2. Normas para Sistemas Multi-agentes

As normas são utilizadas para restringir o comportamento de agentes, organizações e suborganizações durante um período de tempo, e definir as sanções aplicadas quando violadas ou cumpridas [Silva, Braga e Figueiredo, 2010]. A seguir são apresentados os principais elementos que compõem a norma com base no levantamento realizado por Figueiredo (2010) após a análise de especificações e linguagens de implementação utilizadas para descrever e implementar normas.

- **Conceitos deônticos:** a lógica deôntica refere-se à lógica de pedidos, ordens, regras, leis, princípios morais e julgamentos [Meyer e Wieringa, 1993]. Em SMA, tais conceitos têm sido utilizados para descrever as restrições de comportamento para os agentes na forma de obrigações (o que o agente deve executar), permissões (o que o agente pode executar) e proibições (o que o agente não pode executar).
- **Entidades Envolvidas:** desde que as normas são sempre definidas para restringir o comportamento das entidades, a identificação das entidades afetadas é fundamental. A norma pode regular o comportamento dos indivíduos (por exemplo, de um determinado agente, ou de um agente, enquanto está desempenhando um papel determinado), ou o comportamento de um grupo de indivíduos (por exemplo, todos os agentes desempenhando um papel determinado, grupos de agentes, grupos de agentes desempenhando papéis ou todos os agentes do sistema).

- **Ações:** uma vez que uma norma é definida para restringir a execução das entidades, é importante que a ação a ser regulamentada seja claramente especificada. Tais ações podem ser de comunicação, normalmente representado pelo envio e recebimento de uma mensagem, ou ações não-comunicativas (como acessar e modificar um recurso, entrar em uma organização, se deslocar para outro ambiente, etc.).
- **Restrições de Ativação:** As normas têm um período em que suas restrições devem ser cumpridas, porém somente quando elas, as normas, estiverem ativas. As normas podem ser ativadas por uma restrição ou um conjunto de restrições que podem ser: a execução das ações, a especificação de intervalos de tempo (antes, depois, entre elas), a realização de estados do sistema ou aspectos temporais (como datas), e também a ativação / desativação de outra norma e cumprimento / violação de uma norma.
- **Sanções:** quando uma norma é violada a entidade responsável pode sofrer uma punição, e quando for cumprida uma norma, a entidade envolvida poderá receber uma recompensa. Recompensas e punições são chamadas de sanções e devem ser descritas juntamente com a especificação da norma.
- **Contexto:** as normas são geralmente definidas em um determinado contexto que determina a sua área de aplicação. A norma pode, por exemplo, ser descrita no contexto de um determinado ambiente e deve ser cumprida apenas pelos agentes em execução no ambiente, ou pode ser definida no contexto de uma organização e cumprida apenas pelos agentes que desempenham um papel na organização.

#### **4. Estendendo MAS-ML para a Modelagem de SMAs com Normas**

Esta seção apresenta a extensão de MAS-ML para apoiar a modelagem das entidades de SMA em associação com a modelagem dos principais elementos que compõem as normas. A extensão é realizada em três etapas que envolvem a definição de novos elementos na sintaxe abstrata, a criação de novos elementos gráficos na sintaxe concreta e, finalmente, um novo diagrama específico. As próximas subseções descrevem cada etapa. A extensão realizada pode ser formalizada por meio de uma técnica baseada em ontologia definida por [Brandão, Silva e Lucena, 2007]. Entretanto, a formalização não é escopo desse artigo.

##### **4.1. Novas Características na Sintaxe Abstrata de MAS-ML**

A extensão do metamodelo consiste na análise dos conceitos, metaclasses e relacionamentos definidos no *framework* conceitual definido por [Figueiredo, 2011]. A estratégia utilizada é baseada nos mecanismos de extensão da UML, ou seja, mediante a definição de novas metaclasses e estereótipos.

As normas são baseadas nos conceitos deônticos que têm sido utilizados para descrever as restrições de comportamento para os agentes. Considerando a complexidade dos elementos envolvidos na definição de normas e dos relacionamentos requeridos entre normas e as outras entidades envolvidas na sua definição (metaclasses), foi necessária a criação da metaclasses *Norm* em MAS-ML, juntamente com os estereótipos `<<obligation>>`, `<<permission>>` e `<<prohibition>>`. Esta nova metaclasses estende a metaclasses *Element*, originária da UML, para representar as normas. Com a nova metaclasses podemos definir normas para: (i) agentes, (ii) organizações, (iii) suborganizações, (iv) ambiente e (v) papel de agente.

Na sua concepção original, MAS-ML contempla a definição de (i) obrigações e permissões do agente enquanto executa um papel por meio dos estereótipos <<*duty*>> e <<*right*>> associados à metaclassa *AgentAction* e (ii) restrições globais definidas em organizações, às quais agentes e suborganizações devem obedecer. Essas restrições são denotadas pelo estereótipo <<*axiom*>> associado à metaclassa *Property* que equivale conceitualmente aos estereótipos <<*obligation*>> e <<*prohibition*>>. Com a extensão, todos esses estereótipos foram eliminados.

Segundo Figueiredo (2011), as normas têm um período em que suas restrições devem ser cumpridas, porém somente quando elas, as normas, estiverem ativas. De forma a modelar estes conceitos em MAS-ML, foi criada a metaclassa *NormConstraint*, responsável por definir o período de restrição de uma norma, e suas especializações (Figura 1): (i) *Before*, indica que uma norma está ativa antes da execução da ação e/ou da realização a partir de uma determinada data; (ii) *After*, indica que uma norma está ativa depois da execução da ação e/ou da realização a partir de uma determinada data; (iii) *Between*, indica que uma norma está ativa entre a execução de duas determinadas ações e/ou da realização entre duas datas definidas; (iv) *If*, ativa a norma de acordo com a comparação entre dois operandos ou por data. Um operando pode ser um objetivo, uma crença, um atributo ou um valor; e (v) *Date*, criada para armazenar as datas de ativação das normas.

O acesso aos recursos do sistema pode ser controlado através de um conjunto de ações, definidos no contexto de normas. Segundo Figueiredo (2011), um recurso pode ser (i) um atributo, (ii) um método, (iii) uma associação, (iv) um agente, (v) um papel, (vi) uma organização, (vii) um ambiente, (viii) uma ação, (ix) uma mensagem, (x) um protocolo, (xi) uma crença, (xii) um objetivo e (xiii) um plano. Neste contexto, foi criada a metaclassa *Resource* como uma extensão da metaclassa *Element* da UML, para modelar recursos.

Um recurso pode estar vinculado a: (i) uma característica estrutural ou comportamental, por meio da associação entre as metaclasses *Resource* e *Feature*. Desta forma, tanto as características estruturais (objetivos, crenças, atributos), quanto comportamentais (métodos, ações, planos e protocolos) se tornam recursos; (ii) um classificador, por meio da associação entre as metaclasses *Resource* e *Classifier*. Com isso, as diversas entidades que compõem um SMA são definidas como recurso (um agente, uma organização, um papel de agente ou um ambiente); (iii) um relacionamento, por meio da associação entre as metaclasses *Resource* e *Association*, de forma a restringir o acesso à leitura e atualização; (iv) uma mensagem, por meio da associação entre as metaclasses *Resource* e *AgentMessage* estabelece que mensagens de agente também sejam recursos do sistema que podem ter seu acesso restringido.

Uma norma é definida para restringir a execução das entidades ou acesso aos recursos do sistema, através de um conjunto de ações. Portanto, as ações controladas sobre recursos são vinculadas a normas. Com isso, as ações a serem regulamentadas precisam ser claramente definidas. Para atender a essas especificações em MAS-ML, foi criada a metaclassa *NormAction*. A criação desta metaclassa tem como objetivo definir os recursos que serão restringidos pelas normas, diferentemente da metaclassa *AgentAction*, definida em MAS-ML, que tem como objetivo representar as ações executadas por agentes.

A metaclassa *NormAction* foi definida como extensão da metaclassa da UML *BehavioralFeature*, e é especializada através das metaclasses *AtomicAction* e

*CompositeAction*. A metaclasses *AtomicAction* tem como objetivo mapear diretamente as operações do sistema modelado (excluir, atualizar, ler, criar e executar), enquanto a metaclasses *CompositeAction* mapeia as operações das entidades do sistema e mantém a hierarquia tanto de *AtomicActions* como de *CompositeActions* [Basin et al., 2006].

Adicionalmente, três novos relacionamentos foram criados em MAS-ML para associar normas com as entidades definidas na linguagem. São eles:

- Context: determina a área da aplicação da norma;
- Restrict: define qual a entidade que será restringida pela norma; e
- Sanction: determina a recompensa ou a punição que pode ser recebida pela entidade que cumpriu ou violou a norma.

A Figura 1 mostra o metamodelo da MAS-ML estendido para que todas as características das normas descritas na Seção 3 possam ser modeladas.

#### 4.2. Novas Características na Sintaxe Concreta de MAS-ML

Para representar as novas metaclasses incluídas no metamodelo de MAS-ML (Seção 4.1), novos elementos gráficos são necessários. A representação gráfica da norma e seus relacionamentos são apresentados a seguir.

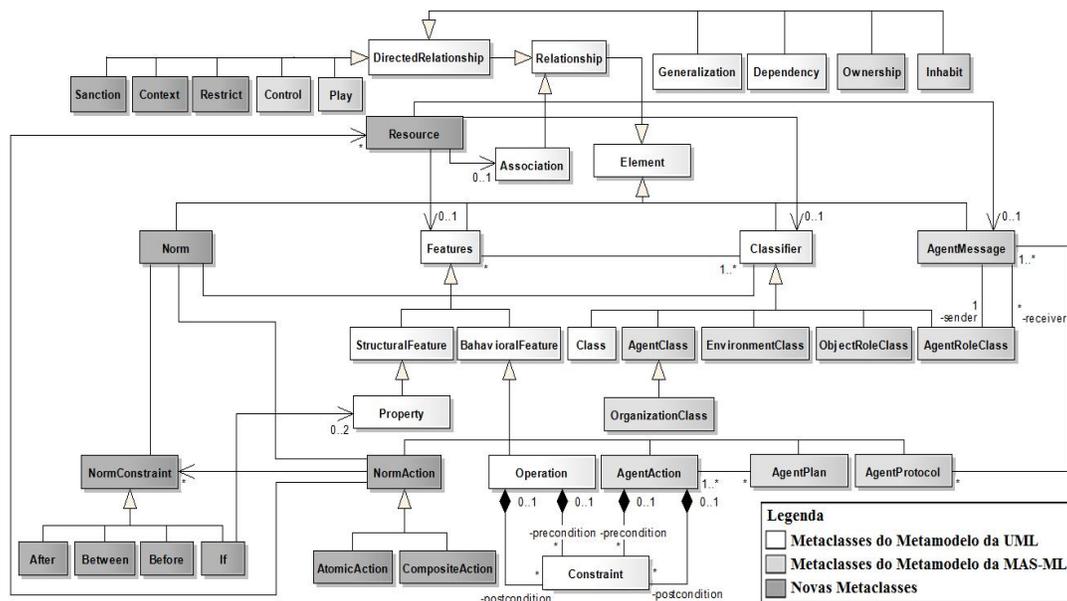


Figura 1. O metamodelo de MAS-ML estendido para incorporar normas e suas propriedades.

##### 4.2.1. Norm

Uma norma é mostrada como um retângulo sólido com um ângulo no canto superior direito e outro no canto inferior esquerdo (ver Figura 2). O compartimento superior contém o nome da classe da norma que deve ser único em seu espaço de nome incluído. Adicionalmente, deve ser informado o conceito deontico que a norma está representando utilizando um dos estereótipos da metaclasses *Norm*: `<<permission>>`, `<<obligation>>` ou `<<prohibition>>`.

O compartimento intermediário possui o recurso que será restringido pela norma. O recurso a ser restringido pode ser uma entidade ou uma propriedade de uma entidade. Uma entidade restringida pode ser: (i) agente, (ii) papel de agente, (iii) organização, ou (iv) ambiente. Uma propriedade restringida pode ser: (i) objetivo, (ii) crença, (iii) atributo, (iv) método, (v) ação, (vi) plano, (vii) protocolo, (viii) associação ou (ix) mensagem. Adicionalmente a entidade e sua propriedade a ser restringida, deve-se definir seu tipo de restrição. Para isso, utilizamos os estereótipos definidos para a metaclassa *NormAction* (Seção 4.1).

Finalmente, o compartimento inferior possui as restrições de ativação da norma. Para definirmos uma restrição, temos que informar o tipo de restrição de ativação. Para isso, utilizamos um dos estereótipos definidos na metaclassa *NormConstraint*. Caso a restrição seja baseada em uma propriedade de outra entidade ou em datas, em ambos os casos, deve-se fazer a sua identificação neste compartimento. Nas restrições condicionais, além de informar os operandos que fazem parte da condição de ativação da norma, deve-se informar o tipo de comparação que será feita entre eles, para isso, utilizamos um dos atributos definidos na metaclassa *Operator*.

#### 4.2.2. O Relacionamento *Context*

O relacionamento *Context* liga a classe *Norm* a um (i) *OrganizationClass* ou (ii) *EnvironmentClass*. Esse relacionamento é mostrado como uma linha simples com um triângulo invertido em uma extremidade. O triângulo indica o contexto no qual a norma será aplicada. A Figura 3-a apresenta esse relacionamento.

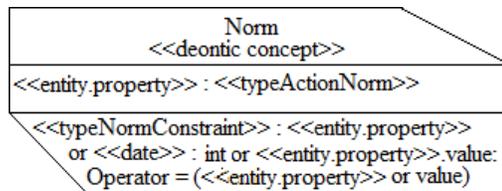


Figura 2. O elemento gráfico da Norm

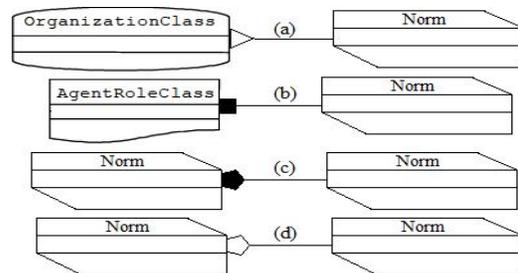


Figura 3. Os relacionamentos da Norma

#### 4.2.3. O Relacionamento *Restrict*

O relacionamento *Restrict* liga a classe *Norm* a um *AgentClass*, *OrganizationClass*, *AgentRoleClass* ou *EnvironmentClass*. Esse relacionamento é mostrado como uma linha simples com um quadrado hachurado em uma extremidade. O quadrado hachurado indica a entidade que terá o comportamento restringido pela norma. A Figura 3-b apresenta esse relacionamento.

#### 4.2.4. O Relacionamento *Sanction*

O relacionamento *Sanction* liga à classe *Norm* a outra classe *Norm*. Esse relacionamento é mostrado como uma linha simples com um pentágono em uma extremidade. O pentágono indica a sanção da norma. Caso o pentágono esteja hachurado, isso significa que a sanção da norma é uma punição (Figura 3-c). Caso contrário, isso significa que a sanção da norma é uma recompensa (Figura 3-d).

#### 4.2.5. O Diagrama de Norma

O objetivo do diagrama de normas é modelar todas as normas de um SMA. O diagrama de normas é responsável por modelar as seguintes propriedades de uma norma: (i) o contexto, (ii) o recurso que será restringido, (iii) entidade que terá o comportamento restringido, (iv) as restrições de ativação, e (v) as sanções. Adicionalmente, as entidades que podem participar do diagrama de normas são: (i) Norma, (ii) Agente, (iii) Papel de Agente, (iv) Organização, e (v) Ambiente. Os relacionamentos que pode ser utilizados são: *Ownership*, *Play*, *Inhabit*, *Context*, *Restrict* e *Sanction*. Um exemplo do diagrama de norma é apresentado na Figura 5.

### 5. Estudo de Caso

Nesta seção é apresentada a modelagem do mercado virtual utilizando a extensão proposta da linguagem MAS-ML. Este estudo de caso, definido e modelado em Silva (2004) utilizando MAS-ML na sua versão original, foi adaptado para que as normas especificadas em Figueiredo (2011) possam ser definidas nas entidades que compõem o mercado virtual.

#### 5.1. Mercado Virtual (*Virtual Marketplace*)

Mercados virtuais são mercados localizados na Web em que os usuários compram e vendem itens. Cada um é composto por um mercado principal em que os usuários podem negociar qualquer tipo de item. Além disso, o mercado principal define dois tipos: (i) mercados de produtos especiais que negociam itens caros e de alta qualidade, e (ii) mercados de produtos usados que negociam itens de baixa qualidade e preço baixo.

Os usuários podem: (i) comprar itens no mercado principal, em mercados de produtos especiais e em mercados de produtos usados, e (ii) vender seus itens nos mercados de produtos usados. No mercado principal e nos mercados de produtos especiais, os usuários compram os itens disponíveis no mercado. O mercado principal avalia os lucros, portanto, os mercados de produtos especiais e usados devem enviar as informações relativas às vendas para o mercado principal.

#### 5.2. Identificação das Entidades do Mercado Virtual

No ambiente *Virtual Marketplace* é possível identificar a organização principal *General Store* e suas duas suborganizações, *Imported Bookstore* e *Second-hand Bookstore* que exercem os papéis *Market of Special Goods* e *Market of Used Goods*, respectivamente. Ademais, foram modelados nesse sistema dois tipos de agente: *user agent*, que pode exercer o papel *buyer*, e *store agent*, que pode exercer os papéis *manager* e *seller*. Estes papéis foram definidos pela organização principal, juntamente com os papéis de objeto *desire* e *offer*. As instâncias desses papéis são exercidas pelas instâncias da classe *Book*, que herda da superclasse *Item* e possui duas subclasses *SecondHandBook* e *ImportedBook*. A Figura 4-a apresenta o diagrama de classes, especificando os relacionamentos entre classes e ambientes. A Figura 4-b ilustra o diagrama de papéis identificando os papéis exercidos por agentes e objetos na organização *Virtual Marketplace*. A Figura 4-c ilustra o diagrama de organização referente à organização principal *General Store*.

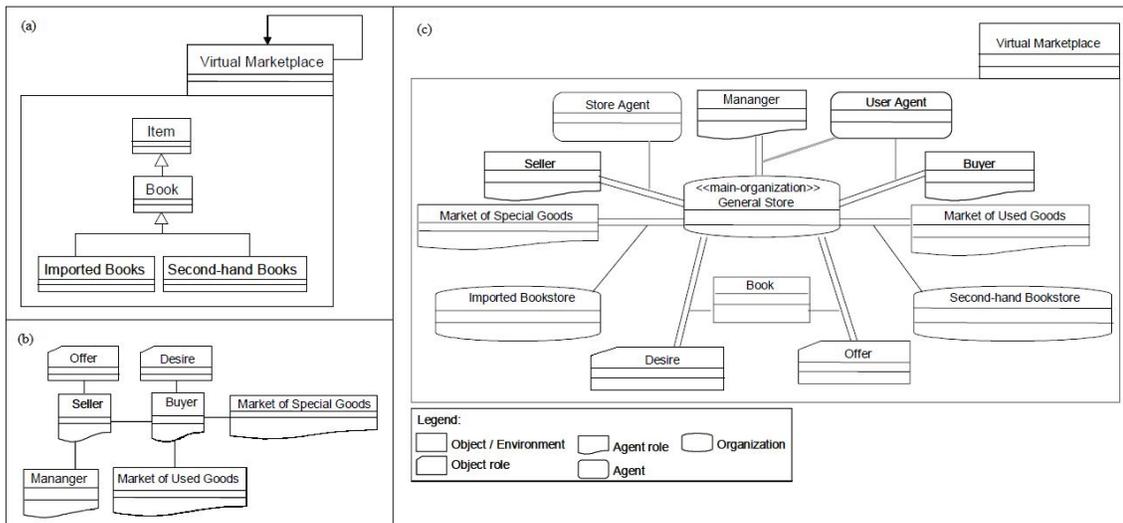


Figura 4. Os diagramas de (a) Classes, (b) Papéis e (c) Organização.

### 5.3. Definição das Normas para o Mercado Virtual

Para o mercado virtual definido em Figueiredo (2011), foram estabelecidas as seguintes normas:

- N1: Os vendedores da organização *General Store* têm permissão para atualizar o preço de itens antes do recebimento do alerta de vendas feita pelo gerente.
- N2: Os vendedores da organização *General Store* são obrigados a retirar o anúncio de itens que estão em falta no estoque.
- N3: Os compradores da organização *General Store* são obrigados a pagar pelos itens que eles compraram.
- N4 (Punição para a violação da N3): Os compradores que violaram N3 são proibidos de comprar itens.

No estudo de caso apresentado em Silva (2004), o papel de agente *Buyer* determinava que todos os agentes associados a esse papel teriam (i) a obrigação de procurar por agentes vendedores e (ii) o direito a aceitar ou rejeitar uma proposta enviada pelo agente vendedor. Essas restrições eram especificadas por meios dos estereótipos `<<duty>>` e `<<right>>`. Entretanto, estes estereótipos foram removidos na extensão. Logo, essas restrições são modeladas por meio de normas, como explicado na Seção 4.1. As normas N5 e N6 representam a obrigação e a permissão associada ao papel de agente *Buyer*:

- N5: Os agentes compradores vinculados ao papel *Buyer* devem procurar por agentes vendedores.
- N6: Os agentes compradores vinculados ao papel *Buyer* podem enviar mensagem sobre a situação da proposta para um agente vendedor.

A Figura 5 apresenta o diagrama de normas considerando todas as normas identificadas anteriormente, juntamente com suas propriedades. Através deste diagrama, todos os elementos normativos podem ser modelados.

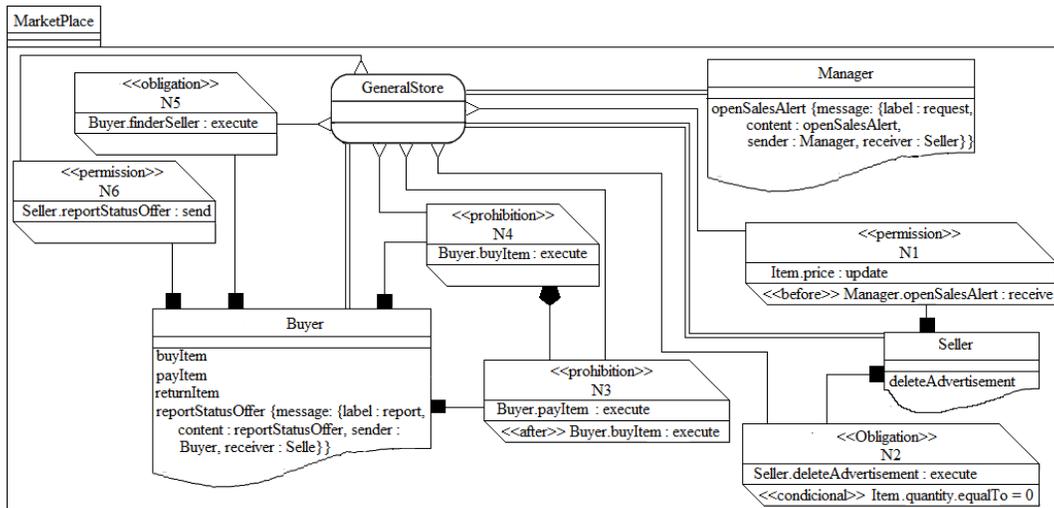


Figura 5. O Diagrama de Normas representa as normas N1, N2, N3, N4, N5 e N6.

A possibilidade de modelar normas e a integração desta visão com os outros diagramas fornecidos por MAS-ML, tais como classe, organização e papéis, fornece uma visão ampla e abrangente de um SMA.

## 6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Considerando o limitado suporte fornecido por MAS-ML para a modelagem de normas para SMAs, este artigo apresenta a extensão da linguagem MAS-ML de forma a possibilitar a modelagem dos conceitos relacionados a normas, juntamente com conceitos deônticos, entidades envolvidas, ações, restrições de ativação, sanções e contexto.

A extensão realizada na sintaxe abstrata envolve a definição de 11 novas metaclasses: (i) *Norm*, (ii) *Sanction*, (iii) *Resource*, (iv) *NormConstraint*, (v) *After*, (vi) *Between*, (vii) *Before*, (viii) *If*, (ix) *NormAction*, (x) *AtomicAction* e (xi) *CompositeAction*. Também foram criados novos estereótipos para as metaclasses *Norm*, *Sanction*, *AtomicAction* e *CompositeAction*. Adicionalmente, os estereótipos `<<duty>>` e `<<right>>` da metaclasses *AgentAction* e `<<axiom>>` da metaclasses *Property* foram eliminados. Depois, a extensão foi realizada na sintaxe concreta por meio da definição dos elementos gráficos da entidade *Norm* e dos relacionamentos *Context*, *Restrict* e *Sanction*. Adicionalmente, o novo diagrama estático de normas foi definido. Por meio desse diagrama, todas as normas aplicadas a um SMA podem ser modeladas.

Como trabalhos futuros, serão abordados os seguintes itens: (i) estender o *framework* conceitual TAO por meio da inclusão dos conceitos normativos e (ii) estender a ferramenta MAS-ML *tool* para que a mesma seja capaz de dar suporte a modelagem dos novos elementos definidos na linguagem, verificar a checagem por conflitos entre normas e gerar código a partir dos diagramas definidos na linguagem MAS-ML com normas.

## Referências

Basin, D., Doser, J. e Lodderstedt, T. (2006) "Model driven security: from uml models to access control infrastructures", ACM TSEM, 15(1), pp.39-91.

- Brandão, A. A. F.; Silva, V. T.; Lucena, C. J. P. (2007). Observed-MAS: an Ontology-based Method for Analyzing Multi-Agent Systems Design Models. In: Lin Padgham; Franco Zambonelli. (Org.). Agent-Oriented Software Engineering. Berlin: Springer, v. 4405, p. 122-139.
- Casillo, B. H. (2008) “Agentes auxiliando ambientes de engenharia de software centrado em processos”, Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE.
- Danc, J. (2008) “Formal specification of AML”. Department of Computer Science Faculty of Mathematics, Physics and Informatics Comenius University Formal Specification of AML Master's Thesis Ján Danc Advisor: Mgr. Bratislava.
- ECLIPSE (2011), “Eclipse platform”, <http://www.eclipse.org/>, Acessado em 01 de Junho de 2011.
- Farias, K., Oliveira, K., Nunes, I., Silva, V. T. e Lucena, C.J.P. (2009) “MAS-ML tool: um ambiente de modelagem de sistemas multi-agentes”, V Workshop on Software Engineering for Agent-oriented Systems (SEAS 2009), Fortaleza, Brasil, pp. 1-12.
- Figueiredo, K. e Silva, V. T. (2010) “NormML: a modeling language to model norms”. In: 1st Workshop on Autonomous Software Systems. Salvador, Brazil.
- Figueiredo, K. (2011) “Modeling and validation norms in multi-agents systems”. Dissertação de mestrado. Niterói: UFF, Instituto de Computação.
- López y López, F. (2003) “Social Power and Norms: Impact on agent behavior”. PhD thesis, Univ. of Southampton, Faculty of Engineering and Applied Science, Department of Electronics and Computer Science.
- Meyer, J. J. e Wieringa, R. J. (1993) “Deontic logic in computer science: normative system specification”, Deontic logic in computer science: normative system specification, John Wiley and Sons Ltd. Chichester, UK.
- Padilha, T. P. P. e Jacome, T. F. (2002) “O uso de técnicas de modelagem de agentes em ambientes educacionais”, VI Congresso Iberoamericano de Informática Educativa.
- Russell, S. e Norvig, P. (2004) Inteligência Artificial: uma Abordagem Moderna, 2ª ed. Prentice-Hall: São Paulo.
- Silva, V. T., Braga, C. e Figueiredo, K. (2010) “A modeling language to model norms”. The International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'2010), 9th. Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Toronto, Canadá.
- Silva, V. T. (2004) “Uma linguagem de modelagem para sistemas multi-agentes baseada em um framework conceitual para agentes e objetos”, Tese de doutorado. Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Informática.
- Silva, V. T., Garcia, A., Brandao, A., Chavez, C., Lucena, C. e Alencar, P. (2003) “Taming agents and objects in software engineering”, In: Garcia, A.; Lucena, C.; Zambonelli, F.; Omicini, A; Castro, J. (Eds.), Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems, Springer-Verlag, LNCS 2603, pp. 1-26, 2003, ISBN 978-3-540-08772-4.
- Wagner, G. (2003) “The Agent-Object-Relationship Meta-Model: Towards a Unified View of State and Behavior”, Information Systems. 28(5), pp. 475–504.