

# *A Sanction-Application Mechanism considering Commitment Levels in Hierarchical Organizations*

Robert M. R. Júnior, Mariela I. Cortés e Gustavo A. L. Campos  
 Computer Science Department  
 State University of Ceará (UECE)  
 Fortaleza, Brazil  
 robstermarinho@gmail.com, {mariela, gustavo}@larces.uece.br

Emmanuel S. S. Freire  
 Computer Science Department  
 Federal Institute of Ceará (IFCE)  
 Iguatu, Brazil  
 savio.essf@gmail.com

**Abstract**—The coordination and the control of autonomous agent's behavior, in Normative Multi Agent Systems, are important for the achievement of systems' global goal. However, the agents' preferences may not reflect the preferences expected in the organizational system specification. Then, the occurrence of this conflict causes a decrease in system performance. In this context, organizational models and their social structures (norms and sanctions) have been proposed to improve the agent's management and agent's behavior. However, specify and apply appropriate sanctions, taking account each agent's level of responsibility, requires an approach that considers individual and collective commitments and their execution. The aim of this work is to propose a mechanism to apply sanctions based on contracts and the hierarchical organization specification, able to be adapted in different application domain. The approach is based in commitment trees, contracts and sanctions in individual and collective levels.

**Keywords**—*sanction mechanism; norms; organization; hierarchy; commitment tree; contract*

## I. INTRODUÇÃO

Um Sistema Multiagente (SMA) é composto por um conjunto de agentes inteligentes autônomos, que interagem em conjunto para alcançar um objetivo individual ou coletivo [1]. Assim, o estudo de SMA, que tem como motivação a observação e simulação do comportamento das interações do mundo real, está focado mais na coletividade do que no indivíduo em si, ao contrário dos paradigmas tradicionais da Inteligência Artificial.

Um tema relevante nesse contexto é a coordenação e o controle dos agentes autônomos de modo que haja um funcionamento coerente em nível de sistema [3]. Entretanto, tratando-se de um sistema aberto, no qual (i) os agentes podem mudar ao longo do tempo, ou possuir componentes desconhecidos, ou (ii) podem ser formados, tanto por humanos, quanto por agentes de software desenvolvidos por diversas partes, não se pode assegurar que o comportamento das entidades guiará o sistema ao seu objetivo global [4]. Portanto, modelos organizacionais e suas estruturas sociais têm sido propostos para apoiar o gerenciamento do comportamento coletivo das entidades em um SMA.

Neste contexto, a organização de um SMA é um conjunto de restrições ao comportamento dos agentes que conduzem a uma finalidade comum, o objetivo global do sistema [3]. Esse

objetivo pode ser descrito através de compromissos cadastrados em um contrato [2], que rege a interação entre um agente e outro agente ou um agente e um grupo de agentes e/ou grupos de agentes. Portanto, as estruturas sociais apresentam diferentes características entre si.

Segundo [5], as estruturas sociais podem ser descritas como sociedades, congregações, mercados, federações, times e hierarquia. Dentre elas, a hierarquia é caracterizada por agentes organizados em uma estrutura de árvore. Sendo assim, um agente que está em um nível superior tem uma visão mais global do sistema e é responsável pelo que está em um nível inferior a ele, podendo delegar-lhe tarefas ou decompor seus objetivos.

Naturalmente, uma organização hierárquica pode definir normas [8] para regular o comportamento das entidades no sistema. Com isso, elas guiam as ações dos agentes estabelecendo o que é proibido, permitido ou obrigado para que eles possam atingir a meta global da organização. Essa abordagem permite que, (i) do ponto de vista dos agentes, eles possam decidir obedecer às normas ou não, de acordo com sua visão local da organização; (ii) do ponto de vista do sistema, o cumprimento das normas possa ser detectado e avaliado como uma violação, ou não, e então julgado como merecedor de sanções.

Os seguintes trabalhos [9] [10] apresentam mecanismos de aplicação de sanções em nível individual. Entretanto, os efeitos de suas ações na organização ou no grupo que o mesmo está inserido não são considerados. Caso essa abordagem seja implementada em uma hierarquia, os agentes que estão no nível superior são tão responsáveis como os agentes que estão sob a sua coordenação. Logo, deveriam ser sancionados também.

O presente trabalho propõe um mecanismo de aplicação de sanções que considera, exclusivamente, a estrutura hierárquica dos papéis de agente, que define as relações de autoridade e delegação de tarefas, e a estrutura funcional, que define a maneira como os objetivos locais e globais estão sendo atingidos. Analisando esses aspectos, o mecanismo estabelece uma árvore de compromissos contratuais e aplica sanções aos agentes de forma individual e coletiva.

Este artigo está organizado da seguinte forma: (i) na seção II é apresentada a fundamentação teórica para esta pesquisa; (ii) o mecanismo de sanção definido pelo trabalho é descrito na seção III; (iii) na seção IV, um estudo de caso é apresentado; (iv) os trabalhos relacionados são comentados na

seção V; (v) e por fim, a seção VI apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Sistemas Multiagente Normativos

Os Sistemas Multiagentes Normativos (NMAS) [12] são formados por agentes que possuem seu comportamento regulado por normas. Caso um agente cumpra ou viole uma norma, é aplicada uma sanção de recompensa ou de punição, respectivamente. Portanto uma norma é uma entidade que define as ações que são permitidas, obrigadas e proibidas [13].

Nesses sistemas, os agentes podem participar de organizações dentro de um ambiente. Neste caso, os agentes podem disputar ou compartilhar um recurso da organização ou do ambiente. Quando vinculados a uma organização, os agentes são associados a um papel, que possui as ações que os mesmos podem executar enquanto pertencentes àquela organização. Adicionalmente, os papéis permitem que as normas possam guiar o comportamento de grupos de agentes.

Neste contexto, as organizações possuem objetivos para serem alcançados. Esses objetivos são divididos em metas ou compromissos que são divididos entre os papéis dessa organização [14]. Portanto, os agentes quando associados a um determinado papel, possuem um conjunto de compromissos para cumprir.

Com isso, a interação entre os agentes trabalhando em conjunto juntamente com os objetivos da organização requerem mecanismos para verificar o andamento das atividades e controlar essa execução. Para isso, normas são utilizadas, porém as mesmas não garantem que as ações sejam executadas ou não. Elas apenas guiam os agentes. Portanto, um mecanismo de sanção é definido e aplicado para regular o comportamento dos agentes nesses sistemas.

### B. Estruturas Sociais

Segundo [5], as estruturas sociais podem ser descritas como (i) sociedades, (ii) congregações, (iii) mercados, (iv) federações, (v) times e (vi) hierarquia. Cada uma delas possui suas características relacionadas à sua estrutura e à interação entre os agentes que compõem cada uma delas.

Neste contexto, destaca-se a estrutura hierárquica, que se caracteriza pelos agentes organizados em uma estrutura de árvore. Sendo assim, um agente que está em um nível superior tem uma visão mais global do sistema e é responsável pelo que está em um nível inferior a ele, podendo delegar-lhe tarefas ou decompor seus objetivos. Com isso, essa estrutura auxilia no cumprimento do objetivo global do sistema. Consequentemente, os agentes que se encontram no nível superior são responsáveis pelas suas atividades e por monitorar as atividades que foram delegadas para os agentes subordinados a eles. Portanto, a estrutura hierárquica define a responsabilidade de cada agente individual e coletivamente.

Uma estrutura hierárquica pode ser representada por meio da Especificação Estrutural (EE) definida pelo modelo MOISE+ [11]. Esta especificação descreve os papéis no nível individual, os relacionamentos entre os papéis no nível social

e os grupos no nível coletivo. A Figura 1 mostra uma organização genérica simples onde o Papel A tem autoridade sobre o Papel B (intragrupo, pois fazem parte de um mesmo grupo) e sobre o Papel C (intergrupo, pois pertencem a grupos diferentes). Da mesma forma que o Papel C, por sua vez, tem autoridade sobre o Papel D e o Papel E.

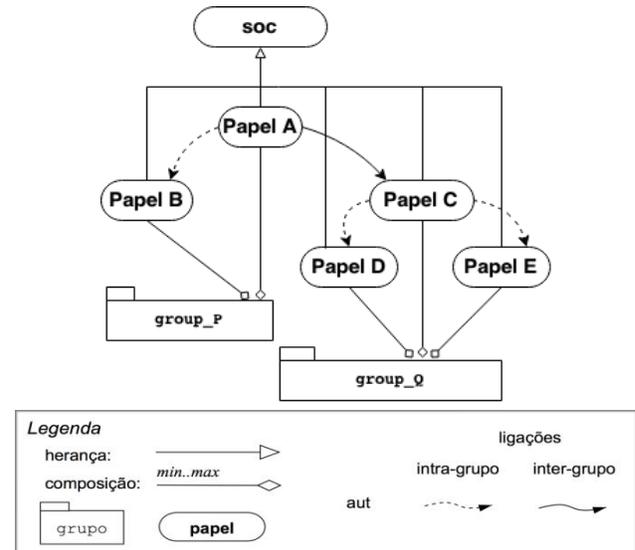


Fig. 1. Exemplo de Especificação Estrutural (EE) com o MOISE+ mostrando ligações de autoridade [11].

Através dos relacionamentos de autoridade entre as entidades é possível descrever um modelo hierárquico composto por papéis de agentes, subordinadores e subordinados, e seus grupos, formados por papéis que possuem relacionamento de autoridade direto em cada nível.

Adicionalmente, os seguintes relacionamentos podem ser estabelecidos em uma organização formando uma estrutura de níveis sociais entre papéis: (i) ligações de autoridade, que definem os padrões de delegação de tarefas, ou seja, agentes que têm autoridade sobre outros; (ii) ligações de comunicação, onde agentes tem permissão para se comunicar com outros agentes; (iii) e ligação de conhecimento, que diz respeito ao fluxo de conhecimento entre agentes.

### C. Coordenação de Agentes

A coordenação de agentes tem como objetivo prover mecanismos para guiar os agentes na execução de suas atividades. Com isso, o ambiente ou a organização podem se beneficiar com a atuação desses agentes individualmente ou em conjunto. Consequentemente, normas são utilizadas para restringir o comportamento dos agentes e com isso, podem-se utilizar duas abordagens [3]:

- *Regimentation*: os agentes devem obrigatoriamente seguir as normas definidas no ambiente ou na organização. Neste caso, os agentes não podem ser sancionados, pois não possuem a possibilidade de violar uma norma,

- *Enforcement*: diferentemente do mecanismo anterior, ele é caracterizado por normas que apenas guiam o comportamento dos agentes. Logo, os agentes podem violar ou cumprir uma determinada norma dependendo dos seus objetivos. Por isso, sanções de recompensas e de punições são aplicadas quando uma norma é cumprida ou violada, respectivamente.

Neste contexto, considerando a abordagem "Enforcement", [15] definiram uma forma de possibilitar que os agentes pudessem atingir o objetivo global do sistema. Para isso, foi definida a estrutura de um contrato, que possui as metas que todos os agentes participantes desse contrato devem alcançar. Entretanto, mesmo com a existência de normas que regulam o comportamento desses agentes, eles podem decidir entre cumprir ou violar esse conjunto de normas.

A coordenação em Sistemas Multiagente Normativos permite a criação de novos mecanismos para a verificação do andamento da interação entre os agentes e do resultado das suas ações.

### III. MECANISMO DE SANÇÕES

Nesta seção, a abordagem proposta de especificação e aplicação do mecanismo de sanções é apresentada. Este mecanismo considera a relação entre as entidades na estrutura social hierárquica, juntamente com o objetivo global do sistema, decomposto em um conjunto de metas. Esse conjunto de metas forma um contrato que tem o objetivo de comprometer e guiar o comportamento dos agentes por meio de papéis e normas, respectivamente. Mais especificamente, o mecanismo está fundamentado em normas, contratos e compromissos que os agentes assumem perante a organização hierárquica.

#### A. Estrutura Organizacional

A abordagem considera que uma organização de agentes é composta por papéis e agentes e possui uma meta global ou uma finalidade que deve ser atingida. Quando a organização define um contrato com os agentes, os seguintes passos são necessários:

- A meta do contrato é subdividida em compromissos. Entretanto, cada meta de contrato está contida na meta global da organização;
- Cada papel recebe um subconjunto formado pelos compromissos definidos no passo anterior;
- A organização define um grupo de agentes para executar e serem responsáveis pelo contrato;
- Ao participar desse contrato, um agente deve ser associado a um papel e, conseqüentemente, passa a ser responsável pela execução das ações para alcançar os compromissos definidos no papel associado a ele.

A Figura 2 apresenta o modelo conceitual descrito anteriormente.

Além da definição dos compromissos e dos papéis, a organização deve definir normas para regular o comportamento dos agentes responsáveis por um contrato. Segundo [16], uma norma pode regular o comportamento de

um grupo de agentes que executam um mesmo papel. Esse conceito foi mapeado para o relacionamento *restrict*. Entretanto, seguindo a abordagem *Enforcement*, uma norma necessita definir sanções para penalizar ou recompensar os agentes de forma individual ou coletiva quando os mesmos violam ou cumprem uma norma, respectivamente.

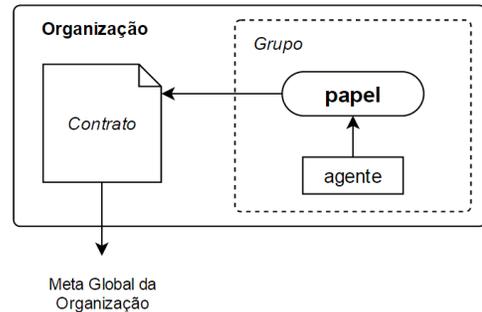


Fig. 2. Modelo Conceitual da Organização.

Neste contexto, a organização precisa definir suas normas e as respectivas sanções. Portanto, um agente ao receber um papel de um contrato, estará ciente dos compromissos e sanções definidos para esse papel. A Figura 3 representa um diagrama de classes que detalha o relacionamento entre as entidades descritas.

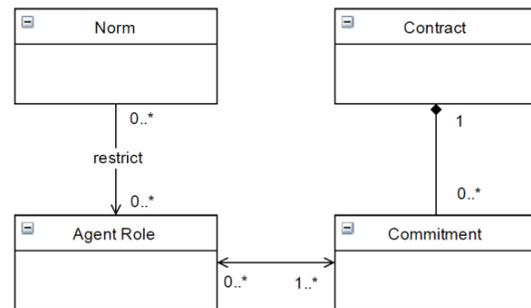


Fig. 3. Diagrama de Classes representando os relacionamentos entre as entidades Contrato, Compromisso, Papel de Agente e Norma.

Adicionalmente, os papéis definidos para um determinado contrato devem estar organizados em nível hierárquico, seguindo as três dimensões definidas por [7]: autoridade, coordenação e poder. Portanto, é possível definir restrições impostas às interações entre os papéis [8] e, conseqüentemente, aos agentes que executam esses papéis, criando assim uma hierarquia. A Figura 4 apresenta uma representação entre duas hierarquias de papéis que participam de contratos diferentes.

#### B. Estrutura Funcional

Faz-se necessário definir no modelo a maneira como a meta global da organização será atingida. Para isso, a organização define procedimentos para realização das atividades. Naturalmente, o conjunto de todos os procedimentos leva a organização a atingir sua finalidade. Como exemplo, podem-se citar alguns procedimentos em

diferentes organizações: procedimento de negociação, procedimento para obter um extrato bancário, procedimento de alteração de um jogador durante uma partida de futebol, procedimento de levar oxigênio às células etc.

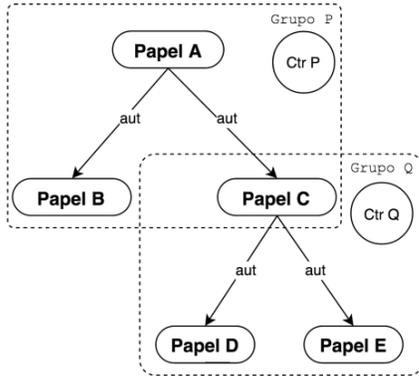


Fig. 4. A hierarquia de papéis de agentes organizada em grupos e seus contratos.

Os procedimentos são denominados de esquemas sociais [8]: um conjunto de etapas estruturado por meio de planos. Esta estrutura é responsável por definir as ações que levam a organização a atingir um determinado estado (meta ou finalidade).

Neste contexto, os grupos de agentes precisam definir quais os esquemas sociais utilizados para a divisão da responsabilidade entre as ações a serem executadas. Para isso, deve-se considerar a estrutura organizacional na qual esses agentes estão inseridos. Como detalhado na subseção anterior, a meta de um contrato é subdividida em compromissos ou submetas, criando subgrupos dentro de uma estrutura hierárquica. Além disso, pode existir relação de dependência entre agentes dentro de um grupo ou entre grupos. [7] define três tipos de dependências (Figura 5):

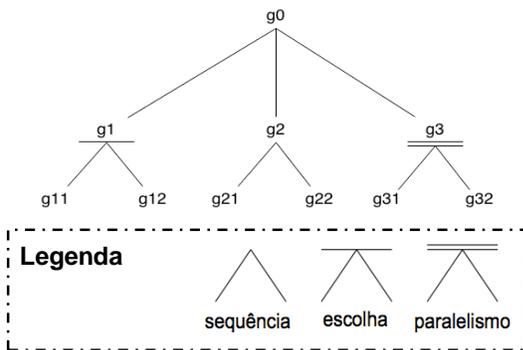


Fig. 5. Relação de dependência entre grupos.

- **Seqüência:** diz respeito a metas que devem ser satisfeitas de forma sequencial. Por exemplo, a meta  $g_0$  é decomposta nas seguintes submetas  $g_1$ ,  $g_2$  e  $g_3$ . Estas metas devem ser satisfeitas sequencialmente nesta ordem. Ou seja, a meta  $g_2$  só será satisfeita quando a meta  $g_1$  for satisfeita, e assim sucessivamente.

- **Escolha:** representam metas elegíveis, porém, uma, e somente uma, delas pode ser satisfeita. Por exemplo, a meta  $g_1$  será satisfeita com a escolha de uma das metas  $g_{11}$  ou  $g_{12}$ .
- **Paralelismo:** ao contrário da escolha, onde somente uma meta pode ser satisfeita, no paralelismo todas as metas deverão ser satisfeitas de forma paralela. Por exemplo, a meta  $g_3$  é satisfeita com a realização das metas  $g_{31}$  e  $g_{32}$ .

Adicionalmente, as dependências auxiliam na identificação dos responsáveis pelo cumprimento ou descumprimento de uma submeta. Como citado na seção anterior, a execução dos agentes está sendo monitorada pelas normas e suas respectivas sanções. Por exemplo, considerando as submetas  $g_{31}$  e  $g_{32}$  que estão em dependência paralela, caso  $g_{31}$  não seja satisfeita, o agente deverá ser penalizado individualmente. Entretanto, deve-se considerar também o seu efeito coletivo, uma vez que, por conta desse agente, a meta  $g_3$  não foi alcançada. Portanto, ele deveria ser penalizado individual e coletivamente.

C. *Árvore de fluxo de cumprimento dos compromissos*

O mecanismo inicia-se pela especificação de uma árvore de compromissos que é construída a partir do fluxo de execução dos compromissos de um determinado contrato, respeitando as estruturas organizacional e funcional definidas anteriormente. Esses compromissos são analisados pelas normas da organização e estão sob pena de sanções. A seguir, a construção da árvore de compromissos é detalhada em um modelo organizacional genérico.

Considere a seguinte estrutura organizacional de uma organização genérica hierárquica representada pela figura 6. Esta organização é composta por três papéis: A B e C que fazem parte do grupo P. O papel A tem ligação de autoridade sobre os papéis B e C, que se tornam subordinados de A. Assim, se estabelece uma hierarquia entre eles no qual o papel A pode delegar ou dividir sua tarefa entre os seus subordinados B e C como representa a figura 7.

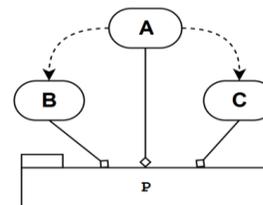


Fig. 6. Especificação Estrutural de uma organização genérica hierárquica representando os papéis A, B e C.

A partir desta especificação estrutural, suponha que o papel A é responsável por cumprir uma meta  $g_0$ , e que os papéis B e C, subordinados de A, são responsáveis por cumprir as submetas  $g_1$  e  $g_2$ , respectivamente, que são submetas de  $g_0$ . Como descrito na subseção anterior, as metas  $g_1$  e  $g_2$  podem ser satisfeitas segundo as dependências de seqüência, escolha ou paralelismo. A figura 8 apresenta a especificação funcional para cada um dos casos.

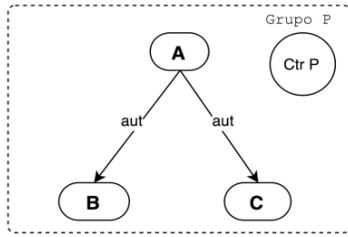


Fig. 7. Hierarquia entre papéis A, B e C e o contrato definido no grupo P.

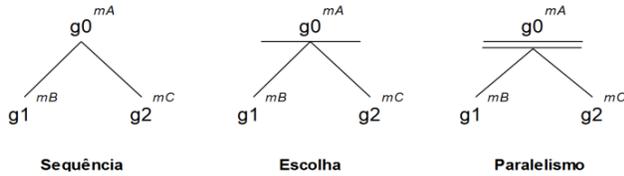


Fig. 8. Especificação funcional das metas descritas nos possíveis casos de sequência, escolha e paralelismo.

Neste contexto, a árvore de compromissos é construída com base nas três dependências distintas que organizam a sequência de execução das metas. Além de representar o fluxo de execução das metas para obtenção da meta final, ela define o mecanismo de sanção em três categorias:

- MSI (*Mecanismo de Sanção Individual*) - estabelece os custos das sanções que dizem respeito às violações individuais, focando apenas no agente que violou: **Cvi** (Custo de violação individual).
- MSC (*Mecanismo De Sanção Coletiva*) - define os custos das sanções que dizem respeito às violações coletivas, ou seja, nesse caso, é considerada a violação e as consequências para as entidades relacionadas hierarquicamente àquele agente que violou: **Cvc** (Custo de violação coletiva).
- MSG (*Mecanismo de Sanção de Gerenciamento*) - define os custos das sanções que dizem respeito ao não cumprimento da meta de um grupo responsabilizando as entidades responsáveis pela delegação e acompanhamento das atividades desse grupo: **Cvg** (Custo de violação de gerenciamento).

Portanto, o mecanismo de sanção considera o **Custo de violação da meta final (Cvmf)** como sendo o somatório de **Cvi**, **Cvc** e **Cvg**.

A seguir a construção da árvore e a definição de cada um dos custos são detalhadas, considerando as três formas de organização da execução das metas.

**Sequência (Figura 9)** – O estado inicial da árvore começa pela meta  $g_0$ , que representa a raiz da árvore. Em seguida, a meta  $g_0$  é decomposta em  $g_1$  e  $g_2$ , que devem ser satisfeitas sequencialmente nessa ordem. Sendo assim, o estado  $g_0$  é, diretamente, um estado de transição para  $g_1$  por este ser o primeiro da sequência.

Por sua vez, o agente que exerce o papel B poderá cumprir ou violar  $g_1$ . Se o agente do papel B optar por violar a meta

$g_1$ , será aplicada diretamente a ele a sanção  $s_1$  de forma individual e o estado retorna para  $g_1$  novamente. Após ter recebido a sanção  $s_1$  o agente ainda poderá cumprir a meta  $g_1$  ou, devido a sua característica autônoma, poderá optar por violar a mesma meta repetidas vezes. No entanto, a sanção  $s_1$ , através do MSI, está associada a um custo **Cvi** (Custo de violação individual) que é acumulado pela quantidade de vezes que ele decidiu violar.

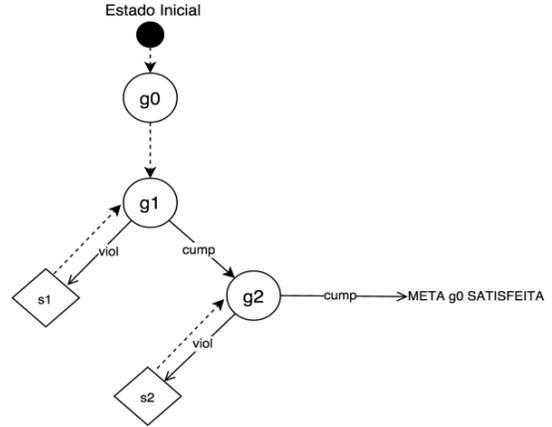


Fig. 9. Árvore de compromissos apresentando as metas  $g_1$  e  $g_2$  em sequência.

Se o agente do papel B optar por cumprir a meta  $g_1$ , a árvore segue para o próximo estado da sequência, que representa a meta  $g_2$ , e o mesmo procedimento acontece semelhantemente. Nesse estado, o papel C poderá cumprir ou violar a meta  $g_2$ . Se ele violar, da mesma forma que no estado anterior, será aplicada a sanção  $s_2$  com o custo **Cvi**. Por fim, se o agente C cumpriu sua meta a árvore passa para o estado onde a meta final foi atingida.

Ao final do processo, se a meta final foi atingida, as sanções  $s_1$  e  $s_2$  terão sido aplicadas, somente, em nível individual para cada agente que cometeu uma violação, como mostra o fluxo da árvore. Assim, o MSI calcula os custos **Cvi** para cada um dos agentes que cometeram violações individuais. No entanto, se a meta final não foi atingida, entram em ação (i) o MSC que vai verificar a cadeia hierárquica e sancionar os responsáveis de forma coletiva e (ii) o MSG que vai sancionar em nível gerencial.

Por exemplo, suponha que a meta final não foi atingida, pois o agente B não cumpriu sua meta  $g_1$  em tempo suficiente. Sendo assim, a árvore para nesse estado e o agente B acumula as sanções individuais  $s_1$  e os custos **Cvi**, pelo fato de ele violar sua própria meta  $g_1$ .

Então, inicia-se a etapa MSC, na qual, a violação do agente B é analisado em relação às entidades ligadas a ele, onde, neste caso específico da dependência de sequência, existe uma dependência entre as metas. Por exemplo, por não cumprir sua meta  $g_1$  o agente B impediu o agente C de cumprir sua meta  $g_2$  e, conseqüentemente, impediu a realização da meta final. Logo, o agente B recebe mais uma sanção com custo **Cvc**.

Vale ressaltar que o agente C não será sancionado em nenhum dos custos, pois o mesmo estava em dependência do agente B.

Após B ter sido sancionado, o MSG é iniciado. Para isso, o MSG sobe um nível hierárquico na árvore, e aplica uma sanção de gerenciamento por não cumprimento da meta final com custo  $C_{vg}$  ao subordinador direto de B, que delegou essa tarefa para ele (agente A). O processo se repete ao longo da árvore e o MSG segue até chegar ao topo da hierarquia sancionando toda a cadeia hierárquica responsável pelo gerenciamento.

**Escolha (Figura 10)** – Semelhantemente ao caso anterior, o estado inicial da árvore começa pela meta  $g_0$ , que é decomposta em  $g_1$  e  $g_2$ . No entanto, quando se trata de uma escolha entre uma das duas metas, a árvore diferencia-se e se decompõe para cada um dos casos, ou seja, não se tem a coletividade.

Nesse caso, o agente do papel A escolhe apenas um dos agentes B ou C para realizar a meta  $g_1$  ou  $g_2$ . Após a escolha da meta, o MSI é aplicado e os custos  $C_{vi}$  (Custo de violação individual) são definidos, semelhantemente ao caso descrito anteriormente.

Entretanto, não tem-se a análise de MSC, pois não existe a dependência coletiva. Portanto, ao final do processo, se a meta final não foi atingida, o MSG entra em ação semelhantemente ao caso anterior, aplicando o custo  $C_{vg}$ . Por exemplo, suponha que o agente B foi escolhido para realizar sua meta, nesse caso, se B violar ou cumprir será indiferente para o agente C, portanto, em caso de escolha, a sanção possuirá apenas custos  $C_{vi}$  e  $C_{vg}$ .

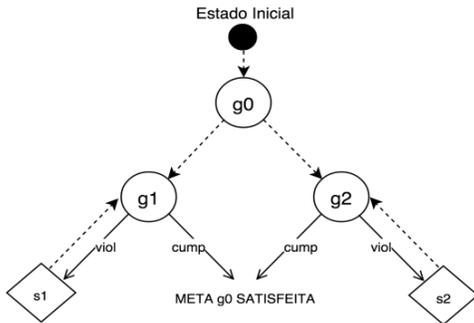


Fig. 10. Árvore de compromissos apresentando as metas  $g_1$  e  $g_2$  como escolha.

**Paralelismo (Figura 11)** – Neste caso a meta  $g_0$  é decomposta em  $g_1$  e  $g_2$ , que devem ser satisfeitas em paralelo. Diferentemente do caso anterior, existe um estado  $g_3'$ , que não representa nenhuma meta, porém, ele é alcançado a medida que as metas  $g_1$  e  $g_2$ , que estão em paralelo, são cumpridas. Quando a árvore alcança este estado  $g_3'$  significa que as metas  $g_1$  e  $g_2$  foram cumpridas e, conseqüentemente, a meta final foi atingida.

Seguindo o mesmo raciocínio dos casos anteriores, o MSI aplica as sanções individuais e define os custos  $C_{vi}$  (Custo de violação individual) para cada uma das violações. Ao final do

processo, se a meta final não foi atingida, o MSC aplica as sanções coletivas por não cumprimento da meta e, finalmente, o MSG define os custos  $C_{vg}$  às entidades da cadeia hierárquica que foram responsáveis por não cumprir a meta final. Porém, para estabelecer os custos  $C_{vc}$  (Custo de violação coletiva) é necessário verificar se houve dependência entre as metas.

Por exemplo, inicialmente os agentes B e C, tem igual responsabilidade sobre a meta final, pois suas  $g_1$  e  $g_2$  devem ser cumpridas em paralelo para a obtenção dela. Então, considere a seguinte situação: o agente B violou sua meta  $g_1$ , mas, o agente C cumpriu sua meta  $g_2$ . Sendo assim, o agente B, que violou, torna-se agora o principal responsável pela não realização da meta final e, assim, ele recebe uma sanção com custo  $C_{vi}$  e  $C_{vc}$ . Entretanto, o agente A também será sancionado com custo  $C_{vg}$ .

Vale ressaltar que o agente C não será sancionado, visto que o mesmo alcançou a sua meta e estava em dependência do agente B. Entretanto, caso o agente C não tivesse cumprido a sua meta, ele seria sancionado da mesma forma que o agente B.

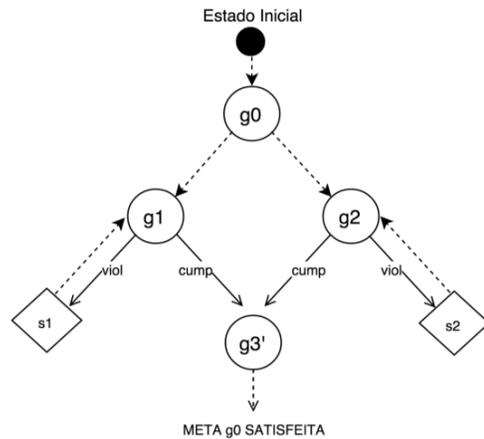


Fig. 11. Árvore de compromissos apresentando as metas  $g_1$  e  $g_2$  em paralelo.

#### IV. ESTUDO DE CASO

Nesta seção é apresentado um estudo de caso que retrata uma organização que possui vários grupos de agentes. Para cada grupo é acordado um contrato que possui seus compromissos. Em seguida, este estudo de caso é colocado em dois cenários diferentes: (i) um contendo o mecanismo padrão de aplicação de sanções e (ii) outro contendo o mecanismo de sanção proposto pelo presente artigo.

##### A. Contexto e Definição da Organização

O estudo de caso representa uma organização que tem como finalidade a escrita de artigos científicos para submissão em Conferências. Os agentes podem exercer os seguintes papéis na organização:

- Professor: responsável por coordenar e acompanhar as atividades dos agentes que exercem os papéis de Aluno de Pós-Graduação e de Aluno de Iniciação Científica.
- Aluno de Pós-Graduação: responsável por realizar pesquisas, escrever artigos e acompanhar os agentes que exercem o papel de Aluno de Iniciação Científica.
- Aluno de Iniciação Científica: responsável por realizar pesquisas e escrever artigos.

A organização está estruturada por meio de uma hierarquia, como mostra a Figura 12. Por meio dessa estrutura, o papel Professor possui autoridade sobre o papel Aluno de Pós-Graduação, e o papel Aluno de Pós-Graduação possui autoridade sobre o papel Aluno de Iniciação Científica.

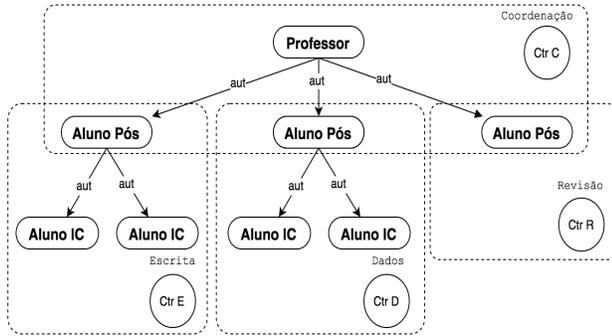


Fig. 12. Estrutura hierárquica da organização.

Quanto à estrutura funcional, os compromissos estão organizados conforme a Figura 13. Vale ressaltar que os compromissos Escrever Artigo e Escrever Sessões devem ser executados em paralelo, enquanto deve-se escolher entre os compromissos Coletar Dados pela Internet e Coletar Dados em Campo. Adicionalmente, os compromissos Coordenar Escrita, Coletar Dados e Revisão devem ser executados de forma sequencial na ordem apresentada na Figura 13.

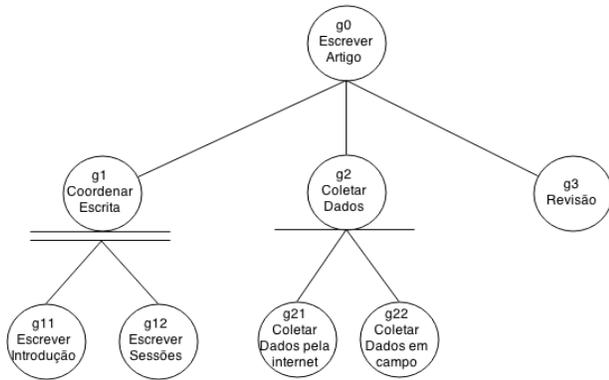


Fig. 13. Estrutura hierárquica da organização.

Os contratos definem os compromissos para cada papel e as regras dos custos individuais, coletivos e gerenciais em cada grupo formado como mostra a figura 14. Adicionalmente, o valor de cada custo foi definido como segue:

- *Cvi*: -2;
- *Cvc*: -1;
- *Cvg*: -1.

Fig 14.a) Ctr E

R	Compr.	Papel	Cvi	Cvc	Cvg
1	g1 – coordenar escrita	Aluno Pós	$\neg(g1)$	-	$\neg(g1)$
2	g11 – escrever introdução	Aluno IC	$\neg(g11)$	$(g12) \wedge \neg(g11)$	-
3	g12 – escrever sessões	Aluno IC	$\neg(g12)$	$(g11) \wedge \neg(g12)$	-

Fig14.b) Ctr D

R	Compr.	Papel	Cvi	Cvc	Cvg
1	g2- Coletar dados	Aluno Pós	$\neg(g2)$	-	$\neg(g2)$
2	g21 – Coletar dados pela internet	Aluno IC	$\neg(g21)$	-	-
3	g22 – Coletar dado em campo	Aluno IC	$\neg(g22)$	-	-

Fig14.c) Ctr C

R	Compr.	Papel	Cvi	Cvc	Cvg
1	g0- Escrever artigo	Professor	-	$\neg(g0)$	$\neg(g0)$
2	g1 – Coordenar escrita	Aluno Pos	$\neg(g1)$	$\neg(g2)$	-
3	g2 – Coletar dados	Aluno Pos	$\neg(g2)$	$\neg(g3) \wedge (g1)$	-
4	g3 - Revisar	Aluno Pos	$\neg(g3)$	$(g2)$	-

Fig. 14. Contratos de cada um dos grupos formados.

Com isso inicia-se a definição da árvore de cumprimento dos compromissos. A Figura 15 apresenta a árvore, na qual é possível visualizar a relação entre os compromissos e as sanções.

**B. Cenários para aplicação de sanções**

**Cenário 1:** O compromisso g1 não foi cumprido, pois:

- O agente responsável pelo compromisso g11 conseguiu terminar a sua atividade;
- O agente responsável pelo compromisso g12 não conseguiu terminar a sua atividade.

**Cenário 2:** O compromisso g2 não foi cumprido, pois:

- Foi escolhido o compromisso g22;
- O agente responsável pelo compromisso g22 não conseguiu terminar a sua atividade.

**Cenário 3:** O compromisso g3 não foi cumprido, pois:

- O agente responsável pelo compromisso g3 não conseguiu terminar a sua atividade.

**Cenário 4:** A meta g0 não foi cumprida, pois:

- Os cenários 1, 2 e 3 aconteceram.

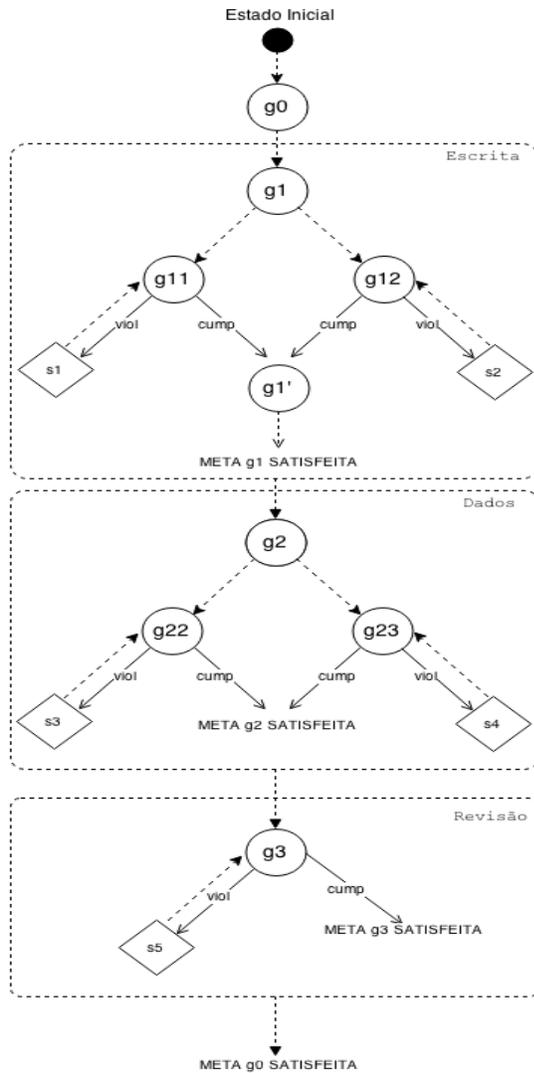


Fig. 15. Árvore de Cumprimento dos Compromissos da organização.

**C. Análise utilizando o mecanismo padrão (individual)**

Utilizando o mecanismo padrão de sanção definido por [17], para cada cenário só serão sancionados os agentes que violaram o compromisso, ou seja, não executaram as ações

que estavam vinculadas a uma norma de obrigação. A tabela I apresenta os pontos referentes à sanção para cada cenário.

Vale ressaltar que o cenário 4 não recebeu nenhuma sanção, pois mesmo sendo possível identificar o agente responsável, ele não deixou de executar nenhuma ação que fosse passível de sanção.

**D. Análise utilizando o mecanismo individual, coletivo e gerencial**

Utilizando o mecanismo de sanção proposto no presente artigo, para cada cenário serão sancionados os agentes que violaram o compromisso e limitaram a execução das atividades dos agentes que dependiam dele. Adicionalmente, os agentes responsáveis pela delegação das atividades também sofrerão punição por conta da responsabilidade na coordenação dos agentes subordinados a eles. A tabela II apresenta os pontos referentes à sanção para cada cenário.

Analisando a tabela, pode-se concluir que o Cvi é -6, o Cvc é -4 e o Cvg é -6. Portanto, o Cvmf é -16.

Vale ressaltar que a pontuação considerou que os agentes não cumpriram os seus compromissos, e os agentes responsáveis por coordenar as atividades não foram eficazes para guiar os agentes para o objetivo geral do grupo.

**E. Discussão acerca dos resultados encontrados**

Comparando os resultados encontrados nas subseções C e D, pode-se notar que a tabela I apenas retrata a punição individual de cada agente, ou seja, identifica apenas um dos responsáveis pelo não cumprimento do objetivo global do sistema.

Em contrapartida, a tabela II apresenta dados mais concretos acerca dos responsáveis. Pode-se notar que a penalização individual foi igual a penalização realizada na subseção C. Entretanto, os dados mostram que os responsáveis pelo não cumprimento dos compromissos trouxeram efeitos relacionados a dependência (tanto no seu nível como no nível superior) como de gerenciamento.

Portanto, pode-se notar que 24% da pontuação obtida está relacionada com efeitos coletivos, 38% está relacionada com os efeitos gerenciais e 38% está relacionada com os efeitos individuais. Por meio dessa análise, a organização pode tomar decisões acerca dos agentes que irão formar os grupos e os que irão liderá-los.

TABLE I. PONTUAÇÃO CONSIDERANDO SANÇÕES INDIVIDUAIS

Cenário	Pontos	Sanção	Papel	Motivo
1	-2	Individual	Aluno IC	g12 não foi cumprida.
2	-2	Individual	Aluno IC	g22 não foi cumprida
3	-2	Individual	Aluno Pós	g3 não foi cumprida
4	0	-	-	-
<b>Total</b>	<b>-6</b>			

TABLE II. PONTUAÇÃO CONSIDERANDO SANÇÕES INDIVIDUAIS, COLETIVAS E INDIVIDUAIS

Cenário	Pontos	Sanção	Papel	Motivo
1	-2	Individual	Aluno IC (g12)	g12 não foi cumprida
1	-1	Coletiva	Aluno IC (g12)	g1 não foi cumprida
1	-1	Gerencial	Aluno Pós (g1)	g1 não foi cumprida
1	-1	Gerencial	Professor	g0 não foi cumprida
2	-2	Individual	Aluno IC	g22 não foi cumprida
2	-1	Gerencial	Aluno Pós	g2 não foi cumprida.
2	-1	Gerencial	Professor	g2 não foi cumprida.
3	-2	Individual	Aluno Pós	g3 não foi cumprida.
3	-1	Gerencial	Professor	g3 não foi cumprida.
4	-1	Coletiva	Aluno Pós	g1 não foi cumprida.
4	-1	Coletiva	Aluno Pós	g2 não foi cumprida
4	-1	Coletiva	Aluno Pós	g3 não foi cumprida.
4	-1	Gerencial	Professor	g0 não foi cumprida
<b>Total</b>	<b>-16</b>			

## V. TRABALHOS RELACIONADOS

Muitos trabalhos focam na definição de estruturas organizacionais para que o objetivo global da organização se sobreponha sobre o objetivo individual do agente [11] [8] [18] [19]. Entretanto, alguns deles não apresentam mecanismos de aplicação de sanções. A tabela III apresenta uma comparação entre essas estruturas organizacionais.

TABLE III. COMPARAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS ORGANIZACIONAIS

	Moise+ [11]	OperA [8]	MASQ [18]	AGR [19]
Organização	Define tarefas a serem completadas	Define Papéis, Contratos, Normas e protocolos	Define normas, papéis e grupos	Representa como grupos e papéis
Perspectiva do Agente em relação a papéis e grupos	Executa parte da tarefa segundo o seu papel	São associados aos papéis segundo via controle social	Associa papéis a agentes e somente membros do mesmo grupo podem interagir	Associados a grupos executando um ou mais papéis
Papel	Exercidos por agentes e compõem uma missão	Papéis assinam contratos	Associado a grupos.	Associado a grupos e exercidos por agentes
Sanções	--	Sanção de Punição	Sanção de Punição	--

Neste contexto, OperA e MASQ possibilitam a aplicação de sanções, porém utilizam apenas a análise individual. Portanto, os efeitos da violação sobre um grupo não é considerado.

Além de estruturas organizacionais, este trabalho considerou alguns trabalhos de mecanismos de aplicação de sanção. Primeiramente, o trabalho de [20] apresenta um mecanismo de sanção adaptativo aplicado em sistemas multiagente regulados por normas. Este mecanismo tenta visa identificar os atributos do ambiente que tem alguma influência na tomada de decisão dos agentes e posteriormente utiliza estes atributos para definir sanções que podem impedir a violação de normas. A abordagem adapta sanções a determinados agentes e a determinados estados do ambiente.

Nesta mesma linha, [21] propõem um modelo para adaptações de sanções de intimidação de acordo com a população de agentes a fim de perseguir uma meta global em um sistema normativo. O mecanismo tem o objetivo de prevenir que agentes cometam falhas normativas e evitem o controle institucional além do que é necessário. Além disso, visa maximizar a atividade do agente assegurando um nível de conformidade e de compromisso diante dos riscos desconhecidos e atitudes sociais.

Vale ressaltar que ambos os trabalhos não consideram a aplicação de sanções em nível coletivo. Contrastando com o mecanismo apresentado nesse trabalho, nota-se que por meio da hierarquia é possível identificar as responsabilidades de cada agente no grupo no qual o mesmo faz parte e aplicar sanções de forma individual, coletiva e gerencial. Com isso, pode-se ter uma visão mais completa quanto ao funcionamento da organização e identificar quais os seus pontos positivos e negativos, auxiliando em futuras tomadas de decisão.

Utilizando o método de sanções tradicional (forma individual), a organização consegue ter uma visão quanto ao comportamento do agente e não quando o mesmo está trabalhando em grupo. Por meio do estudo de caso apresentado, é notório o benefício da análise e da comparação dos dois cenários apresentados para a organização.

## VI. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTUROS

Por meio de sanções, as organizações que compõem os SMAN podem penalizar e/ou recompensar os agentes que violaram e/ou cumpriram uma determinada norma. Vale salientar que por meio dos contratos, as organizações estipulam os compromissos que devem ser atingidos juntamente com as normas que monitoram a sua execução.

Entretanto, as estruturas organizacionais existentes na bibliografia acabam sancionando apenas os agentes em nível individual, ou seja, não analisam o efeito coletivo nem gerencial. O presente trabalho propôs um mecanismo de sanção que considera o nível de responsabilidade de cada agente analisando seu efeito individual, coletivo e gerencial. Para tanto, foram utilizadas estruturas organizacionais hierárquicas para demonstrar o funcionamento do mecanismo. Adicionalmente, foi proposta uma abordagem de estrutura funcional para analisar a dependência entre os agentes que estão trabalhando conjuntamente.

Após a definição das estruturas organizacionais e funcionais, foi apresentada a árvore de cumprimento de compromissos, na qual, o mecanismo de sanções proposto a utiliza para aplicar os diferentes custos definidos no presente artigo: Cvi (Custo de violação individual) - resultante do MSI (Mecanismo de Sanção Individual); Cvc (Custo de violação coletiva) - resultante do MSC (Mecanismo De Sanção Coletiva); e Cvg (Custo de violação de gerenciamento) - resultante do MSG (Mecanismo de Sanção de Gerenciamento).

Em seguida, foi apresentado um estudo de caso, no qual submeteu-se um mesmo cenário de uma organização ao mecanismo de sanções encontrado na bibliografia e o proposto neste trabalho. Os resultados encontrados demonstram que o mecanismo proposto disponibiliza dados para a organização melhorar a sua execução, seja para a formação dos grupos como para a escolha dos líderes. Em contrapartida, o mecanismo disponível na bibliografia considera apenas o efeito individual do agente possibilitando que a organização possa apenas melhorar o seu processo de seleção de agentes que irão executar tarefas técnicas e não gerenciais.

Como trabalhos futuros, pode-se destacar:

- A implementação do mecanismo de sanções proposto utilizando as estruturas organizacionais e funcionais definidas neste trabalho;
- Utilizar técnicas de otimização para auxiliar na maximização da meta global da organização considerando os dados resultantes do mecanismo de sanções proposto;
- Utilizar estratégias de reputação para auxiliar na formação de grupos e na escolha de líderes utilizando os dados resultantes do mecanismo de sanções proposto.

## REFERENCES

- [1] Jennings N. R., Wooldridge M. J. (eds.); "Agent technology: foundations, applications and markets." Springer Verlag. (1998) (*references*)
- [2] Norman, T. J.; Preece, A.; Chalmers, S.; Jennings, N. R.; Luck M.; Dang, V. D.; Nguyen, T. D.; Deora, V.; Shao, J.; Gray, W. A. ; And N. J. Fiddian. "Conoise: Agent-based formation of virtual organisations." In *Research and Development in Intelligent SystemsXX: Proceedings of AI2003, the Twentythird SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence*, pages 353 – 366, Springer-V erlag, 2003.
- [3] Jomi F. H., Olivier B., Rosine K, Alessandro R. "Instrumenting multi-agent organisations with organisational artifacts and agentes." *Journal: Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Volume 20, Issue 3, pp 369-400, 2010.
- [4] Hewitt, C. "Offices are open systems." *ACM Transactions on Information and System Security*, 4:271–287, ISSN 1046-8188. 4, 13, 25, 60, 66, 1986.
- [5] D Isern, D Sánchez, A Moreno. "Organizational structures supported by agent-oriented methodologies." *Journal of Systems and Software*, Volume 84, pp. 169-184, 2011.
- [6] Fasli, M. "Accounting for social order in multi-agent systems: preliminary report." In: *Intelligent Agent Technology, IAT 2004 Proceedings*, IEEE/WIC/ACM, pp. 204-210, 2004.
- [7] Wooldridge M.; "An introduction to multiagent systems." Wiley, 2nd edition, 2009.
- [8] Dignum V., Vazquez-Salceda J., Dignum F.; "Omni: Introducing social structure, norms and ontologies into agent organizations." *InPROMAS'04*, vol. LNCS 3346, pp. 181–198, 2004.
- [9] Cruz, F. I. S.; Rocha Jr., R. M.; Freire, E. S. S.; Cortés, M. I. Norm-based Behavior Modification in Reflex Agents - An Implementation in JAMDER 2.0. In: *16th International Conference on Enterprise Information Systems, 2014, Lisbon. Proceedings of the 16th International Conference on Enterprise Information Systems*. p. 497.
- [10] Campos, G. A. L.; Freire, E. S. S.; Cortés, M. I.; Vasconcelos, W. W. . An Approach for Norm-Based Behavior Modification in Model-Based Reflex Agents. In: *15th International Conference on Artificial Intelligence (ICAI@WORLDCOMP), 2013, Las Vegas (USA). Proceedings of the 15th International Conference on Artificial Intelligence, 2013*.
- [11] Hübner, J. F.; Sichman, J. S.; Olivier, B. "A model for the structural, functional and deontic specification of organizations in multiagent systems." In: *SBIA '02 Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence: Advances in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag London, UK, 2002.
- [12] V.T. Silva, C. Braga, K. Figueiredo, A Modeling Language to Model Norms, in: *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, 2010*.
- [13] F. López y López, Social Power and Norms: Impact on agent behavior, PhD thesis, University of Southampton, Faculty of Engineering and Applied Science, Department of Elec-tronics and Computer Science, 2003.
- [14] V. Silva, R. Choren, C. Lucena MAS-ML: A Multi-Agent System Modelling Language *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, 2 (4) (2008) Interscience Publishers.
- [15] Nir Oren, Tim Norman, Alun Preece, Stuart Chalmers. *Policing Virtual Organizations*.
- [16] Freire, E. S. S. ; Goncalves, E. J. T. ; Cortés, M. I. ; Lopes, Y. S. ; Brandao, M. G. . Tao+: Extending the Conceptual Framework TAO to Support Internal Agent Architectures in Normative Multi-Agent Systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, v. 292, p. 57-69, 2013.
- [17] Meyer, J. J.; 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.
- [18] Ferber J., Stratulat T., Tranier J.; *Towards an Integral Approach of Organizations in Multi-Agent Systems. Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models*, IGI Global (Ed.) 51-75. (2009)

- [19] Ferber, J., Gutknecht, O., Michel, F.; From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In: Giorgini, P., Müller, J., Odell, J. (Eds.), 4th International Workshop on Agent-oriented Software Engineering IV, AOSE 2003. Springer Berlin/Heidelberg, Melbourne, Australia, pp. 214–230. (2003)
- [20] Centeno R., Billhardt H., Hermoso R.; An Adaptive Sanctioning Mechanism for Open Multi-agent Systems Regulated by Norms. Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2011 23rd IEEE International Conference on, pp. 523 – 530. (2011)
- [21] Cardoso, H. L.; Oliveira, E. Adaptive Deterrence Sanctions in a Normative Framework, Web Intelligence and Intelligent Agent Technologies, WI-IAT '09. IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on (Volume: 2 ), pp. 36 – 43. (2009)