

iStar4RationalAgents: uma extensão do iStar para modelar sistemas multiagentes com agentes racionais

Abstract A engenharia de requisitos é uma disciplina relevante no desenvolvimento de software. O desenvolvimento de sistemas de campos específicos requer técnicas de especificação de requisitos adequadas às suas necessidades. Os sistemas multiagentes (MAS) envolvem uma ampla variedade de agentes que interagem entre si para atingir seus objetivos. Geralmente, os agentes em um MAS podem ser reativos ou proativos, essa escolha define a lógica de seus elementos. Agentes Racionais é o termo usado para mencionar um conjunto de quatro tipos de agentes reativos e proativos. Modelos conceituais que representam a intencionalidade dos agentes racionais podem ser usados para projetar e analisar o MAS de maneira sistemática e estruturada. A modelagem de objetivos é uma maneira de especificar requisitos que podem fornecer uma análise mais detalhada e sistemática das decisões do MAS. No entanto, a modelagem do MAS com agentes racionais diferentes é uma tarefa não trivial, devido à especificidade de seus conceitos de domínio, também no nível de requisitos. Este artigo apresenta uma abordagem para modelar o MAS com agentes racionais no nível de requisitos usando o iStar. Isso faz parte de uma abordagem de desenvolvimento orientado a modelos que foi proposta para apoiar o desenvolvimento do MAS com agentes racionais que envolvem requisitos, arquitetura, código e teste. Estendemos o iStar para oferecer suporte à modelagem dos principais conceitos desse domínio de forma sistemática, com base em um processo para conduzir extensões do iStar. Modelamos um MAS para Educação a Distância para validar e ilustrar o uso de nossa extensão e avaliar os resultados usando uma pesquisa com pesquisadores / desenvolvedores experientes no MAS.

1. Introdução

Software autônomo baseado em inteligência artificial (AI) tem sido amplamente aplicado para resolver um vasto conjunto de problemas nas empresas. Nesse contexto, os agentes são entidades complexas com propriedades comportamentais, como (i) autonomia (ou seja, são capazes de executar sem interagir com seres humanos) e (ii) interação (ou seja, são capazes de interagir através do envio e recebimento de mensagens) e não por invocação explícita de tarefas [37]. O sistema multiagente (MAS) é a subárea da IA que investiga o comportamento de um conjunto de agentes autônomos, com o objetivo de resolver um problema além da capacidade de um único agente [22].

Um agente simples pode agir com base em comportamento reativo ou proativo e pode ser classificado de acordo com sua arquitetura interna que

determina propriedades distintas da agência, atributos e componentes mentais [33]. Russell e Norvig [33] definem quatro tipos de agentes de acordo com sua estrutura interna: Agente Reflex simples, Agente Reflex baseado em modelo, Agente baseado em meta e Agente baseado em utilidade. O tipo de agente é selecionado de acordo com as características do ambiente e com o subproblema que o agente resolverá. Um MAS pode abranger vários tipos de agentes [37].

Uma abordagem orientada ao modelo foi proposta para modelar o MAS com agentes racionais. O desenvolvimento do MAS com agentes racionais é suportado na modelagem do nível arquitetural pela extensão MAS-ML 2.0 [10], a geração de código é suportada pela abordagem proposta por [27] e o teste é suportado pela proposta de [36].

Zave [43] cita que a Engenharia de Requisitos (ER) está preocupada com os objetivos do mundo real de funções e restrições no software. O ER é uma parte importante do processo de desenvolvimento de software, desde a elicitação e especificação até a manutenção dos requisitos [24]. As evidências mostram que erros de requisitos, como erros de classificação e omissões, são mais caros para reparar em fases posteriores, como projeto, desenvolvimento e teste [2]. De acordo com Nuseibeh; Easterbrook [31], modelagem é a construção de descrições abstratas que são passíveis de interpretação, e é uma atividade fundamental na área de ER reduzir os mal-entendidos e omissões. Portanto, é necessária uma proposta para modelar requisitos do MAS com agentes racionais.

A modelagem de requisitos para um sistema multiagente pode ser preferencialmente uma extensão de uma linguagem de modelagem conhecida e confiável, como o iStar. Escolhemos o iStar por ser uma das linguagens de Engenharia de Requisitos Orientadas a Objetivos (GORE) mais usadas e suporta a modelagem de parte dos conceitos do MAS com agentes racionais, como objetivo, crença, agente, tarefas e suporta a modelagem de conceitos organizacionais também. Além disso, essa linguagem possui um processo para conduzir extensões do iStar [17] [18], o que facilita a proposta de novas extensões do iStar.

Este artigo apresenta uma abordagem para modelar o MAS com agentes racionais no nível de requisitos usando o iStar chamado iStar para agentes racionais. Essa extensão foi proposta após o PRIZE, um processo para conduzir extensões da iStar. Nós representamos as construções como um conjunto de estereótipos e quatro construções foram representadas como novos símbolos propostos por um experimento semelhante ao apresentado por [5]. Essa abordagem é suportada pela ferramenta iStar4RationalAgents. Apresentamos modelos conceituais para ilustrar a modelagem do MAS com agentes racionais com base em um exemplo real de um curso de programação em educação a distância oferecida no MOODLE. Esta proposta foi avaliada por pesquisadores / desenvolvedores experientes do MAS.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A seção 2 apresenta os principais conceitos do iStar e do MAS. A seção 3 apresenta trabalhos relacionados.

Nossa proposta de modelar o MAS com agentes racionais é descrita na Seção 4. Na Seção 5, é apresentada a modelagem do MAS para apoiar o curso a distância de programação de pessoas com deficiência. A avaliação do MAS é apresentada na Seção 6. Finalmente, conclusões e trabalhos futuros são discutidos na Seção 7.

2. Prática

Esta seção apresenta conceitos relacionados ao iStar e sistemas multiagentes com agentes racionais.

2.1. iStar

O iStar é uma linguagem de modelagem baseada em objetivos, proposta nos anos noventa [40]. É um ML usado para modelar software no nível de requisitos. Foi estendido para atender a várias áreas de aplicação específicas.

Na estrutura do iStar, as partes interessadas são representadas como atores que dependem uma da outra para atingir seus objetivos, executar tarefas e fornecer recursos. Cada objetivo é analisado do ponto de vista do ator, resultando em um conjunto de dependências entre pares de atores. Os elementos do iStar são classificados como Elementos intencionais (Goal, Softgoal, Task and Resource), atores (General Actor, Role, Position and Agent) e links (Means-end, Decomposition, Contribution and Actor Links). Esses elementos são representados em dois modelos: Dependência Estratégica (SD) e Razão Estratégica (SR). O modelo SD descreve os links e dependências externas entre os atores organizacionais. O modelo de SR permite uma análise de como os objetivos podem ser alcançados através de contribuições dos diversos atores.

O iStar teve algumas variações em sua sintaxe padrão (por exemplo, Toronto iStar [40] e Trento iStar [41]). Esforços foram feitos para unificar a notação linguística e estabelecer um núcleo único. Nesse sentido, podemos nos referir a um trabalho cujo objetivo foi analisar a variação dos construtos iStar (Trento e Toronto) realizada por Horkoff et al. [20] e a definição de um metamodelo de referência [6].

Em junho de 2016, o iStar evoluiu para a versão 2.0 [8]. Foi o resultado de uma discussão iniciada em 2014 na comunidade iStar sobre a padronização do idioma. A nova versão foi endossada pelos principais atores da comunidade, embora ainda seja necessário realizar uma validação completa. Nesta nova versão da linguagem, alguns conceitos foram descontinuados, algumas alterações foram feitas e novos conceitos foram introduzidos.

A nova versão manteve a representação de general actors, roles and agents. Os elementos intencionais, goal, task and resource, não foram alterados. Além disso, o link do ator is-a e o link da contribuição foram mantidos.

O link INS e posições não foram considerados nesta nova versão. O Softgoal foi renomeado como Qualidade no iStar 2.0. A qualidade é descrita em [8] como um

atributo para o qual um ator deseja algum nível de conquista. Por exemplo, em um determinado modelo, uma entidade poderia ser o sistema em desenvolvimento e a Qualidade, seu desempenho. Outra entidade poderia ser o negócio que está sendo analisado e a Qualidade seria o lucro anual. O nível de realização pode ser negado com precisão ou mantido vagamente. As qualidades podem orientar a busca de maneiras de atingir objetivos e servir como critério para avaliar maneiras alternativas de alcançar objetivos.

Os links de parte de peças, peças de teatro, ocupação, capas de atores foram agrupados em um relacionamento denominado participações, e decomposição de meios e tarefas foram agrupados em um relacionamento chamado refinamento.

Existem dois tipos de refinamento: e-refinement e or-refinement. O refinamento e é representado por uma seta em forma de T, a mesma representação do relacionamento de decomposição de tarefas na versão anterior. A decomposição em or é uma flecha com a cabeça cheia, o mesmo que a representação final na versão anterior do iStar.

Por fim, foram propostas as novas qualificações e os relacionamentos necessários. O relacionamento Qualificação conecta qualidade e objetivos, tarefas e recursos. A relação neededBy conecta recursos e tarefas, onde o recurso é necessário pela tarefa relacionada. A Figura 1 mostra as representações gráficas de Qualificação (no lado esquerdo) e neededBy (no lado direito).

Um exemplo em execução do iStar 2.0 é apresentado em Dalpiaz et al. (2016) referente ao reembolso de viagens da Universidade. Os alunos devem organizar suas viagens (por exemplo, conferências) e ter vários objetivos a serem alcançados, além de opções relacionadas a eles. Para atingir seus objetivos, os alunos confiam em outras partes, como uma agência de viagens e o sistema de informações de gerenciamento de viagens da universidade. Na Fig. 2, mostramos uma visão final do exemplo para dar aos leitores uma idéia dos recursos do iStar 2.0 [8].

2.2. Sistemas Multiagentes com Agentes Racionais

Atualmente, a tecnologia de agentes tem sido amplamente aplicada para resolver um vasto conjunto de problemas, como os relacionados à saúde [21], na Internet das Coisas [32] e na robótica [1].

Russell e Norvig [33] definem um agente como uma entidade que pode perceber seu ambiente através de sensores e atuar no ambiente através de atuadores. Ao contrário dos objetos, os agentes são entidades mais complexas com propriedades comportamentais, como (i) autonomia (ou seja, são capazes de executar sem interagir com seres humanos) e (ii) interação (ou seja, são capazes de interagir enviando e recebendo mensagens e não por invocação explícita de tarefas) [37].

Como afirmado em [39], agentes inteligentes possuem as seguintes características:

- Autonomia: os agentes operam sem a intervenção direta de seres humanos ou outros e têm algum tipo de controle sobre suas ações e estado interno;
- Sociabilidade: os agentes interagem com outros agentes (e possivelmente humanos) através de algum tipo de linguagem de comunicação do agente;
- Reatividade: os agentes percebem seu ambiente e respondem em tempo hábil às mudanças que ocorrem nele;
- Proatividade: os agentes não agem simplesmente em resposta ao seu ambiente, eles são capazes de exibir um comportamento direcionado à meta ao tomar a iniciativa.

O Sistema Multiagente (MAS) é a subárea da inteligência artificial que investiga o comportamento de um conjunto de agentes autônomos, com o objetivo de resolver um problema que está além da capacidade de um único agente [22].

O paradigma de desenvolvimento orientado a agentes requer técnicas adequadas para explorar seus benefícios e recursos, a fim de apoiar a construção e manutenção deste tipo de software [42]. Como é o caso de qualquer novo paradigma de engenharia de software, a implantação bem-sucedida e generalizada de MASs requer linguagens de modelagem que explorem o uso de abstrações relacionadas a agentes e promovem a rastreabilidade dos modelos de design ao código. Para reduzir o risco ao adotar uma nova tecnologia, é conveniente apresentá-la como uma extensão incremental de métodos conhecidos e confiáveis e fornecer ferramentas explícitas de engenharia que suportam métodos aceitos pelo setor de implantação de tecnologia [7].

Um agente simples pode agir com base no comportamento reflexo ou proativo. Os agentes reflexos são mais adequados para subproblemas que requerem respostas rápidas. Ao agir em conjunto, os agentes reflexos podem obter bons resultados, como no caso de colônias de formigas [9]. Por outro lado, os agentes baseados em objetivos são mais adequados para problemas complexos que envolvem o uso de algoritmos complexos e requerem mais tempo para serem resolvidos.

Os agentes podem ser classificados de acordo com sua arquitetura interna que determina propriedades, atributos e componentes mentais distintos da agência [33]. Russell e Norvig [33] definem quatro tipos de agentes de acordo com suas arquiteturas internas: agente reflexo simples, agente reflexo baseado em modelo, agente baseado em objetivos e agente baseado em utilidade. A arquitetura interna de um agente é selecionada de acordo com o subproblema que o agente resolverá. O MAS pode abranger vários tipos de agentes com diferentes arquiteturas internas [38].

As arquiteturas internas do agente podem ser categorizadas com base em fundamentos proativos e reativos. Nesse contexto, quatro tipos de arquiteturas de agentes internos foram definidos por Russell e Norvig [33]. Essas arquiteturas são detalhadas nas próximas seções.

2.2.1. Simple Reflex Agent

Um agente reflexo simples (ou reativo) [33] é considerado a arquitetura interna mais simples. Regras de ação-condição são usadas para selecionar as ações com base na percepção atual. Essas regras seguem a forma "se condição, então ação" e determinam a ação a ser executada se a percepção ocorrer. Essa arquitetura pressupõe que a qualquer momento o agente receba informações do ambiente por meio de sensores. Essas percepções consistem na representação de aspectos do estado que são usados pelo agente para tomar decisões. Um subsistema é responsável pela tomada de decisão, ou seja, responsável pelo processamento da sequência de percepção e pela seleção de uma sequência de ações no conjunto de ações possíveis para o agente. O agente executa a ação selecionada em um ambiente por meio de atuadores.

2.2.2. Model-Based Reflex Agent

A estrutura desse tipo de agente é semelhante ao agente reflexo simples apresentado anteriormente, pois lida com as informações usando regras de condição-ação. Para lidar com ambientes parcialmente observáveis e alcançar um desempenho mais racional, o agente também pode armazenar seu estado atual em um modelo interno.

Segundo Weiss [38], os agentes reflexos baseados em modelos selecionam ações usando as informações em seus estados internos. Uma função chamada próxima função é introduzida para mapear as percepções e o estado interno atual em um novo estado interno usado para selecionar a próxima ação. Esse estado descreve aspectos do mundo (chamado modelo) que não podem ser vistos no momento atual, mas foram percebidos mais cedo ou foram obtidos por inferências [33]

2.2.3. Goal-Based Agent

Às vezes, o conhecimento sobre o estado atual do ambiente não é suficiente para determinar a próxima ação e são necessárias informações adicionais sobre situações desejáveis. Agentes baseados em metas são agentes baseados em modelo que definem uma meta específica e selecionam as ações que levam a essa meta. Isso permite que o agente escolha um estado de meta entre várias possibilidades.

A atividade de planejamento é dedicada a encontrar a sequência de ações que são capazes de atingir os objetivos do agente [33]. O agente baseado em metas com planejamento envolve o próximo componente de função e também inclui os seguintes elementos:

- Função Formular Objetivo, que recebe o estado e retorna o objetivo formulado;
- Formule a função do problema, que recebe o estado e a meta e retorna o problema;
- Planejamento, que recebe o problema e usa abordagens de pesquisa e / ou lógica para encontrar uma sequência de ações para atingir uma meta; e
- Ação, representada com suas pré-condições e pós-condições.

2.2.4. Utility-Based Agent

Considerando a existência de múltiplos estados de objetivo, é possível definir uma medida de quão desejável é um estado específico. Nesse caso, com o objetivo de otimizar o desempenho do agente, a função de utilitário é responsável por mapear um possível estado (ou grupo de estados) para essa medida, de acordo com os objetivos atuais [33]. Assim, a função utilidade é incorporada à arquitetura. Além disso, o agente baseado em utilidade preserva os mesmos elementos que os de um agente baseado em meta: próxima função, formule a função objetivo, formule a função problema, o planejamento e a ação.

3. Trabalhos Relacionados

Apresentamos aqui uma extensão do iStar que faz parte de uma abordagem MDD para desenvolver o MAS com agentes racionais. Em [10], é apresentada uma extensão do MAS-ML (Multiagent Systems Modeling Language [35]) para modelar o

MAS com agentes racionais no nível arquitetural. A extensão é suportada por uma ferramenta (ferramenta MAS-ML [11]) e ilustrada por a modelagem de um MAS para leilões virtuais. Uma extensão foi proposta à estrutura Java Development Development (JADE) 1 para apoiar o desenvolvimento de agentes racionais e outras entidades MAS, como organização, ambiente e funções de agente [27]. Além disso, a geração de código dos modelos MAS-ML criados pela ferramenta MAS-ML para a versão estendida JADE. Por fim, Silveira et al. [36] propuseram uma abordagem baseada em agentes para selecionar casos de teste e testar o desempenho do agente racional. As interações entre agente e ambiente são realizadas para avaliar o desempenho do agente para cada caso de teste. Esses trabalhos cobrem grande parte do ciclo de vida de desenvolvimento de software, mas o nível de requisitos não é coberto por eles. Assim, propõe-se nosso trabalho para suprir essa necessidade nessa abordagem.

Por outro lado, foi proposto um processo para conduzir a proposta de extensões do iStar. PRISE (Processo para conduzir extensões do iStar) [17] [18] é um processo bem definido, baseado em uma Revisão sistemática da literatura (SLR) das extensões do iStar [12] e entrevistas e pesquisas com especialistas [16]. O PRISE é suportado por ferramentas como um catálogo de extensões do iStar [13] e uma ferramenta para suportar a criação dos artefatos do PRISE [14].

Finalmente, podemos destacar que o sistema inteligente é um dos grupos de aplicativos que possui mais extensões do iStar identificadas (19 extensões) [12]. Não encontramos ninguém na extensão iStar para modelar agentes racionais.

No entanto, encontramos um conjunto de extensões que define construções que selecionamos para reutilizar. Em Para aumentar os modelos de requisitos com preferências [26], os autores estendem o iStar para incluir a especificação de requisitos opcionais e preferências do usuário, agregados em fórmulas ponderadas para serem otimizadas. Eles combinam isso com uma ferramenta de raciocínio automatizada, adaptada da pesquisa de ponta no planejamento de inteligência artificial com preferências, a fim de sintetizar soluções que atendem aos objetivos e otimizar as preferências das partes interessadas e os requisitos opcionais. O link de efeito é usado nesta extensão [26] para representar elementos de condição (CE) e elementos de efeito (EE) como consequência de tarefas. Consideramos o link de efeito adequado para conectar percepções e ações dos agentes reflexos de nossa abordagem.

TROPOS [4] é uma metodologia baseada em agentes que estendeu o iStar para modelar planos de agentes. Os planos são representados no TROPOS por tarefas na cor azul. Xipho [30] é uma extensão do TROPOS para representar para a engenharia de agentes pessoais sensíveis ao contexto. Xipho representa planos como octógonos. Consideramos o plano de construção proposto por TROPOS e Xipho adequado para representar planos de agentes de nossa abordagem. Além disso, selecionamos a representação gráfica do plano proposto por [19] para esse construto.

Uma extensão do iStar para gerar requisitos em conformidade com a lei usando uma taxonomia de conceitos legais e um conjunto de primitivas para descrever as partes interessadas e seus objetivos estratégicos está presente em [34]. As ações são representadas pela geração de um conjunto de requisitos para um novo sistema que esteja em conformidade com uma determinada lei. Consideramos o plano de construção proposto por esta extensão.

4. iStar4RationalAgents

O iStar4RationalAgents é uma extensão proposta com o processo PRIZE. O artefato final gerado pelo processo está disponível aqui [2](#). A extensão é descrita a seguir com base nesta versão final da especificação de extensão.

Fizemos uma revisão de literatura (não sistemática) para identificar a arquitetura dos agentes e selecionar um subconjunto deles, as principais referências foram [22], [33], [35], [37], [38] e [39]. Entramos em contato com três especialistas em agentes quando estávamos estudando essa área de aplicação.

Identificamos quatro tipos de agentes racionais e seus papéis, ambiente e organização além do elemento interno a serem introduzidos pela extensão, sendo 19 nós e um link. Além disso, três construções existentes da sintaxe padrão do iStar foram usadas para conectar novas construções da extensão (consulte a Seção 4.2.2). A tabela 2 apresenta a lista de conceitos e descrições.

4.1. Definir Metamodelos e Regras de Validação da Extensão

Incluimos os conceitos apresentados na Tabela 2 no metamodelo iStar. Consideramos o relacionamento dos constructos de extensão e do iStar. Relacionamos os conceitos a serem introduzidos com os conceitos padrão do iStar. Assim, concluímos que poderíamos especializar onze construções do iStar. O agente reflex simples, o agente reflex baseado em modelo, o agente baseado em objetivos e o agente baseado em utilidade especializam o agente iStar. Em seguida, formule a função objetivo, formule a função problema, a função utilidade e a ação especialize a tarefa iStar. A organização e o ambiente são especialistas. As metas do agente são representadas pelas metas do iStar sem alterações, as crenças do agente são representadas pelas crenças na versão inicial do iStar sem alterações. A lista das relações entre extensões e construções do iStar é apresentada na Tabela 3. Os conceitos especializados nas construções do iStar herdam as mesmas características da base, portanto, os tipos específicos de agentes têm um limite, por exemplo.

Participantes é um link do iStar 2.0 que é usado para representar que um agente faz parte de uma empresa (representada por outro agente) e quando um agente desempenha um papel. Dessa forma, usamos esse link em mais três situações: i) conectar uma organização e os papéis que podem ser desempenhados em seu contexto (representando propriedade); ii) representar que um agente,

organização ou função habita um ambiente (representando habitar); e iii) vincular um agente e os papéis que ele pode desempenhar no contexto de uma organização (representando a peça).

O resultado é apresentado na Fig. 3. Novas metaclasses são representadas em relacionamentos cinza e pontilhados, conectando metaclasses à lista de estereótipos.

Representamos cada tipo de agente racional e seus papéis por um estereótipo associado à metaclasses do agente. Assim, criamos quatro novos estereótipos: reflexo simples, reflexo baseado em modelo, baseado em objetivos e baseado em utilidade - eles são representados pelo tipo Agent / AgentRole. Esses estereótipos também foram aplicados à função de agente. Não criamos um estereótipo para representar os agentes do trabalho do MAS-ML, porque esse tipo de agente será representado por um agente sem nenhum estereótipo adicional.

A organização e o ambiente são representados por novas metaclasses especializadas na metaclasses do ator. Planejamento e plano são representados por novas metaclasses especializadas em tarefas. Percepção é uma nova metaclasses especializada em elemento intencional. Portanto, a crença, uma metaclasses removida no iStar 2.0, foi adicionada como um elemento intencional novamente. Finalmente, representamos os estereótipos de função seguinte, problema de formulação, objetivo de formulação e função de utilidade e ação pelos tipos de função e ação, dever e direito relacionados à metaclasses da tarefa. O relacionamento necessário era estendido para vincular crenças e tarefas da próxima função. A causa / efeito foi incluída para conectar percepção e ação (representada pela metaclasses da tarefa) e para conectar a próxima função e ação.

Também criamos um conjunto de regras de validação para analisar a boa formação dos quatro tipos de agentes. Representamos essas regras usando o Object Constraint Language (OCL). A Tabela 4 mostra as regras de validação aplicadas à metaclasses do agente.

Essas regras estabelecem os elementos internos permitidos para cada tipo de função de agente. A regra 01 define que um agente reflexo simples tem percepção e tarefa, mas não deve ter objetivo, crença, planejamento ou plano. A regra 02 define que um agente reflexivo baseado em modelo tem crença, percepção e tarefa, mas não deve ter objetivo, planejamento ou plano. As regras 03 e 04 definem um agente baseado em objetivos e um agente utilitário como tendo crença, objetivo, planejamento, percepção e tarefa, mas não deve ter plano. Por fim, a Regra 05 estabelece que o agente do MAS-ML tenha objetivo, plano, tarefa e crença e não deve ter planejamento ou percepção.

Também criamos um conjunto de regras de validação para analisar a boa forma dos quatro tipos de funções de agente. Representamos essas regras usando o Object Constraint Language (OCL). A Tabela 5 mostra as regras de validação aplicadas à metaclasses da função de agente.

Essas regras estabelecem os elementos internos permitidos para cada tipo de função de agente. A regra 01 define um papel de agente de reflexo simples como tendo tarefa, mas não deve ter objetivo, crença, percepção, planejamento ou plano. A regra 02 define um agente reflexivo baseado em modelo como tendo crença e tarefa, mas não deve ter objetivo, percepção, planejamento ou plano. As regras 03 e 04 definem um agente baseado em objetivos e um agente baseado em utilidade como tendo crença, objetivo e tarefa, mas não deve ter planejamento, percepção ou plano. Finalmente, a Regra 05 estabelece que o papel de agente do MAS-ML tem objetivo, crença e tarefa e não deve ter plano, planejamento ou percepção.

As restrições de elementos internos de ambiente e organização foram feitas no metamodelo e não foi necessário propor regras de validação para essas entidades.

4.2. Definindo a Sintaxe Concreta da Extensão

Esta seção apresenta a lista das construções dessa extensão, como as novas representações gráficas foram escolhidas e como modelar um sistema usando a extensão.

4.2.1. Lista de Representação Gráfica dos Construtores

As representações das construções da extensão são apresentadas na tabela a seguir. Usamos o catálogo de extensões do iStar para identificar a representação de construções reutilizadas e reutilizar as representações de ação e causa-efeito. Também usamos as construções originais do iStar para representar alguns conceitos de domínio.

Classificamos as representações dos conceitos de extensão em três grupos:

1. **Construções representadas pelas construções do iStar conforme proposto:** dois conceitos de domínio são representados pelas construções do iStar. Eles são usados pela extensão, mas não têm impacto nas representações gráficas;
2. **Construções representadas por construções do iStar adicionadas com marcadores de texto:** dezessete conceitos de domínio são representados por representações de texto adicionadas às construções do iStar. Essas construções têm um significado semelhante às construções do iStar e as especializam por marcadores de texto. O impacto dessas representações não é alto, pois estamos usando as representações originais, não criando novas.
3. **Construções representadas pela nova representação gráfica do iStar:** cinco conceitos de domínio não são representados por marcadores textuais dos conceitos do iStar, pois são conceitualmente diferentes. Encontramos o plano em extensões anteriores e o

reutilizamos. Assim, propusemos novas representações gráficas para os outros quatro construtos.

Além disso, estendemos o relacionamento necessário para conectar a próxima função e crenças, estabelecendo que as crenças são necessárias para a próxima função. Quando uma ação é representada dentro das funções do agente, ela pode ser definida como um direito (uma tarefa que pode ser executada) usando o tipo de propriedade = 'right' ou um dever (uma tarefa que deve ser executada) usando o tipo de propriedade = 'dever'. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Os detalhes sobre como essas representações gráficas foram escolhidas são apresentados na próxima seção.

4.2.1.1. Escolher Novas Representações Gráficas Desta Extensão

Os novos símbolos propostos por esta extensão para organização, ambiente, percepção e planejamento foram criados usando um experimento baseado no trabalho de Caire et al. [5] Realizamos este experimento de cinco etapas com 152 participantes. Criamos representações gráficas para esses conceitos para serem utilizados nos estudos 4 e 5 deste experimento. Setenta participantes fizeram desenhos para esses quatro conceitos (Etapa 1). Também analisamos os desenhos, agrupamos e identificamos o estereótipo da população (o desenho mais significativo do grupo mais frequente) (Estudo 2). Em seguida, enviamos questionários para identificar o protótipo (Estudo 3) para 29 participantes, a transparência semântica (Estudo 4) para 48 participantes e o reconhecimento (Estudo 5) para 45 participantes. As representações gráficas dos subconjuntos são apresentadas na Fig. 4.

Apresentamos os resultados da taxa de acerto do estudo 4 (experimento de transparência semântica) na Tabela 7. Valores em negrito indicam a melhor taxa de acerto de um conceito entre todos os fatores.

Apresentamos os resultados da taxa de acerto do estudo 5 (experimento de reconhecimento) na tabela 8. Valores em negrito indicam a melhor taxa de acerto de um conceito entre todos os fatores.

Por fim, selecionamos símbolos com base nos resultados dos estudos 4 e 5. Esses símbolos são

usados nesta extensão para representar os novos conceitos. A figura 5 mostra os símbolos selecionados.

4.2.2. Descrevendo Como Utilizar a Extensão

O modelo de SD deve ser criado para representar os agentes, papéis, organizações e ambientes envolvidos no MAS e representar o relacionamento entre eles. Um agente pode desempenhar um papel, habitar um ambiente e fazer parte de uma organização. Eles são representados pelo link do iStar, conforme apresentado na tabela acima. As dependências entre agentes, funções, organizações e ambientes também podem ser expressas. O principal objetivo desta modelagem é representar o MAS a ser desenvolvido na fase inicial, quando o MAS começar a ser proposto e as decisões sobre os elementos intencionais dos agentes, como objetivo, tarefa, planejamento, percepção e detalhes internos das intenções dos agentes, elementos ainda não estão claros. A Fig. 6 mostra um agente desempenhando um papel (i), um agente fazendo parte de uma organização (ii), um Agente habitando um ambiente (iii), uma organização habitando um ambiente (iv), um agente desempenhando um papel em uma organização que habita um ambiente (v) e uma dependência entre um agente e um ambiente. Usamos apenas agentes e funções de reflexo simples, mas esses links podem ser usados com todos os tipos de agentes.

Além disso, o modelo SR deve ser criado para representar os detalhes internos dos agentes, papéis, organizações e ambientes envolvidos no MAS e representar o relacionamento entre eles. O modelo SD é o ponto de partida para a criação deste modelo.

Em nossa abordagem, consideramos a modelagem dos elementos intencionais dos agentes como um refinamento de seus elementos internos, modelados em uma abordagem semelhante à usada por [29] e [25].

Os limites dos agentes devem ser detalhados em relação aos seus elementos intencionais de acordo com as regras de validação apresentadas na Tabela 4. O tipo de agente definido pelo MAS-ML é representado por um agente sem nenhum estereótipo e seu limite é composto por objetivos, crenças, planos e ações (i). Nos agentes reflexos (reflexo simples (ii) e reflexo simples baseado em modelo (iii)), as percepções e ações (e a próxima função no caso de agente reflexo baseado em modelo) devem ser relacionadas pelo vínculo de refinamento com a ação como a fonte. Os objetivos dos agentes baseados em objetivos (iv) são decompostos nas percepções (que são decompostas na próxima função) e no planejamento (que são decompostos em ações). O mesmo se aplica aos agentes utilitários (v), mas estes têm uma função utilidade relacionada ao planejamento por meio de um refinamento e. As crenças são representadas por um link necessário, conectando crenças e a próxima função. A Fig. 7 apresenta os componentes de contorno para cada tipo de agente no diagrama SR.

Os limites das funções relacionadas aos agentes de utilidade e baseados em objetivos e o tipo de agente definido pelo MAS-ML devem representar metas, crenças e ações relacionadas à função. O limite dos papéis dos agentes reflexivos baseados em modelo deve conter crenças e ações relacionadas ao papel e os papéis dos agentes reflexos simples devem conter ações relacionadas ao papel. As ações nas funções relacionadas aos agentes devem ter informações sobre quais deles são obrigatórios (dever) e quais são opcionais (direito). A Fig. 8 apresenta os componentes de contorno para cada tipo de função de agente no diagrama SR.

Além disso, o ambiente e a organização podem ser compostos dos nós e links originais do iStar, como objetivo, qualidade, recursos e nós de tarefas e aprimoramento, qualificação, necessidade e contribuição.

Nota 1: As organizações são representadas no MAS-ML com todos os elementos internos dos agentes que fazem parte da organização. No entanto, o iStar tem problemas de escalabilidade e a criação de um nó com todos os elementos pode ser um problema. Portanto, a organização deve representar elementos intencionais adicionais que não estão presentes nos agentes. A Fig. 9 mostra a representação genérica de ambiente e organização.

Nota 2: Conforme mencionado nesta seção, estamos propondo essa extensão no contexto de uma abordagem orientada a modelos que considerará o MAS-ML como modelos de arquitetura. O MAS-ML apresenta mais nós para representar objetos e papéis de objetos, e estes serão representados no iStar por atores e papéis sem a necessidade de incluir novos estereótipos. Os nós e links originais do iStar são simplesmente usados na abordagem MDD para representar objetos e funções em trabalhos como [28].

A Seção 5 apresenta um exemplo do uso desta extensão do iStar para modelar um MAS para o Moodle.

4.2.3. PiStar4RationalAgents

Aplicamos a extensão na ferramenta de modelagem piStar. A ferramenta estendida foi testada pela modelagem da ilustração apresentada na Seção 5. Não encontramos correções a serem feitas. A ferramenta está disponível em www.cin.ufpe.br/~ler/piStar4rationalagents. A Fig. 10 mostra uma visão geral dos piStar4rationalagents.

5. Ilustração

O MOODLE (ambiente modular de aprendizagem dinâmica orientada a objetos) é amplamente utilizado em cursos a distância. MOODLE é um software gratuito disponível para download em <https://www.moodle.org>. Ele pode ser usado sem custos e possibilitou o desenvolvimento de cursos de educação a distância em todo o mundo. Este software está disponível em uma distribuição padrão que pode ser personalizada. Esse ambiente é utilizado em cursos da Universidade Aberta do

Brasil (UAB), uma universidade do governo brasileiro que oferece cursos em educação a distância. Assim, modelamos um MAS para os cursos da UAB oferecidos em parceria com a Universidade Estadual do Ceará (UAB / UECE).

Cinco agentes foram considerados na modelagem:

Agente Auxiliar: Este agente é um tipo simples de reflexo e possui uma lista de vários insights sobre as dificuldades que o usuário possui e, antes disso, escolhe a ação apropriada. Esse agente percebe em que momento o usuário está e, ao mesmo tempo, oferece dicas sobre como fazer o melhor uso de uma funcionalidade específica, especificamente, a ação para um trabalho específico;

Agente de Aprendizado Associado: Esse tipo de agente deve poder escolher independentemente entre um intervalo predeterminado de estratégias de interação afetiva, como mensagens de suporte. Apresenta mensagens encorajadoras (reforço positivo) quando o usuário, por meio das interações manifestas, fornece evidências fáceis de seguir a discussão e / ou as tarefas e / ou conteúdos propostos, e mesmo quando o aluno apresenta notas e iterações acima da média em sua classe ou grupo de trabalho. Devido à necessidade de manter anotações de aula para comparação e enviar mensagens rapidamente, esse agente é caracterizado como um agente reflexivo baseado em modelo;

Agente Pedagógico: Esse agente deve poder acompanhar o aluno nas diferentes disciplinas que participam para contribuir com o usuário através de dicas, sugestões e mensagens relacionadas ao tópico em andamento e não apenas à natureza afetiva das mensagens (suporte). É um agente baseado em objetivos, porque precisa criar uma estratégia de estudo, sugerindo disciplinas para o aluno com base nas disciplinas que o aluno está realizando. Este agente é modelado como um agente baseado em objetivos;

Agente do grupo: este agente é um agente baseado em utilitário. Deverá ser capaz de ajudar autonomamente usuários, estudantes e educadores, na composição de grupos de trabalho, levando em consideração temas de afinidade ou perfis de aprendizagem. Para isso, deve considerar certos critérios estabelecidos por um treinador de uma ou mais classes ou pelo usuário interessado em integrar os grupos de trabalho;

Agente de Pesquisa: Este agente encontra material extra (páginas, projetos e outros objetos digitais) relacionados aos cursos no MOODLE e enviado aos alunos. Este agente é modelado como um agente padrão do MAS-ML.

Modelamos o MAS para MOODLE com nossa extensão proposta aqui. Inicialmente, o engenheiro de requisitos deve modelar o diagrama estendido para SD com a representação do tipo de agentes com o estereótipo específico. Seus papéis devem ser representados e também a organização e o ambiente. Por fim, o link de participação deve ser usado para representar os papéis desempenhados pelos agentes e o ambiente em que eles habitam. A participação também é usada para representar a propriedade dos agentes por suas organizações. O diagrama SD do MOODLE MAS representa o MOODLE como o ambiente em que os agentes

podem perceber e agir. Modelamos uma organização para coordenar os comportamentos dos agentes. Finalmente, o diagrama representa quatro agentes e duas funções desempenhadas por dois deles. A Fig. 11 mostra o diagrama SD para o MOODLE MAS.

O diagrama SR mostra os elementos internos dos agentes. O conjunto de elementos relacionados depende do tipo de agente. As combinações possíveis são definidas pelas regras apresentadas na Seção 4.1. As percepções dos agentes estão relacionadas ao meio ambiente por um relacionamento de dependência. A figura 12 mostra o diagrama SR para MOODLE MAS.

Além disso, os MASs apresentados nesses modelos foram projetados em nível arquitetônico, codificados, testados e implantados em dois cursos de educação a distância. A primeira é para a Universidade Aberta do Brasil, uma universidade federal que oferece cursos em educação a distância, em associação com a Universidade Estadual do Ceará (<http://www.uece.br/sate/>) e a segunda é a educação a distância em desenvolvimento de software para pessoas com deficiência (<http://projetolead.com.br>). Isso mostra que essa extensão do iStar é válida para ser incluída durante o desenvolvimento dos MASs.

Não foi necessário executar as tarefas 4.2, 4.3 e 4.4. A tarefa 4.5 foi executada e é apresentada na próxima subseção.

6. Avaliação

[Objetivo] O objetivo desta avaliação é identificar o ponto de vista dos pesquisadores nas extensões do MAS sobre essa extensão. Contribuirá para melhorar a extensão.

[Delineamento do estudo] Utilizamos um estudo baseado em uma pesquisa de múltipla escolha e perguntas abertas para analisar as opiniões dos pesquisadores do MAS sobre essa extensão. Seguimos os passos sugeridos por Kitchenham e Pfleeger [23].

[População] O universo desta pesquisa (população) é composto por pesquisadores do MAS do Brasil. Foram considerados os autores de trabalhos de eventos brasileiros como WESAAC, AUTOSOFT, BRACIS e CBSOFT.

[Amostra de participantes] Selecionamos autores das últimas cinco edições desses eventos. Assim, contatamos 164 pesquisadores de 37 universidades / empresas diferentes.

Recebemos um total de 22 respostas de 13 universidades e três empresas. Seu perfil é resumido da seguinte forma: Quanto ao grau, quatro (4) são doutores, nove (9) são doutores, cinco (5) mestres, três (3) mestrandos e um (1) bacharel. Em relação à posição atual de trabalho / pesquisa, onze (11) são professores, um (1) é pós-doutorado, três (3) são analistas de sistemas / arquitetos de software, seis (6) são doutorandos, um (1) é desenvolvedor e um aluno de mestrado e um (1) é um aluno de mestrado.

Em relação ao nível de especialização no MAS, nove (9) afirmaram ter conhecimento avançado sobre o MAS, nove (9) possuíam conhecimento intermediário e quatro (4) estavam surgindo. A Fig. 13 sintetiza o nível de experiência no MAS dos participantes.

Em relação ao tipo de conhecimento com o MAS (os participantes podem escolher mais de uma opção), cinco (5) requisitos textuais criados, seis (6) requisitos modelados (usando iStar, Kaos, TROPOS ou outros), doze (12) modelaram a arquitetura (usando MAS-ML, AML, ANOTE ou outros), doze (12) estudaram um modelo existente, dezenove (19) MAS codificado e onze (11) MAS testado. A figura 14 apresenta o tipo de conhecimento dos participantes.

[Preparação da coleta] Uma pesquisa foi enviada com um conjunto de perguntas de múltipla escolha e questões em aberto. A estrutura completa desta pesquisa está disponível em <https://www.cin.ufpe.br/~ler/iStar4rationalagents/evaluationsurvey>.

Inicialmente, analisamos o perfil, o histórico e a demografia. O formulário inicial exigia os seguintes campos:

- Email, Licenciatura (PhD, Doutorando, MSc, MSc student, BSc, Atual Posição de trabalho / pesquisa (os alunos preenchem com "aluno");
- Instituição de trabalho / pesquisa atual;
- Qual é a sua experiência com sistemas multiagente? (Avançado, Intermediário, Emergente, Sem Especialização);
- Que tipo de experiência você tem com sistemas multiagente? (Criando especificação de requisitos textuais, Requisitos de modelagem (usando iStar, Kaos, TROPOS ou outros), Modelando a arquitetura (usando MAS-ML, AML, ANOTE ou outros), Estudando um modelo existente, Codificação, Teste, Outros).

A primeira seção da pesquisa apresenta uma conceituação sobre agentes racionais e o iStar, mostra a modelagem de um MAS para TAC-SCM usando o iStar sem a extensão e faz algumas perguntas sobre a identificação de entidades nos diagramas e sobre o nível de dificuldade para identificá-los. entidades.

As seguintes perguntas estão relacionadas a esta primeira parte. A pergunta 1.1 solicita ao participante que selecione o conceito correto relacionado a cada entidade / nó. Selecionamos um construto por tipo de construto no modelo, apresentamos seus nomes e solicitamos que eles selecionassem o correto tipo de conceito que representa. Utilizamos uma grade de múltipla escolha para relacionar os valores das linhas (agente comprador, agente de produção, agente de entrega, agente gerente, agente vendedor, agente comprador, TAC-SCM, TAC-SCM principal) com colunas (agente reflexo simples, modelo agente reflexo baseado em objetivo, agente baseado em objetivo, agente baseado em utilidade, agente padrão, organização, ambiente, função do agente).

A pergunta 1.2 pede para selecionar o nível de dificuldade para identificar as entidades / nós (Escala de 1-Muito fácil a 10-Muito difícil).

Pergunta 1.3. está relacionado à seleção do conceito correto relacionado a cada elemento interno (use a barra de rolagem para ver todas as opções). Utilizamos uma grade de múltipla escolha para relacionar os valores das linhas (produto da oferta (no agente do vendedor), identificar cotação do fornecedor (no agente do comprador), semelhanças comerciais inferidas (no agente do gerente), estoque de peças e peças (em Agente de Produção), Produtos de Entrega (em Agente de Entrega), Representar Demanda (em Agente de Produção), Representar Maximização (em Agente Gerente), Preço Estimado de Venda (em Agente Gerente), Produzir Computadores (em Agente de Produção), Oferecer Oferta (em Comprador), Pagar (no comprador)) com colunas (ação, crença, percepção, plano, planejamento, função seguinte, formular função de objetivo, formular função de problema, função de utilidade, dever, direito).

Na pergunta 1.4, o participante deve selecionar o nível de dificuldade para identificar os elementos internos do agente (Escala de 1-Fácil a 10-Difícil). A pergunta 1.5 pergunta sobre a opinião do participante sobre a representação do MAS com agentes racionais usando a sintaxe original do iStar. As seguintes opções são apresentadas: É expressivo o suficiente para representar este tipo de sistemas e uma extensão não é necessária, não é expressivo o suficiente para representar esse tipo de sistemas e uma extensão é necessária ou não sei.

A segunda parte da pesquisa apresenta a extensão (de acordo com as seções anteriores deste capítulo), mostra a modelagem de um MAS para MOODLE usando a extensão iStar e faz algumas perguntas sobre a identificação de entidades nos diagramas e o nível de dificuldade para identificá-las. entidades (perguntas semelhantes à primeira parte). Destacamos que os sistemas modelados nessas duas partes têm complexidade e número de nós e links semelhantes. Por fim, a terceira e última parte pergunta a opinião dos participantes sobre os pontos mais fortes e fracos, sobre a necessidade de propor a extensão, a existência de problemas na extensão, a utilidade, a opinião sobre a representação dos conceitos introduzidos, dificuldade entender a viabilidade e intenção de uso e, finalmente, se é útil para a comunidade iStar e se será recomendado a outros pesquisadores.

A pesquisa foi validada por dois especialistas em extensões do iStar (um deles tem experiência com o MAS). Testamos a pesquisa com um professor de ciência da computação da Universidade Federal do Ceará com experiência no MAS. Os dados piloto não foram utilizados durante a análise. [Coleta de dados] A pesquisa foi escrita em inglês e enviada pelo Google Forms entre dezembro de 2018 e fevereiro de 2019. [Análise de dados] Representamos os resultados das perguntas da pesquisa por gráficos e tabelas que apresentam uma análise em estatística descritiva. Os dados desta pesquisa estão disponíveis em www.cin.ufpe.br/~ler/iStar4rationalagents/data.

6.1. Resultados e Discussões da Pesquisa

Nesta seção, descrevemos os resultados da pesquisa. Não foi possível comparar os dados de nossos resultados e os de estudos semelhantes, porque este é o primeiro estudo a avaliar essa extensão. Iniciamos nossa análise comparando a percepção dos participantes sobre a modelagem do MAS usando o iStar e a extensão iStar.

Os resultados da identificação das entidades MAS apontam para a seguinte porcentagem de respostas corretas sem a extensão (primeira parte): agente reflexo simples - 27,3% (6/22), agente reflexo baseado em modelo - 50% (11/22), agente baseado em metas - 59% (13/22), agente baseado em utilidade - 68,1% (15/22), agente padrão MAS-ML - 9% (2/22), função de agente - 63,6% (14/22), ambiente - 63,6% (14/22) e organização - 36,4% (22/8).

Os resultados da identificação de entidades MAS apontam para a seguinte porcentagem de respostas corretas com a extensão iStar (terceira parte): agente reflexo simples - 77,3% (17/22), agente reflexo baseado em modelo - 72,7% (16/22), agente baseado em metas - 90% (20/22), agente baseado em utilidade - 72,7% (16/22), agente padrão MAS-ML - 72,7% (16/22), função do agente - 68,2% (15 / 22), ambiente - 90,9% (20/22), organização - 95,4% (21/22).

A comparação entre as duas representações de entidades MAS está resumida na Fig. 15. É possível identificar que todas as representações com a extensão tiveram um número maior de respostas corretas do que as representações sem a extensão.

Também analisamos os elementos internos dos agentes. Os resultados da identificação dos elementos internos do MAS apontam para a seguinte porcentagem de respostas corretas sem a extensão (primeira parte): ação - 54,5% (12/22), crença - 27,3% (6/22), percepção - 31,8% (7/22), próxima função - 27,3% (6/22), formular função de objetivo - 18,2% (4/22), formular função de problema - 0% (0/22), função de utilidade - 9,1% (2/22), plano - 22,7% (5/22), planejamento - 18,2% (4/22), imposto - 9,1% (2/22), direito - 9,1% (2/22).

Os resultados da identificação dos elementos internos do MAS apontam para a seguinte porcentagem de respostas corretas com a extensão (terceira parte): ação - 90,9% (20/22), crença - 72,3% (17/22), percepção - 72,7% (16/22), próxima função - 63,6% (14/22), formular função de objetivo - 63,6% (14/22), formular função de problema - 59,1% (13/22), função de utilidade - 59,1% (13/22), plano - 68,2% (15/22), planejamento - 59,1% (13/22), imposto - 40,9% (9/22), direito - 27,3% (22/6).

A comparação entre as duas representações dos elementos internos do MAS está resumida na Fig. 16. É possível identificar que todas as representações com a extensão tiveram um número maior de respostas corretas do que as representações sem a extensão.

A extensão melhorou a percepção dos construtos MAS introduzidos pela extensão. A Tabela 9 mostra os resultados gerais sobre a identificação correta das entidades para o iStar sem extensão e com extensão.

Também analisamos o nível de dificuldade percebido pelos participantes para identificar as entidades do MAS e os nós e links internos. A extensão reduziu o nível de dificuldade para identificar as entidades do MAS e os nós e links internos em cerca de 50%. A Tabela 10 mostra os resultados do nível de dificuldade sem extensão e com extensão.

A última pergunta da primeira parte da pesquisa dizia respeito à opinião sobre a representação dos agentes racionais com a sintaxe padrão do iStar (sem a extensão). Dos participantes, 72,8% (16/22) responderam que não é expressivo o suficiente para representar esse tipo de sistema e é necessária uma extensão e 13,6% (3/22) consideram que é expressivo o suficiente para representar esse tipo de sistema e extensão não é necessária e 13,6% (3/22) responderam não sabem.

A segunda parte consiste na apresentação da extensão. Consequentemente, não há respostas para esta parte.

A terceira parte é composta por três perguntas abertas iniciais para revelar os pontos fortes e fracos, as melhorias e a identificação de problemas. Eles reconheceram que a extensão facilita a identificação das entidades do MAS e seus elementos internos; este é um ponto forte comum mencionado por 13/22 participantes. A fraqueza mencionada por dois participantes é que, com a extensão, novos conceitos são representados no iStar e há a necessidade de aprender e representar esses elementos nos modelos. Acreditamos que não é algo relacionado a esta extensão, mas é uma consequência geral de todas as extensões. Um participante nos questionou sobre a representação do protocolo de comunicação entre diferentes MAS. Entendemos que faz parte da representação de um MAS, mas essa representação é considerada apenas no nível arquitetural em nossa abordagem. Os participantes não identificaram nenhum problema na extensão.

A extensão recebeu uma boa avaliação dos especialistas que participaram da pesquisa. A Tabela 11 mostra os resultados das perguntas 3.4 - 3.6, 3.8, 3.10 e 3.11. A mediana, o modo e o número de respostas recebidas para cada opção (concordo totalmente, concordo, não sei, discordo e discordo totalmente) foram apresentados para cada pergunta.

Os participantes responderam sobre a adequação da extensão proposta a ser usada para modelar o próximo MAS, com os resultados que cinco (5) participantes consideraram muito adequado, dezesseis (16) consideraram adequado e um (1) não sabe. Além disso, o nível de dificuldade para entender esta extensão (questão 3.7) foi mencionado pelos participantes: dois (2) muito fáceis, doze (12) fáceis, seis (6) médios, dois (2) difíceis e nenhum respondendo muito difícil. Por fim, 86,4% (20/22) dos participantes mencionaram a intenção de recomendar essa extensão do iStar a outros pesquisadores (pergunta 3.12), enquanto 13,6% (3/22) dos participantes mencionaram talvez recomendá-la.

6.2. Ameaças à Validade

Segundo Kitchenham e Pfleeger [23], há quatro aspectos que precisamos considerar: validade de critério, validade de construto, validade de face e validade de conteúdo.

A validade de critério é uma medida de quão bem um instrumento se compara com outro instrumento predecessor. Validade de construção é a observação de como um instrumento "se comporta" quando em uso. Pode ser convergente ou divergente. Face Validity é uma análise superficial de itens por pessoas ingênuas, para testar sua compreensão. Por fim, a Validade do Conteúdo é uma avaliação da adequação do instrumento aos participantes. Nesta seção, apresentamos ameaças à validade da pesquisa.

Validade do critério. Não encontramos um estudo qualitativo prévio para esse fim. Portanto, não foi possível comparar essa avaliação com estudos anteriores.

Validade do construto. Criamos a pesquisa com diferentes tipos de perguntas: perguntas da escala Likert (3,4 - 3,11), perguntas sobre medidas de esforço ou contribuição (1,2 e 2,2), pergunta sim / não / talvez (3,12), perguntas abertas (3,1, 3,2 e 3,3), Opções específicas (1.5) e questões de múltipla escolha para analisar a compreensão dos modelos (1.1, 1.3, 2.1, 2.3). Assim, poderia tornar a execução confusa. Atenuamos essa ameaça para construir validade, apresentando uma explicação do tipo de perguntas no início da pesquisa para esclarecer a estrutura da pesquisa aos participantes. Além disso, havia participantes convidados cuja primeira língua é o inglês. Consequentemente, criamos as perguntas da pesquisa em inglês. Isso pode causar mal-entendidos para outros participantes cuja primeira língua é o português. No entanto, não recebemos comentários sobre essas ameaças para construir validade durante o piloto ou a execução.

Validade do rosto. Testamos a pesquisa com um professor de ciências da computação da Universidade Federal do Ceará com experiência no MAS. Podemos considerar essa avaliação anterior uma limitação, devido ao pequeno número de participantes (1 participante). Atenuamos essa ameaça, no entanto, solicitando que ele avaliasse novamente após as correções dos comentários do participante.

Validade do conteúdo. Realizamos o piloto envolvendo um pesquisador. Foi realizado para testar o entendimento do participante da pesquisa. Analisamos o feedback enviado pelo participante do piloto e aplicamos as melhorias sugeridas à pesquisa.

Durante a aplicação da pesquisa, recebemos alguns comentários de dois participantes. Tentamos mitigar essas ameaças à validade do conteúdo com a participação de dois especialistas nas extensões do iStar no desenvolvimento desta pesquisa, que validou a pesquisa antes da submissão aos participantes.

Consideramos o perfil dos participantes adequado para essa avaliação, pois grande número dos participantes (18/22) mencionados possui conhecimentos avançados / intermediários no MAS e nenhum respondeu que não conhecia o MAS. No entanto, as respostas sobre o tipo de conhecimento no MAS apontando para a criação de requisitos textuais / modelo foram mencionadas por onze (11) participantes e doze (12) mencionaram ter estudado modelos. Assim, não havia um número alto de participantes com experiência em modelagem (cerca da metade); esse resultado pode ser visto como uma ameaça à validade do conteúdo. Tentamos mitigar essa ameaça, apresentando o iStar em parte da pesquisa.

Validade da conclusão. Nesta pesquisa, não tivemos um grande número de participantes. Não foi possível fazer inferências estatísticas ou revelar um padrão verdadeiro nos dados. Além disso, restringimos as respostas à comunidade brasileira. Essas ameaças à validade da conclusão podem ser atenuadas por convite de pesquisadores de outros países como próximo passo.

Não identificamos novas construções a serem introduzidas (processo da Tarefa 5-Principal). Portanto, o último subprocesso foi realizado (subprocesso 6 - Divulgar a extensão do iStar).

7. Conclusão e pesquisa adicional

Neste artigo, apresentamos uma extensão do iStar para modelar o MAS com agentes racionais no nível de requisitos, sua validação por modelagem de um MAS para educação a distância e uma avaliação por pesquisa com participantes experientes.

Seguimos o PRIZE, um processo para conduzir extensões do iStar, durante a nossa proposta. Representamos as construções como um conjunto de estereótipos e quatro construções foram representadas como novos símbolos propostos por um experimento semelhante ao apresentado por Caire et al. [5] Essa abordagem é suportada pela ferramenta iStar4rationalagents.

Ilustramos nossa proposta modelando um MAS com agentes racionais, um curso de educação a distância oferecido no MOODLE. Modelamos um MAS com cinco tipos diferentes de agentes, funções de agentes, organização e ambiente.

Finalmente, nossa proposta foi avaliada por pesquisadores / desenvolvedores experientes do MAS usando uma pesquisa. Identificamos que a extensão pode facilitar a identificação dos tipos de agentes e seus elementos e pode melhorar a interpretação dos diagramas do que usar o iStar sem extensão. Os participantes concordaram que a proposta de uma extensão é útil para preencher a falta de técnicas para representar o MAS com agentes racionais, as representações dos construtos foram consideradas boas e a extensão poderia ser útil para modelar seu próximo MAS.

Essa extensão pode ser usada para modelar outros MAS. Modelamos um MAS para TAC-SCM durante a aplicação da pesquisa. Assim, pretendemos publicar

esses resultados como uma próxima etapa para ilustrar outro exemplo de uso dessa extensão. Estamos trabalhando na proposta de regras para transformar os modelos iStar4RationalAgents em modelos MAS-ML 2.0.