

3

O Framework Conceitual TAO

Neste capítulo, apresentamos o *framework* conceitual TAO para sistemas multiagentes. Usamos a expressão *framework* conceitual de forma intercambiável com o termo metamodelo usado pela OMG (OMG, 2004). O TAO incorpora os aspectos dinâmicos e estruturais de SMAs. Foi publicada uma versão detalhada dos aspectos estruturais contidos no TAO em (Silva et al., 2003). Este capítulo descreve uma versão revisada e estendida dos aspectos estruturais junto com uma caracterização do comportamento básico de SMAs.

A semântica do metamodelo de TAO é apresentada usando a linguagem natural no estilo do metamodelo de UML (UML, 2004). Houve várias tentativas de formalizá-la usando diferentes notações formais, mas a complexidade de nosso metamodelo proposto tornou a compreensão de todas as formalizações uma tarefa extremamente difícil.

A principal função do *framework* TAO é oferecer um *framework* conceitual para entender as abstrações e seus relacionamentos a fim de oferecer suporte ao desenvolvimento de SMAs de larga escala. O *framework* proposto traz à tona uma ontologia que conecta abstrações consolidadas, como objetos e classes, e outras abstrações como agentes, papéis e organizações, que são as bases da engenharia de software orientada a objetos e agentes. Na literatura, esses conceitos foram recentemente discutidos, por exemplo, em (Odell et al., 2003, Ferber et al., 2003; Wagner, 2003).

3.1.

Aspectos Estruturais do TAO

As entidades definidas no TAO são objeto, agente, organização, papel (papel de objeto e papel do agente) e ambiente. Os SMAs são compostos por pelo menos um ambiente, uma organização que é a organização principal, um agente e um papel exercido pelo agente na organização principal.

Uma entidade possui *propriedades* (*estado* e *comportamento*) e *relacionamentos* com outras entidades. O *estado* de uma entidade define

informações sobre outras entidades do sistema, e o *comportamento* de uma entidade define as ações ou operações que ela pode executar. Uma entidade deve estar relacionada à outra entidade, ou seja, deve existir um *relacionamento* entre duas entidades, de forma que possam interagir. Os *relacionamentos* ligam duas entidades e descrevem como elas se relacionam entre si. As entidades relacionam-se de formas diferentes, ou seja, há vários tipos de relacionamentos.

Uma classe de entidades define as propriedades e os relacionamentos que são comuns a todas as instâncias. Uma instância de entidade é uma manifestação concreta de uma abstração a qual se aplicam conjuntos de propriedades e relacionamentos (Booch et al., 1999). Uma instância de entidade de uma classe cumpre a descrição de sua classe. Ao apresentar as entidades definidas no TAO, o *estado* e *comportamento* de todas as entidades serão descritos. Depois disso, todos os *relacionamentos* serão apresentados identificando as entidades que podem ser relacionadas usando os relacionamentos.

3.1.1. Objeto

O *estado* de um objeto não tem qualquer estrutura predefinida (Ishida et al., 1992). Um objeto armazena informações sobre si mesmo, sobre o ambiente e outros objetos em seus atributos. O *comportamento* de um objeto define as operações que podem ser executadas. Os *relacionamentos* dos objetos descrevem como os objetos estão ligados às entidades do sistema, à outros objetos, agentes e papéis. Uma classe de objeto define a estrutura e o comportamento de objetos similares (Booch, 1994).

Um objeto tem controle sobre seu estado. Durante o ciclo de vida do objeto, ele executa as operações que podem modificar seu estado. Por outro lado, um objeto tradicional não pode modificar seu comportamento e não tem controle sobre ele (Jennings, 2000), ou seja, um objeto não é autônomo no sentido de que faz tudo solicitado por outra entidade. Dessa forma, os objetos são entidades passivas que fazem tudo que qualquer um pedir e somente quando solicitado (Jennings, 2000).

3.1.2. Agente

O *estado* de um agente é expresso por meio de componentes mentais como crenças, objetivos, planos e ações (Ishida et al., 1992; Shoham, 1993; OMG, 2000), caracterizando o estado mental do agente. Um agente possui *crenças* ou conhecimento sobre o ambiente, sobre si mesmo e sobre outras entidades. Essas *crenças* incluem o que o agente sabe, o que ele vê, suas memórias e suas percepções sobre o que ocorre nos SMAs. Os *objetivos* do agente consistem em estados futuros ou desejos que pretendem alcançar ou satisfazer. Eles são associados a pelo menos um plano que o agente executa para alcançar o objetivo.

Um *plano* é composto por *ações* e está relacionado a um conjunto de objetivos que o agente pode alcançar ao executá-lo. Ao executar *ações*, os agentes podem mudar seu estado mental, podem enviar e receber mensagens de outros agentes e podem chamar métodos de objetos, por exemplo. Um agente pode ser capaz de escolher um plano com base nos objetivos. As ações associadas ao plano farão com que o agente fique mais próximo dos objetivos.

O *comportamento* de um agente é expresso por meio de seus planos e ações que se baseiam nas características do agente, por exemplo, interação, autonomia e adaptação (Huhns et al., 1998; OMG, 2000; Jennings, 2000). Os agentes podem interagir com outras entidades enviando e recebendo mensagens enquanto exerce um papel e executa um protocolo de interação. A característica de autonomia refere-se à capacidade proativa de um agente — os agentes não precisam de estímulos externos (por exemplo, eventos de usuário) a fim de realizar uma determinada tarefa. Além disso, os agentes são entidades orientadas a objetivos. São entidades adaptativas, uma vez que podem adaptar seu estado e comportamento respondendo a mensagens enviadas pelo ambiente ou outros agentes. Essas três características são as características básicas de um agente (OMG, 2000).

Os *relacionamentos* descrevem como um agente está ligado à outra entidade. Uma classe do agente define os relacionamentos entre ela e outras classes de entidades e o estado mental inicial de sua instância. Ela define as crenças, objetivos, ações e planos iniciais da instância do agente. Cada instância

do agente pode alterar seu estado mental inicial adicionando, modificando ou removendo as crenças, objetivos, ações e planos iniciais.

Agentes versus Objetos

O estado mental do agente estende a definição de estado definida para objetos, porque adiciona a seu estado a definição de seu comportamento. Assim, o estado mental de um agente consiste em estado e comportamento. Ademais, o comportamento de agentes estende o comportamento de objetos porque: (i) um agente possui total controle sobre seu comportamento, ou seja, os agentes podem dizer não às solicitações de outros agentes (Jennings, 2000; Parunak et al., 2002), (ii) agentes não precisam de estímulos externos para realizar seu trabalho (os agentes são entidades autônomas) (OMG, 2004; Parunak et al., 2002) e (iii) agentes podem mudar seu comportamento ao adotar novos objetivos (Jennings, 1999) e ao adicionar novas ações que serão executadas (agentes são entidades adaptativas) (Shoham, 1993). Essas três extensões tornam um agente uma entidade ativa e um objeto uma entidade passiva.

Outra diferença entre agentes e objetos está relacionada às características de agência. Conforme já mencionado, um agente é uma entidade interativa e autônoma que envia e recebe mensagens. A autonomia e a interatividade de um agente podem variar desde um agente completamente reativo que interage com frequência com outros agentes até um agente completamente proativo que não precisa interagir com ninguém para alcançar seus objetivos (Jennings, 1999). Um agente proativo não precisa cooperar com ninguém para alcançar seu objetivo. Por outro lado, quanto menos autônomo for um agente, mais interativo ele precisará ser para alcançar seus objetivos.

Um objeto é uma entidade interativa, mas não é autônoma. Os objetos são entidades passivas e reativas, uma vez que precisam da ajuda de outra entidade para realizar seu trabalho e uma vez que respondem a qualquer solicitação de assistência. Classicamente, um objeto interage muito com outros objetos a fim de concluir seu trabalho. A partir do ponto de vista das características de interação e autonomia, não há diferença entre um objeto e um agente reativo. Eles precisam de uma solicitação de outra entidade para realizar seu trabalho, além de precisar interagir com outras entidades a fim de executar seus trabalhos.

Agentes versus Objetos Ativos

Um objeto ativo é um objeto que tem sua própria thread de controle (UML, 2004). Isso implica que um objeto ativo seja até certo grau autônomo. Os objetos ativos e os agentes proativos começam a agir sem a necessidade de qualquer estímulo interno (interações com outras entidades da aplicação) ou qualquer estímulo externo (intervenção do usuário da aplicação).

Um objeto ativo também é interativo, pois pode interagir com outros objetos. Esse tipo de objeto interage com outros objetos (ativos) chamando métodos. Os pontos em que um objeto ativo responde a comunicações de outros objetos são determinados apenas pelo comportamento do objeto ativo e não chamando objetos (UML, 2004). Contudo, uma vez chamado um método de um objeto ativo, o método será executado em algum momento. Um objeto ativo responde a todas as solicitações feitas por outros objetos (Depke et al., 2001). Ao contrário, um agente pode dizer “não” a solicitações feitas por outros agentes (Odell et al., 2000). Um agente pode escolher responder ou não à mensagem. Dessa forma, um agente é mais autônomo do que um objeto ativo.

O comportamento de um objeto ativo é predefinido. Quando esse comportamento predefinido estiver concluído, o objeto é encerrado (UML, 2004). Ao contrário, um agente é uma entidade adaptativa e orientada a objetivos. Ao executar, o agente pode alterar seus objetivos e adaptar seu comportamento executando novos planos e ações a fim de alcançar seus novos objetivos.

3.1.3. Ambiente

Todos os agentes, as organizações e os objetos residem (ou estão imersos em) um *ambiente* (Ishida et al., 1992; Lind, 2000; d’Inverno et al., 2001). Eles não podem residir em mais de um ambiente ao mesmo tempo.

O *estado* e o *comportamento* de um ambiente são definidos com base em suas características. Um ambiente pode ser uma entidade passiva, como um objeto, ou pode ser uma entidade ativa, como um agente que tenha características de agência como autonomia, adaptação e interação. Uma classe de ambiente modelada como uma classe de objeto define os métodos, os relacionamentos e os atributos iniciais, que ligam a classe de ambiente e outras classes. Durante o ciclo de vida de uma instância de ambiente modelada como um objeto, ela realize as operações que podem modificar seus estados, ou seja, atributos. Uma classe de

ambiente modelada como um agente define os relacionamentos entre ela e outras entidades e o estado mental inicial das instâncias de ambiente. As instâncias do ambiente dessa classe podem alterar seus estados mentais iniciais adicionando, modificando ou removendo as crenças, objetivos, ações e planos iniciais.

3.1.4. Organização

As organizações agrupam os agentes de um SMA (Shoham, 19993; Caire et al., 2002; Odell et al., 2003). O termo organização é usado para representar partições e grupos de entidades como departamentos, comunidades e sociedades (Ferber et al., 2003). Uma organização pode definir suborganizações (Ferber et al., 2003) e um conjunto de axiomas ao qual os agentes e as suborganizações devem obedecer. Um axioma é uma regra, lei ou princípio estabelecido. O termo axioma é usado para agrupar três termos relacionados: regra (Zambonelli et al., 2001; Odell et al., 2003), lei e norma (Letier et al., 2002). Os axiomas caracterizam as restrições globais da organização às quais os agentes e as suborganizações devem obedecer. Uma organização também define os papéis que devem ser exercidos pelos agentes e pelas suborganizações dentro dela e os papéis que devem ser exercidos pelos objetos. Os agentes (Yu et al., 1999) ou as suborganizações de um SMA exercem pelo menos um papel na organização.

Uma organização estende um agente (Zambonelli et al., 2001). O *estado* de uma organização também é representado por seus componentes mentais, ou seja, crenças, objetivos, ações, planos e axiomas. Um *comportamento* da organização caracteriza-se por suas ações e planos e pelo comportamento dos agentes que exercem papéis nessa organização. Como os agentes, as organizações interagem com outras entidades enviando e recebendo mensagens. Os *relacionamentos* de uma organização descrevem como uma organização está ligada a outras *entidades*.

Uma classe de organização define os relacionamentos entre ela e outras entidades e o estado mental inicial de sua instância, ou seja, a classe de organização define as crenças, objetivos, ações, planos e axiomas iniciais das instâncias da organização. Cada instância de organização pode alterar seu estado mental inicial adicionando, modificando ou removendo as crenças, objetivos, ações, planos e axiomas iniciais.

3.1.5. Papel

As duas propriedades mais importantes dos papéis são (i) sua definição no contexto de uma organização (Ferber et al., 2003) e (ii) o fato de que uma instância de papel deve ser exercida por um agente, por um objeto ou por uma suborganização. Um papel orienta e também restringe o comportamento de instâncias que exercem o papel. Ele é uma entidade, pois define um conjunto de propriedades e relacionamentos.

Papel de Objeto

Um papel de objeto descreve um conjunto de características que são vistas por outras entidades (Kristensen, 1995). Os papéis de objeto *orientam* o comportamento de objetos porque os objetos agem de acordo com chamadas de seus papéis. Um papel de objeto pode *restringir* o acesso ao objeto limitando as informações e o comportamento que outras entidades podem acessar. Não obstante, Kristensen e outros autores em (Kristensen, 1995, 1997; Kristensen et al., 1996; Jennings, 2000; Kuncak et al., 2002) definem que a importância dos papéis não se limita às restrições de características de um objeto e mas também são muito úteis para aprimorar um objeto com novas características. Um papel de objeto também pode adicionar informações (atributos) e comportamento (métodos) ao objeto que exerce o papel.

O *estado* e o *comportamento* de um papel de objeto são semelhantes ao comportamento e ao estado do objeto. O *estado* de um papel de objeto mantém as informações, e o *comportamento* de um objeto mantém as operações. Os *relacionamentos* de papéis de objeto descrevem outros relacionamentos que não estavam previamente disponíveis para objetos.

Uma entidade interage com um papel de objeto a fim de acessar o objeto que está exercendo o papel. Um papel de objeto manipula o objeto relacionado, orientando o comportamento do objeto. Um objeto não tem consciência do papel que está exercendo. O papel de objeto é que sabe a qual objeto está associado. A entidade que deseja acessar o objeto interage por meio de papéis de objeto exercidos. Se o objeto não estiver exercendo qualquer papel, a entidade acessa o objeto diretamente.

Uma classe do papel de objeto define o relacionamento entre ela e outras entidades, os métodos e os atributos iniciais das instâncias de papel de objeto.

Durante o ciclo de vida de uma instância de papel de objeto, ela pode modificar seu estado, ou seja, seus atributos. Além disso, pode influenciar o objeto que está exercendo o papel, chamando os métodos do objeto. Todas as instâncias de papel de objeto são um membro de uma organização e são exercidas por um objeto.

Papel do Agente

Um papel do agente orienta e restringe o comportamento de um agente descrevendo seus objetivos ao exercer o papel, definindo as ações que deve exercer e as ações que pode executar ao exercer o papel (Yu et al., 1999). Ele adiciona novos objetivos e crenças para o conjunto de objetivos e crenças associados a um agente e pode descrever deveres, direitos e protocolos relacionados a um agente enquanto exerce o papel. Ele não adiciona ações ou planos ao agente. Um agente deve ser capaz de realizar as ações identificadas no papel.

Um papel do agente é uma entidade, pois tem estado, comportamento e relacionamentos com outras entidades. O *estado* de um papel do agente é definido por suas crenças e objetivos. As crenças dos papéis estão relacionadas aos fatos da organização, por exemplo, às informações sobre outros papéis e sobre outros objetos disponíveis na mesma. Os objetivos dos papéis caracterizam os objetivos que um agente deve alcançar enquanto exerce o papel. Esses objetivos agrupados formam os objetivos da organização.

Os deveres, direitos e protocolos definem o *comportamento* de um papel do agente (Yu et al., 1999). Os deveres (ou obrigações) identificam as ações atribuídas ao agente que está exercendo o papel, ou seja, as responsabilidades e os direitos (ou qualificações) identificam as ações que o agente pode executar ao exercer o papel, isto é, eles descrevem as permissões associadas às ações. Os deveres e os direitos não descrevem a implementação das ações, mas sim sua assinatura. Os protocolos definem as interações entre papéis por meio da especificação das mensagens. Um protocolo define o conjunto de mensagens que um agente (ou organização) pode enviar a outros agentes (ou organizações) em uma interação e as mensagens que pode receber deles. Os *relacionamentos* de papel do agente são definidos com base (i) na organização em que a classe do papel do agente é definida, (ii) nos agentes (ou organizações) que exercem os papéis e (iii) em outros papéis de agente relacionados ao papel. Dessa forma, um

papel do agente adiciona um conjunto de relações ao agente (ou organizações) que exerce o papel.

Uma classe do papel do agente define as crenças, os objetivos, os deveres, os direitos e os protocolos associados a todas as suas instâncias. Cada instância de papel do agente é um membro de uma organização e é exercida por um agente ou suborganização (Ferber et al., 2003). O agente (ou organização) que exerce a instância de papel deve executar de acordo com os objetivos, deveres, direitos e protocolos especificados na instância de papel do agente que está exercendo (Yu et al, 1999). O agente (ou organização) que está exercendo um papel do agente baseia sua execução na definição do papel.

Os agentes e as suborganizações podem exercer diferentes papéis nas organizações. Cada agente e suborganização exerce pelo menos um papel em uma organização, ou seja, a eles é atribuído um determinado papel no sistema (Odell et al, 2003; Zambonelli et al., 2001). Entretanto, um objeto não é compelido a exercer papéis. Os objetos exercem papéis em uma organização dependendo dos relacionamentos definidos na mesma. Por exemplo, elas podem definir os relacionamentos entre papéis de agente e papéis de objeto.

3.1.6. Relacionamentos

Os relacionamentos mais importantes definidos em UML são *dependency*, *generalization*, *association* e *realization*. Semanticamente, todos os relacionamentos, incluindo *generalization*, *association* e *realization*, são tipos de dependência. Contudo, os relacionamentos *generalization*, *association* e *realization* têm tantas semânticas importantes sobre eles que recebem um tratamento como tipos distintos de relacionamentos no metamodelo de UML (Booch et al., 1999).

Devido à maneira particular com a qual as abstrações relacionadas a agentes se relacionam, alguns relacionamentos definidos no metamodelo de UML foram redefinidos, e outros foram criados. Em (Zambonelli et al., 2001; Yu et al., 1999), os autores definiram um pequeno conjunto de relacionamentos aplicados a agentes e papéis. A redefinição de relacionamentos existentes e a definição de novos relacionamentos baseiam-se no estudo de um conjunto de aplicações de SMAs apresentado na literatura (Ishida et al, 1992; Jennings, 2000; Wood et al., 2001).

As diferentes interações entre as entidades que compõem SMAs foram analisadas, e novos relacionamentos foram definidos. Por exemplo, o relacionamento entre um ambiente e as entidades que residem no ambiente é semanticamente diferente do relacionamento entre uma organização e o papel que ela define. Como consequência, o TAO define oito relacionamentos entre suas entidades: *inhabit*, *ownership*, *play*, *control*, *dependency*, *specialization*, *association* e *aggregation*. Semanticamente, os relacionamentos *inhabit*, *ownership*, *play*, *control* e *aggregation* são tipos de associação, e os relacionamentos *association* e *specialization* são tipos de dependência.

Inhabit:

O relacionamento *inhabit* especifica que a instância de entidade que reside – o cidadão – é criada e destruída no habitat e, portanto, pode entrar e sair dele, respeitando suas permissões. Um cidadão não pode residir em dois habitats ao mesmo tempo. O habitat conhece todos os cidadãos que residem nele, e cada cidadão conhece seu habitat. Esse relacionamento aplica-se a ambientes e agentes, a ambientes e objetos e a ambientes e organizações. Por exemplo, suponha que a classe de ambiente *Virtual Marketplace* esteja relacionada à classe *User Agent* pelo relacionamento *inhabit*. Isso significa que as instâncias de agente do usuário residem em instâncias de mercados virtuais e que um agente de usuário não reside em mais de uma instância de ambiente.

Ownership:

O relacionamento *ownership* especifica que uma entidade – o membro – é definida no escopo de outra entidade – o proprietário – e que um membro deve obedecer a um conjunto de restrições globais definidas pelo proprietário. O membro não existe fora do escopo de seu proprietário. Os proprietários conhecem seus membros, e cada membro conhece seu proprietário. Esse relacionamento aplica-se a classes de papel – os membros – e às classes de organização – os proprietários. Uma instância de papel (papel do agente ou papel de objeto) só pode ser exercida por entidades na organização que definiu o papel. O proprietário possui controle total sobre seus membros, ou seja, é a organização que define quem exerce os papéis identificados e qual papel pode ser exercido por uma entidade. Essas decisões baseiam-se nos objetivos da organização. Por exemplo, suponha que a classe do papel do agente *Buyer* esteja relacionada à classe de organização *General Store* pelo relacionamento *control* e que a classe do papel

não esteja relacionada a qualquer outra classe de organização por esse relacionamento. As instâncias do papel *Buyer* só podem ser exercidas em instâncias de *General Store*. Além disso, uma instância de papel *Buyer* de uma instância *General Store* não pode ser executada em outra instância *General Store*.

Play:

O relacionamento *play* especifica que uma entidade está relacionada a um papel. Quando uma classe de entidade está relacionada a uma classe do papel pelo relacionamento *play*, isso significa que uma instância de entidade pode exercer uma instância de papel. Uma instância do agente e de uma suborganização deve executar pelo menos uma instância de papel.

Quando um agente (ou uma organização) está exercendo um papel, o conjunto de objetivos e crenças do agente (ou organização) é aumentado pelos objetivos e crenças do papel. As ações do agente ou da organização são restringidas pelos deveres, direitos e protocolos definidos pelos papéis. Além do mais, os agentes e as organizações interagem por meio dos papéis que exercem. Os relacionamentos que unem dois papéis definem as interações entre as entidades que exercem esses papéis (vide os relacionamentos *control* e *dependency*, por exemplo). Os relacionamentos entre agentes, entre agentes e organizações e entre organizações são indiretamente definidos pelos papéis que estão exercendo.

Quando um objeto está exercendo um papel, as entidades interagem com o objeto por meio de seu papel. As entidades vêem as propriedades do papel de objeto e não vêem as propriedades do objeto. É o papel de objeto que acessa as propriedades do objeto.

Specialization/Generalization:

O relacionamento *specialization* define que a subentidade que especializa a superentidade herda as propriedades e os relacionamentos definidos na superentidade. As propriedades herdadas também podem ser redefinidas pela subentidade. Ademais, a subentidade também pode definir novas propriedades e novos relacionamentos. Quando uma classe do agente *B* especializa uma classe do agente *A*, os objetivos, planos, crenças e ações definidos pela classe do agente *A* são herdados pela classe do agente *B*. O agente *B* pode definir novas propriedades e também pode redefinir aquelas herdadas. Por exemplo, a classe do agente *B* pode definir novos planos e também pode redefinir um plano herdado da classe do agente *A*, associando diferentes ações a ela. O relacionamento *specialization*

definido pelo metamodelo de UML foi estendido para ser aplicado a todas as entidades do TAO.

Control:

O relacionamento *control* define que a entidade controlada deve fazer tudo que a entidade do controlador pedir. A entidade do controlador conhece as entidades controladas, e cada entidade controlada conhece as entidades que a controlam. O relacionamento *control* pode ser usado entre dois papéis do agente. As entidades controladas e do controlador serão os agentes ou as organizações que estão exercendo os papéis. Por exemplo, suponha que um papel do agente *Boss* e um papel do agente *Employee* estejam relacionados por meio do relacionamento *control*. O papel *Boss* controla o papel *Employee*. O efeito desse relacionamento é que os agentes que estão exercendo o papel *Boss* controlam os agentes que estão exercendo o papel *Employee*. Apesar de os agentes serem autônomos e agirem de acordo com seus objetivos, quando um agente que exerce os papéis do controlador envia uma mensagem para um agente que exerce o papel controlado, esse último precisa lidar com a mensagem independente de seus objetivos.

O relacionamento *control* não é definido entre papéis de objeto porque os objetos sempre controlam outros objetos. Um objeto tradicional não tem controle de seu comportamento, ou seja, um objeto faz tudo que outra entidade solicita.

Dependency:

Esse relacionamento define que uma entidade – o cliente – pode ser definida para depender de outra – o fornecedor – para realizar seu trabalho. Uma dependência é um relacionamento de uso que especifica que uma alteração na especificação de algo (fornecedor) pode afetar outra coisa usada por ele (cliente), mas não necessariamente o contrário (Booch et al, 1998). O cliente sempre conhece seus fornecedores, mas o contrário pode não ser verdadeiro. Esse relacionamento definido pelo metamodelo de UML foi estendido para ser usado por papéis do agente e papéis de objeto. Um papel do agente pode depender de outro papel do agente ou de um papel de objeto. Os papéis de objeto só podem depender de outro papel de objeto. Suponha um papel do agente *Employee* relacionado a um papel do agente *Manager* pelo relacionamento *dependency*. Os agentes que exercem o papel *Employee* dependerão dos agentes que estão exercendo o papel *Manager*.

Association:

Uma associação especifica um relacionamento de semântica que pode ocorrer entre instâncias tipificadas. Se uma entidade estiver associada à outra entidade, ela

saberá da existência da outra entidade e, então, poderá interagir com ela. O relacionamento *association* definido pelo metamodelo de UML foi estendido para ser usado entre papéis (papéis de objeto e papéis do agente), ambientes, agentes e objetos, organizações e objetos e papéis e objetos. Se dois ambientes estão associados, isso significa que podem interagir chamando métodos ou enviando mensagens, dependendo das características do ambiente. Quando dois papéis são associados, isso significa que as entidades que estão exercendo o papel podem interagir. Se um agente ou uma organização estiver associado a um objeto, isso significa que o agente ou a organização pode interagir com o objeto, independente dos papéis que estão exercendo. Quando um papel do agente está associado a um objeto, isso significa que o agente ou a organização que o está exercendo pode interagir com o objeto. Se um papel de objeto estiver associado a um objeto, isso significa que o papel de objeto pode interagir com ele.

Aggregation:

Se uma entidade estiver agregada à outra, dizemos que ela é o agregador de partes. O relacionamento *aggregation* define a entidade que é o agregador e a entidade que é a parte. O agregador pode usar a funcionalidade disponível em suas partes para realizar seu trabalho. A parte define um conjunto de funcionalidades usadas pelo agregador. Esse relacionamento foi estendido para ser aplicado entre papéis de objeto e entre papéis do agente. Se dois papéis de objeto estiverem ligados pelo relacionamento *aggregation*, isso significa que o papel de objeto do agregador pode precisar usar as funcionalidades disponíveis no papel de objeto agregado. Quando um papel do agente agrega outro papel do agente, isso significa que para alcançar os objetivos do agregador, a entidade que está exercendo o papel do agregador pode ter de exercer o papel da parte ou interagir com outra entidade que esteja exercendo esse papel.

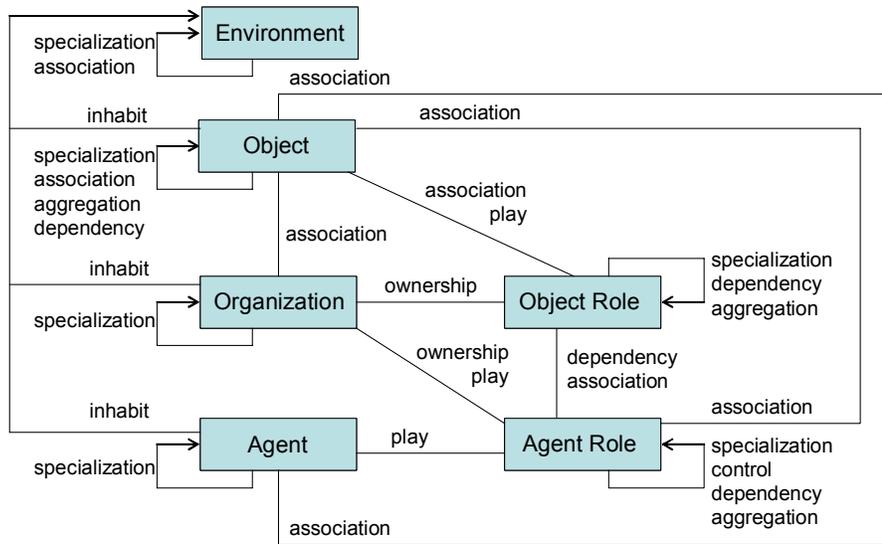


Figura 2 - Os relacionamentos e as entidades do TAO.

3.2. Aspectos Dinâmicos do TAO

Os aspectos dinâmicos de uma entidade definem a execução da entidade em uma aplicação. Os aspectos dinâmicos caracterizam-se pela execução interna da entidade (intra-ações) e pelas interações com outras entidades. A execução interna de agentes, organizações e ambientes proativos caracteriza-se pelas ações e planos executados. A execução interna de objetos e ambientes reativos caracteriza-se pela execução de operações (ou métodos).

As execuções internas das entidades são influenciadas por suas interações. Dependendo da interação com outras entidades e dos objetivos, os agentes, as organizações e os ambientes proativos selecionam os planos que serão executados. A execução realizada por objetos também sofre a influência da interação com outras entidades. Eles executam os métodos chamados por outras entidades. Ao executar planos, ações ou métodos, uma entidade pode enviar uma mensagem, chamar um método ou executar um algoritmo, por exemplo.

Analisando as características das entidades e o conjunto de relacionamentos descritos na Seção 3.1, é possível classificar os aspectos dinâmicos de SMAs em dois grupos principais: aspectos dinâmicos dependentes do domínio e independentes do domínio. Os dependentes do domínio são responsáveis por descrever as intra-ações e as interações entre as entidades específicas a um domínio da aplicação. Os relacionamentos *association*, *aggregation*, *dependency*, *control* e *specialization* definem as interações dependentes do domínio.

Independente do domínio da aplicação, não é possível definir quais são as entidades que estão relacionadas usando esse conjunto de relacionamentos e como os relacionamentos usados entre as entidades influenciam suas intra-ações. Por exemplo, não é possível definir os papéis do agente relacionados pelo relacionamento *control* e como os agentes controladores controlarão os demais agentes. Cada aplicação define os papéis dos agentes que são controladores e aqueles que são controlados, caso haja. Portanto, os aspectos dinâmicos dependentes do domínio não podem ser capturados por um conjunto predefinido de esquemas. Os aspectos dinâmicos independentes do domínio descrevem as intra-ações e as interações entre as entidades independentes do domínio da aplicação. Os relacionamentos *inhabit*, *ownership* e *play* definem as interações independentes do domínio. Independente das características da aplicação, é possível definir as entidades que estão relacionadas usando esse conjunto de relacionamentos e como uma entidade pode influenciar a outra. Todos os agentes, as organizações e os objetos residem em um ambiente. Independente da aplicação, todos os agentes, as organizações e os objetos são relacionados a um ambiente pelo relacionamento *inhabit*. Além do mais, todos os agentes e as suborganizações exercem pelo menos um papel em uma organização e, portanto, todos os agentes e as suborganizações estão relacionados a organizações e papéis pelo relacionamento *play*. Ademais, todos os papéis estão definidos por uma organização de forma que todos os papéis estejam relacionados a uma organização pelo relacionamento *ownership*. Analisando esse conjunto de relacionamentos, é possível definir um conjunto de interações e intra-ações que são independentes do domínio. Como há potencialmente um número infinito de comportamentos que envolvem as entidades de SMAs, estamos interessados em descrever um conjunto de noções comportamentais caracterizadas como comportamento independente do domínio.

A fim de explicar melhor esses aspectos dinâmicos, eles são classificados como processos dinâmicos primitivos (ou elementares) e processos dinâmicos de alto nível. Os processos dinâmicos primitivos descrevem o processo dinâmico da criação e destruição de entidades de SMAs. Os processos dinâmicos de alto nível descrevem os processos dinâmicos associados aos relacionamentos *inhabit*, *ownership* e *play*.

3.2.1. Processos Dinâmicos Primitivos

As interações elementares ou básicas entre as entidades de um SMA são descritas como processos dinâmicos primitivos. A criação e a destruição de processos são caracterizadas como interações básicas entre o criador e o destruidor e a entidade associada. Esses dois processos dinâmicos são primitivos, pois cada processo de interação depende da criação e da destruição das entidades que irão interagir e é uma função delas. Uma interação ocorre entre duas entidades criadas e que ainda não foram destruídas. A Seção 3.2.1.1 apresenta os processos dinâmicos que descrevem a criação de todas as entidades de SMAs, e a Seção 3.2.1.3 apresenta os processos dinâmicos de destruição correspondentes para aquelas entidades.

3.2.1.1. A Criação das Entidades

Os processos dinâmicos de criação são apresentados com ênfase nas entidades que podem possivelmente criar outras entidades e a dependência entre a criação das entidades. Embora estejamos descrevendo as entidades que têm a capacidade de criar outras entidades com base em suas características e definições, a identificação do criador depende das permissões associadas às entidades da aplicação. Por exemplo, descrevemos agentes como tendo a capacidade de criar outros agentes. Em uma determinada aplicação, os agentes podem não ter permissão para criar outros agentes.

Criação de Papel do Agente

A criação de um papel do agente é condicional com base na existência de um agente ou uma organização para exercer o papel; ou seja, os agentes e as organizações devem ter sido criados antes da criação de um papel (Kristensen, 1995). Não é possível criar uma instância de papel sem um agente ou uma suborganização para exercer o papel.

Uma instância de papel do agente pode ser criada por um agente ou por uma organização com base em uma classe de papéis do agente de uma organização. A criação ocorre quando um agente ou suborganização se compromete com o papel. Por exemplo, suponha que uma classe do papel chamada *Manager* seja definida em uma organização. Uma instância de papel chamada *chief-manager* pode ser criada e associada à instância do agente *Bob*.

Criação de Agente

Um agente é criado em um ambiente para exercer pelo menos um papel em uma organização registrada no mesmo ambiente (Ferber et al., 2003; Wooldridge et al., 2000; Zambonelli et al., 2001). Como os agentes têm de exercer pelo menos um papel em uma organização, um papel deve ser imediatamente criado e associado ao agente. As instâncias do agente são criadas com base em classes do agente disponíveis no sistema. Um agente pode ser criado por outro agente, por uma organização ou um ambiente. Por exemplo, um agente mestre pode criar seus agentes escravos, uma organização de leilão pode criar agentes para exercer o papel de leiloeiro e um ambiente pode criar agentes capazes de se mover para outro ambiente a fim de executar uma determinada tarefa.

Criação de Organização

A criação de organizações é condicionada à existência de um ambiente. Cada ambiente deve ter apenas uma organização principal. A organização principal só pode ser criada pelo ambiente, pois não há outra entidade no SMA. Cada instância de organização é criada com base em uma classe de organização. Se a organização sendo criada é uma suborganização, uma instância de papel deve ser criada e associada à suborganização, uma vez que cada suborganização exerce pelo menos um papel em sua organização. As suborganizações podem ser criadas por um agente, por outra organização ou um ambiente. Por exemplo, uma loja pode criar subdepartamentos (suborganizações), um agente pode criar um grupo de interesse de futebol para trocar informações sobre esse esporte, e uma organização pode ser criada por um ambiente para tratar de agentes imigrantes.

Criação de Ambiente

Os SMAs devem ter um ambiente. A criação das entidades de SMAs é condicional em relação à criação de uma instância de ambiente. Um ambiente pode ser criado pela máquina virtual do sistema, por outro ambiente, por agentes ou por organizações que residem em outro ambiente. O ambiente deve ser criado antes de outras entidades porque elas residem no ambiente. Um ambiente é criado com base em uma classe de ambiente.

Criação de Papel de Objeto

Um papel de objeto é criado quando uma entidade (o criador) deseja acessar um objeto em uma organização que restringe a visão do objeto. Os papéis de objeto são criados por agentes e organizações. Por exemplo, um agente que esteja exercendo o papel *Reviewer* pode criar um papel de objeto chamado *Submission*

para acessar *Papers* (objetos) enviados a uma *Conference* (organização). O criador deve criar um papel de objeto e associá-lo ao objeto que deseja acessar. A criação de um papel de objeto é condicional com base na existência de um objeto para exercer o papel; ou seja, os objetos devem ter sido criados antes da criação de um papel (Kristensen, 1995). Não é possível criar uma instância de papel de objeto sem um objeto para exercer o papel. O papel de um objeto representa a visão de outras entidades (outros objetos, agentes e suborganizações na organização) do objeto.

Criação de Objeto

A criação de um objeto ocorre por meio da instanciação de uma classe. Agentes, organizações, objetos e ambientes podem criar um objeto. Um ambiente deve ter sido criado antes da criação de um objeto.

3.2.1.2.

Padrão de Criação

O padrão de criação define a ordem da criação das entidades de SMAs conforme ilustrado na Figura 3. As etapas ilustram a seqüência das criações, ou seja, a dependência entre a criação de uma entidade e a criação de outra entidade. De forma específica, as entidades apresentadas na terceira etapa dependem da criação das entidades apresentadas na segunda etapa, e essas entidades dependem da criação da entidade apresentada na primeira etapa.

A primeira entidade que precisa ser criada em um SMA é o ambiente, uma vez que os agentes, objetos e organizações residem no ambiente. Em seguida, as próximas entidades que devem ser criadas podem ser objetos e a organização principal. Como os objetos residem no ambiente, a criação de um objeto depende da criação de um ambiente; no entanto, isso não depende da criação de organizações. A dependência entre um objeto e uma organização está associada ao papel que o objeto exerce na organização.

Os agentes e as suborganizações não podem ser criados antes da organização principal, pois precisam exercer papéis em organizações. Para cada agente ou suborganização criados, um papel também deve ser criado e associado à entidade. Além disso, os papéis de objeto não podem ser criados antes da organização principal, porque os papéis de objeto são definidos em organizações e devem ser exercidos por objetos.

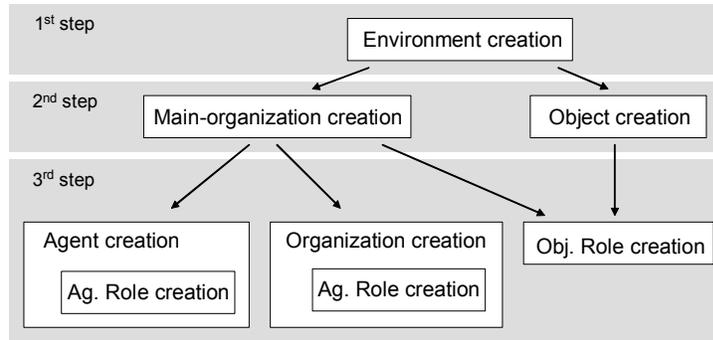


Figura 3 – Padrão de criação.

3.2.1.3. A Destruição das Entidades

Os processos dinâmicos de destruição são apresentados com ênfase nas entidades que podem possivelmente destruir outras entidades e na dependência entre a destruição das mesmas. Observe que estamos definindo entidades que têm a capacidade de destruir outras entidades com base nas características das mesmas. Entretanto, dependendo do domínio da aplicação, essas entidades podem não ter permissão para destruir outras entidades.

Destruição de Papel do Agente

Um papel exercido por um agente ou suborganização é destruído quando ele ou ela o cancela. Um papel do agente só pode ser destruído por um agente ou uma organização. O destruidor é quem está exercendo o papel. Se um agente ou uma suborganização possui todos os seus papéis destruídos, isso significa que ele também será destruído, pois deve exercer pelo menos um papel, ou então significa que ele está mudando seus papéis. Por exemplo, agentes e organizações podem destruir seus papéis quando deixam as organizações em que estão exercendo papéis e quando deixam o ambiente em que residem.

Destruição de Agente

Um agente pode ser destruído por si mesmo, por outro agente, por uma organização ou um ambiente. Antes da destruição de um agente, todos os papéis do agente devem ter sido destruídos. Por exemplo, um agente mestre pode destruir seus agentes escravos, pois tem total controle sobre eles. Um agente pode ser destruído por várias razões. Por exemplo, um agente pode ser destruído ao alcançar seus objetivos.

Destruição de Organização

As organizações podem ser destruídas por si mesmas, por ambientes, por outras organizações ou agentes que residam em outras organizações. Antes da destruição da organização, todos os papéis exercidos por agentes, objetos e suborganizações devem ser destruídos. Além do mais, todos os papéis exercidos pela organização também devem ser destruídos.

A destruição de uma organização é um processo recursivo, uma vez que todas as suas suborganizações também devem ser destruídas ou devem deixar a organização. Por exemplo, um agente pode destruir uma organização que representa uma equipe/grupo porque não há outro agente interessado em fazer parte da equipe. Ademais, uma organização pode se destruir quando alcança seus objetivos.

Destruição de Ambiente

Um ambiente pode ser destruído por si mesmo, por outro ambiente, por um agente ou por uma organização que reside em outro ambiente. A destruição do ambiente caracteriza que as entidades que normalmente residem no ambiente foram destruídas ou foram movidas para outro ambiente.

Destruição de Papel de Objeto

Um papel de objeto pode ser destruído por um agente ou por uma organização que esteja usando o objeto que estava exercendo o papel. A destruição do papel de objeto não afeta o objeto. Sua destruição afeta as entidades que estavam interagindo com o objeto por meio de seu papel. Por exemplo, depois da análise do *Paper*, o agente que está exercendo o papel *Reviewer* pode destruir o papel de objeto *Submission*. É importante ressaltar que o objeto *Paper* não é destruído.

Destruição de Objeto

Agentes, organizações e ambientes podem destruir um objeto. Ademais, um objeto pode ser destruído por si mesmo ou por outros objetos. Antes da destruição de um objeto, todos os papéis de objeto devem ter sido destruídos.

3.2.1.4.

Padrão de Destruição

O padrão de destruição define a ordem de destruição das entidades conforme ilustrado na Figura 4. A primeira etapa descreve as entidades que devem ser destruídas antes das entidades da segunda etapa. As entidades da segunda etapa devem ser destruídas antes das entidades da terceira etapa. Como agentes,

objetos e organizações dependem da existência do ambiente, ele não pode ser destruído enquanto for o habitat de agentes, objetos e suborganizações. A organização principal só pode ser destruída quando não há mais agentes, suborganizações ou objetos exercendo papéis nela. Ela deve ser destruída antes do ambiente, pois todas as organizações residem em um ambiente. O ambiente deve ser a última entidade destruída.

A destruição de um agente, de uma suborganização e de um objeto é precedida pela destruição dos papéis que estão exercendo. Os agentes e as suborganizações devem ser destruídos no momento em que todos os seus papéis forem destruídos, pois não podem existir sem um papel. O mesmo não acontece com objetos. Objetos podem existir sem exercer papéis. Entretanto, um objeto só pode ser destruído se todas as instâncias de papel de objeto tiverem sido destruídas. Um papel de objeto não pode existir sem um objeto para exercê-lo. Além disso, a destruição de uma suborganização é precedida pela destruição de papéis que agentes, objetos e suas suborganizações estão exercendo. Uma suborganização só pode ser destruída antes que haja entidades exercendo papéis nela.

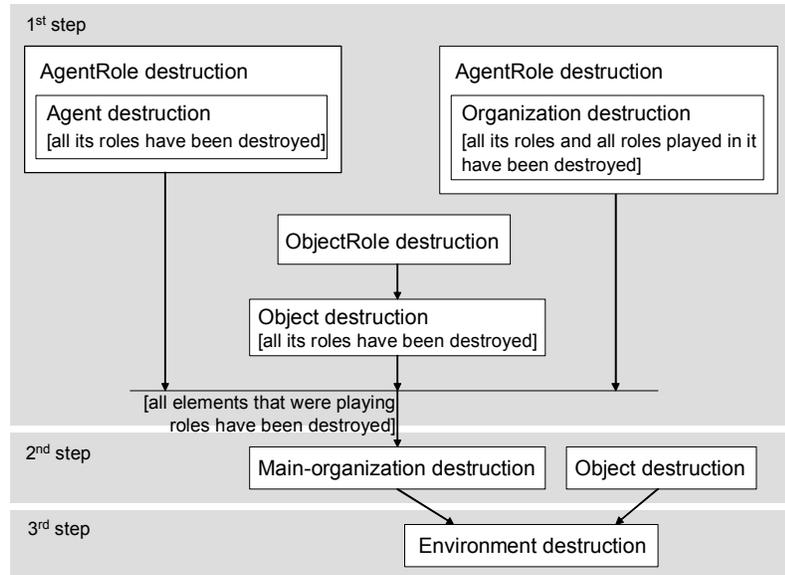


Figura 4 – Padrão de destruição.

3.2.2. Processos Dinâmicos de Alto Nível

Os processos dinâmicos de alto nível são comportamentos independentes de domínio mais complexos, descritos com base em processos dinâmicos primitivos.

Eles descrevem os padrões de comportamento derivados das características dos relacionamentos *inhabit*, *ownership* e *play* entre as entidades de SMAs.

Estados de um Papel do Agente

Antes de descrever os processos dinâmicos de alto nível, é importante introduzir a definição de estados de papéis do agente. Os papéis do agente possuem quatro estados: criado, ativo, inativo e destruído, conforme ilustrado na Figura 5. Um papel é *criado* quando um agente ou uma suborganização se compromete a exercer um papel em uma organização. E é *destruído* quando o compromisso é cancelado.

Quando um papel é *criado*, ele altera automaticamente seu estado e torna-se um papel *ativo*. Um papel *ativo* está sendo exercido pela entidade associada a ele, ou seja, há uma instância de papel do agente associada a uma instância de entidade que está exercendo o papel. Um papel *ativo* pode ser *destruído* ou pode se tornar *inativo*. Quando uma entidade que está exercendo o papel cancela o compromisso com a organização, o papel é cancelado, ou seja, a instância de papel é *destruída*. Um papel *ativo* torna-se *inativo* quando a entidade pára de exercer o papel, mas não cancela o compromisso com a organização de exercer o papel. Por exemplo, quando uma entidade deixa a organização em que exerce papéis sem cancelar os compromissos com a organização, seus papéis tornam-se inativos. Uma instância de papel no estado inativo existe, mas não está sendo exercido, ou seja, há uma instância de papel do agente associada a uma instância de entidade, mas o papel não está sendo exercido. Um papel *inativo* pode se tornar *ativo* quando a entidade associada ao papel começa a exercer o papel. Por exemplo, se a entidade voltar para a organização, ela poderá reativar seus papéis. Um papel *ativo* ou *inativo* pode ser *destruído* se a entidade associada ao papel cancelar o compromisso.

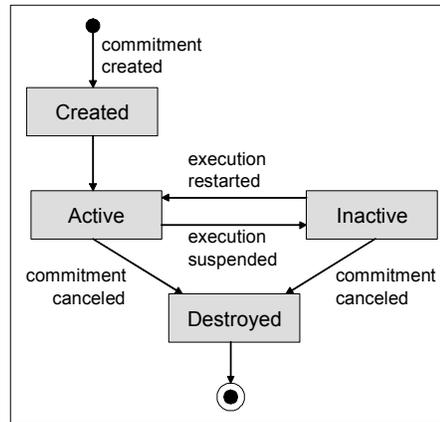


Figura 5 – Estados de um papel do agente.

3.2.2.1. Relacionamentos *Ownership* e *Play*

Os relacionamentos *ownership* e *play* caracterizam os processos dinâmicos de alto nível, porque as interações entre as entidades relacionadas que usam esses relacionamentos baseiam-se em processos dinâmicos primitivos. Esses relacionamentos estão associados (i) à criação de papéis quando as entidades se comprometem com um novo papel, (ii) à destruição dos papéis quando as entidades cancelam o compromisso, (iii) à ativação e desativação de papéis e (iv) à execução das entidades enquanto estiver exercendo papéis.

A criação, destruição, ativação e desativação de papéis caracterizam processos dinâmicos independentes do domínio. Independente do domínio da aplicação, as entidades que desejam exercer um papel (criando ou ativando o papel) ou que desejam parar de exercer um papel (destruindo ou desativando o papel) devem interagir com a organização que possui o papel. Por outro lado, a execução das entidades enquanto são exercidos papéis é um comportamento dependente do domínio. Não é possível descrever a execução das entidades independente da aplicação do domínio. Como estamos interessados em descrever comportamentos independentes do domínio, a execução de agentes e organizações enquanto estiverem exercendo papéis não será descrita.

Um agente ou uma suborganização que deseja exercer um papel (i) pode se comprometer com um novo papel em uma das organizações em que já esteja exercendo papéis, (ii) pode se comprometer com um novo papel em outra organização ou (iii) pode reativar um de seus papéis. A fim de se comprometer com um novo papel ou ativar um de seus papéis, um agente ou suborganização

deve interagir com a organização que possui o papel. Os processos de *compromisso com um papel* e de *ativação de um papel* são processos dinâmicos de alto nível e independentes do domínio. O processo de *compromisso com um papel* é um processo dinâmico de alto nível porque envolve o processo dinâmico primitivo de criação de papel e também envolve as interações entre agentes (ou suborganizações) e a organização que possui o papel. O processo de *ativação de um papel* é um processo dinâmico de alto nível. Ele também envolve as interações entre agentes (ou suborganizações) e a organização que possui o papel. Além disso, esses dois processos são independentes do domínio porque o conjunto de interações entre as entidades pode ser descrito independente do domínio da aplicação.

Um agente ou uma suborganização que deseja parar de exercer um papel (i) pode cancelar o compromisso com o papel ou (ii) pode desativar o papel. A fim de cancelar o compromisso com um papel ou desativar um de seus papéis, um agente ou suborganização deve interagir com a organização que possui o papel. Os processos de *cancelamento do compromisso com um papel* e de *desativação de um papel* são processos dinâmicos de alto nível e independentes do domínio. O processo de *cancelamento do compromisso com um papel* é um processo dinâmico de alto nível porque envolve o processo dinâmico primitivo de destruição de papel e também envolve as interações entre agentes (ou suborganizações) e a organização que possui o papel. O processo de *desativação de um papel* também é um processo dinâmico de alto nível. Ele envolve interações entre agentes (ou suborganizações) e a organização que possui o papel. Além disso, esses dois processos são independentes do domínio porque o conjunto de interações entre as entidades pode ser descrito independente do domínio da aplicação.

Agente se Comprometendo com um Papel ou Ativando um Papel

Um agente decide se comprometer com um novo papel quando, por exemplo, não consegue alcançar seus objetivos enquanto executa seus papéis reais. Um agente decide ativar um de seus papéis quando, por exemplo, ele é obrigado pela organização em que está exercendo o papel a alcançar todos os objetivos do mesmo. Um agente pode se comprometer com um papel ou ativá-lo em uma organização em que não esteja exercendo papéis naquele momento e

também pode se comprometer com um papel ou ativá-lo em uma organização em que esteja exercendo papéis.

Quando um agente deseja *ativar um papel* em uma organização, ele pode interagir com a organização que possui o papel. As organizações podem definir alguns axiomas para restringir a ativação de papéis inativos. Se não houver restrição, o agente poderá ativar seu papel inativo.

Quando um agente deseja *comprometer-se com um papel em uma organização em que já esteja exercendo papéis*, ele pode interagir com a organização para descobrir os papéis que podem ser exercidos nela. Os papéis disponibilizados pelas organizações são escolhidos por eles de acordo com, por exemplo, as funções de utilidade da organização (Glaser et al., 1997) ou as políticas da organização (Yu et al., 1999). O agente pode escolher o papel que será exercido com base nos objetivos do agente, nos planos do agente, nos deveres e direitos definidos pelo papel. Primeiro, o agente pode verificar se os objetivos são compatíveis². Em seguida, o agente pode verificar se possui pelo menos um plano relacionado a cada objetivo do papel. Ao executar esses planos, o agente pode tentar alcançar os objetivos associados ao papel. Ademais, o agente também pode verificar se esses planos obedecem aos deveres e direitos definidos pelo papel (Yu et al., 1999). Os planos devem incluir todas as ações identificadas pelos deveres e não podem incluir ações não identificadas pelos direitos.

Se os objetivos forem compatíveis e se o agente perceber que pode obedecer a deveres e direitos enquanto estiver executando seus planos, o agente pode pedir que a organização exerça o papel. As organizações podem permitir ou negar que o agente exerça novamente o papel com base, por exemplo, nas funções de utilidade. Se a organização permite que o agente exerça o papel, o agente se compromete a exercê-lo, e a instância de papel é criada. O agente concorda em obedecer aos deveres, direitos e protocolos descritos no papel e nos axiomas descritos na organização.

Um agente também pode *comprometer-se com um papel em uma organização em que não esteja exercendo papéis* e que possivelmente nunca tenha exercido antes. Nesse caso, o processo começa com o agente escolhendo uma

² O algoritmo que compara os objetivos do agente com os objetivos do papel não será detalhado, uma vez que o agente pode usar qualquer algoritmo.

organização. Um agente pode decidir se deseja entrar em uma organização com base nos objetivos da organização, nos objetivos do próprio agente e nos axiomas descritos pela organização³. Se o agente descobrir que os objetivos são compatíveis e que ele pode seguir os axiomas da organização, poderá interagir com a organização para descobrir os papéis disponíveis, ou seja, os papéis que podem ser exercidos. As próximas etapas relacionadas a esse processo são semelhantes às etapas relacionadas ao processo de escolha de um papel em uma organização em que o agente já está exercendo outro papel. Se um agente se compromete com um papel em uma organização em que não esteja exercendo outros papéis, ele entra na organização.

O processo de *ativação de um papel em uma organização em que o agente está exercendo outro papel* é equivalente ao processo de *ativação de um papel em uma organização em que o agente não está exercendo outros papéis*. O processo de ativação de um papel está ilustrado na Figura 7. No entanto, o processo de *compromisso com um papel em uma organização em que o agente está exercendo outros papéis* não é equivalente ao processo de *compromisso com um papel em uma organização em que o agente não está exercendo outros papéis*, conforme ilustrado na Figura 6. No primeiro caso, o agente já sabe em que organização deseja exercer o papel. No outro caso, o agente precisa procurar a organização. O processo de compromisso com um papel ou ativação de um papel em uma organização em que o agente não está exercendo papéis caracteriza-se pelo processo de *entrada em uma organização*.

Suborganização se Comprometendo com um Papel ou Ativando um Papel

Os processos dinâmicos de uma suborganização de *compromisso com um papel* ou *ativação de um papel* são semelhantes aos processos dinâmicos de um agente comprometido com um papel ou que esteja ativando um papel. Uma suborganização também pode se comprometer com um papel ou ativá-lo em uma organização em que não esteja exercendo papéis e também pode se comprometer com um papel ou ativá-lo em uma organização em que esteja exercendo outros papéis. Quando uma suborganização se compromete com um papel ou ativa um papel em uma organização em que não está exercendo papéis, ela está *entrando*

³ Os detalhes da correspondência entre os objetivos do agente e os objetivos da organização não serão descritos, uma vez que pode ser usado qualquer algoritmo correspondente.

na organização. Os processos de compromisso com um papel e ativação de um papel estão ilustrados na Figura 6 e Figura 7.

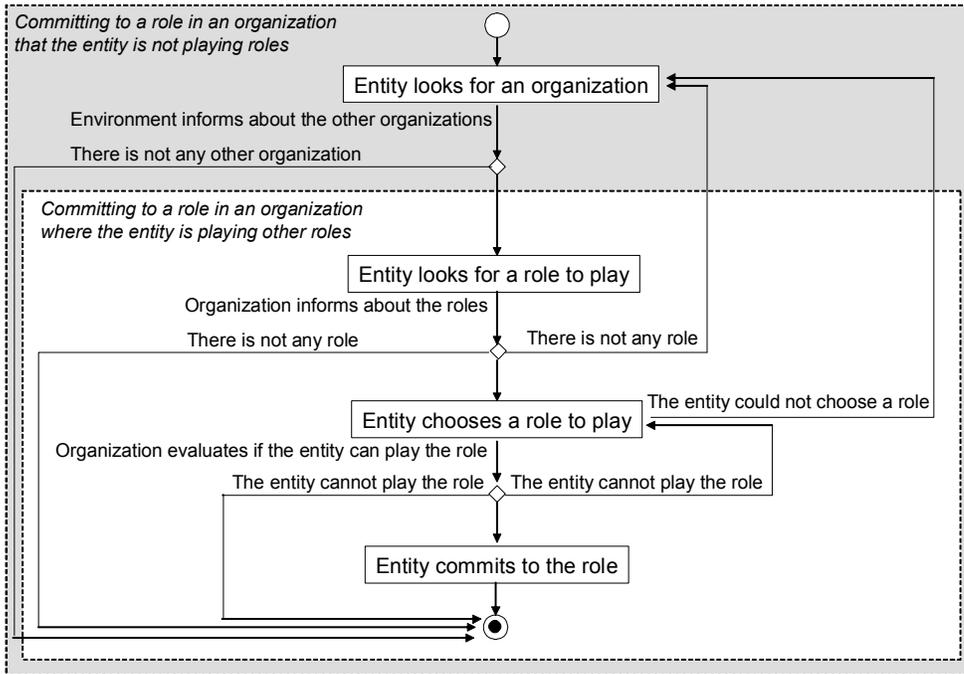


Figura 6 – Entidade comprometendo-se com um papel.

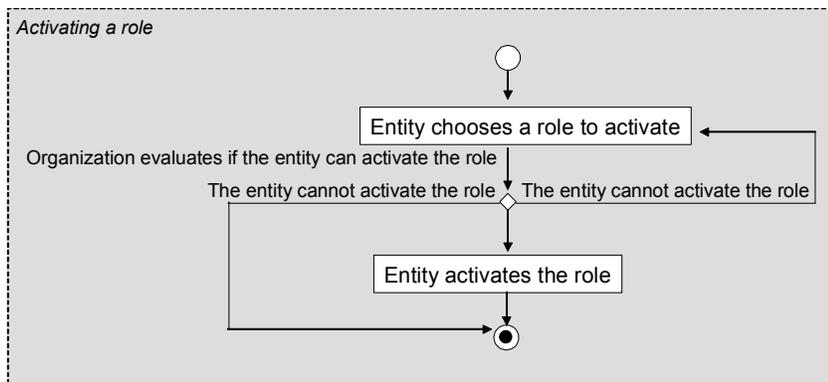


Figura 7 – Entidade ativando um papel.

Agente Cancelando o Compromisso com um Papel ou Desativando um Papel

Um agente pode decidir cancelar o compromisso com um papel ou desativá-lo por muitas razões. Por exemplo, assim que um agente alcança os objetivos do papel, ele pode cancelá-lo. Um agente também pode desativar um de seus papéis se não for capaz de alcançar os objetivos do papel naquele momento, por exemplo. Um agente pode cancelar o compromisso com um papel em uma organização em que está exercendo outros papéis ou pode cancelar o compromisso com o único papel que está exercendo em uma organização. Um

agente também pode desativar um papel em uma organização em que está exercendo outros papéis ou pode desativar o único papel que está exercendo em uma organização. Os processos de *cancelamento do compromisso com o único papel* e o processo de *desativação do único papel* que o agente está exercendo em uma organização caracterizam o fato de o agente *deixar a organização*.

Quando um agente *cancela o compromisso com um papel*, ele pára de exercer o papel na organização, e a instância de papel é destruída. Antes que o agente cancele o papel, o agente pode verificar se pode parar de exercê-lo. As organizações podem descrever os axiomas para restringir o cancelamento da instância, por exemplo, em suas funções de utilidade. O processo de cancelamento do compromisso com um papel está ilustrado na Figura 8.

Quando um agente *desativa um papel*, ele pára de exercer o papel na organização, mas a instância de papel não é destruída. Como as organizações também podem descrever axiomas para restringir a desativação do papel, o agente também pode interagir com a organização para descobrir se pode desativá-lo. O processo de desativação de um papel está ilustrado na Figura 9.

Como um agente deve exercer pelo menos um papel, quando o *agente deseja cancelar ou desativar seu único papel*, deve escolher outra organização e escolher outro papel para exercer, caso contrário, deverá ser destruído. Esse processo é descrito como um *agente comprometido com um papel* ou *ativando um papel*. Assim, o processo de um agente *saindo de uma organização* é composto pelo processo de *entrada em outra organização*.

Suborganização Cancelando o Compromisso com um Papel ou Desativando um Papel

Os processos de uma suborganização que está *cancelando o compromisso com um papel* ou *desativando um papel* são semelhantes aos processos de um agente que está cancelando o compromisso com um papel ou desativando-o (Figura 8 e Figura 9). Uma suborganização pode *cancelar o compromisso com um papel* em uma organização em que está exercendo outros papéis ou pode cancelar o compromisso com o único papel que está exercendo em uma organização. Uma suborganização também pode *desativar um papel* em uma organização em que está exercendo outros papéis ou pode desativar o único papel que está exercendo em uma organização. Quando uma suborganização cancela o compromisso com o

único papel exercido em uma organização ou desativa o único papel, está deixando a organização.

A *entrada e a saída de uma suborganização* para outra organização são transparentes para os agentes que exercem papéis. Uma suborganização pode deixar outra organização quando, por exemplo, alcançar os objetivos dos papéis que está exercendo na organização. Uma suborganização pode entrar em outra organização a fim de exercer um papel que permite que ela alcance seus objetivos.

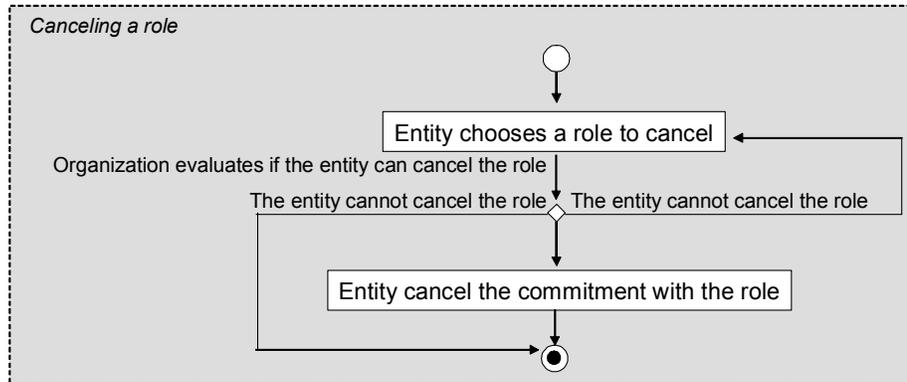


Figura 8 – Entidade cancelando um papel.

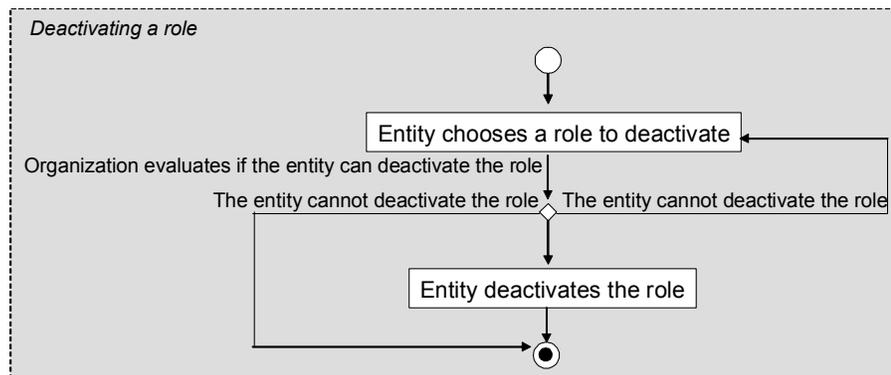


Figura 9 – Entidade desativando um papel.

3.2.2.2. Relacionamento *Inhabit*

Conforme já mencionado, o relacionamento *inhabit* especifica que a entidade que reside – o cidadão – é criada e destruída no habitat e, portanto, pode entrar e sair dele, respeitando suas permissões. Organizações, objetos e agentes residem em ambientes. Os relacionamentos do tipo *inhabit* envolvem quatro comportamentos diferentes: (i) criação e (ii) destruição de entidades, (iii) o movimento de entidades de um ambiente para outro e (iv) a execução das entidades no ambiente.

A criação e a destruição de entidades, assim como o movimento de entidades de um ambiente para outro, são processos dinâmicos independentes do domínio. A criação e a destruição de entidades no ambiente são descritas como comportamento primitivo independente do domínio na Seção 3.2.1. O movimento de agentes e suborganizações caracteriza o comportamento independente do domínio, pois qualquer aplicação que permita que se movam de um ambiente para outro pode estar relacionada às mesmas questões que envolvem esses comportamentos. Além disso, o movimento de agentes e suborganizações de um ambiente para outro é um processo dinâmico de alto nível porque envolve (i) os processos primitivos de destruição e criação de papéis, (ii) os processos de saída e entrada em um ambiente e (iii) também o processo de entrada e saída de uma organização. Por outro lado, a execução de objetos, agentes e organizações no ambiente é um comportamento independente do domínio, porque não é possível descrever essa execução independente do domínio da aplicação. Conforme já mencionado, os comportamentos dependentes do domínio estão fora do escopo desta tese.

Agente se Movendo de um Ambiente para outro

O processo dinâmico de alto nível que caracteriza o *movimento de um agente de um ambiente para outro* é composto pelo processo dinâmico de *entrada e saída dos ambientes*. Além do mais, o processo dinâmico de *saída de um ambiente* é composto pelo processo dinâmico de *saída de organizações*, e o processo dinâmico de *entrada em um ambiente* é composto pelo processo dinâmico de *entrada em organizações*. Esses processos dinâmicos são compostos pelos processos dinâmicos primitivos e outros processos dinâmicos de alto nível que envolvem as interações entre agentes e ambientes, agentes e organizações para criar e destruir os papéis e alterar os estados dos papéis.

Um agente pode *mover-se de um ambiente para outro* se for especificado com características de mobilidade. Por exemplo, um agente pode mudar de um ambiente para outro a fim de encontrar um serviço e alcançar seus objetivos. Um agente descobre outros ambientes com base no relacionamento entre ambientes. Um ambiente pode permitir ou negar que um agente entre ou saia dele (MASIF, 2004). Por exemplo, um ambiente pode negar a entrada de um agente porque seu ambiente original não está listado como um ambiente confiável.

Um agente não pode residir em mais de um ambiente ao mesmo tempo. Ademais, um agente não pode exercer papéis em um ambiente em que não resida. Quando um agente *sai de um ambiente*, ele deve parar de exercer os papéis nas organizações que residem no ambiente, ou seja, o agente deve sair de todas as organizações nesse ambiente. Os papéis são cancelados ou tornam-se inativos. Conforme descrito anteriormente, os agentes devem seguir os axiomas definidos nas organizações em que estão exercendo papéis, que podem permitir ou negar sua saída.

Quando o agente *entra em outro ambiente*, um agente é instanciado em uma organização para exercer um papel e é registrado no novo ambiente. Se o agente estiver entrando em uma nova organização, ele escolherá exercer um novo papel; caso contrário, ele poderá ativar um de seus papéis. O processo de movimento de um ambiente para outro está ilustrado na Figura 10.

Suborganização se Movendo de um Ambiente para outro

O processo de *movimento de um ambiente para outro* de uma suborganização é semelhante ao processo de movimento de um agente de um ambiente para outro (Figura 10). A diferença entre o movimento de uma organização e de um agente de um ambiente para outro está relacionada às características internas das organizações. Como os papéis são exercidos na organização, antes que ela se mova de um ambiente, os agentes e as suborganizações que estão exercendo algum papel nela devem parar de exercê-lo. As instâncias de papel sendo executadas na organização podem ser destruídas ou podem se tornar inativas antes que a organização se mova para outro ambiente. Os agentes e as suborganizações que estão exercendo papéis na organização também podem se mover para outro ambiente para ativar seus papéis.

O processo dinâmico de uma organização que está entrando em um ambiente é tão simples quanto o processo dinâmico de um agente que está entrando em um ambiente. A organização está registrada no novo ambiente e procura um papel a fim de exercer em uma organização do novo ambiente. Ela pode ativar seus papéis ou pode criar novos papéis.

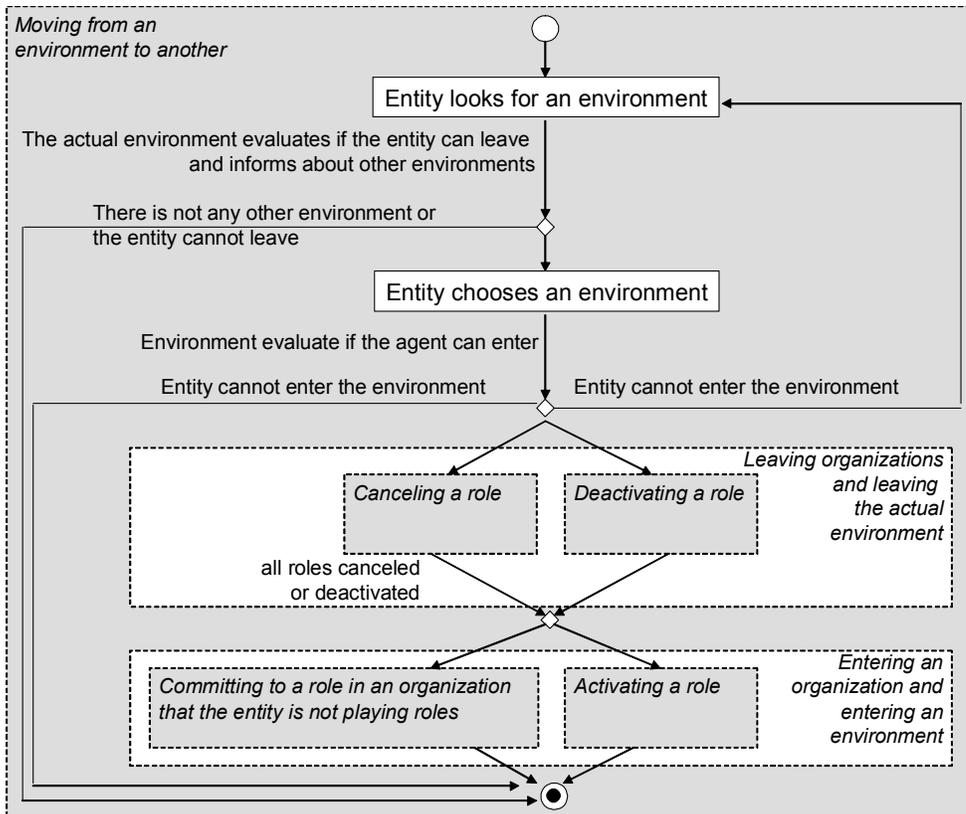


Figura 10 – Entidade se movendo de um ambiente para outro.

3.2.2.3. Hierarquia de Processos Dinâmicos de Alto Nível

Alguns processos dinâmicos de alto nível descritos na seção anterior eram compostos por outros processos dinâmicos de alto nível. A Figura 11 ilustra a hierarquia desses processos. O processo dinâmico que define o *movimento de entidades móveis de um ambiente para outro* é composto pelos processos de *entrada e saída de um ambiente*. O processo de *saída de um ambiente* é composto pelo processo de *saída de uma organização*, uma vez que uma entidade que deseja sair de um ambiente deve primeiro deixar as organizações em que está exercendo papéis. O processo de *saída de uma organização* pode ser seguido pelo processo de *entrada em uma organização*. Se a entidade que está saindo de uma organização não estiver saindo do ambiente e não estiver exercendo outros papéis, ela deverá entrar em outra organização para exercer um papel ou então deverá ser destruída. Finalmente, o processo dinâmico de *entrada em um ambiente* é composto pelo processo de *entrada em uma organização* e de compromisso com

um papel. Uma entidade que entra em um ambiente deve entrar em uma organização para exercer papéis.

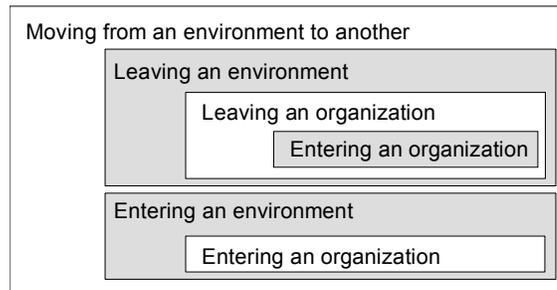


Figura 11 – Hierarquia dos processos dinâmicos de alto nível.

3.3. Avaliação do TAO

A fim de avaliar o TAO, nesta seção ressaltaremos o conjunto de aspectos estruturais e dinâmicos descritos no TAO e não descritos em outros *frameworks* conceituais. O TAO agrupa as abstrações freqüentemente descritas na literatura para SMAs. Agente (OMG, 2004; Shoham, 1993; Ishida et al., 1992; Wooldridge et al., 2001), organização (Shoham, 1993; Caire et al., 2002; Zambonelli et al., 2001; Odell et al., 2003), ambiente (Ishida et al., 1992; Lind, 2000; Yu et al., 1999; Odell et al., 2003), papéis do agente (Yu et al., 1999; Odell et al., 2003; Zambonelli et al., 2001) e papéis do objeto (Kristensen, 1997; Kuncak et al., 2002, Jennings, 2000) e objeto são as abstrações definidas pelo TAO. Ao definir essas abstrações, suas propriedades são descritas assim como são os relacionamentos entre elas.

O TAO também descreve os aspectos dinâmicos, ou seja, a interação e a execução interna das entidades, destacando os processos comportamentais independentes do domínio. Os processos independentes do domínio estão divididos em dois grupos: processos primitivos e de alto nível. Os aspectos dinâmicos primitivos são compostos pelos processos de criação e destruição. Os processos de alto nível são compostos por (i) processo de compromisso com um papel, (ii) processo de ativação de um papel, (iii) processo de cancelamento do compromisso com um papel, (iv) processo de desativação de um papel (v) e processo de movimento de um ambiente para outro.

Do conjunto de *frameworks* conceituais de SMAs analisados e descritos na Seção 2.1, nenhum deles define as abstrações de SMAs freqüentemente usadas.

KAoS e o *framework* conceitual proposto em (d’Inverno et al., 2001) não definem o papel e a organização das entidades. Como não os definem, é claramente impossível definir alguns aspectos dinâmicos de agentes relacionados às organizações e papéis. Por exemplo, não é possível descrever os agentes que estão comprometidos com papéis, os agentes que estão saindo de uma organização e agentes que estão interagindo com organizações. Apesar de o *framework* conceitual apresentado em (Yu et al., 1999) definir papéis e agentes, ele não descreve a criação e a destruição de papéis e, portanto, não define a interdependência entre agentes e papéis.

Além disso, KAoS, o *framework* conceitual proposto em (Yu et al., 1999), e o metamodelo de AOR (ou *framework* conceitual) não definem o ambiente. Portanto, os aspectos dinâmicos relacionados a agentes e ambientes não podem ser descritos. Por exemplo, não é possível descrever agentes que estejam se movendo de um ambiente para outro.

3.4. Discussão

Ao apresentar a semântica de um metamodelo como o TAO, é razoável investigar a conveniência de usar um método formal. Foi formalizado em Z um metamodelo de agentes muito simples (d’Inverno et al., 2001). Uma primeira versão do TAO (Silva et al., 2003) foi formalizada usando a notação proposta em (Letier et al., 2002). Basicamente, ela usa os aspectos estruturais e a lógica temporal para expressar a dinâmica do metamodelo. Também descrevemos a semântica dos aspectos dinâmicos do TAO (Silva et al., 2004b) por meio de gráficos de estado (Harel, 1987). Nos dois casos, terminamos com uma formalização muito complexa que era muito difícil de ler, pois havia muitos conceitos envolvidos em nossa proposta de metamodelo, e eles eram todos novos. A escolha de expressar a semântica em uma linguagem natural no metamodelo de UML pode se justificar pela dificuldade de formalizar a UML de uma maneira legível e útil, até o presente momento.