Especificação Normativa de Agentes Institucionais e da Interacção entre Agentes

Olga Maria Gomes Martins Pacheco

Dissertação submetida à Universidade do Minho
para obtenção do grau de Doutor em Informática, ramo de Fundamentos da Computação.

Braga, 2001

Especificação Normativa de Agentes Institucionais e da Interacção entre Agentes

Olga Maria Gomes Martins Pacheco

Departamento de Informática
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
2001

Dissertação submetida à Universidade do Minho para obtenção do grau de Doutor em Informática, ramo de Fundamentos da Computação .

Resumo

O trabalho apresentado nesta dissertação teve por objectivo essencial, contribuir para o estudo formal de conceitos e de modelos adequados para a especificação normativa de entidades colectivas organizadas e que premitissem uma análise rigorosa de tais entidades.

Tendo por base o conceito jurídico de *pessoa colectiva* e as relações jurídicas de *mandato* e de *representação*, introduzem-se os conceitos de *papel*, *acção num papel*, *representação* entre agentes, *contrato* e *agente institucional*. Tais conceitos servem de base para a caracterização de um modelo para entidades colectivas organizadas. Permitem ainda a caracterização das relações de carácter normativo que os agentes numa sociedade podem estabelecer entre si. A caracterização formal destes conceitos efectua-se através da definição de lógicas modais deônticas e de acção, seguindo a tradição iniciada por S. Kanger, I. Pörn e L. Lindahl. Propõe-se uma lógica de 1.ª ordem, multi-género e multi-modal, incluindo um novo operador modal de acção que capta a noção de *acção de um agente num papel*. Estudam-se as propriedades desta lógica, provando-se a correcção da axiomatização proposta face à semântica definida (baseada nos modelos mínimos).

A lógica apresentada é usada na especificação formal de agentes institucionais, de sociedades de agentes e de diversas interacções de carácter normativo que os agentes estabelecem entre si. Com o modelo proposto é possível analisar de forma rigorosa quais as consequências resultantes de acções, individuais ou conjuntas, que ocorrem numa sociedade de agentes. Em particular, pode analisar-se quais os efeitos das acções de um agente, quando este age num papel, nas acções de outros agentes, na criação de novas obrigações ou permissões sobre o mesmo agente ou sobre outros agentes, ou na análise do cumprimento ou incumprimento de obrigações.

Conclui-se esta dissertação com a discussão de algumas extensões à lógica apresentada, introduzindo alguns conceitos adicionais e operadores modais que os expressam. Explora-se a expressividade da lógica assim estendida, na representação de problemas relacionados com o reconhecimento de uma acção num papel e com a detecção de fraudes que podem ocorrer quando um agente tenta agir num papel.

Palavras Chave:
agência colectiva organizada, agente institucional, papel, acção de um agente num papel, contrato, representação, lógica modal deôntica e de acção, especificação formal de organizações.

Abstract

The main objective of this work was to contribute to the formal study of concepts and models suited to the normative specification of organized collective entities, that also support a rigorous analysis of them.

Based on the legal concept of *artificial person* and on the legal relationships of *mandate* and *representation*, the concepts of *role*, *action in a role*, *representation*, *contract* and *institutional agent* are introduced. Such concepts are the basis for the characterization of a model for organized collective entities. They also allow the characterization of normative relationships that agents in a society may establish between each other. The formal characterization of those concepts in done through the definition of deontic and action modal logics, following the tradition initiated by S. Kanger, I. Pörn and L. Lindahl. It is proposed a first-order, many sorted and multimodal logic, including a new action operator that captures the notion of *action of an agent in a role*. The properties of this logic are analyzed, and the soundness of the given axiomatization (with respect to the semantic defined which is based in the minimal models) is proved.

This logic is used in the formal specification of institutional agents, societies of agents and of normative interactions between agents. With this logical model it is possible to analyze in a rigorous way the effects of agents actions in a society. Namely, it is possible to analyze the effects of an action of an agent, when he is acting in a role, in the actions of other agents, in the attribution of new obligations or permissions to the same agent or to other agents, or in the detection of non-ideal behavior (unfulfillment of obligations).

Finally, some extensions to the proposed logic are discussed. Some new concepts are introduced as well as some modal operators that express them. The extended logic is then explored in the representation of problems related with the recognition of an action in a role and with the detection of frauds that may occur when an agent tries to act in a role.

Keywords:

organized collective agency, institutional agent, role, action in a role, contract, representation, deontic and action modal logic, formal specification of organizations.

Sendo todas as coisas causadas e causantes, auxiliadas e auxiliantes, mediatas e imediatas, e mantendo-se todas elas por meio dum vínculo natural e insensível que une as mais afastadas e as mais diferentes, julgo impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, assim como conhecer o todo sem conhecer as partes em particular.

PASCAL

...A colectividade, apesar de ser o conjunto de todos os seus indivíduos, funciona exactamente como um indivíduo a mais. Assim como se no mundo houvesse toda a gente que existe e mais uma pessoa: esta pessoa seria exactamente todos num só. A colectividade é também um indivíduo, um indivíduo como qualquer outro, mas é o indivíduo colectivo, na verdade colectivo e indivíduo. Com a vantagem sobre qualquer outro de não estar sujeito, como nós, às vacilações de um organismo mortal....

ALMADA NEGREIROS

Agradecimentos

Ao Professor José Carmo agradeço a sábia orientação, o estímulo, a paciência e a disponibilidade permanentes, apesar da distância e da longa duração deste trabalho. O trabalho conjunto realizado foi para mim uma fonte constante de aprendizagem, não apenas em termos científicos, mas também humanos.

Ao Professor Esgalhado Valença agradeço a abertura com que aceitou as minhas opções científicas, as críticas, as sugestões e orientações com que sempre incentivou o meu trabalho.

Desejo também agradecer a todos os que comentaram, criticaram e forneceram sugestões sobre diversos aspectos deste trabalho, nomeadamente aos revisores dos artigos publicados, aos participantes no Deon'00, aos participantes no projecto SARA e, particularmente, ao Professor Marek Sergot e ao Professor Filipe Santos.

À Doutora Catarina Serra agradeço a disponibilidade com que aceitou discutir e esclarecer alguns conceitos jurídicos relevantes para o trabalho apresentado nesta dissertação.

Um agradecimento muito especial aos elementos do grupo Lógica e Métodos Formais, pelo excelente ambiente de trabalho, pela boa disposição, pelo estímulo e pela amizade. Agradeço também aos restantes colegas do Departamento de Informática o apoio que sempre me deram.

Ao Departamento de Informática da Universidade do Minho agradeço os meios disponibilizados para a elaboração desta dissertação.

Este trabalho foi parcialmente suportado pelo projecto SARA, financiado pela JNICT sob o número PRAXIS/2/2.1/TIT/1662/95-SARA, coordenado pelo Professor Helder Coelho.

À minha familia nunca será possível agradecer o apoio incondicional, a paciência e o amor.

Conteúdo

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivações e contornos do problema

Nas sociedades humanas actuais, os seres humanos interagem inevitavelmente com entidades colectivas nos contextos mais variados. Estas entidades colectivas podem ter natureza muito diversa, variando desde a forma como são criadas, aos objectivos que perseguem, à forma como se organizam, ou ao modo de actuar. Algumas destas entidades têm um carácter meramente fortuito e temporário, outras, pelo contrário, têm uma organização estável e são criadas com fins específicos e bem definidos (pelo menos nos seus aspectos globais).

O trabalho a apresentar nesta dissertação centra-se no estudo de entidades deste último tipo, que serão chamadas *entidades colectivas organizadas*. Consideram-se como objecto de estudo, grupos de agentes (humanos ou não) que pretendem actuar conjuntamente e de forma mais ou menos permanente, estável e organizada. Entidades colectivas deste tipo incluem organizações em geral (associações, sociedades, fundações, etc.), e ainda entidades colectivas de natureza não tão formal tais como condóminos de um prédio ou comissões (comissão de pais de uma escola, comissão de utentes da ponte 25 de Abril, etc.)[1]. Estas entidades colectivas podem não ser constituídas apenas por seres humanos, podendo também incluir sistemas de software ou outras entidades colectivas como seus membros.

Pretende-se estudar o comportamento das entidades colectivas organizadas, quando imersas numa sociedade de agentes, interagindo com os outros agentes da sociedade. Terá de se rela-

[1] Por vezes, por questões de simplicidade, este tipo de entidades colectivas organizadas são referidas simplesmente como *organizações*, embora, como se viu, este tipo de entidades possam incluir entidades que dificilmente poderão ser consideradas organizações.

cionar o comportamento dos membros da entidade colectiva com o comportamento da colectividade vista como um todo, e de se definir como "transformar" acções que devam ser efectuadas pela entidade colectiva, em acções dos seus membros. Estes objectivos posicionam o problema em consideração na área da *agência colectiva*. Diversos autores, tais como R. Tuomela, M. Gilbert e J. Colleman, têm vindo a abordar questões relacionadas com a agência colectiva (ver, e.g. [69], [30] ou [22]). Torna-se necessário fazer uma incursão pelo trabalho destes autores, orientando a pesquisa para a agência colectiva organizada, numa tentativa de identificar os modelos propostos para este tipo de entidades.

Entidades como as *organizações* podem ser extremamente complexas. Para conseguir lidar com a complexidade inerente à especificação e análise de organizações e evitar ficar submerso nos detalhes, são necessários *mecanismos de abstracção* que permitam focar a atenção em diferentes aspectos da organização, um de cada vez. Também é necessário o recurso a *métodos formais* de especificação e análise, de forma a evitar ambiguidades e imprecisões, permitindo uma definição precisa dos conceitos envolvidos e suportando uma análise rigorosa da organização. Nesta dissertação olha-se para uma organização segundo a *perspectiva dos sistemas normativos*, e usa-se *lógica multi-modal de* $1.^a$ *ordem multi-género*, para definir modelos abstractos e formais de uma organização e raciocinar sobre eles.

Segundo a *perspectiva dos sistemas normativos* proposta em [48], qualquer sistema organizacional pode ser visto como um conjunto de agentes, humanos ou não, que interagem entre si e cujo comportamento é regulado por normas. *Normas* representam obrigações, direitos, responsabilidades, ou outros conceitos normativos, que recaem sobre agentes. As normas definem o comportamento esperado dos agentes (a que por vezes se chamará *comportamento ideal*), mas não excluem a possibilidade de desvios desse comportamento ideal. Por conseguinte, podem ocorrer "violações" a normas e o sistema tem de estar preparado para reagir a essas situações de forma natural (i.e. sem bloquear, continuando a funcionar normalmente, embora detectando e reagindo a estas situações não ideais).

Considera-se que num primeiro nível de especificação, o comportamento dos agentes numa organização deve ser descrito através dos estados abstractos (genéricos) que eles produzem, e não imediatamente através das acções ou tarefas concretas a realizar, caso contrário tornar-se-ia extremamente difícil lidar com o detalhe. O objectivo, neste nível abstracto de especificação, consiste em descrever e analisar as obrigações, permissões, responsabilidades, ou outros conceitos normativos, genéricos, dos diversos componentes de uma organização, relacionando-os com a organização no seu todo e com os agentes concretos que constituem a organização ou com ela interagem.

A proposta a apresentar nesta dissertação para a modelação de organizações pretende ser um primeiro nível de especificação de organizações, que obviamente precisará de ser refinado para níveis mais concretos caso se desejem construir modelos mais completos das organizações. Considera-se que este nível abstracto de especificação é crucial num processo rigoroso de especificação. Antes de entrar em detalhes sobre uma organização, é necessário perceber muito bem a sua estrutura abstracta e a política da organização (i.e. os seus componentes e as normas que os regulam), e o modo como essa organização interactua com a sociedade exterior. Os conceitos normativos são essenciais para a descrição das normas que regulam as organizações, pelo que irão desempenhar um papel crucial nos modelos abstractos a propor.

Como se adoptou uma perspectiva normativa para as organizações, tomou-se a decisão de investigar um outro contexto normativo, o *Direito*, procurando, nesse contexto, modelos para a agência colectiva organizada. A ideia consistia em identificar e caracterizar os aspectos essenciais desses modelos legais e tentar incorporá-los no modelo que se pretende definir. Esta ideia, apesar de atractiva, por permitir a reutilização de conceitos e metodologias bem estudadas e testadas, não é isenta de perigos. O problema essencial reside no facto de poderem existir diferentes interpretações dos conceitos a transpor do Direito, quando estes são definidos de forma vaga e ambígua. Transpor conceitos de uma área do conhecimento para outra área diferente, obriga a uma definição precisa e sem ambiguidades do significado dos conceitos transpostos, no novo contexto de utilização, da indicação de como vão ser aí usados e de quais as consequências exactas da sua utilização. A adopção de métodos formais de especificação evita os problemas referidos.

A ideia de usar modelos jurídicos como "inspiração" para os modelos a propor para a agência colectiva organizada, resulta da experiência anterior da autora (ver [49] e [50]) e do seu orientador, Professor José Carmo, no contacto com problemas na área jurídica. Dessa experiência resultou uma noção clara da complexidade dos conceitos jurídicos, o que conduziu a um grande cuidado no estudo e posterior utilização de tais conceitos.

A especificação de organizações é um tópico de investigação que tem atraído a atenção de investigadores, de áreas diversas (ver, e.g., [63], [41], [54] e [9] para uma síntese sobre trabalho recente nessa área e uma selecção de referências bibliográficas relevantes).

Tal como F. Santos em [63] refere, é frequente as técnicas de modelação de organizações usarem conceitos organizacionais e deônticos (e.g. papel, responsabilidade, obrigação, delegação, ...) sem oferecerem uma descrição clara e precisa do seu significado. Como se argumentou anteriormente, tal ambiguidade impossibilita a especificação rigorosa e a análise sistemática das organizações.

Na linha do trabalho realizado por F. Santos [63], A. Jones e M. Sergot [38], P. Ramos [57], entre outros, pretende-se com o trabalho a apresentar nesta dissertação contribuir para o estudo formal de conceitos e modelos de especificação de organizações. A ferramenta formal utilizada é a lógica, mais precisamente, lógica modal de 1.ª ordem, tendo como ponto de partida os trabalhos pioneiros de S. Kanger (ver e.g. [39], [40]), I. Pörn (ver e.g. [55], [56]) e L. Lindahl (ver e.g. [44]), onde lógicas de acção e lógicas deônticas foram utilizadas como base para a caracterização de sistemas normativos complexos.

Muitas das técnicas de modelação de organizações têm por objectivo a definição de modelos detalhados da organização, entrando em consideração com múltiplas facetas da organização (e.g. como é usual fazer na teoria das organizações), ou com inúmeros detalhes acerca do funcionamento efectivo da organização (e.g. tarefas e acções concretas). Tal complexidade se introduzida muito cedo no processo de especificação, torna o problema de muito difícil (ou mesmo impossível) resolução. Como se disse anteriormente, nesta dissertação adopta-se a postura usual da especificação estruturada de problemas, iniciando o processo de especificação com modelos abstractos que deverão ser sucessivamente refinados para modelos mais concretos. De momento, como se disse anteriormente, pretende-se focar a investigação essencialmente nos aspectos normativos da organização: descrever através de obrigações, permissões ou outros conceitos deônticos como a organização e os seus componentes deverão comportar-se. Combinam-se conceitos da teoria das organizações e do Direito para definir modelos normativos abstractos, mas formais, da organização.

Nestes modelos abstractos, uma organização estrutura-se através de um conjunto de papéis, sendo associado a cada papel um conjunto de noções deônticas (tais como obrigações ou permissões), que se aplicam aos agentes que em cada momento são titulares desses papéis, quando tais agentes agem nesses papéis. São descritos princípios de transmissão de obrigações da organização para esses papéis, e alguns desses papéis são papéis de representação da organização. A ideia base, é a de que uma organização nunca age directamente, agindo apenas indirectamente através dos actos dos agentes titulares dos papéis da sua estrutura: têm, por isso, de existir mecanismos que indiquem como as obrigações "fluem" da organização para os titulares dos papéis da sua estrutura (os que de facto agem), assim como mecanismos que indiquem quais dos actos desses agentes contam como actos da organização (isto é importante, porque a organização é responsável por esses actos, e pelo cumprimento ou incumprimento de obrigações, independentemente do facto de não ser a organização a agir directamente.)

Um aspecto que importa salientar é o de não se assumir que apenas pessoas possam agir em nome da organização. De facto não existe nenhum motivo para agentes de software (a que se chamará *agentes artificiais*) não poderem desempenhar papéis, o que de facto acontece com crescente frequência.

A estrutura e a política de uma organização devem ser do conhecimento dos agentes que pertencem à organização e dos agentes que com ela interagem. Os agentes devem saber quais os papéis que eles próprios e os agentes com quem interagem, desempenham, e qual a sua caracterização deôntica.

Os modelos propostos para a especificação de organizações, por terem um suporte formal, permitem uma análise rigorosa da organização, sendo possível responder a questões tais como "Qual o efeito da acção de um agente, quando este age num determinado papel, nos outros agentes da sociedade?", ou analisar se "Uma acção de um agente num papel, 'viola' algumas das normas que recaem sobre esse agente?".

1.1.1 Síntese da estratégia seguida

Resume-se em seguida a estratégia seguida para abordar o problema que acabou de ser descrito.

1. Investigaram-se os modelos conceptuais propostos na área da agência colectiva para as entidades colectivas organizadas e avaliou-se a existência de correspondentes modelos formais.

2. Investigaram-se os modelos conceptuais propostos na área dos sistemas multi-agentes organizacionais e avaliou-se da existência de correspondentes modelos formais.

3. Os passos anteriores revelaram-se insuficientes para os propósitos em vista, o que conduziu à investigação no Direito de modelos para a agência colectiva, identificando conceitos relevantes e estudando-os em pormenor de forma a poder transpô-los, ajustando-os, para o contexto da agência colectiva organizada.

4. Tendo por base os conceitos e os modelos legais encontrados, discutiram-se e caracterizaram-se informalmente os conceitos de papel, acção de um agente num papel, representação, contrato e agente institucional

5. Tentou-se expressar estes conceitos usando lógicas existentes e usadas anteriormente para formalizar conceitos semelhantes.

6. Do passo anterior resultou a necessidade da definição de uma lógica nova que permitisse a expessão desses conceitos de forma adequada.

7. Definiu-se um modelo formal para a especificação normativa de agentes institucionais e de sociedades de agentes, modelo esse suportado pela lógica definida no passo anterior.

8. Finalmente, explorou-se a expressividade da lógica definida, na especificação e análise das entidades modeladas.

1.2 Estrutura da dissertação e sumário das contribuições

Conclui-se este capítulo com a apresentação da estrutura da dissertação, com um sumário das contribuições e com a indicação das partes do trabalho que foram objecto de publicação.

- O *capítulo 2* tem por objectivo introduzir os conceitos básicos e os resultados considerados necessários para a compreensão da lógica proposta nesta dissertação, assim como fixar a terminologia a usar. A lógica que irá ser proposta é uma lógica de 1.ª ordem multi-modal e multi-género. Para facilitar e suportar a sua apresentação nos capítulos subsequentes, começar-se-á, neste capítulo, por uma introdução sucinta às logicas modais proposicionais, seguindo-se uma breve referência às lógicas modais de 1.ª ordem. Não se pretende apresentar uma panorâmica global da área. São referidos apenas os aspectos relevantes para o caso em análise, começando por se apresentar os conceitos usuais e adaptando-os em seguida à situação em estudo.

  Contribuições: Semântica para lógicas modais não normais de 1.ª ordem, adaptando a semântica dos modelos mínimos para lógicas modais proposicionais não normais, e a semântica de lógicas modais normais de 1.ª ordem (com quantificações globais, domínios constantes e termos rígidos), dando origem ao que se chamou *modelos mínimos de 1.ª ordem*.

- No *capítulo 3* apresentam-se dois tipos de lógicas modais proposicionais usadas como ponto de partida para a lógica proposta nesta dissertação. São lógicas de acção e lógicas deônticas que têm sido usadas por diversos autores como base para o estudo de problemas como a interacção entre agentes ou a caracterização de sistemas normativos, problemas esses relevantes no contexo da agência colectiva em estudo nesta dissertação. Neste capítulo faz-se uma breve apresentação destas lógicas, referem-se algumas propostas de utilização destas lógicas na formalização de conceitos relacionados com a agência colectiva e conclui-se com a discussão da inadequação e/ou insuficiência das propostas apresentadas, motivando a necessidade de uma nova abordagem lógica à agência colectiva.

Contribuições: A discussão sobre a inadequação das propostas apresentadas para a formalização da agência colectiva.

- No *capí tulo 4* começam-se por apresentar as questões tradicionalmente abordadas na área da agência colectiva, fazendo referência às posições de alguns autores recentes relativamente a essas questões, tentando posicionar o trabalho desta dissertação no contexto da agência colectiva em geral e definir os contornos do problema em estudo. São ainda referidos alguns trabalhos da área dos Multi-Agentes em Inteligência Artificial que abordam questões similares embora numa perspectiva diferente da seguida nesta dissertação e com diferentes objectivos. Apresentam-se em seguida os modelos jurídicos encontrados para esta classe de problemas que serviram de inspiração e de base para o modelo a apresentar nesta dissertação. Finalmente transpõem-se os modelos e conceitos legais apresentados, para o contexto da agência colectiva organizada, caracterizando-se informalmente os conceitos de *papel*, de *acção num papel*, de *representação*, de *contrato* e de *agente institucional*.

  Contribuições: A utilização de conceitos jurídicos como base para a caracterização dos conceitos de papel, acção de um agente num papel, relações normativas entre agentes (em especial da noção de representação e de contrato entre agentes) e de agente institucional.

- No *capí tulo 5* apresenta-se a lógica que vai ser usada na formalização dos diversos conceitos introduzidos no capítulo anterior. Começa-se por discutir a representação desses conceitos usando os operadores deônticos e de acção apresentados no capítulo 3, concluindo--se pela necessidade da introdução de um novo operador de acção capaz de capturar o conceito de *acção de um agente num papel*. Apresenta-se em seguida a linguagem formal que a lógica tem por base, define-se uma semântica para essa linguagem (a semântica dos modelos mínimos de 1.^{a} ordem, definida no capítulo 2) e finalmente discutem-se os princípios lógicos que devem ser verificados e as restrições a impor à semântica que asseguram a validade desses princípios. Conclui-se o capítulo provando a correcção da axiomatização apresentada face à semântica definida..

Contribuições: Todo o capítulo 5 é original. Salienta-se, o operador de acção num papel, a sua interacção com o operador deôntico de obrigação (permissão e proibição), e a respectiva caracterização formal através da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

- No *capí tulo 6* utiliza-se a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ na especificação e análise formal de agentes institucionais, de sociedades de agentes e das diversas interacções de carácter normativo que os diversos agentes podem estabelecer entre si. Começam-se por definir algumas extensões à logica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ que enriquecem a linguagem apresentada tornando-a mais próxima do nível de especificação: Definem-se abreviaturas que permitem associar papéis e agentes desempenhando papéis, às noções deônticas de obrigação, permissão e proibição, e explica-se a sua utilidade na especificação de agentes institucionais. Enriquece-se também a linguagem de forma a capturar vários tipos de relações entre papéis, a caracterizar os papéis de representação, e a permitir a expressão da acção conjunta de agentes e de contratos entre agentes. Apresenta-se, em seguida, um modelo formal de um agente institucional e de uma sociedade de agentes, suportado pela lógica definida, e ilustra-se o tipo de análise formal suportada. É ainda sugerida uma linguagem de especificação de alto nível, $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$, que permite uma especificação amigável e simples destas entidades. Conclui-se este capítulo discutindo a questão da especificação estruturada de agentes institucionais.

  Contribuições: Todo o conteúdo do capítulo 6 é original. Salienta-se: a formalização da caracterização deôntica de papéis, através da definição de operadores deônticos indexados a papéis, das relações entre papéis, da noção de papel de representação e da noção de contrato; o modelo de agente institucional; o modelo de sociedade de agentes; a análise suportada e a linguagem de alto nível $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$.

- No *capí tulo 7* abordam-se algumas questões que foram surgindo ao longo do texto desta dissertação e sobre as quais foi realizado algum trabalho mas que ainda se encontram em investigação. Começa-se por estender a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ com alguns operadores modais: o operador de *acção directa*, o operador de *tentativa de acção* (acção não necessariamente com sucesso), o operador *conta como* e o operador de *crença*. É feita uma apresentação informal sobre o significado destes operadores e são dadas algumas indicações sobre a sua caracterização lógica. Estes operadores são, em seguida, utilizados na formalização de alguns problemas: aborda-se o problema do *reconhecimento da acção de um agente* *num papel*, tentando dar resposta à questão: "Como pode um sistema s *saber* que um agente agiu num papel particular?", e discutem-se algumas situações de fraude envolvendo a noção de *tentativa de acção de um agente num papel*.

Contribuições: Caracterização do operador de acção directa, discussão do problema do reconhecimento da acção de um agente num papel e discussão de algumas situações de fraude tendo por base a noção formal de tentativa de acção num papel.

- No *capítulo 8* faz-se um resumo do trabalho apresentado na dissertação e das suas contribuições, e indica-se trabalho futuro.

- Finalmente, apresentam-se alguns apêndices ao trabalho. No *apêndice A* apresenta-se uma gramática descrevendo a linguagem de especificação de alto nível, $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$, proposta no capítulo 6. No *apêndice B* apresenta-se a especificação na linguagem $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$ do agente institucional ax (usado como exemplo ao longo da dissertação) inserido numa sociedade de agentes SA, numa versão estruturada. No *apêndice C* apresentam-se diversos exemplos "reais" de especificação de agentes institucionais.

Grande parte do trabalho apresentado nesta dissertação foi publicado em diversos artigos (em conferências, em revistas e num capítulo de livro), facto que em muito contribuiu para a sua discussão, enriquecimento e consolidação:

- Em [51], (versão revista de [52]) foi publicada a investigação efectuada na área jurídica, e as ideias preliminares sobre a noção de papel e de agente institucional (aí chamado agente colectivo). Corresponde às secções 4.2 e às ideias preliminares sobre o conteúdo das secções 4.3, 4.4 e 4.5.

- Em [15] (versão revista e estendida de [13]) foi publicado o trabalho apresentado no capítulo 3, nas secções 5.1 a 5.4, nas secções 6.1.1 e 6.1.2, e nas secções 7.1.1 e 7.1.3.

- Em [53] foi publicado o trabalho correspondente às secções 4.1 a 4.5, e ao capítulo 6.

- Em [14] foi publicado o trabalho apresentado no capítulo 7.

Capítulo 2

Lógicas modais proposicionais e lógicas modais de $1.^a$ ordem: conceitos e resultados essenciais

Este capítulo tem por objectivo introduzir os conceitos básicos e os resultados considerados necessários para a compreensão da lógica proposta nesta dissertação, assim como fixar a terminologia a usar.

A lógica proposta é uma lógica de $1.^a$ ordem multi-modal e multi-género. Para facilitar e suportar a sua apresentação nos capítulos subsequentes, começa-se, neste capítulo, por uma introdução sucinta às lógicas modais proposicionais, seguindo-se uma breve referência às lógicas modais de $1.^a$ ordem.

Não se pretende apresentar uma panorâmica global da área. São referidos apenas os aspectos relevantes para o caso em análise, começando por se apresentar os conceitos usuais e adaptando-os em seguida à situação em estudo.

Diversas referências que poderão complementar os assuntos apresentados são também indicadas ao longo do texto. Entre os textos de referência usados neste capítulo salientam-se [19], [10] e [11] sobre lógicas modais proposicionais , e [29], [10] e [37] sobre lógicas modais de primeira ordem. Assumem-se como conhecidas a lógica proposicional e a lógica de $1.^a$ ordem (ver, e.g. [31]).

2.1 Lógicas modais proposicionais $\mathcal{L}_\Box$

2.1.1 Introdução

Brevíssima perspectiva histórica

A lógica modal surgiu inicialmente como a lógica que estuda os “modos de ser” *necessário* e *possível*. Os estudos sobre lógica modal remontam à antiguidade, aos tempos de Aristóteles passando pelos lógicos medievais, mas o seu estudo sistemático inicia-se apenas no início do século XX com C. Lewis. Na primeira metade do século houve um desenvolvimento lento nesta área que culmina com o estabelecimento de semânticas explícitas e bem definidas para as lógicas modais. Uma das semânticas mais conhecidas é a semântica dos mundos possíveis, com origem nos trabalhos de R. Carnap e desenvolvida por S. Kripke, tendo também contribuições de J. Hintikka e de S. Kanger. Na segunda metade do século XX assiste-se a um crescimento extremamente rápido desta área sendo propostos múltiplos sistemas modais e aprofundados os estudos metalógicos associados. Diversificam-se também os domínios de aplicação das lógicas modais, o que levanta novos problemas e introduz novas ideias. A lógica modal deixa de abordar apenas a lógica dos “modos de ser” *necessário/possível*, passando a explorar também lógicas dos modos de *conhecer*, de *acreditar*, dos *direitos* e *deveres* e de outros conceitos similares, dando origem a diversos ramos da lógica modal tais como as *lógicas epistémicas*, *lógicas deônticas* e *lógicas temporais*, entre outras.

Para mais detalhes consultar, e.g. [10] onde podem ser encontradas as referências essenciais.

Alguns comentários prévios sobre a metodologia a seguir

O primeiro passo para a caracterização lógica de conceitos abstractos tais como os de necessidade, possibilidade, obrigação, permissão, proibição, entre outros, consiste em tentar individualizá-los, introduzindo operadores, primitivos ou não, que os representem na linguagem formal que a lógica que se pretende definir tem por base.

Procura-se, em seguida, caracterizar os princípios inerentes a tais conceitos. Esses princípios deverão ser expressos por fórmulas da lógica em definição, devendo tais fórmulas ser teoremas dessa lógica.

Para a definição de tal conjunto de teoremas existem várias abordagens possíveis entre as quais se destacam a *abordagem axiomática* e a *abordagem semântica*, ambas adoptadas nesta dissertação. Na abordagem axiomática o conjunto dos teoremas [1] é gerado a partir de um conjunto de fórmulas, chamadas axiomas, através de um conjunto de regras. Na abordagem semântica procura-se dar uma interpretação aos operadores e às fórmulas atómicas, sendo os teoremas (denominados *fórmulas válidas* nesta abordagem[2]) as fórmulas que traduzem asserções verdadeiras de acordo com tais interpretações. [3]

Ambas as abordagens têm vantagens, pelo que é usual considerar ambas as abordagens e procurar mostar que elas são equivalentes no sentido de darem origem ao mesmo conjunto de teoremas. Quando se consideram as duas abordagens é comum usar o termo *lógica* para referir as lógicas definidas axiomaticamente. A teoria que estuda a relação entre estas duas abordagens é denominada usualmente de *teoria da completude* e envolve duas tarefas: provar a *correcção* e provar a *completude* da lógica em estudo face à semântica definida. Estudar a *correcção* de uma lógica face a uma determinada classe de modelos consiste em verificar se todos os seus teoremas são fórmulas válidas: se $\vdash \psi$ então $\models \psi$. Estudar a sua *completude* consiste em verificar se todas as fórmulas válidas são teoremas: se $\models \psi$ então $\vdash \psi$.

A completude é em geral mais difícil de provar do que a correcção. Nesta dissertação vamos apenas estudar a correcção da lógica proposta.

Mas antes de caracterizar a classe de fórmulas a que se chamou *teoremas* tem de ser definido o conjunto de todas as fórmulas bem formadas. Para isso, é necessário definir a linguagem formal que a lógica tem por base. É o que será feito em seguida.

2.1.2 Linguagens modais de base proposicional

Já foi anteriormente referido que as lógicas modais apareceram inicialmente ligadas à caracterização lógica dos conceitos de necessidade e de possibilidade. Foram introduzidos dois operadores unários designados usualmente por $\Box$ e $\Diamond$, com o seguinte significado intuitivo: $\Box\psi$ significa que "a proposição ψ é necessária" e $\Diamond\psi$ significa que "a proposição ψ é possível".

Actualmente é possível atribuir a estes operadores modais outros significados e utilizar lógicas modais para estudar outros conceitos. É o que irá ser feito nesta dissertação.

Os operadores modais a considerar dependem da lógica que se pretende definir. No entanto, por questões de simplicidade, começa-se por introduzir uma linguagem unimodal, tendo como

[1] Escreve-se $\vdash \psi$ para dizer que ψ ´e um teorema.

[2] Escreve-se $\models \psi$ para dizer que ψ ´e uma f´ormula v´alida.

[3] Estas abordagens ir˜ao ser apresentadas de modo mais preciso nas pr´oximas secç ˜oes.

único operador modal primitivo, o operador de necessidade $\Box$, sendo o operador de possibilidade definido à custa desse (como seu dual: $\Diamond \stackrel{def}{=} \neg\Box\neg$). Os conceitos essenciais sobre lógicas modais serão apresentados usando esta linguagem de base. Esta apresentação pode ser adaptada a outros operadores modais, o que será feito no capítulo 5 aquando da apresentação da lógica proposta. Para além do apresentado para lógicas unimodais, nas lógicas multi-modais terá de ser estudada a interacção entre os diversos operadores modais considerados. Tal interacção não irá ser estudada de uma forma geral mas apenas para a lógica concreta a apresentar. Por conseguinte, neste capítulo omite-se qualquer referência à interacção entre operadores modais.

Designa-se por $\mathcal{L}_\Box$ uma linguagem uni-modal de base proposicional, definida como se segue.

Definição 2.1 *Alfabeto de* $\mathcal{L}_\Box$

- Símbolos de pontuação: $($, $)$;
- Símbolos de proposições atómicas: $p_1, \ldots, p_n, \ldots$;
- Conectivos proposicionais: $\neg, \rightarrow$;
- Operador modal de necessidade: $\Box$. ♦

Nas lógicas que nos interessam os operadores modais são unários, pelo que nesta secção se restringe a aridade do operador modal considerado, a 1.

Ao longo do texto irão ser usados os (meta-)símbolos $\phi, \phi_1, \ldots, \psi, \psi_1, \ldots$ para referir genericamente fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ e $\Gamma, \Gamma_1, \ldots, \Delta, \Delta_1, \ldots, \Sigma, \Sigma_1, \ldots$ para referir conjuntos dessas fórmulas. Tais símbolos não fazem parte do alfabeto de $\mathcal{L}_\Box$, mas sim da meta-linguagem em que este texto é escrito.

Definição 2.2 O conjunto das fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$, $Form(\mathcal{L}_\Box)$, é definido indutivamente como se segue:

- Toda a proposição atómica é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$ (*fórmula atómica*);
- Se ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$, então $(\neg\psi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$;
- Se ψ_1 e ψ_2 são fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$, então $(\psi_1 \rightarrow \psi_2)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$;
- Se ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$ então $(\Box\psi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_\Box$. ♦

São introduzidos os usuais conectivos proposicionais ($\wedge, \vee, \leftrightarrow$) e os símbolos de constantes proposicionais $\top$ e $\bot$ no alfabeto de $\mathcal{L}_\Box$. As fórmulas que envolvam estes símbolos são vistas como abreviaturas de fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$, de acordo com as seguintes regras usuais:

- $\top \overset{abv}{=} (\psi \rightarrow \psi)$, para ψ uma dada fórmula (qualquer),
- $\bot \overset{abv}{=} \neg\top$,
- $(\psi \vee \phi) \overset{abv}{=} ((\neg\psi) \rightarrow \phi)$,
- $(\psi \wedge \phi) \overset{abv}{=} (\neg(\psi \rightarrow (\neg\phi)))$
- $(\psi \leftrightarrow \phi) \overset{abv}{=} ((\psi \rightarrow \phi) \wedge (\phi \rightarrow \psi))$

É ainda introduzido um operador modal $\Diamond$, dual de $\Box$, definido como se segue:
$(\Diamond\psi) \overset{abv}{=} (\neg(\Box(\neg\psi)))$.
Este operador é denominado operador de *possibilidade* sendo uma fórmula $(\Diamond\psi)$ lida como "é possível que ψ se verifique".

Para evitar que os parênteses tornem a escrita de formulas "pesada", vai ser adoptada a prática corrente de omissão de alguns parênteses, nomeadamente os parênteses exteriores e os associados aos operadores unários. Vai ainda ser adoptada a usual definição de prioridades entre os operadores:

1.^{o} : operadores unários,
2.^{o} : $\wedge$,
3.^{o} : $\vee$,
4.^{o} : $\rightarrow$ e $\leftrightarrow$

2.1.3 Sistema de lógica modal

Acabou de ser descrito o conjunto de todas as fórmulas da linguagem $\mathcal{L}_\Box$. Um *sistema de lógica modal* (também chamado, nesta dissertação, de *lógica modal* ou simplesmente de *lógica*) é um subconjunto de $\mathcal{L}_\Box$ que obedece às seguintes restrições: deve conter todas as tautologias de $\mathcal{L}_\Box$

(i.e.,informalmente, todas as fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ que têm a forma de uma tautologia)[4] e ser fechado para a regra do *Modus Ponens*[5].

Sobre uma linguagem modal podem-se definir várias lógicas modais. No entanto, por vezes há interesse em considerar uma única lógica sobre uma linguagem (como acontece no capítulo 5). Em tais casos, é natural considerar o mesmo identificador para a linguagem e para a lógica sobre ela definida (encarregando-se o contexto de clarificar a sua utilização).

Os elementos de um sistema lógico designam-se por *teoremas*, escrevendo-se $\vdash_\Sigma \psi$ para denotar que ψ é um teorema de um sistema lógico Σ e $\nvdash_\Sigma \psi$ para denotar que ψ não é um teorema de Σ. Sempre que for evidente pelo contexto qual a lógica em causa, omitir-se-á a sua referência, escrevendo-se simplesmente $\vdash \psi$ ou $\nvdash \psi$.

A definição de lógica acima apresentada é demasiado abrangente. Usualmente, o conjunto de teoremas pretendido para uma lógica não é um qualquer que satisfaça as condições indicadas (as quais apenas garantem que as lógicas em que se está interessado incorporam o chamado *raciocínio tautológico*).

Vão em seguida ser apresentadas duas vias alternativas para a definição do conjunto de teoremas pretendido para uma lógica particular. Primeiro será considerada a via sintáctica com a abordagem *dedutivo-axiomática*, onde se procura obter o conjunto de teoremas da lógica pretendida, por mera manipulação simbólica de fórmulas, de acordo com certas regras. Considera-se depois a via semântica, onde se procura interpretar os operadores da linguagem no âmbito de certas estruturas, definindo-se em seguida condições sobre estas estruturas que os elementos da lógica terão de satisfazer. É apresentada em primeiro lugar a semântica mais conhecida, a *semântica dos mundos possíveis de Kripke*, também chamada *semântica padrão*. Apresenta-se, em seguida, uma generalização dessa semântica, a *semântica dos modelos mínimos*, pois como se mostrará, não é possível definir uma semântica padrão para o tipo de lógicas em estudo nesta dissertação.

[4]Formalmente, designam-se por tautologias de $\mathcal{L}_\Box$ as fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ que são instâncias de tautologias de $\mathcal{L}$ (tautologias proposicionais) por substituição uniforme dos seus símbolos proposicionais por fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ (i.e. fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ da forma $\psi[p_1/\phi_1, \ldots, p_n/\phi_n]$, para ψ uma tautologia de $\mathcal{L}$, $p_1, \ldots, p_n$ símbolos proposicionais que ocorrem em ψ, e $\phi_1, \ldots, \phi_n$ fórmulas de $\mathcal{L}_\Box$ ($n \geq 0$)). A noção de tautologia (proposicional), define-se da forma usual: fórmulas proposicionais que assumem o valor lógico 1 (verdade) para qualquer valoração dos símbolos proposicionais que nela ocorram.

[5]Regra *Modus Ponens*: De ψ e de $\psi \to \phi$ infere-se ϕ.

2.1.4 Sistemas lógicos de base axiomática

A principal abordagem sintáctica às lógicas modais tem sido do tipo axiomático "a la Hilbert". A abordagem axiomática à definição de um sistema lógico caracteriza-o da seguinte maneira:

- É explicitado um conjunto de fórmulas que são designadas de os *axiomas* do sistema lógico em causa. Os axiomas incluem as tautologias (do cálculo proposicional) e todas as instâncias de um conjunto finito de axiomas-esquema.
- É explicitado um conjunto finito e usualmente reduzido de regras, que serão designadas por *regras de prova primitivas*, que incluirá sempre a regra Modus Ponens.

Nesta dissertação as regras serão apresentadas da seguinte maneira:

" de $\psi_1, \ldots, \psi_n$ infere-se ψ".

Quando é possível caracterizar uma lógica modal desta forma diz-se que ela é *axiomatizável*.

Nestes sistemas uma fórmula ψ diz-se um *teorema* (escreve-se $\vdash \psi$) sse existe uma sequência de fórmulas $\psi_1, \ldots, \psi_n$, dita *sequência de prova*, que termina em ψ (i.e. $\psi_n = \psi$) e na qual cada fórmula $\psi_i \quad (1 \leq i \leq n)$ ou é um axioma ou se infere de fórmulas anteriores na sequência por aplicação de uma regra de prova primitiva. Usando o termo *regra de prova* para designar regras que preservam teoremas, i.e. que levam de teoremas a teoremas, é imediato verificar que se podem abreviar as sequências de prova permitindo a inclusão nestas de teoremas (já provados), bem como a aplicação de regras (que já se provou serem regras) de prova, não necessariamente primitivas.

É usual definir também a noção de *dedução a partir de hipóteses*. Algumas das regras de prova primitivas são consideradas também como *regras de inferência* (primitivas) e diz-se que uma fórmula ψ se deduz de um conjunto de fórmulas Γ, chamadas de *hipóteses de dedução* (escreve--se $\Gamma \vdash \psi$), sse existe uma sequência de fórmulas, dita *sequência de dedução*, $\psi_1, \ldots, \psi_n$, que termina em ψ, e na qual cada fórmula $\psi_i \quad (1 \leq i \leq n)$ ou é teorema, ou é uma fórmula de Γ, ou se obtém das fórmulas anteriores na sequência por aplicação de uma regra de inferência.

Esta definição pode ter implicações no *meta-teorema da dedução*:

se $\Gamma \cup \{\psi\} \vdash \phi$, então $\Gamma \vdash \psi \to \phi$.

Uma forma de se garantir que se verifica o meta-teorema da dedução (sem quaisquer restrições) é exigir que apenas regras de inferência tautológicas[6] se podem aplicar a fórmulas na sequência de dedução que dependam das hipóteses (ou de outra forma, que apenas regras tautológicas possam ser aplicadas a fórmulas que não sejam teoremas). Alguns autores não distinguem *regras de prova* de *regras de inferência*, dando origem normalmente a sistemas em que o meta-teorema da dedução só se verifica com restrições.

Nesta dissertação apenas se consideram sequências de dedução em que só a regra de inferência tautológica Modus Ponens se aplica a fórmulas na sequência de dedução que não sejam (ou ainda não se provou serem) teoremas. Assegura-se, desta forma, a verificação do *meta-teorema da dedução*.

Apresentam-se nas tabelas 2.1 e 2.2 as denominações usuais de algumas regras de prova [7] e de alguns axiomas aos quais se fará referência posteriormente.

Sempre que o operador de necessidade em causa for evidente pelo contexto, omite-se a sua referência na sigla de identificação da regra ou do axioma-esquema em causa.

Apresentam-se, em seguida, algumas classes de lógicas às quais faremos referência nesta dissertação:

- *Lógicas clássicas* - lógicas fechadas para a regra ($RE_\Box$) (i.e. nas quais ($RE_\Box$) é uma regra de prova, primitiva ou não).

- *Lógicas monótonas* - lógicas fechadas para a regra ($RM_\Box$).

- *Lógicas regulares* - lógicas fechadas para a regra ($RR_\Box$).

- *Lógicas normais* - lógicas fechadas para a regra ($RK_\Box$) (ou de forma equivalente — ver e.g. [11], lógicas que contêm todas as instâncias do esquema ($K_\Box$) e que são fechadas para a regra ($RN_\Box$), ou ainda, lógicas fechadas para a regra ($RE_\Box$) e que contêm todas as instâncias dos esquemas ($M_\Box$), ($C_\Box$) e ($N_\Box$)).

[6] Uma regra r diz-se tautol´ogica se sempre que ψ se infere de $\psi_1, \ldots, \psi_n$ por r, se tem que $\psi_1 \wedge \ldots \wedge \psi_n \to \psi$ ´e uma tautologia.

[7] Na regra $RK_\Box$ se $n = 0$ estamos perante a regra $RN_\Box$: de ψ infere-se $\Box\psi$.

Note-se que:

- as lógicas normais são regulares,
- as lógicas regulares são monótonas e
- as lógicas monótonas são clássicas.

Caracterizações equivalentes destas classes de lógicas podem ser encontradas, e.g. em [11] ou [19].

Sigla	Regra de prova
$(RN_\Box)$	de ψ infere-se $\Box\psi$
$(RE_\Box)$	de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $\Box\psi \leftrightarrow \Box\phi$
$(RM_\Box)$	de $\psi \rightarrow \phi$ infere-se $\Box\psi \rightarrow \Box\phi$
$(RR_\Box)$	de $(\psi_1 \wedge \psi_2) \rightarrow \phi$ infere-se $(\Box\psi_1 \wedge \Box\psi_2) \rightarrow \Box\phi$
$(RK_\Box)$	de $(\psi_1 \wedge \ldots \wedge \psi_n) \rightarrow \phi$ infere-se $(\Box\psi_1 \wedge \ldots \wedge \Box\psi_n) \rightarrow \Box\phi$ $(n \geq 0)$

Tabela 2.1: Algumas regras de prova.

Sigla	Axioma - esquema
$(T_\Box)$	$\Box\psi \rightarrow \psi$
$(D_\Box)$	$\Box\psi \rightarrow \neg\Box\neg\psi$ (i.e. $\Box\psi \rightarrow \Diamond\psi$)
$(C_\Box)$	$(\Box\psi \wedge \Box\phi) \rightarrow \Box(\psi \wedge \phi)$
$(M_\Box)$	$\Box(\psi \wedge \phi) \rightarrow (\Box\psi \wedge \Box\phi)$
$(K_\Box)$	$\Box(\psi \rightarrow \phi) \rightarrow (\Box\psi \rightarrow \Box\phi)$
$(B_\Box)$	$\psi \rightarrow \Box\neg\Box\neg\psi$
$(N_\Box)$	$\Box\top$
$(No_\Box)$	$\neg\Box\top$
$(NoF_\Box)$	$\neg\Box\perp$

Tabela 2.2: Alguns axiomas-esquema

Todas as lógicas consideradas nesta dissertação são lógicas modais clássicas. Um resultado conhecido (ver em [19] a demonstração dos teoremas 4.7 e 8.3, pp. 125-126 e pp. 232) é o de nesta classe de lógicas se verificar o *Meta-teorema da substituição dos equivalentes provados*:

se $\vdash \phi_1 \leftrightarrow \phi_2$ então $\vdash \psi \leftrightarrow \psi[\phi_1/\phi_2]$

(onde a expressão $\psi[\phi_1/\phi_2]$ representa a fórmula que se obtém da fórmula ψ por substituição de zero ou mais ocorrências de cada fórmula ϕ_1 pela fórmula ϕ_2).

A classificação acima apresentada para as lógicas (uni-)modais baseia-se nas propriedades lógicas do seu operador de necessidade. No caso de lógicas multi-modais (i.e. com vários operadores de necessidade), tal classificação terá de ser feita relativamente a cada um dos operadores modais em causa. Dir-se-á, por exemplo, que uma lógica é regular face ao operador $\Box_i$ e normal face ao operador $\Box_k$. Quando uma determinada lógica multi-modal for normal (ou regular, ou monótona, ou clássica) face a todos os seus operadores modais, diz-se que essa lógica é normal (regular, monótona ou clássica, respectivamente).

Nesta dissertação, as lógicas em estudo são axiomatizáveis através de um número finito de axiomas-esquema e de regras de prova primitivas. É então possível adoptar o método de designação de lógicas, sugerido em [19], e que consiste no seguinte:

- a menor lógica normal é denominada K
- a menor lógica regular é denominada R
- a menor lógica monótona é denominada M
- a menor lógica clássica é denominada E
- a designação das outras lógicas obtem-se adicionando à sigla da menor lógica da classe a que a lógica em questão pertence, as siglas atribuídas aos seus axiomas e às regras de prova (primitivas) adicionais[8].

De acordo com este método uma lógica que verifique a regra (RE) e os axiomas-esquema (C), (T) e (No), designa-se por $ECTNo$.

A designação de uma lógica multi-modal obtem-se estendendo o método acima apresentado aos diversos operadores modais. A título ilustrativo, considere-se uma lógica com dois operado-

[8] Como assumimos que qualquer sistema de l´ogica modal inclui as tautologias e a regra Modus Ponens, n˜ao ´e necess´ario incluir nas siglas de identifi caç ˜ao das l´ogicas, refer^encias a elas.

res modais de necessidade, $\Box_i$ e $\Box_k$, sendo $\Box_i$ um operador normal e $\Box_i$ um operador clássico que verifica ainda o axioma-esquema $C_{\Box_k}$. Esta lógica será designada $K_{\Box_i} + EC_{\Box_k}$.

2.1.5 Semântica padrão

Ao definir uma semântica para uma linguagem pretende-se caracterizar as frases dessa linguagem que são consideradas válidas (*fórmulas válidas*). Nas abordagens semânticas os símbolos da linguagem de base são interpretados no âmbito de certas estruturas. A semântica que se apresenta em seguida é denominada *semântica dos mundos possí veis* e é devida a Samuel Kripke. Apesar de nesta dissertação ser usada a semântica dos modelos mínimos que é uma generalização da semântica padrão, apresenta-se em primeiro lugar esta última semântica por ser a mais conhecida e para melhor explicar a necessidade da adopção da semântica dos modelos mínimos.

Defi nição 2.3 Uma *estrutura de Kripke*[9] é um par $< W, R >$, onde W é um qualquer conjunto não vazio, chamado *conjunto de mundos possí veis*, e R é uma relação binária sobre W (i.e. $R \subseteq W \times W$), chamada *relação de acessibilidade*. ♦

Defi nição 2.4 Um *modelo* é um triplo $< W, R, V >$, onde $< W, R >$ é uma estrutura de Kripke (*a estrutura de Kripke desse modelo*) e V é uma função chamada *valoração* :
$V : W \times \{p_1, p_2, \ldots\} \longrightarrow \{0, 1\}$ (sendo $\{p_1, p_2, \ldots\}$ o conjunto das proposições atómicas de $\mathcal{L}_\Box$). ♦

Usa-se genéricamente $M, M_1, \ldots$ para referir modelos.

Diz-se que *w é um mundo de um modelo* $M =< W, R, V >$ quando $w \in W$ e denota-se por "*w em M*".

Defi nição 2.5 A *veracidade de uma formula ψ num mundo w de um modelo M*, escreve-se $M \models_w \psi$ e define-se indutivamente como se segue[10]:

$$\begin{array}{llll} (i) & M \models_w p_i & sse & V(w, p_i) = 1 \quad (i = 1, 2, \ldots) \\ (ii) & M \models_w \neg\psi & sse & M \not\models_w \psi \\ (iii) & M \models_w \psi_1 \to \psi_2 & sse & M \not\models_w \psi_1 \text{ ou } M \models_w \psi_2 \\ (iv) & M \models_w \Box\psi & sse & M \models_{w_1} \psi \text{ para qualquer mundo } w_1 \text{ acessível} \\ & & & \text{a partir de } w \text{ (i.e. } w\, R\, w_1). \end{array}$$

♦

[9]Uma estrutura de Kripke tamb´em ´e denominada *enquadramento* (*frame* em ingl^es)

[10]$M \not\models_w \psi$ signifi ca que ψ n˜ao ´e uma f´ormula verdadeira no mundo w do modelo M.

Definição 2.6 Uma fórmula ψ é *verdadeira num modelo* $M =< W, R, V >$ sse ψ é verdadeira em todos os mundos de M. Escreve-se $M \models \psi$ para denotar que ψ é verdadeira num modelo M e $M \not\models \psi$ para denotar que não o é. ⧫

Definição 2.7 Diz-se que uma formula ψ é *válida numa classe* C *de modelos* sse ψ é verdadeira em todos os modelos dessa classe. Escreve-se $C \models \psi$ para denotar que ψ é válida na classe de modelos C e $C \not\models \psi$ para denotar que não o é. ⧫

Ao restringir as classes de modelos que se considera (impondo nomeadamente condições sobre a relação de acessibilidade desses modelos) obtém-se, em geral, mais fórmulas válidas. Diz-se que uma lógica é caracterizada por (ou caracteriza) uma classe C de modelos, se é correcta e completa face a essa classe de modelos, significando a correcção que $\vdash \psi$ implica $C \models \psi$, e significando a completude que $C \models \psi$ implica $\vdash \psi$. A título meramente ilustrativo, apresentam-se alguns esquemas de fórmulas que são válidas nas classes de modelos indicadas (ver teorema 3.5 em [19]):

Fórmula	Classe de modelos
(D)	R é *serial* (i.e. se para todo o $w \;\; em \;\; M$, existe um $w_1 \;\; em \;\; M$ tal que wRw_1)
(T)	R é *reflexiva* (i.e. se para todo o $w \;\; em \;\; M$, se tem wRw)
(B)	R é *simétrica* (i.e. se para todo o w e $w_1 \;\; em \;\; M$, se w_1Rw, então wRw_1)

Definição 2.8 Diz-se que uma fórmula ψ é *válida* (escreve-se $\models \psi$) sse ψ é verdadeira em todos os modelos. ⧫

Definição 2.9 O *conjunto de verdade* de uma fórmula ψ num modelo M, denota-se por $\| \psi \|^M$, e define-se da seguinte forma: $\| \psi \|^M = \{w \;\; em \;\; M : M \models_w \psi\}$. ⧫

Sempre que o modelo M for evidente pelo contexto, omite-se a sua referência escrevendo apenas $\| \psi \|$.

Pode provar-se que o conjunto de fórmulas válidas numa qualquer classe de modelos padrão é um sistema normal [11]. Consequentemente, não é possível caracterizar com este tipo de modelos,

[11] Em todo o modelo padrão M verifica-se que
"se $M \models \psi_1 \wedge \ldots \wedge \psi_n \rightarrow \psi$, então $M \models \Box\psi_1 \wedge \ldots \wedge \Box\psi_n \rightarrow \Box\psi$".

lógicas não normais. Isto significa que terá de ser adoptada uma outra semântica caso se pretenda caracterizar lógicas modais não normais.

2.1.6 Semântica dos modelos mínimos

Já referimos anteriormente que as lógicas modais se bifurcaram em múltiplas direcções dando origem a diversos sistemas lógicos. Com o desenvolvimento de algumas dessas bifurcações surgiu a necessidade de considerar diversas lógicas modais não normais. Concluiu-se a secção anterior referindo que a semântica padrão permite apenas caracterizar as lógicas modais normais. Emerge então a necessidade de procurar uma semântica genérica que permita um tratamento sistemático de outras classes de lógicas modais, não normais. Tal semântica é designada em [19] de *modelos mí nimos*[12].

A semântica dos modelos mínimos é uma generalização da semântica padrão [13]. A ideia intuitiva de base é a de que uma fórmula $\Box\psi$ é verdadeira num mundo w se a proposição expressa por ψ é necessária em algum sentido em relação a w, introduzindo-se nos modelos uma função que indica, para cada mundo, quais as proposições necessárias em relação a esse mundo.

Definição 2.10 Um *modelo mí nimo* é uma estrutura: $M =< W, N, V >$, onde W e V são respectivamente um conjunto de mundos possíveis e uma função de valoração (como nos modelos anteriores), e N é uma aplicação $N : W \longrightarrow 2^{2^W}$ com o seguinte significado intuitivo: $X \subseteq W$ expressa uma proposição necessária sob o ponto de vista de w se e só se $X \in N(w)$. ♦

Note-se que se identifica uma proposição ψ com o conjunto de mundos onde ela se verifica, i.e. com o seu conjunto de verdade $\| \psi \|$. Esta identificação é usual e irá ser adoptada ao longo da dissertação.

Pode então definir-se a noção de *veracidade num mundo w de um modelo M* como se segue:

$$M \models_w \Box\psi \text{ sse } \| \psi \| \in N(w)$$ [14]

O menor sistema de lógica modal caracterizável semanticamente através de modelos padrão é o sistema K (ver, e.g., [11]).

[12] Esta semântica é por vezes designada de *estruturas de vizinhança* (ver e.g. [10]).

[13] A semântica padrão corresponde a um tipo particular de modelos mínimos (para mais detalhes ver [19], secção 7.3, pp. 220-222, ou a próxima footnote).

[14] Na semântica anterior, tem-se:
$M \models_w \Box\psi$ sse $\forall_{w':wRw'} M \models_{w'} \psi$ sse $\{w' : wRw'\} \subseteq \{w'' : M \models_{w''} \psi\}$

$M \models_w \Diamond\psi$ sse $(W- \parallel \psi \parallel) \notin N(w)$ [15]

A definição da noção de veracidade num mundo w de um modelo M, para as restantes fórmulas permanece igual à dos modelos padrão.

As definições de *fórmula verdadeira num modelo* e de *fórmula válida numa classe de modelos* permanecem como até aqui.

No caso das lógicas multi-modais, poder-se-iam adoptar modelos mínimos para os operadores modais não normais e continuar a usar modelos padrão para os operadores modais normais. Por uma questão de uniformidade vamos usar apenas modelos mínimos para caracterizar os diferentes operadores modais.

À semelhança de [63] e de [26], nesta dissertação irá ser usada a seguinte alternativa equivalente (ver exercício 7.10 em [19], pp. 211) de apresentação dos modelos mínimos:

Definição 2.11 Um *modelo mínimo* M é uma estrutura $M =< W, f_\Box, V >$, sendo $f_\Box$ uma função: $f_\Box : 2^W \longrightarrow 2^W$ onde, intuitivamente, $f_\Box(X)$ expressa o conjunto de mundos onde a proposição denotada por X é necessária. ⧫

Para converter uma apresentação dos modelos mínimos na outra, terá de se verificar:
$X \in N(w)$ sse $w \in f_\Box(X)$.

Definição 2.12 A noção de *veracidade num mundo w de um modelo M* é definida, para as fórmulas modais (para as outras fórmulas não há alterações — c.f. Def. 5), como se segue:

$M \models_w \Box\psi$ sse $w \in f_\Box(\parallel \psi \parallel)$

$M \models_w \Diamond\psi$ sse $w \notin f_\Box(W- \parallel \psi \parallel)$ ⧫

Esta alternativa para a apresentação dos modelos mínimos tem a vantagem de facilitar a expressão semântica de fórmulas com iterações de operadores modais, uma vez que se tem

sse $\{w' : wRw'\} \subseteq \parallel \psi \parallel$. Nesta semântica $M \models_w \Box\psi$ sse $\parallel \psi \parallel \in N(w)$. Facilmente se vê assim que a um modelo padrão $M_p =< W, R, V >$ corresponde um modelo mínimo $M_m =< W, N, V >$ que lhe é equivalente (no sentido de que para toda a fórmula ψ e todo o mundo w se tem que $M_p \models_w \psi$ sse $M_m \models_w \psi$), definindo $X \in N(w)$ sse $\{w' : wRw'\} \subseteq X$.

[15] Esta definição tem em vista continuar a garantir que $\Diamond\psi$ é equivalente a $\neg\Box\neg\psi$.

$\parallel \Box\psi \parallel = f_{\Box}(\parallel \psi \parallel)$ [16].

Por outro lado, ela também evidencia como esta semântica se aproxima da abordagem meramente sintáctica.

Proposição 2.1 O menor sistema modal clássico, E, é correcto face à classe de todos os modelos mínimos.

Demonstração: Ver, e.g., exercício 9.1-a) de [19], pp. 250.

No entanto, muitos dos teoremas de qualquer axiomatização normal (e.g. (M), (C) e (N)) não são válidos na classe de todos os modelos mínimos. Eis alguns exemplos:

(M) : $\not\models \Box(p_1 \wedge p_2) \rightarrow (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$

Seja $M =< W, f_{\Box}, V >$,
$W = \{w_1, w_2\}$,
$V(w_1, p_1) = 1,\ V(w_2, p_2) = 1, V(w_1, p_2) = 0, V(w_2, p_1) = 0,$
$f_{\Box}(\{w_1\}) = \emptyset,\ f_{\Box}(\{w_2\}) = \{w_1\},\ f_{\Box}(\emptyset) = \{w_1\}$.
Nesta situação tem-se: $M \not\models_{w_1} \Box(p_1 \wedge p_2) \rightarrow (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$
Demonstração:
Pode provar-se que se tem: $M \models_{w_1} \Box(p_1 \wedge p_2)$ e $M \not\models_{w_1} (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$.
Ora $M \models_{w_1} \Box(p_1 \wedge p_2)$ sse $w_1 \in f_{\Box}(\parallel p_1 \wedge p_2 \parallel)$.
Mas $\parallel p_1 \wedge p_2 \parallel = \parallel p_1 \parallel \cap \parallel p_2 \parallel = \{w_1\} \cap \{w_2\} = \emptyset$.
Logo tem-se $f_{\Box}(\parallel p_1 \wedge p_2 \parallel) = f_{\Box}(\emptyset) = \{w_1\}$.
Por conseguinte tem-se $w_1 \in \{w_1\}$ o que prova $M \models_{w_1} \Box(p_1 \wedge p_2)$.
Considere-se agora $M \not\models_{w_1} (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$.
Ora $M \models_{w_1} (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$ sse $M \models_{w_1} \Box p_1$ e $M \models_{w_1} \Box p_2$.
Mas $M \models_{w_1} \Box p_1$ sse $w_1 \in f_{\Box}(\parallel p_1 \parallel)$.
E $M \models_{w_1} \Box p_2$ sse $w_1 \in f_{\Box}(\parallel p_2 \parallel)$.
Mas $\parallel p_1 \parallel = \{w_1\}$ e $f_{\Box}(\{w_1\}) = \emptyset$.
Logo $w_1 \notin f_{\Box}(\parallel p_1 \parallel)$ e por conseguinte $M \not\models_{w_1} (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$.
Conclui-se então a prova de $M \not\models_{w_1} \Box(p_1 \wedge p_2) \rightarrow (\Box p_1 \wedge \Box p_2)$.

[16] $\parallel \Box\psi \parallel = \{w : M \models_w \Box\psi\} = \{w : w \in f_{\Box}(\parallel \psi \parallel)\} = f_{\Box}(\parallel \psi \parallel)$.

(C) : $\not\models (\Box p_1 \wedge \Box p_2) \rightarrow \Box(p_1 \wedge p_2)$

Seja $M =< W, f_\Box, V >$,
$W = \{w_1, w2\}$,
$V(w_1, p_1) = 1, V(w_2, p_2) = 1, V(w_1, p_2) = 0, V(w_2, p_1) = 0$,
$f_\Box(\{w_1\}) = \{w_1\},\ f_\Box(\{w_2\}) = \{w_1\},\ f_\Box(\emptyset) = \emptyset$.
Neste caso tem-se: $M \not\models_{w_1} (\Box p_1 \wedge \Box p_2) \rightarrow \Box(p_1 \wedge p_2)$.
Demonstra-se de forma semelhante ao caso anterior (note-se que $w_1 \in f_\Box(\parallel p_1 \parallel)$ e $w_1 \in f_\Box(\parallel p_2 \parallel)$ mas $w_1 \notin f_\Box(\parallel p_1 \wedge p_2 \parallel)$).

(N) : $\not\models \Box\top$
Seja $M =< W, f_\Box, V >$,
$W = \{w\}$,
$f_\Box(\parallel \top \parallel) = f_\Box(W) = \emptyset$.
Nesta situação tem-se: $M \not\models_w \Box\top$ $(w \notin f_\Box(\parallel \top \parallel))$.

Podem no entanto definir-se classes de modelos mínimos que tornem válidos alguns desses teoremas.

Considerem-se as seguintes restrições sobre um modelo mínimo $M =< W, f_\Box, V >$:

$$
\begin{array}{ll}
(m_{f_\Box}) & f_\Box(X \cap Y) \subseteq f_\Box(X) \cap f_\Box(Y) \\
(c_{f_\Box}) & f_\Box(X) \cap f_\Box(Y) \subseteq f_\Box(X \cap Y) \\
(n_{f_\Box}) & f_\Box(W) = W \\
(d_{f_\Box}) & f_\Box(X) \subseteq W - f_\Box(W - X) \\
(t_{f_\Box}) & f_\Box(X) \subseteq X \\
(b_{f_\Box}) & X \subseteq f_\Box(W - f_\Box(W - X))
\end{array}
$$

Proposição 2.2 Os seguintes (menores) sistemas modais são correctos relativamente às classes de modelos mínimos onde se verifiquem as retrições indicadas:

Sistema lógico	*Classe de modelos*
EM	$(m_{f\Box})$
EC	$(c_{f\Box})$
EN	$(n_{f\Box})$
ED	$(d_{f\Box})$
ET	$(t_{f\Box})$
EB	$(b_{f\Box})$

Demonstração: ver exercício 9.12 de [19], pp. 251.

2.2 Lógicas modais de $1.^a$ ordem $\mathcal{L}_{\forall\Box}$

Vão ser agora introduzidas lógicas modais que tenham por base uma linguagem de $1.^a$ ordem multi-género. A caracterização de lógicas modais de $1.^a$ ordem não se pode reduzir a "adicionar" à caracterização de lógicas modais proposicionais, a da lógica de $1.^a$ ordem. Novas questões surgem e podem ser extremamente complexas. Está fora do âmbito desta dissertação a discussão e análise dessas questões de uma forma global. Pretende-se tão só definir com precisão os contornos da lógica de $1.^a$ ordem em estudo e discuti-la dentro dos limites definidos, omitindo qualquer tipo de discussão mais geral.

Nesta secção começa-se por introduzir a linguagem formal de base, mantendo a simplificação usada na secção anterior de referir apenas um operador modal de necessidade.

Antes de se apresentarem as alterações básicas a efectuar na semântica dos modelos mínimos de forma a incorporar este tipo de lógicas, vai começar-se por considerar a semântica das lógicas modais normais de $1.^a$ ordem. O principal motivo para esta opção, reside no facto de ser mais intuitivo e mais simples discutir os problemas da lógica modal de $1.^a$ ordem usando os modelos padrão de $1.^a$ ordem do que os modelos mínimos de $1.^a$ ordem. Apresenta-se, em primeiro lugar, uma semântica em que as quantificações são locais a cada mundo. Apresenta-se em seguida uma axiomatização para estas lógicas e discutem-se alguns problemas como a correcção de alguns dos princípios lógicos pretendidos, levantados por esta semântica. É então proposta uma outra semântica com quantificações globais, domínios constantes e termos rígidos e reformula-se a axiomatização proposta de forma a assegurar a sua correcção. Finalmente, adapta-se a semântica anterior ao caso das lógicas não normais apresentando os modelos mínimos de $1.^a$ ordem.

Assume-se como conhecida a lógica de $1.^a$ ordem não modal (ver, e.g. [31] e [25] para a lógica de $1.^a$ ordem, não modal, multi-género).

2.2.1 Linguagens modais de $1.^a$ ordem e multi-género

Definição 2.13 O *alfabeto* de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ é formado por:

- um conjunto finito não vazio de géneros,
- um conjunto contável (finito ou numerável), eventualmente vazio, de símbolos de constantes,
- um conjunto numerável de variáveis, para cada género,
- um conjunto contável, eventualmente vazio, de símbolos de funções,
- um conjunto contável, não vazio, de símbolos de predicados,
- os conectivos proposicionais $\neg$ e $\rightarrow$, o quantificador universal $\forall$, e o operador modal de necessidade $\Box$. ⧫

A cada símbolo de constante é associado um género do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$; a cada símbolo de função é associada uma certa aridade n (> 0) e um género da forma $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow s)$, com $s_1, \ldots, s_n, s$ géneros do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$; e a cada símbolo de predicado é associada uma certa aridade n (> 0) e um género da forma $(s_1, \ldots, s_n)$, com $s_1, \ldots, s_n$ géneros do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$.

O conjunto de termos de cada um dos géneros do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ (que podemos chamar de géneros básicos) é definido da forma usual.

Definição 2.14 Sendo $s, s_1, \ldots, s_n$ géneros do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$, os *termos* de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ definem-se indutivamente como se segue:

- Se c^s é uma constante de género s, então c^s é um termo de género s;
- Se x^s é uma variável de género s, então x^s é um termo de género s;

- Se f é uma função de género $s_1 \times \cdots \times s_n \longrightarrow s$ e t_i $(i = 1, \ldots n)$ é um termo de género s_i, então $f(t_1, \ldots, t_n)$ é um termo de género s. ♦

Usa-se x^s $(y^s, x_i^s, \ldots)$ para referir uma variável de género s e x $(y, x_i, \ldots)$ para referir variáveis cujo género não é necessário explicitar na situação onde ocorrem.

O conjunto das fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ é definido da forma usual.

Definição 2.15 *Fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$:* O conjunto das fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ é o menor conjunto que se obtém da seguinte forma:

- Se p é um predicado de género $(s_1, \ldots, s_n)$, sendo s_i $(i = 1, \ldots n)$ um género do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$, e t_i é um termo de género s_i, então $p(t_1, \ldots, t_n)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ (*fórmula atómica*);

- Se ψ e ϕ são fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$, então $(\neg\psi)$ e $(\psi \rightarrow \phi)$ são fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$;

- Se ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ e x^s é uma variável de género s, então $(\forall_{x^s})\psi$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$;

- Se ψ é uma fórmula de $(\mathcal{L}_{\forall\Box})$, então $(\Box\psi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ [17]. ♦

Incluem-se na linguagem $\mathcal{L}_{\forall\Box}$, como abreviaturas, os conectivos lógicos usuais e o operador $\Diamond$, tal como foram anteriormente definidos para a lógica modal proposicional. Inclui-se ainda o operador existencial para cada género s, como a abreviatura usual: $(\exists_{x^s})\psi \stackrel{abv}{=} \neg(\forall_{x^s})\neg\psi$ $((\exists_{x^s})$ é o dual de $(\forall_{x^s}))$.

E, tal como anteriormente, podem-se omitir parênteses não essenciais.

Definição 2.16 Dada uma fórmula $(\forall_{x^s})\psi$, diz-se que ψ é o *alcance* do quantificador $(\forall_{x^s})$.♦

Definição 2.17 Uma ocorrência de uma variavel x^s numa fórmula ψ é *livre* se não ocorre no alcance de um quantificador $(\forall_{x^s})$ nessa fórmula ψ, nem é x^s em $(\forall_{x^s})$. É *ligada* caso contrário. ♦

[17] Se não considerarmos esta cláusula obtemos o conjunto das fórmulas da linguagem de 1.^{a} ordem, multi-género, subjacente, que podemos designar por $\mathcal{L}_{\forall}$.

Definição 2.18 Sendo t um termo de um qualquer género s (do alfabeto de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$) e x_i uma variável do mesmo género, $\psi_t^{x_i \ \ livre}$ é a fórmula que se obtem de ψ substituindo por t, todas as ocorrências livres de x_i. ⧫

Definição 2.19 Um termo t está *livre* para uma variável x^s numa fórmula ψ sse

- t é de género s e
- x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um quantificador $(\forall_{x_1^{s_1}})$, onde $x_1^{s_1}$ é uma variável ocorrendo em t. ⧫

2.2.2 Semântica: quantificações locais a cada mundo

Não existe uma semântica universalmente aceite para as lógicas modais de 1.^{a} ordem. A semântica mais simples obtem-se da semântica da lógica modal proposicional, fundamentalmente, substituindo nos modelos a função de valoração dos símbolos proposicionais por uma função que interprete a componente de 1.^{a} ordem em cada mundo.

Definição 2.20 Um *modelo de* $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ toma a seguinte forma $M =< W, R, I >$ onde:

- W é um conjunto não vazio de mundos possíveis;
- R é uma relação binária sobre W, denominada relação de acessibilidade.
- I atribui uma estrutura de interpretação à linguagem de 1.^{a} ordem multi-género $\mathcal{L}_{\forall}$, em cada mundo:

  i) A cada género s e a cada mundo w é associado um conjunto não vazio, o domínio de s no mundo w, denotado por $D_{w,s}$ (representa o conjunto das entidades de género s existentes ou com possibilidade de existir[18] no mundo w);

  ii) Se f é um símbolo de função de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow s)$, tem-se $I(w, f) : D_{w,s_1} \times \ldots \times D_{w,s_n} \longrightarrow D_{w,s}$;

[18] A questão de saber se os domínios representam o conjunto de entidades existentes num dado mundo ou as entidades potenciais desse mundo está relacionada com o facto de se terem domínios variáveis ou domínios constantes de mundo para mundo. Sobre este assunto ver, e.g. [29] e [37]. Nesta dissertação vamos adoptar domínios constantes em cada mundo, pelo que os domínios representam as entidades que podem existir num dado mundo.

iii) Se p é um símbolo de predicado de género $(s_1,\ldots,s_n)$,
tem-se $I(w,p)\subseteq D_{w,s_1}\times\ldots\times D_{w,s_n}$;

iv) Se c^s é uma constante de género s, então $I(w,c^s)\in D_{w,s}$.

♦

Sobre um modelo define-se uma *valoração* v (dos termos) como se segue.

Definição 2.21 Uma *valoração* v *sobre um modelo* $M=<W,R,I>$, é uma função que aplica cada mundo w e cada termo t de género s num elemento de $D_{w,s}$, que se denota por $v(w,t)$, e satisfaz os seguintes requisitos usuais:

- $v(w,c)=I(w,c)$ (i.e. o valor de uma constante, em cada mundo, é o fixado no modelo).
- $v(w,f(t_1,\ldots,t_n))=I(w,f)(v(w,t_1),\ldots,v(w,t_n))$. ♦

É fácil verificar que uma valoração v fica univocamente determinada pelo valor que atribui a cada variável em cada mundo.

Definição 2.22 Diz-se que uma valoração v_1 é $(w,x^s)-equivalente$ a v sse v_1 e v atribuem o mesmo valor, no mundo w, a todas as variáveis distintas de x^s, e atribuem o mesmo valor a todas as variáveis em mundos diferentes de w, i.e.: $v(w,x_1)=v_1(w,x_1)$ para toda a variável x_1 distinta de x^s e $v(w',y)=v_1(w',y)$ para qualquer variável y e para qualquer mundo w' distinto de w. ♦

Note-se que v é $(w,x^s)-equivalente$ a v.

Definição 2.23 Define-se a *veracidade de uma fórmula* ψ *num mundo* w, *de um modelo* M, *para uma valoração* v *sobre esse modelo*, $M\models_{w,v}\psi$, como se segue:

i) $M\models_{w,v} p(t_1,\ldots,t_n)$ sse $<v(w,t_1),\ldots,v(w,t_n)>\in I(w,p)$.

ii) $M\models_{w,v}\neg\psi$ sse $M\not\models_{w,v}\psi$.

iii) $M\models_{w,v}(\psi_1\to\psi_2)$ sse $M\not\models_{w,v}\psi_1$ ou $M\models_{w,v}\psi_2$.

iv) $M\models_{w,v}(\forall_{x^s})\psi$ sse $M\models_{w,v_1}\psi$ para qualquer valoração v_1 que seja $(w,x^s)-equivalente$ a v.

v) $M \models_{w,v} \Box\psi$ sse $M \models_{w_1,v} \psi$ em qualquer mundo w_1 acessível por R a partir de w.

♦

Definição 2.24 Diz-se que uma fórmula ψ é *verdadeira num modelo* M, $M \models \psi$, se e só se for verdadeira em todos os mundos e para todas as valorações desse modelo (i.e. $M \models_{w,v} \psi$, para qualquer mundo w *em* M e para qualquer valoração v sobre M). ♦

As restantes noções de *validade numa classe de modelos*, ou de *validade*, definem-se tal como para as lógicas modais proposicionais.

Pode agora redefinir-se a noção de *conjunto de verdade de uma fórmula* ψ *num modelo* M *e para uma valoração* v:

Definição 2.25 $\| \psi \|_v^M = \{w \; em \; M : M \models_{w,v} \psi\}$. ♦

Se M for evidente pelo contexto pode escrever-se simplesmente $\| \psi \|_v$ em vez de $\| \psi \|_v^M$.

Foi apresentada uma semântica muito genérica para as lógicas modais de 1.^{a} ordem. Vão em seguida ser apresentados alguns princípios lógicos que habitualmente caracterizam estas lógicas e discutir, de uma forma muito abreviada, alguns dos problemas que esses princípios levantam a nível semântico. São depois indicadas as restrições que vão ser impostas à semântica definida por forma a garantir a validade desses princípios.

Não é, de forma alguma, apresentada uma análise profunda dos problemas referidos, nem discutidas as diversas alternativas existentes. É apenas caracterizada uma via possível e simples que assegura a validade dos princípios lógicos considerados relevantes.

2.2.3 Axiomatização de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ e sua correcção

Parece natural considerar que os princípios usuais que caracterizam as lógicas de 1.^{a} ordem devam também verificar-se em $\mathcal{L}_{\forall\Box}$. Terão então de ser considerados os seguintes *axiomas esquema*:

($\forall$1) $(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s} \;\; ^{livre}$, se t está livre para x^s em ψ

($\forall 1'$) $(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi$ (caso particular de $\forall$1)

$(\forall 2)$ $\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\psi$, se x^s não ocorre livre em ψ

$(\forall 3)$ $(\forall_{x^s})(\psi \rightarrow \phi) \rightarrow ((\forall_{x^s})\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\phi)$

e a *regra de prova da generalização*:

$(RGen)$ de ψ infere-se $(\forall_{x^s})\psi$.

Também é usual incluir o estudo da interacção entre os quantificadores e os operadores modais, o que levanta o problema da análise da validade das fórmulas de Barcan[19]. Nesta dissertação não vai ser estudada a interação entre os quantificadores e os operadores modais, por dois motivos: por um lado, as fórmulas correspondentes a essa interacção não são relevantes no uso que se pretende fazer da lógica a propor; por outro lado, este assunto, no contexto da lógica a propor, levanta problemas que precisam de mais investigação, que ficará para trabalho futuro. No capítulo 5 será feita uma breve referência aos problemas em causa. Por estes motivos vamos omitir aqui uma discussão genérica sobre as fórmulas de Barcan. Sobre este assunto consultar, por exemplo, [11], [37] ou [29].

Acontece que alguns dos princípios acima apresentados podem não ser válidos na semântica apresentada. Enquanto que todas as instâncias de $(\forall 1')$ e $(\forall 3)$ são válidas e que a regra $(R\forall)$ preserva a veracidade num modelo, há instâncias de $(\forall 1)$ e de $(\forall 2)$ que não são sempre válidas.

Um problema essencial reside no facto de, na semântica definida, o operador $\forall$ ser "local a cada mundo", quantificando sobre as entidades de um determinado mundo, enquanto que o operador $\Box$ "quantifica" sobre os mundos do modelo.

Para tentar ilustrar a natureza do problema, considerem-se os seguintes casos, onde p é um predicado de género (s), M é um modelo e v uma valoração sobre esse modelo:

Caso 1: $p(x^s)$

$M \models_{w,v} p(x^s)$ sse $v(w, x^s) \in I(w, p)$. A análise da veracidade da fórmula $p(x^s)$ em

[19]F´ormulas de Barcan:

$(\forall_{x^s})\Box\psi \rightarrow \Box(\forall_{x^s})\psi$

$\Box(\forall_{x^s})\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\Box\psi$

$\Diamond(\forall_{x^s})\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\Diamond\psi$

$\Diamond(\exists_{x^s})\psi \rightarrow (\exists_{x^s})\Diamond\psi$

$(\exists_{x^s})\Diamond\psi \rightarrow \Diamond(\exists_{x^s})\psi$

$(\exists_{x^s})\Box\psi \rightarrow \Box(\exists_{x^s})\psi$.

w, é local ao mundo w pois depende apenas da interpretação do predicado p em w e da valoração da variável x^s em w.

Caso 2: $(\forall_{x^s})p(x^s)$

$M \models_{w,v} (\forall_{x^s})p(x^s)$ sse $M \models_{w,v'} p(x^s)$, para qualquer v' $(w, x^s) - equivalente$ a v. Ou seja, tem de ser verdade que $v'(w, x^s) \in I(w, p)$ para qualquer v' $(w, x^s) - equivalente$ a v. Logo, a análise da veracidade de $(\forall_{x^s})p(x^s)$ em w é local ao mundo w. Neste caso concreto, terá de se verificar a veracidade do predicado p para todos os valores do domínio atribuído a s no mundo w: $I(w, p) = D_{w,s}$. Note-se que a veracidade de $(\forall_{x^s})p(x^s)$ não depende do valor de x^s.

Caso 3: $\Box p(x^s)$

$M \models_{w,v} \Box p(x^s)$ sse $M \models_{w_1,v} p(x^s)$, para qualquer mundo w_1 acessível (por R) a partir de w, sse $v(w_1, x^s) \in I(w_1, p)$ para qualquer mundo w_1 acessível (por R) a partir de w.

A análise da veracidade de $\Box p(x^s)$ não é local a w. Note-se que o predicado p pode ter interpretações diferentes em mundos diferentes e que a valoração da variável x^s pode variar de mundo para mundo. Pode ainda acontecer que o domínio atribuído ao género s possa variar de mundo para mundo.

Caso 4: $\Box(\forall_{x^s})p(x^s)$[20]

$M \models_{w,v} \Box(\forall_{x^s})p(x^s)$ sse $M \models_{w_1,v} (\forall_{x^s})p(x^s)$ para qualquer w_1 acessível a partir de w.

A análise da veracidade de $\Box(\forall_{x^s})p(x^s)$ não é local a w, pelos motivos apresentados no caso 3, tendo-se que a análise da veracidade em w_1 de $(\forall_{x^s})p(x^s)$ é local ao mundo $w1$ (c.f. caso 2).

Caso 5: $(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$[21]

Em $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ note-se que $(\forall_{x^s})$ quantifica sobre o domínio de s em w, enquanto que o valor de $p(x^s)$ é analisado, eventualmente, noutros mundos, não estando, nesses casos, no "alcance" prático de $(\forall_{x^s})$.

Senão veja-se:

$M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ sse $M \models_{w,v'} \Box p(x^s)$ para qualquer v' $(w, x^s) - equivalente$ a v.

Mas $M \models_{w,v'} \Box p(x^s)$ sse $M \models_{w_1,v'} p(x^s)$ para qualquer w_1 acessível por R a partir de w

[20] Necessidade *de dicto*: uma proposiç ˜ao (*dictum*) ´e necess´aria (ver e.g. [29]).

[21] Necessidade *de re*: uma coisa (*res*) tem uma propriedade necessariamente(ver e.g. [29]).

(e para qualquer v' $(w, x^s) - equivalente$ a v).
O que significa que $v'(w_1, x^s) \in I(w_1, p)$ para qualquer w_1 acessível por R a partir de w (e para qualquer v' $(w, x^s) - equivalente$ a v).
Nos casos em que $w_1 \neq w$, o valor atribuído a x^s é independente de w e não está no alcance do quantificador universal $\forall$, pelo que a variável x^s se comporta como uma variável livre, verificando-se $v'(w_1, x^s) = v(w_1, x^s)$ (c.f. definição 2.22).

Estas possíveis variantes na interpretação das fórmulas de $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ fazem com que alguns dos princípios usuais que caracterizam as lógicas de $1.^a$ ordem possam não ser válidos [22]. É o caso, por exemplo, de algumas instâncias de

($\forall$1) $(\forall_{x_i})\psi \to \psi_t^{x_i \ \ livre}$, se t está livre para x_i em ψ

e de

($\forall$2) $\psi \to (\forall_{x_i})\psi$, se x_i não ocorre livre em ψ.

Analise-se em primeiro lugar o axioma-esquema ($\forall$1). Note-se que como as quantificações são "*locais* a cada mundo", no caso de haver uma ocorrência livre de x no alcance de um operador modal não temos qualquer garantia de que a substituição de x livre por t se possa efectuar sem problemas (c.f. Caso 5).

Contra-exemplo: $M \not\models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s) \to \Box p(y^s)$
(com x^s e y^s duas variáveis distintas de género s) [23],
onde $M =< W, R, I >$ é um modelo em que,
$W = \{w_1, w_2\}$, (com $w_1 \neq w_2$)
$R = \{(w_1, w_2)\}$,
$I(w_1, s) = D(w_1, s) = I(w_2, s) = D(w_2, s) = \{0, 1\}$,
p um predicado de género (s), $I(w_2, p) = \{1\} = I(w_1, p)$,
$v(w_2, x^s) = 1$ e $v(w_2, y^s) = 0$.
Demonstração:
Prova-se que **(i)** $M \models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ e **(ii)** $M \not\models_{w_1,v} \Box p(y^s)$.

[22] Comparando os casos 4 e 5 percebe-se a raz˜ao porque h´a inst˜ancias da f´ormula de Barcan que n˜ao s˜ao v´alidas nesta semˆantica. Mas, como foi dito atr´as, a problem´atica das f´ormulas de Barcan n˜ao ser´a abordada nesta dissertaç ˜ao.

[23] Note-se que y^s est´a livre para x^s em $\Box p(x^s)$ e que $\Box p(x^s)_{y^s}^{x^s livre} = \Box p(y^s)$.

(i) Ora $M \models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ sse
$M \models_{w_1,v'} \Box p(x^s)$ para toda a valoração v' $(w_1, x^s) - equivalente$ a v (def. 2.23, iv)).
E $M \models_{w_1,v'} \Box p(x^s)$ sse $M \models_{w_2,v'} p(x^s)$ (def. 2.23, v)) (note que w_2 é o único mundo acessível a partir de w_1) o que só se verifica se $v'(w_2, x^s) \in I(w_2, p)$.
Como $w_2 \neq w_1$ tem-se $v'(w_2, x^s) = v(w_2, x^s) = 1$ (def. 2.22).
Como $I(w_2, p) = \{1\}$, temos $1 \in \{1\}$, o que conclui a demonstração de **(i)**.
(ii) Mas, por outro lado, tem-se $M \not\models_{w_1,v} \Box p(y^s)$.
Pois $M \models_{w_1,v} \Box p(y^s)$ sse $M \models_{w_2,v} p(y^s)$ sse $v(w_2, y^s) \in I(w_2, p)$.
Mas $0 \notin \{1\}$, o que conclui a prova de **(ii)**.
De **(i)** e **(ii)** conclui-se $M \not\models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s) \rightarrow \Box p(y^s)$ ♦

Se considerarmos agora $(\forall 2)$ vemos que também há instâncias deste axioma que não são válidas. A ideia subjacente a este axioma, de que se x^s não ocorre livre em ψ a quantificação $(\forall_{x^s})$ não tem qualquer efeito sobre ψ, pode não ser válida em lógica modal de $1.^a$ ordem quando se considera a semântica acima descrita e quando em ψ existem operadores modais. Como as quantificações são locais a cada mundo, qualquer ocorrência de uma variável que esteja no alcance de um operador modal, sem que o respectivo quantificador também esteja no alcance do mesmo operador modal, pode ser considerada livre (para efeitos práticos).

Contra-exemplo: $M \not\models_{w_1,v} \Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s) \rightarrow (\forall_{x^s})\Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$,
onde $M =< W, R, I >$ é um modelo em que
$W = \{w_1, w_2\}$ (com $w_1 \neq w_2$),
$R = \{< w_1, w_2 >, < w_2, w_1 >\}$ e
I tal que $D(w_1, s) = D(w_2, s) = \{0, 1\}$, $I(w_1, p) = I(w_2, p) = \{1\}$,
e onde v é uma valoração sobre M tal que $v(w_1, x^s) = 1$.
Demonstração:
Vamos provar que: **(i)** $M \models_{w_1,v} \Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ e **(ii)** $M \not\models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$.

(i) $M \models_{w_1,v} \Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ sse
$M \models_{w_2,v} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ (pois o único mundo acessível por R a partir de w_1 é w_2) sse
qualquer que seja v' $(w_2, x^s) - equivalente$ a v, se tem $M \models_{w_2,v'} \Box p(x^s)$.
Ora $M \models_{w_2,v'} \Box p(x^s)$ verifica-se sse $M \models_{w_1,v'} p(x^s)$, pois o único mundo acessível por R a

partir de w_2 é w_1.

Como $w_2 \neq w_1$ e v' é $(w_2, x^s) - equivalente$ a v, tem-se que $v'(w_1, x^s) = v(w_1, x^s) = 1$.

Logo verifica-se $v'(w_1, x^s) \in I(w_1, p)$ (pois $I(w_1, p) = \{1\}$) o que conclui a prova de **(i)**.

(ii) $M \not\models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$.

Ora $M \models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ sse

para qualquer valoração v' $(w_1, x^s) - equivalente$ a v se tem $M \models_{w_1,v'} \Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$.

Em particular, $M \models_{w_1,v'} \Box(\forall_{x^s})\Box p(x^s)$ terá de se verificar para uma valoração v' $(w_1, x^s) - equivalente$ a v tal que $v'(w_1, x^s) = 0$.

Assumindo tal valoração v' e sabendo que o único mundo acessível a partir de w_1 é w_2, terá de se verificar $M \models_{w_2,v'} (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$.

Tal acontecerá sse para qualquer valoração v'' $(w_2, x^s) - equivalente$ a v' se verificar $M \models_{w_2,v''} \Box p(x^s)$.

Como v' é $(w_2, x^s) - equivalente$ a ela própria, $M \models_{w_2,v''} \Box p(x^s)$ terá de se verificar para o caso em que $v'' = v'$ e $v'(w_1, x^s) = 0$.

Como o único mundo acessível a partir de w_2 é o w_1, $M \models_{w_2,v'} \Box p(x^s)$ verifica-se sse $M \models_{w_1,v'} p(x^s)$.

Mas tal não acontece, porque $v'(w_1, x^s) \notin I(w_1, p)$, pois $v'(w_1, x^s) = 0$ e $I(w_1, p) = \{1\}$. Pode então concluir-se que $M \not\models_{w_1,v} (\forall_{x^s})\Box (\forall_{x^s})\Box p(x^s)$, o que conclui a prova deste contra-exemplo. ♦

2.2.4 Semântica: quantificações globais, domínios constantes e termos rígidos

Está fora do âmbito desta dissertação a discussão das diversas alternativas que podem ser adoptadas a nível semântico. Irá apenas ser apresentada uma via simples de resolver os problemas acima discutidos, assegurando a validade dos axiomas $(\forall_2)$ e $(\forall_1)$. As opções tomadas podem ser questionadas em contextos diferentes do da lógica em estudo nesta dissertação. Considera-se, no entanto, que no caso em estudo, as opções tomadas são adequadas e têm ainda a vantagem de simplificar a semântica a definir.

As principais alterações semânticas têm a ver com o facto de se exigir que o domínio associado a cada género não varie de mundo para mundo (num mesmo modelo), e que as variáveis denotem a mesma entidade em todos os mundos (em cada valoração das variáveis). Termos que, como as variáveis, denotam o mesmo ente em todos os mundos, são designados vulgarmente de *termos rígidos*. Com vista a ter uma caracterização sintáctica de tais termos, permite-se que ao definir a linguagem modal de 1.ª ordem se classifiquem algumas das constantes e das funções, de *rígidas* (poder-se-ão também classificar alguns predicados de rígidos). Com estes pressupostos, considerem-se as seguintes definições, úteis para o que se segue.

Definição 2.26 Um termo t diz-se *rígido* se é uma variável, ou uma constante (classificada de) rígida, ou se se obtém aplicando uma função rígida a outros termos rígidos. ♦

Definição 2.27 Um termo t está *modalmente livre* para uma variável x^s numa fórmula ψ sse

- t é de género s e
- x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um quantificador $(\forall_{x_1^{s_1}})$, onde $x_1^{s_1}$ é uma variável ocorrendo em t e
- ou t é um *termo rígido*, ou x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um operador modal. ♦

A semântica anteriormente apresentada é modificada nos seguintes aspectos:

Modelos: Nos modelos $M =< W, R, I >$ impõe-se que:

- o domínio associado a cada género s seja o mesmo em todos os mundos (*domínios constantes*): $D(w_1, s) = D(w_2, s)$, para quaisquer mundos w_1 e w_2 (pode escrever--se $D(s)$ em vez de $D(w, s)$);
- as constantes, funções e predicados rígidos denotem as mesmas entidades em todos os mundos: $I(w_1, g) = I(w_2, g)$ para quaisquer mundos $w_1, w_2 \in W$, para qualquer constante, função ou predicado g classificado de rígido (podendo escrever-se $I(g)$ em vez de $I(w, g)$ nesses casos).

Valoração: O valor atribuído a cada variável x vai passar a ser independente dos mundos (*as variáveis são rígidas*), i.e., terá de ter-se $v(w_1, x) = v(w_2, x)$, para qualquer variável e para quaisquer mundos $w_1, w_2 \in W$ (podendo escrever-se $v(x)$ em vez de $v(w, x)$).

Facilmente se verifica que se t é um termo rígido, então dado um qualquer modelo $M = < W, R, I >$ e uma qualquer valoração v sobre esse modelo, tem-se $v(w, t) = v(w', t)$ para quaisquer mundos w e w' em M (podendo escrever-se $v(t)$ em vez de $v(w, t)$ se t é um termo rígido).

A noção de valorações equivalentes tem também de ser reformulada (caso contrário a única valoração $(w, x^s) - equivalente$ a uma valoração v, seria o próprio v), passando a considerar-se a seguinte definição:

Definição 2.28 Uma valoração v_1 é $x^s - equivalente$ a v sse $v_1(y) = v(y)$ para qualquer variável y diferente de x^s. ♦

Note-se que uma valoração v é $x^s - equivalente$ a si própria.

Naturalmente, a veracidade das quantificações também tem de ser modificada de acordo com a alteração anterior:

$M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$ sse $M \models_{w,v'} \psi$ para toda a valoração v' $x^s - equivalente$ a v [24].

Podemos dizer que passamos a ter *quantificações globais* (em vez de locais a cada mundo).

Proposição 2.3 $\| (\forall_{x^s})\psi \|_v = \bigcap_{v' \ \ x^s - equivalente \ \ a \ \ v} \| \psi \|_{v'}$.

Demonstração:
$\| (\forall_{x^s})\psi \|_v \ = \ \{w : M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi\} \ =$
$\{w : \forall_{v' \ x^s - equivalente \ a \ v} \ M \models_{w,v'} \psi\} \ = \ \bigcap_{v' \ x^s - equivalente \ a \ v} \| \psi \|_{v'}$. ♦

Finalmente, a axiomatização proposta no início desta secção é reformulada no que respeita ao seu esquema $(\forall 1)$, que passa a ter a forma

$(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s \ \ livre}$, se t está modalmente livre para x^s em ψ

de modo a garantir que ocorrências livres da variável x^s (em ψ) no alcance de um operador modal só são substituídas por outros termos rígidos.

Impondo as restrições acima apresentadas, e reformulando $(\forall 1)$, asseguramos a validade de $(\forall 1)$ e de $(\forall 2)$ [25]. As demonstrações da validade destes princípios serão apresentadas para o caso concreto da lógica proposta no capítulo 5. Como a lógica a propor é uma lógica modal de 1.^{a}

[24] $M \models_{w,v} (\exists_x)\psi$ sse $M \models_{w,v_1} \psi$ para algum v_1 $x - equivalente$ a v.

[25] Igualmente as f´ormulas de Barcan passam a ser v´alidas.

ordem não normal, torna-se necessário transpor a discussão anterior para semânticas baseadas nos modelos mínimos.

2.2.5 Semântica: modelos mínimos de $1.^a$ ordem

A tentativa de generalização da semântica dos modelos mínimos de forma a incluir a lógica de $1.^a$ ordem, dá origem aos modelos a apresentar em seguida, nesta dissertação chamados *modelos mí nimos de* $1^a_.$ *ordem*. Estes modelos obedecem às restrições apresentadas na secção anterior (domínios constantes e variáveis rígidas).

Defi nição 2.29 Um *modelo de* $\mathcal{L}_{\forall\Box}$ toma a seguinte forma $M =< W, f_\Box, I >$ onde:

- W é um conjunto não vazio de mundos possíveis;
- I atribui uma estrutura de interpretação à linguagem de $1.^a$ ordem multi-género $\mathcal{L}_\forall$, em cada mundo:

  i) A cada género s é associado um conjunto não vazio, o domínio de s, denotado por D_s;

  ii) Se f é um símbolo de função de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow s)$, tem-se $I(w, f) : D_{s_1}\times \ldots \times D_{s_n} \longrightarrow D_s$, e se f é um símbolo de função rígido tem-se $I(w, f) = I(w_1, f)$ para quaisquer w e $w_1 \in W$ (podendo escrever-se $I(f)$ em vez de $I(w, f)$);

  iii) Se p é um símbolo de predicado de género $(s_1, \ldots, s_n)$, tem-se $I(w, p) \subseteq D_{s_1} \times \ldots \times D_{s_n}$, e se p é um símbolo de predicado rígido $I(w, p) = I(w_1, p)$ para quaisquer w e $w_1 \in W$;

  iv) Se c^s é uma constante de género s, então $I(w, c) \in D_s$, e se c é um símbolo de constante rígido então $I(w, c) = I(w_1, c)$ para quaisquer w e $w_1 \in W$ (podendo escrever-se $I(c)$ em vez de $I(w, c)$).

- Temos ainda uma função $f_\Box : 2^W \longrightarrow 2^W$, onde $f_\Box(Z)$, para $Z \subseteq W$, denota o conjunto de mundos onde Z é necessária. ♦

Sobre um modelo define-se uma *valoração* v como se segue.

Defi nição 2.30 Uma *valoração* v *sobre um modelo*, é uma função que aplica cada mundo w e cada termo t de género s num elemento de D_s, denotado por $v(w, t)$, que satisfaz os seguintes requisitos usuais:

- Se t é uma variavel x^s de género s, tem-se $v(w, x^s) \in D_s$.
- Se t é uma constante c, tem-se $v(w, c) = I(w, c)$.
- Se t é da forma $f(t_1, \ldots, t_n)$,
  tem-se $v(w, f(t_1, \ldots, t_n)) = I(w, f)(v(w, t_1), \ldots, v(w, t_n))$.
- Para cada variável x^s, tem-se $v(w_1, x^s) = v(w_2, x^s)$, para quaisquer w_1 e $w_2 \in W$.
  ♦

É facil verificar que se t é um termo rígido então $v(w, t) = v(w_1, t)$ para quaisquer mundos w e $w_1 \in W$. Nesse caso pode escrever-se $v(t)$ em vez de $v(w, t)$.

Definição 2.31 Define-se a *veracidade de uma fórmula ψ num mundo w, de um modelo M, para uma valoração v nesse modelo, $M \models_{w,v} \psi$*, como se segue:

i) $M \models_{w,v} p(t_1, \ldots, t_n)$ sse $< v(w, t_1), \ldots, v(w, t_n) >\in I(w, p)$.

ii) $M \models_{w,v} \neg\psi$ sse $M \not\models_{w,v} \psi$.

iii) $M \models_{w,v} (\psi_1 \to \psi_2)$ sse $M \not\models_{w,v} \psi_1$ ou $M \models_{w,v} \psi_2$.

iv) $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$ sse $M \models_{w,v_1} \psi$ para qualquer valoração v_1 $x^s - equivalent$ a v.

v) $M \models_{w,v} \Box\psi$ sse $w \in f_\Box(\| \psi \|_v)$.

♦

As restantes noções de *fórmula verdadeira num modelo*, de *validade numa classe de modelos*, ou de *validade*, definem-se como anteriormente.

No capítulo 5 este modelo genérico será instanciado para a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, aí definida. Resultados envolvendo modelos mínimos de 1.a ordem, são apresentados no capítulo 5, mas apenas para o caso concreto aí apresentado.

Capítulo 3

Lógicas modais deônticas e de acção

Vão ser apresentadas, em seguida, dois tipos de lógicas modais proposicionais usadas como ponto de partida para a lógica proposta nesta dissertação. São lógicas de acção e lógicas deônticas que têm sido usadas por diversos autores como base para o estudo de problemas como a interacção entre agentes ou a caracterização de sistemas normativos, problemas esses relevantes no contexo da agência colectiva em estudo nesta dissertação. Neste capítulo faz-se uma breve apresentação destas lógicas, referem-se algumas propostas de utilização destas lógicas na formalização de conceitos relacionados com a agência colectiva[1] e conclui-se com a discussão da inadequação e/ou insuficiência das propostas apresentadas, motivando a necessidade de uma nova abordagem lógica à agência colectiva.

3.1 Lógicas de acção

Desde os trabalhos pioneiros de Stig Kanger, Ingmar Pörn e Lars Lindahl, que lógicas deônticas e lógicas de acção têm sido usadas como base para a descrição da interacção entre agentes e para a caracterização de sistemas normativos complexos (ver, e.g., [39], [40], [55], [56], [44]). As lógicas por eles propostas introduzem um operador modal de acção indexado a agentes, designado por E_i, onde expressões da forma $E_i\psi$ são lidas como "o agente i produz ψ", "o agente i assegura ψ" ou "o agente i faz com que ψ se verifique". O desenvolvimento lógico-formal desta abordagem deve-se a Pörn em [55], sendo posteriormente revisto e desenvolvido por Kanger em [40], Pörn em [56] e Elgesem em [26].

[1] O conceito de *agência colectiva* será discutido e caracterizado no próximo capítulo. No presente capítulo será usado informalmente no sentido da acção conjunta de um conjunto finito de agentes.

Uma característica importante destas lógicas de acção consiste no facto de as acções serem tratadas como relações entre os agentes e os estados resultantes das suas acções (os efeitos das suas acções), abstraindo da referência às acções concretas que foram realizadas e omitindo os aspectos de natureza temporal.

Apesar de alguns autores, como é o caso de Tuomela em [69], defenderem que operadores de acção deste tipo devem ser usados apenas para descrever acção intencional, nesta dissertação considera-se que ao utilizar este tipo de operadores de acção, para além de diversos outros aspectos, abstrai-se também de questões relacionadas com a intencionalidade da acção [2].

Apesar do elevado grau de abstracção destas lógicas, elas oferecem um grande poder expressivo. Permitem, por exemplo, representar as diferentes atitudes de um agente face a um estado de coisas, nomeadamente:

$E_i\psi$ — o agente i produz ψ;
$E_i\neg\psi$ — o agente i impede ψ;
$\neg E_i\psi \ \wedge \ \neg E_i\neg\psi$ — o agente i tem uma atitude passiva relativente a ψ.

Permitem também representar noções de controle de uns agentes sobre as acções de outros agentes:

$E_iE_k\psi$ - o agente i faz com que k produza ψ;
$E_i\neg E_k\psi$ - o agente i impede k de produzir ψ.

Pode ser argumentado que, caso E_i não pressuponha intencionalidade, a acção do agente i nas situações acima representadas pode ser meramente acidental ou casual, o que não corresponderia a uma situação de controlo sobre a acção do agente k mas a uma simples influência casual. Contudo, quando se combinam as fórmulas acima apresentadas com operadores deônticos gerando fórmulas tais como $PE_iE_k\psi$ (é permitido que o agente i faça com que k produza ψ) ou $OE_i\neg E_k\psi$ (é obrigatório que o agente i impeça o agente k de fazer ψ), está-se claramente a expressar noções de controlo[3].

Combinando o operador E_i com operadores deônticos podem ainda expressar-se as dife-

[2]No capítulo 7 regressaremos a estas questões, embora de forma muito superficial.
[3]Os operadores deônticos (P e O) serão apresentados na secção 3.2.

rentes posições normativas em que um agente pode estar e usá-las para expressar conceitos e relações jurídicas tais como direitos ou deveres entre outros. Sobre a teoria das posições normativas, que não iremos abordar nesta dissertação, ver, por exemplo, os trabalhos de Lindhal [44], Jones e Sergot [38], e Sergot [66].

Antes de discutirmos a caracterização lógico-formal do operador de acção E_i, vamos fazer uma breve referência a uma classe distinta de lógicas de acção, as *lógicas dinâmicas* (ver, e.g., [32] e [33]). Genericamente, as lógicas dinâmicas associam um operador modal de necessidade a cada acção α, $\Box_\alpha$, sendo expressões da forma $\Box_\alpha\psi$ lidas como "após a execução de α verifica-se necessariamente ψ"[4]. São operadores condicionais, particularmente apropriados para descrever os efeitos das acções. Este tipo de operadores centram-se nas *acções*, sendo usados em contextos onde é possível fazer referência às acções relevantes, de modo finito. Quando tal não é possível ou desejável (por se pretender abstrair de acções concretas, por exemplo), deve optar-se por lógicas com um diferente tipo de poder expressivo. É o que acontece quando se pretende modelar a "agência" com ênfase nos *agentes* e nos *efeitos da sua acção*, abstraindo das acções concretas efectuadas, devendo, nesse caso ser adoptado o operador de acção E_i em vez de um operador dinâmico. O tipo de operador de acção a escolher em cada caso depende do que se pretende modelar. Não se pode afirmar simplesmente que um operador deva ser preterido em detrimento do outro, porque eles servem diferentes propósitos. (Ver [8] e [63] para uma discussão mais detalhada.)

O operador E_i tem sido caracterizado de diferentes modos por diferentes investigadores. Em [64] e [65] é apresentada uma panorâmica das diferentes lógicas de acção deste tipo, cujo resumo se apresenta em seguida.

Kanger em [40] e Pörn em [56] definem E_i como combinações booleanas de dois operadores modais normais: D_i do tipo KT, sendo expressões da forma $D_i\psi$ lidas como "ψ é necessário para alguma coisa que i faz", e D'_i do tipo KD, sendo expressões da forma $D'_i\psi$ lidas como "mas sem a acção de i, ψ verificar-se-ia". Kanger e Pörn usam estes dois operadores para definir E_i:

(Kanger) $E_i\psi \stackrel{def}{=} D_i\psi \wedge D'_i\neg\psi$

[4]Inicialmente a classe de acç ˜oes considerada era a dos programas, sendo posteriormente generalizada a outros tipos de acç ˜oes.

(Pörn) $\quad E_i\psi \stackrel{def}{=} D_i\psi \wedge \neg D_i'\psi$

Para mais detalhes ver, e.g. [63].

Nuel Belnap e Micheal Perloff apresentam uma teoria a que chamaram "stit theory" (ver, e.g., [5] and [6]) onde o operador E_i, denominado $STIT_i$, é primitivo e definido semânticamente através de modelos baseados em árvores. Este tipo de modelos é também usado por Chellas em [18] (ver ainda [20]).

Elgesem em [26] e Santos e Carmo em [64] definem E_i como um operador primitivo cuja semântica é definida usando variantes dos modelos mínimos referidos anteriormente. A título ilustrativo, refira-se que em [64] os modelos são da forma

$$M =< W, f_1, \ldots, f_n, V > ,$$

onde W é um conjunto não vazio de mundos possíveis, V é uma função que aplica cada proposição atómica p_j no conjunto de mundos (elementos de W) onde p_j é verdadeira e cada f_i, $i = 1, \ldots, n$ (uma função para cada agente i), é uma função $f_i : 2^W \longrightarrow 2^W$, onde $f_i(Z)$ $(Z \subseteq W)$ denota "o conjunto de mundos onde o agente i faz com que a proposição Z se verifique". Estas funções são sujeitas a diversas restrições de forma a obter os princípios desejados para o operador E_i. A veracidade de uma fórmula da forma $E_i\psi$, num mundo w em M, é definida como se segue:

$$M \models_w E_i\psi \text{ se e só se } w \in f_i(\parallel \psi \parallel).$$

Entre as diversas propriedades atribuídas ao operador E_i pelos diversos autores, salienta-se o seguinte sistema lógico comum aos diversos sistemas propostos:

Axiomas esquema:

$(T) \quad E_i\psi \rightarrow \psi$

$(C) \quad (E_i\psi \wedge E_i\phi) \rightarrow E_i(\psi \wedge \phi)$

Regra de prova:

$(RE) \quad$ se $\vdash \psi \leftrightarrow \phi$ então $\vdash E_i\psi \leftrightarrow E_i\phi$

e inclui todas as tautologias e a regra de inferência Modus Ponens.

Este sistema lógico, pode ser visto como a base de qualquer lógica de acção deste tipo, e é aqui denominado *lógica de acção mí nima*, sendo uma lógica modal clássica de tipo ETC.

O axioma (T), intuitivamente significa que o operador de acção $E_i\psi$ é um operador de *sucesso* o que significa que se o agente i produz ψ então ψ verifica-se.

A maioria das lógicas de acção deste tipo incluem também o seguinte axioma:

(No) $\neg E_i \top$ (onde $\top$ denota uma tautologia)

tentando expressar o facto de a veracidade de $E_i\psi$ implicar que a acção do agente i foi necessária para a produção de ψ (ver [26] para mais detalhes sobre esta questão).

Diversas extensões e refinamentos destas lógicas de acção têm sido propostas. Por exemplo, em [64] é proposta uma distinção entre *acção directa* e *acção indirecta*, sendo propostos dois operadores de acção para traduzir essa distinção, cuja caracterização lógica é expressa através de propriedades da iteração de operadores de acção da forma $E_iE_k\psi$. Este tipo de iteração entre operadores de acção não irá ser considerado nesta tese.

Em [65] é sugerido um operador de acção não necessariamente com sucesso, H_i, com o seguinte significado informal:

$H_i\psi$ lê-se: "o agente i *tenta* produzir ψ".

É obvio que o operador H_i não verifica o axioma (T). Nesta dissertação (no capítulo 7) irá ser feita uma breve referência a operadores de acção deste tipo.

Outra extensão natural a estas lógicas, indicada em [44], com interesse para o problema da agência colectiva, consiste em permitir a indexação do operador E por um conjunto finito de agentes. Informalmente, $E_X\psi$ significa que "o conjunto de agentes descrito em X age conjuntamente produzindo ψ". Em geral, ao dizer que $E_X\psi$ se verifica, pretende-se afirmar que as acções dos agentes que fazem parte de X causaram ψ ou, dito de outro modo, são necessárias (ou pelo menos contribuiram significativamente) para que ψ se verifique[5]. Se se quiser dar uma semântica a esta extensão, usando modelos mínimos do tipo descrito acima, terá apenas de se incluir nos modelos uma função f_X para cada conjunto finito de agentes, relevante.

[5]Este operador abstrai de questões tais como o "modo de acção" conjunta (cooperação, competição, etc.) ou as intenções dos agentes envolvidos. Voltaremos a estes assuntos no próximo capítulo.

3.2 Lógicas deônticas

A lógica deôntica é vista, tradicionalmente, como um ramo da lógica modal onde o operador de necessidade é interpretado como significando *obrigação* e denotado por O. O dual de O $(\neg O \neg)$ é denotado por P e interpretado como significando *permissão*. É usual definir ainda um operador de *proibição*, denotado por F, e definido como $O\neg$.

Existem diversas propostas para a caracterização lógica destes operadores. A mais conhecida é o *sistema padrão* (usualmente denotado por SDL de "standard deontic logic") que define o operador O como uma modalidade normal do tipo KD. O sistema padrão dá origem a uma série de paradoxos bem conhecidos (paradoxo de Ross, paradoxo da permissão de escolha livre, paradoxo de Chisholm, dilema de Jephta, entre outros), o que levou a que diversos outros sistemas lógicos tenham sido propostos no sentido de tentarem solucionar estes paradoxos. Isto não significa que o sistema padrão não seja útil em determinadas circunstâncias. Por exemplo, um problema associado a diversos paradoxos é o problema da representação de obrigações que resultam do incumprimento de outras obrigações[6]. Em situações onde se deseje expressar apenas situações ideais, e simplesmente detectar a ocorrência de uma violação, sem que se pretenda expressar o que fazer quando essa violação ocorre, a adopção do sistema SDL não é problemática. No entanto, este assunto não vai ser abordado em detalhe, por não ser central para o tema em estudo nesta dissertação.

Para além destes operadores deônticos impessoais podem ainda conceber-se operadores deônticos "pessoais" indexados a agentes, com o seguinte significado informal:

$O_i\psi$: o agente i está *obrigado* a produzir ψ
$P_i\psi$: o agente i está *permitido* a produzir ψ
$F_i\psi$: o agente i está *proibido* de produzir ψ

Uma questão que surge naturalmente é a de saber se estes operadores devem ser primitivos ou se podem ser definidos como iterações de operadores deônticos impessoais e de operadores de acção. Uma discussão sobre a redução de obrigações pessoais a obrigações impessoais pode ser encontrada, e.g., nos trabalhos [36], [34] e [42]. Para a definição de obrigações pessoais baseadas na lógica dinâmica ver, e.g., [61] onde os trabalhos referidos acima são também discutidos.

---

[6] "Contrary to duties".

Considera-se nesta dissertação que a definição mais natural para as obrigações pessoais é a seguinte:

$$O_i\psi \stackrel{def}{=} OE_i\psi$$
$$P_i\psi \stackrel{def}{=} PE_i\psi$$
$$F_i\psi \stackrel{def}{=} FE_i\psi$$

Esta opção é criticada em [34] e em [42] nos aspectos a seguir indicados. Em primeiro lugar, perde-se a *interdefinibilidade entre os operadores*. Apesar de ainda se ter

$$P_i\psi \leftrightarrow \neg F_i\psi$$

e, no caso de O satisfizer o esquema (D), também se ter

$$O_i\psi \rightarrow P_i\psi,$$

deixam de ser válidas as seguintes propriedades:

$$F_i\psi \leftrightarrow O_i\neg\psi$$ [7].

$$P_i\psi \leftrightarrow \neg O_i\neg\psi$$ [8].

Note-se, por exemplo, que $O_i\neg\psi = OE_i\neg\psi$ é uma asserção mais forte do que $O\neg E_i\psi = F_i\psi$. No primeiro caso o agente está obrigado a produzir $\neg\psi$ enquanto no segundo caso ele está obrigado a não produzir ψ. Considera-se, no entanto, que a perda da interdefinibildade entre os operadores não é um problema crucial.

A segunda crítica apresentada refere-se ao denominado *problema da transmissão de obrigações* que pode ser descrito da seguinte maneira. Como, pelo esquema (T) obtemos o teorema

$$E_iE_k\psi \rightarrow E_k\psi,$$

[7] $F_i\psi \leftrightarrow FE_i\psi \leftrightarrow O\neg E_i\psi$, enquanto que $O_i\neg\psi \leftrightarrow OE_i\neg\psi$. Mas $O\neg E_i\psi \not\leftrightarrow OE_i\neg\psi$.

[8] $P_i\psi \leftrightarrow PE_i\psi \leftrightarrow \neg O\neg E_i\psi$, enquanto que $\neg O_i\neg\psi \leftrightarrow \neg OE_i\neg\psi$. Mas $\neg O\neg E_i\psi \not\leftrightarrow \neg OE_i\neg\psi$.

se adoptarmos para O uma modalidade normal (como acontece em SDL), então obtemos como teorema o seguinte esquema:

$$O_i E_k \psi \to O_k \psi$$

o que é inaceitável (de uma obrigação de um agente i obtem-se uma obrigação para um outro agente k!). Este problema pode ser evitado se não forem permitidos operadores de acção no alcance de outros operadores de acção. Esta restrição é aceitável se não estivermos interessados em problemas que envolvam noções de controle de um agente sobre outro.

Mas isto não resolve todos os problemas. Se assumirmos que O é normal e que satifaz, em particular, a regra de prova (RM) (i.e. O é fechado para a implicação no sentido de: "se $\vdash \psi \to \phi$ então $\vdash O\psi \to O\phi$"), então, como indicou e.g. [42], podemos ter problemas com as definições apresentadas para as obrigações pessoais. Temos, por exemplo, que como

$$E_i \psi \to \neg E_k \neg \psi$$

é teorema (por causa do esquema (T) [9]), obtemos também como teorema

$$O_i \psi \to F_k \neg \psi,$$

tornando-se impossível expressar *conflitos de obrigações* entre diferentes agentes. Mesmo que se aceite a impossibilidade de representar conflitos numa lógica de obrigações impessoais ou que se aceitem aplicações em que um mesmo agente não pode ter obrigações contraditórias, não se pode aceitar que diferentes agentes estejam impedidos de ter obrigações contraditórias.

E ainda que se considere que obrigações em conflito não são inconsistentes, porque se decidiu excluir o esquema (D) da lógica do O, continua a ser estranho que uma obrigação pessoal de um agente possa ter implicações directas nas obrigações pessoais de outros agentes que não estão relacionados com o primeiro.

[9] De facto tem-se:

1) $\vdash E_i \psi \to \psi$ (T)

2) $\vdash E_k \neg \psi \to \neg \psi$ (T)

3) $\vdash E_i \psi \wedge E_k \neg \psi \to \perp$ tautologicamente a partir de 1) e 2)

4) $\vdash \neg(E_i \psi \wedge E_k \neg \psi)$ tautologicamente a partir de 3)

5) $\vdash E_i \psi \to \neg E_k \neg \psi$ tautologicamente a partir de 4).

Existem, por conseguinte, duas alternativas.

i) Ou se considera que os operadores de obrigação pessoais são primitivos (como defendem alguns dos trabalhos anteriormente referidos);

ii) ou se definem lógicas não normais para O onde não se verifica a regra (RM), apesar de se poderem verificar versões mais fracas dessa regra.

Sem tomar uma posição definitiva acerca deste assunto, nesta dissertação irá ser explorada e estendida a possibilidade de definir operadores deônticos personalizados através da iteração de operadores deônticos impessoais e operadores de acção do tipo dos apresentados na secção anterior.

Antes de se concluir esta secção sobre operadores deônticos, quer-se salientar que obrigações, permissões e proibições, não são as únicas noções deônticas relevantes para o problema em estudo nesta dissertação. Outro operador deôntico com interesse seria um operador de *autorização*, A, onde $A\psi$ significa, informalmente, que "ψ está autorizado" e $A_i\psi = AE_i\psi$ significa que a produção de ψ pelo agente i está autorizada. Esta interpretação deverá ter consequências, impondo, por exemplo, que o agente i deva ter direitos específicos relativamente à produção de ψ, tais como ter assegurados os meios necessários para a sua produção. Este exemplo sugere a necessidade de explicitar no operador de autorização A, o agente que deu a referida autorização a i e face a quem i tem esses direitos. Em [34] e [42] é sugerido que os operadores deônticos sejam duplamente indexados precisamente para expressar noções tais como direitos, deveres, etc. Contudo, nesta dissertação vai ser evitada a dupla indexação dos operadores deônticos assim como a discussão dos conceitos não triviais de direitos ou deveres, para focar a apresentação essencialmente no problema da agência colectiva. Por conseguinte, não vai ser introduzido nenhum operador de autorização. É dito informalmente que um determinado estado de coisas ψ está "autorizado" no contexto de uma determinada especificação deôntica, vista como um conjunto Γ de fórmulas da lógica deôntica e de acção em causa, sse é possível derivar explicitamente de Γ que ψ é permitido, $\Gamma \vdash P\psi$ (e não apenas que não é possível derivar que ψ é proibido).

Nesta dissertação vai ser dada particular atenção à utilização desta noção de autorização relativamente a estados de coisas resultantes de acções de agentes agindo em papéis específicos, como veremos nos capítulos subsequentes.

3.3 Lógicas deônticas e de acção na agência colectiva

No final da secção 3.1 foi referida uma extensão às lógicas de acção proposta por Lindahl em [44] que consistia em indexar o operador de acção por um conjunto finito de agentes, E_X. Esta extensão pode ser usada para expressar algumas noções relevantes para a agência colectiva. Podem ser definidas lógicas onde sejam consistentes fórmulas tais como:

$$E_{\{i,j\}}\psi \wedge \neg E_i\psi \wedge \neg E_j\psi \quad \text{(com } i \neq j\text{)}$$

expressando situações onde dois ou mais agentes agem conjuntamente para realizar uma tarefa que não têm possibilidade de realizar individualmente (e.g. mover uma mesa muito pesada) — ver [60] e [36].

Há ainda situações em que a produção de um estado de coisas por um agente i, individualmente, "conta como"[10] uma acção de um conjunto de agentes $\{i, j\}$, sendo, por conseguinte, consistente a fórmula:

$$E_{\{i,j\}}\psi \wedge E_i\psi$$

(e.g. um jogador de uma equipa de futebol marca um golo "conta como" a equipa (vista como um conjunto de jogadores) marca um golo).

No entanto, um princípio geral da forma:

$$E_X\psi \rightarrow E_Z\psi, \text{ para } X \subseteq Z$$

não é aceitável[11].

Na secção anterior foi discutido se os operadores deônticos pessoais deveriam ser primitivos ou se deveriam ser definidos através da iteração de operadores deônticos impessoais e de operadores de acção. Orientando essa discussão para o tópico da agência colectiva, pode agora considerar-se a hipótese de indexação dos operadores deônticos por um conjunto finito de agentes

[10] Para uma discussão sobre o operador "conta como" ver [38]. No capítulo 7 faz-se uma breve referência a este operador.

[11] Para que a acção de um indivíduo "conte como" a acção de um conjunto de indivíduos, é necessário que exista algum tipo de "vínculo" entre esse indivíduo e esse grupo. Voltaremos a esta discussão mais à frente.

e tentar a sua definição através dos operadores deônticos e de acção anteriormente referidos.

Considere-se, por exemplo, o operador de obrigação O_X (sendo X um conjunto finito de agentes). Qual é o significado de $O_X\psi$?

Uma primeira hipótese consiste em definir esta espécie de *obrigação colectiva* a partir das obrigações individuais dos membros do conjunto X. Surgem de imediato duas alternativas:

i) $O_X\psi \stackrel{def}{=} \forall_{x\in X}O_x\psi \quad (\stackrel{def}{=} \forall_{x\in X}OE_x\psi)$

ii) $O_X\psi \stackrel{def}{=} \exists_{x\in X}O_x\psi$,

(onde se pode considerar $\forall_{x\in X}OE_x\psi \stackrel{abv}{=} \bigwedge_{x\in X} OE_x\psi$, assumindo que X é finito).

Em [62] e em [61] foram sugeridas várias opções para a definição da noção de *obrigação colectiva*. A *obrigação colectiva fraca* referida em [62], apesar de formulada de forma diferente, corresponde à definição ii) acima apresentada. A definição i) corresponde à chamada *obrigação geral* de [61]. Nesse trabalho é ainda referida uma terceira alternativa chamada *obrigação colectiva estrita* que corresponde aproximadamente à abreviatura iii) a seguir apresentada.

Analise-se a proposta ii) em primeiro lugar. Esta proposta valida $O_X\psi \rightarrow O_Z\psi$, para $X \subseteq Z$, sendo o seu interesse prático muito discutível. Qual é o interesse de saber que um elemento de um conjunto X tem a obrigação de produzir ψ, se não se sabe qual é esse elemento? Se a obrigação não é cumprida, quem irá ser responsabilizado pelo incumprimento?

E se se pensar em idênticas definições para os operadores de *permissão colectiva* ($P_X\psi = \exists_{x\in X}P_x\psi$) e de *proibição colectiva* ($F_X\psi = \exists_{x\in X}F_x\psi$), encontram-se facilmente situações onde $P_X\psi$ e $F_X\psi$ são ambos verdadeiros. Considere-se, a título ilustrativo, que numa situação onde se tenha $P_i\psi$ e $F_k\psi$, ter-se-ia também que $P_{\{i,k\}}\psi$ e $F_{\{i,k\}}\psi$. Mas é claro que se poderia definir F_X por i) e P_X por ii).

Considere-se agora a proposta i). Apesar de se aceitar que $O_X\psi$ possa ser uma abreviatura útil de $\forall_{x\in X}O_x\psi$ em muitas situações, dificilmente se poderá aceitar que esta definição traduza o conceito geral de obrigação colectiva, no sentido de uma obrigação que recai sobre uma entidade colectiva. Se se pensar em termos de incumprimento ou violação de uma obrigação, então isto torna-se evidente.

Considere-se, a título ilustrativo, uma situação onde uma associação está obrigada a pagar uma quantia Q. Se de uma forma muito simplista, olharmos para a associação como o conjunto dos seus associados $\{a_i : i = 1, \ldots, n\}$, podemos expressar a situação indicada, por:

$O_{\{a_i:i=1,\ldots,n\}}$ paga Q.

Será correcto inferir que cada associado está obrigado a pagar Q?
E como se define o incumprimento desta obrigação?
Certamente, uma situação em que se verifique

$O_{\{a_i:i=1,\ldots,n\}}$ paga Q $\wedge$ $\forall_{i=1,\ldots,n} \neg E_{a_i}$ paga Q,

não corresponde ao incumprimento de $O_{\{a_i:i=1,\ldots,n\}}$ paga Q.

Um outro exemplo de natureza semelhante, seria o de uma equipa de futebol, vista como o conjunto dos seus jogadores, $\{p_i : i = 1, \ldots, 11\}$, que estaria obrigada a marcar cinco golos (devido a circunstâncias irrelevantes para a nossa análise). Tal como no caso anterior, do facto de a equipa estar obrigada a marcar cinco golos não podemos inferir que cada jogador está obrigado a marcar cinco golos! Uma situação onde se verifique

$O_{\{p_i:i=1,\ldots,11\}}$ *marca 5 golos* $\wedge$ $\forall_{i=1,\ldots,11} \neg E_{p_i}$ *marca 5 golos*

não corresponde necessariamente a uma situação de incumprimento da obrigação da equipa.

Os exemplos anteriores sugerem que se siga uma abordagem semelhante à tomada anteriormente para a definição do operador de obrigação pessoal (e individual) $O_i\psi$, e que se defina:

iii) $O_X\psi = OE_X\psi$

(e de foma similar para os outros operadores deônticos).

Contudo, esta solução também pode ser sujeita a críticas. Suponha-se que ocorre uma violação de $O_X\psi$, facto que se pode expressar por

$$OE_X\psi \wedge \neg E_X\psi.$$

Quem poderá ser responsabilizado por esta violação?
O que significa dizer que o conjunto é responsável pela violação?
Sobre quem podem recair eventuais sanções resultantes da violação?
Sobre alguns membros de X,ou sobre todos os membros de X?
Estas questões colocam o problema da necessidade de *relacionar as obrigações colectivas com*

as obrigações dos indiví duos membros da entidade colectiva.[12]

Questões semelhantes se colocam quando se consideram outros conceitos deônticos tais como proibições ou permissões. Como interpretar situações como:

$F_X\psi \quad \wedge \quad \forall_{x\in X}\neg F_x\psi$?

Poder-se-ia sempre optar por considerar os operadores deônticos colectivos, O_X e F_X, como operadores primitivos, em vez de optar por defini-los usando outros operadores deônticos e de acção. Mas tal opção não resolveria as questões que acabamos de colocar.

Depois desta discussão, começa a ficar claro que *o problema reside não tanto na componente deôntica, mas essencialmente na noção de agente colectivo visto como um conjunto de agentes.* Torna-se necessário, por conseguinte, discutir e caracterizar a noção de *agente colectivo* e de *agência colectiva* o que será feito no próximo capítulo.

---

[12] Exemplos do género do da equipa de futebol não se encontram entre os casos mais relevantes para esta dissertação. Mas como se defende nesta dissertação que as noções de natureza deôntica só são significativas quando associadas a agentes, uma questão que surge naturalmente é a de como seria possível representar o exemplo apresentado. Apesar de este assunto precisar de ser investigado com mais cuidado, uma via possível seria através de uma obrigação geral da seguinte forma:

$(\forall_{i=1,\ldots,11})OE_{p_i}E_{\{p_1,\ldots,p_{11}\}}$ *marca 5 golos*.

Outra alternativa seria usar o operador de tentativa de acção H_i e escrever:

$(\forall_{i=1,\ldots,11})OH_{p_i}E_{\{p_1,\ldots,p_{11}\}}$ *marca 5 golos*.

Estas duas expressões tentam capturar o facto de que cada jogador tem a obrigação de contribuir para o cumprimento da obrigação da equipa de marcar cinco golos.

Capítulo 4

Agência colectiva organizada

O conceito de *agência colectiva* é suficientemente vago para poder ser objecto de múltiplas interpretações. Torna-se necessário caracterizá-lo com precisão. A noção de *agência* — acção de um agente, sendo um *agente* aquele que age (não necessariamente um ser humano) — a considerar nesta dissertação começou a ser caracterizada no capítulo anterior. Falta agora precisar o conceito de *colectivo* — que abrange várias entidades (seres humanos ou não) — que irá ser objecto de estudo. Mais precisamente, pretende-se caracterizar a noção de *agente colectivo*, já que se pretende centrar a análise na acção dessas entidades colectivas. Há várias formas de ser agente colectivo. Há varias formas de agir como agente colectivo.

Numa primeira fase, procuraram-se no Direito, respostas a estas questões (pelos motivos a apresentar mais a frente). Ulteriormente surgiu a necessidade de confrontar os resultados da pesquisa jurídica com as respostas a estas questões dadas por investigadores da área da Filosofia e da Inteligência Artificial, os quais, em trabalho recente, revisitam velhas questões relacionadas com a agência colectiva que vêm sendo abordadas em Filosofia ao longo dos tempos, em particular a discussão do *holismo versus individualismo*: "poderá uma entidade colectiva reduzir-se à mera soma das partes constituintes ou terá uma natureza própria distinta da dessas partes"? A autora desta dissertação não considera ter a formação adequada para uma discussão profunda destas questões. A pesquisa efectuada, necessariamente superficial, não tem qualquer pretensão de trazer algo de novo à discussão dessas questões. Serviu essencialmente para confrontar as respostas dadas por esses investigadores ao problema da agência colectiva, com os resultados da pesquisa no Direito para os mesmos problemas.

Neste capítulo começam-se por apresentar questões tradicionalmente abordadas na área da agência colectiva, fazendo referência às posições de alguns autores relativamente a essas questões, tentando posicionar o trabalho desta dissertação no contexto da agência colectiva em geral e definir os contornos do problema em estudo. São ainda referidos alguns trabalhos da área dos Multi-Agentes em Inteligência Artificial que abordam questões similares embora numa perspectiva diferente da seguida nesta dissertação. Apresentam-se em seguida os modelos jurídicos para esta classe de problemas que serviram de inspiração e de base para o modelo a apresentar nesta dissertação. Finalmente transpõem-se os modelos e conceitos legais apresentados, para o contexto da agência colectiva organizada, caracterizando-se informalmente os conceitos de *papel*, de *acção num papel*, de *representação,* de *contrato* e de *agente institucional*.

4.1 Agência colectiva

A agência colectiva é um tema que pode ser extremamente complexo. Entre as questões que tradicionalmente são abordadas nesta área destacam-se, em primeiro lugar, as relacionadas com a natureza das entidades colectivas:

> *As entidades colectivas têm uma existência real ou são meras abstracções?*
> *Podemos reduzir as entidades colectivas ao conjunto dos indiví duos que as constituem?*
> *Têm as entidades colectivas capacidade para agir?*
> *Têm uma estrutura pré-definida? Ou a estrutura emerge da interação entre os indiví duos que formam a entidade colectiva?*

Uma outra classe de questões consiste em relacionar a entidade colectiva com os indivíduos que a constituem:

> *Quais as implicações (para um indiví duo) de fazer parte de uma entidade colectiva?*
> *Como podemos passar do comportamento de uma entidade colectiva para o dos indiví duos que a constituem (macro $\rightarrow$ micro)?*
> *De que modo as acções dos indiví duos que formam uma entidade colectiva afectam essa entidade (micro $\rightarrow$ macro)?*

É usual discutir também as origens da entidade colectiva e as motivações diversas que podem levar à sua criação:

> *Como emergem as entidades colectivas a partir de um conjunto de indiví duos?*
> *Porque é que os indiví duos agem em nome da colectividade, eventualmente em detrimento dos seus interesses pessoais e da sua própria vontade?*

Quais são as suas motivações?
Como se formam, num indiví duo, as intenções e o compromisso de agir no interesse de uma entidade colectiva?

Estas questões, entre muitas outras relacionadas com a agência colectiva, não são triviais e vêm sendo colocadas por diversos filósofos desde há muito tempo. Recentemente, vários investigadores (referências essenciais da área da Inteligência Artificial e da Filosofia), como por exemplo, Raimo Tuomela, Margaret Gilbert, James Coleman, entre muitos outros, têm abordado estas questões e proposto diversos modelos para a agência colectiva. Dependendo das motivações e dos objectivos da investigação, alguns dos modelos sugeridos baseiam-se em modelos de problemas similares provenientes de áreas tão diversas como a biologia, a economia ou a sociologia, entre outras. Os modelos propostos são, em geral, extremamente complexos e analisam em profundidade o problema da agência colectiva. Considera-se no entanto que muito trabalho terá ainda de ser feito no sentido de definir modelos formais que por um lado sejam simples mas que por outro lado permitam capturar toda a complexidade inerente ao problema da agência colectiva. Nesta dissertação pretendem-se definir modelos formais para a agência colectiva, não de uma forma geral mas no âmbito restrito da agência colectiva organizada. Mais precisamente, restringe-se o estudo formal aos aspectos normativos relacionados com a agência colectiva organizada.

Sem pretender discutir o trabalho dos autores referidos, vão ser feitas algumas referências gerais ao seu trabalho com o objectivo de posicionar e discutir o trabalho desta dissertação no contexto da agência colectiva.

Em relação à velha questão *holismo versus individualismo*, apesar de as posições dos autores acima referidos variarem, têm em comum o seguinte: *uma entidade colectiva não se reduz à soma dos indiví duos que a constituem mas o seu comportamento resulta da acção desses indiví duos*.

Como M.Gilbert refere em [30], os investigadores dos fenómenos sociais discutem e divergem desde há muito sobre o conceito de entidade colectiva (denominado "grupo social" em [30]), começando por Max Weber e Emile Durkheim. Durkheim considera que os grupos sociais são entidades "novas", que emergem quando seres humanos individuais se agrupam. Weber discorda e afirma que a actividade social é constituída unicamente pelas acções dos seres humanos individuais. Margaret Gilbert defende em [30] que quando os seres humanos individuais formam colectividades adoptam uma natureza diferente. Para se integrarem num grupo devem abdicar da própria vontade e adoptar a vontade do grupo. Isto consiste em aceitar uma série de responsabilidades e direitos e adoptar um novo conjunto de restrições ao seu próprio comportamento. Mais ainda, esse conjunto de seres humanos deve formar um todo, uma unidade.

J.Coleman em [22] posiciona o seu trabalho sobre sistemas sociais, relativamente a este debate, como uma variante do que chama *individualismo metodológico* (não assumindo que o comportamento do sistema se possa reduzir a um conjunto de acções e decisões individuais). O comportamento do sistema (o *ní vel macro*), por vezes é visto como o comportamento de um sistema de indivíduos (o *ní vel micro*) cujas acções são interdependentes. Noutros casos, o comportamento do sistema pode ser visto como resultante da acção de um agente "supra-individual". Por exemplo, o nível macro pode ser uma organização formal e o nível micro ser formado pelos departamentos da organização ou pelas pessoas que ocupam lugares nessa organização.

Tuomela em [69] defende que apesar de as entidades colectivas poderem ser consideradas entidades reais, são claramente diferentes das pessoas humanas. As pessoas têm corpos físicos que lhes possibilitam a realização directa de acções e têm uma vida mental própria, enquanto que as entidades colectivas não[1].

Outro problema consiste em relacionar as entidades colectivas com os indivíduos que as constituem. James Coleman em [22], no contexto das ciências sociais, afirma existirem dois modos de explicação do comportamento dos sistemas sociais. Um consiste em observar o comportamento do sistema como um todo (usando, por exemplo, métodos estatísticos para o fazer). Outro, a que ele chamou *análise interna do comportamento do sistema*, consiste em nos posicionarmos ao nível das partes que o constituem e explicar o comportamento do sistema partindo do comportamento das partes. Este segundo modo de explicação começa por fazer observações ao nível dos indivíduos ou de outras partes que constituem o sistema, e depois compõe e sintetiza o comportamento do sistema a partir da acção das suas partes. Em última análise o comportamento do sistema resulta sempre das acções dos indivíduos que o constituem, sendo estes também influenciados pelo sistema. As explicações do comportamento do sistema baseadas nas acções e orientações das partes constituintes do sistema têm de resolver não apenas o problema de passar do nível do sistema para o nível das partes (*macro* $\rightarrow$ *micro*) como o problema contrário de passar do nível das partes para o do sistema (*micro* $\rightarrow$ *macro*).

Tuomela em [69], ao analisar entidades colectivas com estrutura (baseada em papéis e/ou tarefas), afirma que essa estrutura pode ser caracterizada usando normas. Por exemplo, uma empresa tem uma estrutura caracterizada em termos de regras formais, definidas através de

[1] Ver [69] especialmente pp. 356–376, para mais detalhes sobre a posiç ˜ao de Tuomela face `a discuss˜ao do holismo versus individualismo.

organigramas e de estatutos. As colectividades estruturadas têm posições definidas que terão de ser ocupadas por pessoas. Essas posições são caracterizadas em parte por normas determinando as tarefas das pessoas que ocupam essas posições e também por normas sociais especificando os seus papéis sociais. Estas posições em geral não são intermutáveis, o que significa que os titulares de posições não podem trocar de papéis arbitrariamente. Estas entidades colectivas formais agem através da sua organização o que significa que, em geral, alguns titulares destas posições (ou seus representantes) agem em nome da colectividade (ver [69], pp.11). Neste tipo de entidades formais, muitos dos problemas relacionados com a acção conjunta de indivíduos são simplificados, essencialmente devido à existência de sistemas de autoridade predefinidos e conhecidos tanto dos seus membros como dos outros agentes da sociedade (ver em [69], pp. 52-111, uma discussão acerca destes assuntos).

O trabalho dos autores acima referidos aborda o problema da agência colectiva no seu todo, analisando as múltiplas facetas do problema. Tal propósito encontra-se completamente fora do âmbito do trabalho desta dissertação. O trabalho aqui apresentado centra-se na agência colectiva organizada[2] preocupando-se essencialmente com questões do género das apresentadas nos dois primeiros grupos de questões, no início desta secção, e abstraindo de questões relacionadas com as origens das entidades colectivas a partir de um conjunto de indivíduos e motivações associadas. Consideram-se como objecto de estudo, grupos de agentes que pretendem actuar conjuntamente e de forma (mais ou menos) permanente, estável e organizada. Entidades colectivas deste tipo incluem organizações em geral (associações, sociedades, fundações etc.), e ainda entidades colectivas de natureza não tão formal tais como condóminos de um prédio ou comissões (comissão de pais de uma escola, comissão de utentes da ponte 25 de Abril, etc.). Estas entidades colectivas organizadas podem não ser constituídas apenas por seres humanos, podendo também incluir sistemas de software ou outras entidades colectivas como seus membros. Por exemplo, uma caixa multibanco pode considerar-se como fazendo parte do conjunto de agentes de um banco (pode ser visto como um tipo especial de “empregado de balcão”); ou uma empresa que se responsabiliza pela contas de uma sociedade anónima, desempenhando o papel de fiscal único,

[2]Entidades colectivas arbitrárias, temporárias, ocasionais ou sem qualquer tipo de estrutura estável associada, estão fora do âmbito do trabalho aqui apresentado. Não se considera que o modelo proposto nesta dissertação seja adequado para o estudo deste tipo de entidades colectivas, sendo necessário o recurso a outro tipo de instrumentos. Por exemplo, para perceber e prever o comportamento de uma “multidão”, métodos estatísticos serão provavelmente necessários.

pode ser considerada um membro dessa sociedade anónima. Um outro exemplo é o caso da AIM (Associação Industrial do Minho) cujos membros são empresas e cuja estrutura é suportada por empresas (c.f. apêndice C).

Pretende-se estudar o comportamento deste tipo de entidades colectivas organizadas, quando emersas numa sociedade de agentes, interagindo com os outros agentes da sociedade. Terá de se relacionar o comportamento dos membros da colectividade com o comportamento da colectividade vista como um todo (*micro* $\rightarrow$ *macro*) e de definir como transformar acções que devam ser efectuadas pela entidade colectiva em acções dos seus membros (*macro* $\rightarrow$ *micro*).

A especificação de organizações, é um tema de investigação que tem estado no centro das atenções de diversos investigadores da área da Inteligência Artificial em especial da área dos Multi-Agentes (em [41], [54] e [9] podem encontrar-se discussões sobre o assunto e referências seleccionadas). Recentemente, surgiu um tópico de investigação chamado *computational organizational theory* (ver em [41] e em [9] uma selecção de modelos e sistemas definidos neste contexto) que consiste em desenvolver novos sistemas computacionais, tipicamente sistemas multi-agente, ditos *sistemas multi-agente organizacionais*, e novas metodologias tendo por base conceitos da teoria das organizações. Uma vantagem desta perspectiva consiste em permitir a reutilização de conceitos e metodologias de outras áreas do conhecimento (teoria das organizações neste caso), adaptando-os a contextos diferentes. Apesar de se considerar ser esta atitude interdisciplinar muito importante, ela não é isenta de perigos. O problema essencial reside no facto de poderem existir diferentes interpretações dos conceitos transpostos, quando estes são definidos de forma vaga e ambígua (o que é frequente acontecer quando os problemas são complexos, como é o caso da especificação de organizações). Nos trabalhos acima referidos, surgem com frequência conceitos tais como os de papel, responsabilidade ou obrigação, entre outros, cujo significado não é claramente definido. A utilização de conceitos de uma área de conhecimento num contexto diferente obriga a uma definição precisa e sem ambiguidades do significado do conceito no novo contexto de utilização, de como vai ser aí usado e de quais as consequências exactas da sua utilização. A utilização de modelos formais é crucial para resolver estes problemas.

Não se pretende nesta dissertação estudar um modelo de uma organização no seu todo, tal como é usualmente feito em teoria das organizações, mas, como se disse anteriormente, focar a análise nos seus aspectos normativos: descrever, usando conceitos deônticos tais como obrigações ou permissões, o comportamento esperado da organização e dos seus diversos componentes[3]. Combinam-se conceitos da teoria das organizações e do Direito para definir modelos normativos para as entidades colectivas organizadas em estudo.

O Direito foi a fonte de "inspiração" essencial para os modelos a propor nesta dissertação. Como se irá ver na próxima secção, os modelos jurídicos, de uma forma geral, encontram-se em sintonia com as posições dos diversos autores acima referidos acerca da agência colectiva organizada.

Vai em seguida fazer-se um resumo da investigação feita no Direito, apresentando os conceitos jurídicos que serviram de base a este trabalho.

4.2 Modelos jurídicos para a agência colectiva organizada

O Direito é um sistema normativo que regula sociedades humanas. Como nestas sociedades é frequente existirem entidades de natureza colectiva, o Direito terá forçosamente de entrar em consideração com este tipo de entidades na sua função reguladora. Para o fazer, necessita de ter definidos modelos dessas entidades colectivas.

Foi este, o pressuposto para a investigação efectuada na área jurídica, que se confirmou amplamente. De facto, tais modelos existem desde há muito, têm sido testados ao longo dos anos e têm sólidos fundamentos filosóficos, sociológicos e históricos.

Esta secção baseia-se nos trabalhos de Oliveira Ascensão [2], Menezes Cordeiro [23] e Galvão Teles [68]. Foi também usado o Código Civil Português [4] assim como outros trabalhos na área jurídica (e.g. [59]). Qualquer incorrecção de natureza jurídica na referência ao trabalho destes autores é da total responsabilidade da autora desta dissertação.

A ideia de usar o Direito como base de trabalho resulta da experiência passada da autora nessa área [49] e [50]. O Direito é usado apenas como ponto de partida, como "fonte de inspiração" para o modelo proposto. Não se pretende nesta dissertação captar com exactidão os modelos ou os conceitos jurídicos estudados. Como já foi dito anteriormente, o exercício de transpor conceitos e modelos de uma área de conhecimento para outra tem de ser feito com um cuidado extremo. A formalização desses conceitos é crucial para evitar ambiguidades e interpretações erróneas desses conceitos. Nas próximas secções será feita uma apresentação informal dos con-

[3] Isto é o que acontece de facto nas sociedades humanas quando uma organização é criada ou alterada: antes de se entrar em detalhes sobre a organização, tem de ser definido qual o seu estatuto legal, i.e., qual o tipo de pessoa colectiva a que corresponde a organização. Só depois desta caracterização genérica descrevendo o que se espera da organização, se entra em consideração com outro tipo de detalhes (e.g. atribuição de tarefas).

ceitos jurídicos a usar, já que eles podem não ser familiares. No próximo capítulo será apresentada uma lógica que formaliza esses conceitos, definindo com rigor o seu significado e as consequências formais do seu uso.

4.2.1 Pessoas colectivas

No Direito, para além de *pessoas naturais* (seres humanos) existem as *pessoas colectivas*. Estas pessoas colectivas agregam várias pessoas permitindo que elas atinjam determinados objectivos colectivamente. Estas entidades têm uma existência real nas sociedades humanas: têm *personalidade jurí dica* o que significa que podem ser sujeitos de obrigações e de direitos e têm também *capacidade jurí dica*, o que significa que podem exercer os seus direitos e ser responsáveis pelo incumprimento das suas obrigações. A principal razão para a criação de pessoas colectivas, são em primeiro lugar, as pessoas que a constituem: há interesses que essas pessoas agindo isoladamente não conseguem atingir, necessitando da acção unificada desse conjunto de pessoas, e as pessoas colectivas oferecem um meio de agregação que lhes permite atingir esses interesses. Em segundo lugar, a atribuição de personalidade às pessoas colectivas é uma forma de assegurar a continuidade da agregação, criando uma nova entidade, com uma individualidade própria, que não depende dos indivíduos particulares que a compõem num dado momento.

A atribuição de personalidade a uma agregação de pessoas, formando uma pessoa colectiva, não é um acto arbitrário. A agregação terá de verificar os seguintes requisitos:

- ter os seus próprios objectivos, distintos dos dos seus membros,
- ter os seus objectivos e actividades orientadas essencialmente para o exterior e não para relações internas,
- ter uma organização estável,
- ter uma acção unificada,
- ter os seus próprios recursos (património próprio),
- persistir no tempo independentemente dos indivíduos concretos que num dado momento a constituem.

Há diversos tipos de agregações de pessoas que apesar de exibirem algumas das características acima apresentadas, não são classificadas como pessoas colectivas. É o caso, por

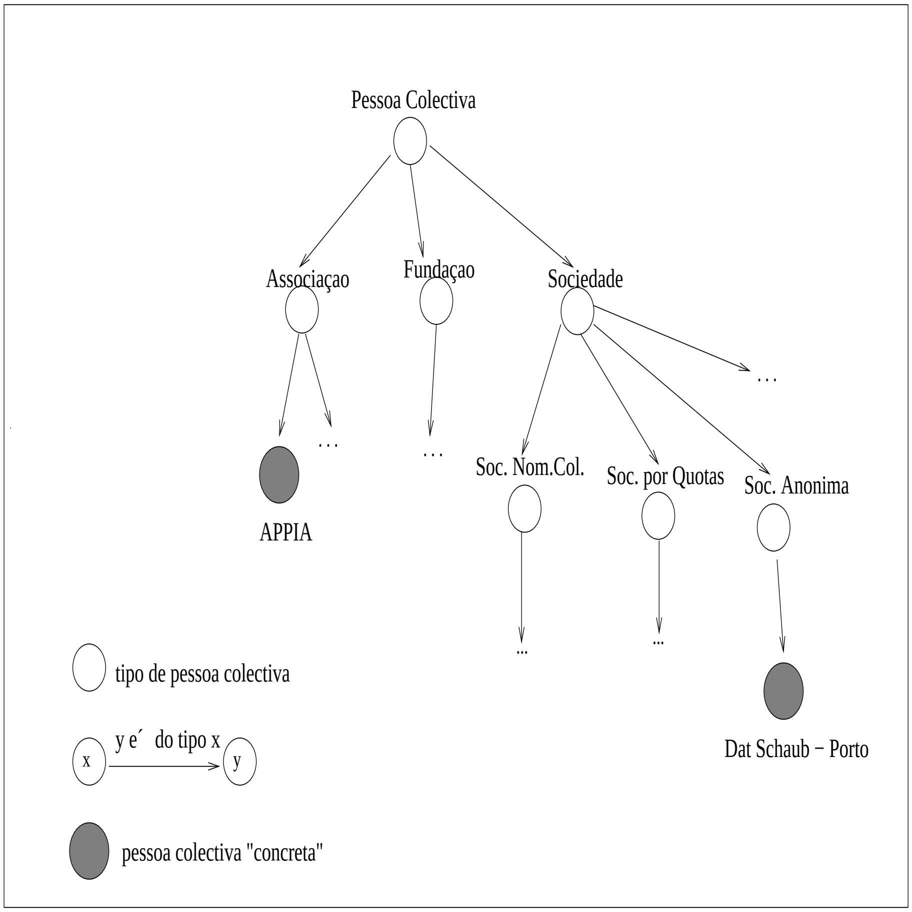


Figura 4.1: Tipos de pessoas colectivas

exemplo, do *condomí nio*, em que diversas pessoas, os condóminos, são co-titulares do direito de propriedade sobre partes comuns de um prédio, têm uma acção unificada, têm uma organização, têm recursos próprios, sem que o conjunto dos condóminos esteja classificado como pessoa colectiva. Isto deve-se, por exemplo, ao facto de a sua actividade estar orientada para o interior da agregação dos condóminos e não para a interacção com o mundo exterior (ver [2]).

O Direito define *tipos de pessoas colectivas* (e.g. associações, sociedades, fundações) — ver Fig. 4.1, definindo *a priori* uma série de características que cada tipo de pessoa colectiva terá de ter. Por exemplo, define-se uma estrutura mínima para qualquer pessoa colectiva: entre os seus orgãos terá de existir uma direcção, e se for uma pessoa colectiva do tipo associação ou sociedade, deverá ainda ter uma assembleia geral.[4].

[4]Para mais detalhes ver, por exemplo, [4].

Apenas se podem criar pessoas colectivas que correspondam a um tipo previamente definido na lei e a caracterização precisa de uma pessoa colectiva é pública. A razão principal para isto, reside no facto de as pessoas colectivas interagirem com outras pessoas e de estas precisarem de saber com rigor o que podem esperar dessa interacção, especialmente quem se responsabiliza se algo corre mal e em que medida pode ser responsabilizado.

Entre as diversas características de uma pessoa colectiva, vão ser relevantes para o trabalho desta dissertação, as seguintes:

- As pessoas colectivas têm uma estrutura estável formada por um conjunto de orgãos (e.g. direcção, conselho fiscal), um conjunto de papéis (e.g., presidente da direcção, membro do conselho fiscal) e um conjunto de normas regulando o seu funcionamento.

- A estrutura de uma pessoa colectiva é suportada por pessoas: os titulares dos papéis. A pessoa colectiva age através dessas pessoas não tendo capacidade para agir directamente.

- A identidade da pessoa colectiva não depende das pessoas que num determinado momento suportam a sua estrutura, i.e., que são titulares dos papéis da sua estrutura — essas pessoas podem mudar sem que a identidade da pessoa colectiva se altere.

- Algumas dessas pessoas têm poder para agir em nome da pessoa colectiva. São os representantes da pessoa colectiva : os seus actos como representantes contam como actos da pessoa colectiva.

Já se disse anteriormente que a pessoa colectiva interactua com as outras pessoas da sociedade. Sendo uma entidade colectiva desprovida de um "corpo" e de uma "mente" (no sentido literal dos termos) que possibilitem a acção directa e a tomada de decisões sobre as acções a tomar, levantam-se naturalmente as questões:

(1) Como age a pessoa colectiva?

(2) Como decide o que fazer em cada momento?

Como toma decisões uma pessoa colectiva?

Já foi anteriormente referido que as pessoas colectivas são criadas para servir os interesses de uma determinada agregação de pessoas[5]. Devem, por conseguinte, existir mecanismos que per-

[5]No caso das fundações, está em causa a vontade de uma pessoa — o fundador, e não de um grupo de pessoas. No entanto, as fundações continuam a poder ser vistas como entidades colectivas, dado terem uma estrutura definida suportada por diversas pessoas que asseguram o seu funcionamento.

mitam traduzir a vontade dessas pessoas, transformando as suas deliberações em deliberações da pessoa colectiva. Estes mecanismos devem ser definidos aquando da criação da pessoa colectiva. Quando um grupo de pessoas decide criar uma pessoa colectiva com fins específicos, define uma estrutura para a pessoa colectiva e define normas estatutárias que expressem a "sua vontade", i.e. como deve agir a pessoa colectiva, quais os critérios que devem ser usados para deliberar, etc. Como uma pessoa colectiva não é uma entidade estática, não é possível definir *a priori* o seu modo de actuar de forma completa. Têm de existir mecanismos que lhe permitam reagir a novas situações, alterando eventualmente o seu modo de funcionamento. Existe o orgão *assembleia geral*, formado pelo conjunto dos membros da pessoa colectiva (associados, sócios, accionistas, etc.), responsável pelas deliberações acerca de situações não prevista nos estatutos ou acerca de alterações a introduzir nos estatutos ou na estrutura da pessoa colectiva. Os diversos critérios usados nas deliberações por parte da assembleia geral são definidos à partida. Nesta dissertação, apesar de ser possível expressar deliberações (vistas como acções) da assembleia geral de uma pessoa colectiva (ver capítulo 6), vai abstrair-se da forma como o conjunto de membros da assembleia geral deliberou.

Como age uma passoa colectiva?

Uma pessoa colectiva pode ser sujeito de obrigações que resultam da interacção com o mundo exterior (e.g. contratos) ou de decisões tomadas pelos seus membros (e.g. acções que eles considerem deverem ser efectuadas). Como o cumprimento de obrigações pressupõe a realização de acções e como uma pessoa colectiva não tem capacidade para agir directamente, agindo através dos titulares dos seus orgãos (ou mais precisamente, dos titulares dos papéis dos seus orgãos), terão de existir mecanismos definindo o modo como as obrigações fluem da pessoa colectiva para os titulares dos papéis da sua estrutura e como as acções desses titulares contam como acções da pessoa colectiva. Deve estar por isso definido, no Direito e nas normas estatutárias da pessoa colectiva, quem está autorizado a agir em nome da pessoa colectiva em cada situação, e o que cada representante está permitido a fazer. O Direito fornece duas figuras legais que regulam a interacção entre pessoas: as relações jurídicas de *mandato* e de *representação*. Para que se possa caracterizar a relação entre os titulares de papéis da estrutura de uma pessoa colectiva e essa pessoa colectiva, torna-se necessário abordar de forma breve estes dois tipos de relações jurídicas, o que será feito em seguida.

4.2.2 Relações jurídicas

Mandato e Representação

Nas sociedades humanas as pessoas são livres de estabelecerem relações jurídicas entre si. Um exemplo desse tipo de relações jurídicas, são os contratos, onde as pessoas envolvidas atribuem mutuamente obrigações, permissões ou proibições, por vezes através da atribuição de papéis às partes envolvidas. Os contratos podem ter uma forma tipificada, tendo associados papéis predefinidos, com uma caracterização geral também predefinida, que deve ser instanciada em situações concretas. Um exemplo de um contrato tipificado é o contrato de *mandato*, tendo associados os papéis de *mandante* e de *mandatário*. O *mandato* é um contrato entre duas pessoas, através do qual o mandatário fica obrigado a realizar um determinado conjunto de actos por conta e segundo as instruções do mandante, estando este último obrigado a fornecer os meios necessários ao mandatário para a realização desses actos.

Outro exemplo de um tipo de relação jurídica tipificada, é a relação de *representação*, com os papéis de *representante* e *representado* associados. A relação jurídica de *representação* é uma relação entre duas pessoas onde uma delas, o representado, atribui à outra, o representante, permissão para efectuar em seu nome determinados actos. Estes actos definem o *âmbito* da representação, estando o representante apenas permitido a realizar em nome do representado actos que estejam dentro deste âmbito. Quando o representante agindo nessa qualidade de representante, efectua actos que estão dentro do âmbito da representação, isso "conta como" se o representado tivesse efectuado esses actos.

Este mecanismo de representação é crucial nas sociedades humanas. Ele permite a resolução de problemas práticos relacionados com a impossibilidade física de uma pessoa estar presente numa situação particular, porque, por exemplo, não pode estar em dois sítios ao mesmo tempo, ou porque, como acontece com as pessoas colectivas, não pode estar fisicamente presente. Com este mecanismo de representação, essas pessoas podem nomear representantes para agir em seu nome. De outra forma não lhes seria possível participar em determinados actos.

Quando uma pessoa age como representante de outra realizando actos para os quais não lhe foi concedida permissão por parte do representado (i.e. age fora do âmbito da representação), está-se numa situação de *abuso de representação*. Esses actos contam como actos do representado apenas se este o permitir. Caso contrário os actos do representante não terão qualquer efeito sobre o representado.

Outra situação não-ideal ocorre quando uma pessoa age como representante de outra sem que tenha sido autorizada a fazê-lo (sem estar qualificada para o fazer). É a chamada *representação sem poderes*, sendo os actos do representante considerados ineficazes — não têm efeitos legais, a menos que o representado os aceite.

O poder atribuído a um representante pode nunca ser exercido. Daí ser frequente *combinar a representação com o mandato*: o representante não só está permitido a agir em nome do representado mas está também obrigado a agir em seu nome.

Titularidade de papéis

A relação entre um *titular de um papel* da estrutura de uma pessoa colectiva e essa pessoa colectiva rege-se segundo as leis do mandato, sendo o primeiro o mandatário e podendo ter determinados poderes de representação da pessoa colectiva.

As obrigações da pessoa colectiva são atribuídas a papéis específicos da sua estrutura, passando indirectamente para os titulares desses papéis, através da relação de mandato (*macro* $\rightarrow$ *micro*) e através da relação de representação, os actos destes últimos, quando efectuados na qualidade de titulares de papéis da pessoa colectiva, contam como actos dessa pessoa colectiva (*micro* $\rightarrow$ *macro*). Cada papel da estrutura de uma pessoa colectiva tem uma caracterização legal precisa, definindo os direitos, obrigações, permissões ou outros conceitos normativos que os titulares desses papéis têm quando agem nesse papel. Um aspecto que importa salientar é o de os direitos (obrigações, permissões, etc.) de uma pessoa resultantes do facto de ela ser titular de um papel, poderem ser exercidos apenas quando essa pessoa age nesse papel. Ela pode não ter esses direitos quando age em nome próprio. Por exemplo, um membro da administração de uma empresa pode ter permissão para usar um carro da empresa quando viaja em serviço, mas pode não ter permissão para o usar quando se encontra de férias. Por conseguinte, o contexto legal usado para avaliar a acção de uma pessoa (e.g. saber se está autorizada ou não a efectuá-la) depende do papel que ela está a desempenhar quando realiza essa acção. Mais ainda, os efeitos legais das suas acções dependem também desse papel. Considere-se, a título ilustrativo, uma situação onde uma pessoa tem um acidente de automóvel causando danos a um terceiro. As consequências legais deste facto dependem do papel que essa pessoa estava a desempenhar. Se estava a agir em seu próprio nome (e.g. a dirigir-se a casa) ela é a única responsável pelos danos causados. Mas se, pelo contrário, estava a trabalhar para uma empresa, muito provavelmente, a empresa também será responsabilizada.

Acabou de ser apresentada uma das formas como o Direito modela entidades colectivas organizadas através do conceito de *pessoa colectiva* e das relações jurídicas de *mandato* e *representação*. Foram também introduzidos os conceitos de *papel* e de *acção num papel*. Estes conceitos vão ser discutidos em mais detalhe nas próximas secções para em seguida serem transpostos para o contexto da agência colectiva organizada.

Vai fazer-se uma primeira introdução do conceito de *agente institucional*, situando-o no contexto da agência colectiva e tentando fixar claramente os contornos do problema em estudo.

4.3 Das pessoas colectivas para os agentes institucionais

O conceito de *pessoa* usado na secção anterior é agora substituído pelo conceito mais geral de *agente* (pessoa ou não).

Quando um grupo de agentes têm interesses comuns, não apenas ocasionais mas que persistem no tempo, precisando de agir conjuntamente, como um todo, para satisfazer esses interesses, esse grupo de agentes precisa de criar uma nova entidade. Esta nova entidade deverá ter os seus próprios recursos, mas sobretudo, deverá ter uma identidade própria, que a distinguirá do conjunto de agentes que a criou. Isto é fundamental por questões relacionadas com a comunicação com o exterior e por questões de estabilidade.

A nova entidade, continua a ser uma entidade colectiva, já que os agentes que a criaram continuam a estabelecer com ela relações particulares (associados, sócios, membros, etc.), mas em geral, esses agentes podem mudar sem que a identidade dessa nova entidade se altere. Esta entidade é criada para agir no mundo exterior; em geral pode estabelecer contratos ou outro tipo de relações com outros agentes. No caso de ter um "tipo legal" associado pode ainda ser responsabilizada pelo resultado das suas acções.

Em diversas circunstâncias esta entidade é vista pelo mundo exterior (e em muitos casos pelo sistema legal) como agindo em nome próprio (por si só) apesar de os seus actos não serem realizados directamente por ela, e como sendo sujeito de obrigações (ou outras noções deônticas) resultantes, por exemplo, de contratos estabelecidos com outros agentes.

Considera-se que apenas agentes e conjuntos de agentes têm capacidade para agir.

Considera-se ainda que noções deônticas (como obrigações) têm apenas significado quando aplicadas a agentes[6].

Por conseguinte, achou-se necessário encontrar uma denominação genérica para esta classe

[6]Isto não significa que não se possam definir, por exemplo obrigações, sobre um conjunto de agentes, como se viu no capítulo anterior, mas apenas se encaradas como abreviaturas de obrigações sobre cada um dos elementos do conjunto.

de entidades colectivas que salientasse o facto de elas serem agentes, embora agentes especiais. O nome *agente artificial* é usualmente associado a agentes de software. Foi então decidido chamar este tipo de entidade de *agente institucional*.

Tanto os agentes institucionais como os agentes de software são agentes artificiais, no sentido de não serem agentes humanos. Mas diferem em diversos aspectos.

Um primeiro comentário que importa fazer, é o de que, quando se fala em agentes de software, se considerarem os produtos de software que podem ser vistos como "entidades com capacidade de acção" (e.g. capazes de tomar iniciativa para agir), e não apenas meros instrumentos de trabalho. Estes agentes desempenham papéis que poderiam ser (e por vezes são também) desempenhados por agentes humanos, e frequentemente, os agentes que interagem com agentes de software não se apercebem se estão a interagir com um agente de software ou com um agente humano. Os agentes de software, contrariamente aos agentes institucionais, usualmente têm capacidade para agir directamente (e.g. uma caixa multibanco interage directamente com os seus utilizadores), embora em algumas sociedades mais complexas se possa também admitir que possam agir indirectamente. Podem interagir com outros agentes da sociedade mas nunca em nome próprio, agindo sempre em representação de outros agentes que, em última instância, são sempre agentes humanos. Deste último facto resulta que, contrariamente aos agentes humanos e aos agentes institucionais, os agentes de software nunca poderão ser responsabilizados pelos seus actos, dado não se considerar aceitável dizer que um agente de software "violou" uma norma legal, nem aplicar sanções a um agente de software. Quando em resultado de uma acção directa de um agente de software, se está perante uma situação não ideal, há sempre um agente humano ou um agente institucional que deverá ser responsabilizado por essa situação. Esse agente (humano ou institucional) pode ser o agente que utilizou o software (e.g. porque fez um uso ilegal desse software), o agente em nome da qual o software age (e.g. a instituição bancária no caso de uma caixa multibanco) ou o agente que construiu o software (e.g. no caso de "bugs" no software). A identificação dos agentes responsabilizáveis pelas acções efectuadas por agentes de software é crucial quando ocorrem situações não ideais.

Os agentes institucionais aqui considerados, não devem ser confundidos com o que usualmente se chama instituições. O termo *instituição* pode ser usado para referir um certo tipo de organizações ou entidades criadas com fins específicos (um hospital, uma igreja, um colégio, etc.), que podem também ser vistas como agentes institucionais, no sentido acima indicado. Mas o termo instituição também é usado para referir costumes, leis ou relações estabelecidas numa determinada sociedade ou comunidade (e.g. é neste sentido que se fala da "instituição casamento”). Este tipo de instituições não têm qualquer relação com os agentes intitucionais aqui em estudo.

O comportamento esperado para um agente institucional deve ser especificado *a priori*, pelo menos nos seus aspectos gerais. As actividades que ele deve realizar são divididas em classes e atribuídas a outros agentes (os agentes com capacidade de acção) através de relações que são criadas entre esses agentes e o agente institucional — relações de titularidade de papéis da estrutura do agente institucional. O comportamento esperado (ideal) dos agentes que agem na qualidade de titulares desses papéis, e a relação entre esse comportamento e o do agente institucional, devem ser especificados. E isto deve ser feito quando o agente institucional é criado[7].

O trabalho descrito nesta dissertação, teve como primeiro objectivo perceber conceptualmente como funcionam este tipo de entidades, para em seguida construir um modelo, tão simples quanto possível que se concentre apenas nos aspectos essenciais e definir uma linguagem de especificação de agentes institucionais. Esta linguagem deverá ser amigável e facilmente utilizável, mas deverá também ter um suporte formal que permita uma análise rigorosa dos conceitos envolvidos e das consequências da sua utilização.

Como tem sido afirmado, pretende-se definir um modelo e uma linguagem de especificação abstractos, útil para um primeiro nível de especificação de agentes institucionais e de sociedades de agentes que se concentre nos seus aspectos normativos, permitindo uma primeira descrição do comportamento esperado dos diversos agentes envolvidos, e que permita confrontar o comportamento efectivo dos agentes face a esse comportamento esperado, detectando a propagação dos efeitos das acções dos agentes e a ocorrência de comportamento não ideal. Há diversos aspectos dos quais foi necessário abstrair, para tornar o problema tratável e por não serem relevantes para o tipo de estudo pretendido.

Não se estudam as motivações dos agentes individuais para estabelecer uma particular relação com um agente institucional. Adopta-se uma perspectiva mais externa e pragmática. Alguns agentes anteriormente aceitaram ocupar posições na estrutura de um agente institucional. Quando o fizeram comprometeram-se formalmente (e.g. assinando um contrato) a aceitar as normas associadas à posição que ocupam, as quais descrevem o comportamento ideal/esperado para os titulares dessa posição, e a agir de acordo com essas normas. Mas esses agentes podem

[7] Nas pessoas colectivas o comportamento esperado ´e descrito nos seus estatutos.

decidir não agir de acordo com as normas[8]. O tipo de análise que se pretende efectuar, baseia-se na caracterização do comportamento ideal de um agente institucional e dos agentes associados e em comparar o comportamento efectivo desses agentes com o comportamento esperado.

Não se assume nenhum tipo de modelo concreto para os agentes individuais. O modelo proposto pode ser adoptado qualquer que seja a caracterização dos agentes individuais. O único requisito necessário é o de que os agentes individuais sejam capazes de agir, respeitando as normas ou não. Devem ainda ter a possibilidade de conhecer informação sobre a sociedade de que fazem parte: quais os seus papéis e os papéis de outros agentes, qual a caracterização deôntica de cada papel, qual a estrutura dos agentes institucionais com os quais interactuam, quais as relações normativas estabelecidas entre os agentes da sociedade e quais as normas definidas nessa sociedade[9]. As acções concretas que realizam, os mecanismos concretos de comunicação e de interação com outros agentes que usam, não são considerados por não serem relevantes a este nível de abstracção.

4.4 O conceito de papel na interacção entre agentes

4.4.1 O conceito de papel

Como se referiu anteriormente existem relações especiais entre um agente institucional e outros agentes que agem em seu nome (ou no seu interesse) tendo normas associadas que descrevem o comportamento ideal dos agentes envolvidos nessas relações e as consequências dos actos por eles efectuados. A essas relações correspondem papéis que os agentes podem desempenhar. Quando um agente desempenha um papel, por exemplo o papel de administrador de um agente institucional, ele tem diferentes poderes para agir (não necessariamente mais — apenas diferentes): há actos que ele apenas está permitido a realizar quando age no papel de administrador, assim como há deveres que ele tem de cumprir nesse papel. Mais ainda, quando ele age nesse pa-

[8] Isto pode acontecer por motivos diversos. Podem, por exemplo, não ter capacidades para desempenhar esses papéis, não conseguindo cumprir as obrigações a eles associadas (daí que nem todos os agentes possam ocupar qualquer posição). Não vão ser aqui discutidas as causas possíveis para o incumprimento de obrigações. Limitamo--nos a detectá-las.

[9] Note-se que é precisamente isto que acontece nas sociedades humanas, onde este tipo de informação é pública (qualquer pessoa tem a possibilidade de ter acesso a essa informação). Isto não significa que se deva excluir a possibilidade da existência de informação privada (por exemplo acerca do funcionamento interno de uma organização) a que apenas um número restrito de agentes deva ter acesso.

pel, as suas acções podem afectar o agente institucional (e.g. dando origem a novas obrigações).

Mas o conceito de papel e de acção num papel não é apenas relevante no contexto do comportamento de agentes institucionais. De facto, os papéis são artefactos fundamentais para a compreensão e a descrição da acção de agentes e da interacção entre agentes.

Os papéis podem ser vistos como *qualidades dos agentes*, relevantes para a descrição da interacção entre agentes. Algumas dessas qualidades expressam *propriedades* que os agentes têm independentemente de outros agentes (e.g. pai, proprietário, polícia), outras expressam *relações entre agentes* (e.g. administrador da empresa y, empregado de z). E os papéis são usados, nomeadamente no contexto da agência colectiva organizada, como um mecanismo de alto nível de estruturação dos comportamentos desejados, através da associação a papéis de noções deônticas descrevendo as obrigações e permissões dos agentes que podem desempenhar esses papéis, i.e. que têm as correspondentes qualidades.

Para agir num papel um agente tem de estar qualificado para desempenhar esse papel (e.g. porque esse papel lhe foi formalmente atribuído num contrato). Há situações em que não é suficiente estar qualificado para desempenhar um papel, sendo necessário provar que se tem a qualificação exigida. Essa qualificação deverá ser autenticada de alguma forma (e.g. pelo contexto ou através de um documento específico).

Associado a um papel existem obrigações, permissões e proibições, referindo estados abstractos que os agentes titulares desse papel estão obrigados, permitidos e proibidos de produzir. Mas os papéis não devem ser confundidos com a sua caracterização deôntica, ou seja, os papéis não se podem reduzir a meros conjuntos de obrigações, permissões ou outros conceitos normativos. Por um lado (pelo menos hipoteticamente), dois papéis diferentes podem ter caracterizações deônticas equivalentes. Por outro lado, a caracterização deôntica de um papel pode variar ao longo do tempo.

Associado a um papel existe um conjunto de agentes (eventualmente singular): o conjunto dos titulares desse papel. Mas este conjunto de agentes não deve ser identificado com o papel: por um lado, o mesmo conjunto de agentes pode corresponder ao conjunto de titulares de diferentes papéis, e, por outro lado, o conjunto de titulares de um papel pode mudar.

Contrariamente a outros autores (ver e.g. [24]), considera-se que não se devem ver papéis como agentes[10]. Os agentes podem agir enquanto que os papéis não. Quando um papel tem

[10] Em [24] os papéis são vistos como "agentes virtuais", e são usados na caracterização semântica dos operadores deônticos, onde, por exemplo, PE_iB é verdadeira num mundo w se existe um mundo w_1 e um papel autorizado r, associado a i, tal que E_rB é verdadeiro em w_1, considerando-se que em w_1, r age em vez de i.

apenas um titular, como por exemplo, o papel de presidente da direcção de uma organização k, essa identificação não é perigosa. Quando se diz que, por exemplo, o presidente da direcção de k produz B, o que se quer dizer é que o agente que é titular do papel de presidente da direcção de k, produz B, agindo nessa qualidade. Mas considere-se agora um papel que pode ter vários titulares, como por exemplo, o papel de administrador de k. O que significa dizer que o papel de administrador de k, produz B? Significa que um agente que é de facto administrador de k, produz B agindo nessa qualidade? Ou significa que todos os agentes que são actualmente administradores de k (i.e. que são actualmente titulares do papel de administrador de k), agiram conjuntamente para produzir B? Um outro exemplo, o que significa dizer que o papel de pai produz B?

Mas afinal o que é um papel?

Considera-se que papéis e propriedades de agentes podem ser vistos como "duas faces da mesma moeda". A cada papel corresponde uma propriedade que um agente pode ter: a propriedade de ser titular desse papel (e.g. ao papel de pai corresponde a propriedade de ser pai; e ao papel de administrador de uma empresa k corresponde a propriedade de ser administrador da empresa k). E a cada propriedade de um agente pode-se, *a priori*, associar um papel que um agente pode desempenhar fazendo uso dessa propriedade. É evidente que na prática não se associa um papel a cada propriedade que um agente pode ter. Devem associar-se papéis a propriedades sempre que e apenas quando tal propriedade for relevante para alguma das suas acções (porque, por exemplo, tais acções podem apenas ser permitidas a agentes que tenham essa propriedade): por exemplo, apenas o dono do prédio $xpto$ ou algum seu representante pode vender o prédio $xpto$; apenas os agentes com a propriedade de serem administradores de uma empresa k estão permitidos a desempenhar um determinado tipo de actos. Irá ser dada particular atenção aos papéis que correspondam a relações entre agentes [11].

No formalismo a ser apresentado mais à frente, os papéis serão representados por nomes (possivelmente parametrizados), e a propriedade de ser titular de um papel r vai ser denotada por *is-r* (ou seja, *is-r(a)* é verdadeira se e só se o agente a for qualificado para desempenhar o papel r)[12].

[11] Tais papéis irão ser descritos por um nome terminado em "-of" (administrador-of, e.g.).

[12] Motivos relacionados com a publicação do trabalho aqui apresentado em conferências e revistas internacionais, levaram a que a notação usada na linguagem de base da lógica (e.g. símbolos de predicados) e na linguagem de especificação, esteja em Inglês. Nesta fase, não se considerou fundamental gerar uma versão em Português dessas linguagens. Contudo, os exemplos usados ao longo da dissertação estão, obviamente, em Português o que por vezes gera situções um pouco estranhas. Considere-se a título ilustrativo, o caso do símbolo de papel *administrador-of*, ou

4.4.2 Caracterização de papéis

Contratos e outro tipo de relações que se estabelecem entre agentes, são “fontes” de papéis e de qualificações de agentes. Por razões de simplicidade vão ser consideradas apenas relações binárias entre agentes. Outro tipo de papéis a que será dada particular importância, são os que correspondem à estrutura de entidades colectivas organizadas tais como pessoas colectivas. Esse tipo de papéis são usados para estruturar as relações entre a pessoa colectiva e as outras pessoas que suportam a sua estrutura[13]. Por exemplo, podem identificar-se numa pessoa colectiva do tipo *associação*, os papéis de *presidente da direcção* e de *membro do conselho fiscal*. Essas entidades colectivas organizadas foram denominadas *agentes institucionais* e a sua estrutura irá ser descrita por um conjunto de papéis e respectiva caracterização deôntica.

Os papéis originários de contratos ou de outras relações normativas similares, resultam da intervenção directa dos agentes envolvidos nos contratos. A caracterização deôntica desses papéis é parte integrante do contrato. Por essa razão os papéis criados num contrato particular são atribuídos aos agentes intervenientes nesse contrato e as obrigações ou outros conceitos normativos são atribuídas a esses agentes nos respectivos papéis. Considere-se, a título ilustrativo, dois agentes x e y que estabelecem um contrato de mandato entre si, onde se determina que x é mandatário de y e x tem a obrigação de produzir ψ agindo no papel de mandatário de y, e que y é mandante de x e y, na qualidade de mandante de x, tem a obrigação de assegurar que x tem os meios necessários para produzir ψ. Saliente-se que os papéis originados neste contrato, mandatário e mandante, estão associados a agentes concretos, x e y respectivamente, e que as obrigações correspondentes estão associadas não apenas aos papéis mas também aos agentes nos papéis respectivos.

Pelo contrário, os papéis que constituem a estrutura de um agente institucional e a sua respectiva caracterização deôntica, fazem parte da identidade do agente institucional, a qual não depende dos agentes concretos que num determinado momento são titulares desses papéis. Por conseguinte, as obrigações, ou outros conceitos normativos, são associados aos papéis e só *a posteriori* aos agentes titulares desses papéis. Esses agentes podem mudar mas os papéis e a sua caracterização deôntica permanecem. Por exemplo, o papel de presidente da administração de x tem uma caracterização deôntica definida no momento da criação do agente institucional x, a qual é independente do agente concreto que num determinado momento desempenha esse papel.

---

do s´ı mbolo de predicado *is-membro-of*.

[13]Numa primeira fase n˜ao ser˜ao considerados os org˜aos de uma pessoa colectiva, considerando-se apenas os pap´eis.

Chamamos *cardinalidade* de um papel ao número de agentes que podem ser titulares desse papel, em simultâneo. Há papéis tais como o de presidente da administração de x, que tem cardinalidade um, i.e. em cada momento tem apenas um titular. Outros papéis poderão ter vários titulares como, por exemplo, associado de x ou administrador de x.

Um agente pode ser titular de vários papéis (mesmo que esses papéis façam parte da estrutura do mesmo agente institucional). Mesmo os agentes artificiais (agentes “software”/“hardware”) podem ser titulares e agir em diferentes papéis. Considere-se, por exemplo, uma caixa multi-banco, que pode ser vista como desempenhando o papel de empregado de um banco, ou como empregado de outras empresas (quando usamos a caixa multi-banco para pagar a electricidade, o telefone, etc.).

Não é imposta qualquer noção de consistência entre papéis diferentes. Isto significa que um agente pode estar sujeito a obrigações contraditórias em diferentes papéis. Apenas impomos a consistência da caracterização deôntica num mesmo papel.

Podem definir-se restrições de *dependência* sobre a titularidade de papéis. Nomeadamente, podem definir-se restrições de *incompatibilidade* sobre a titularidade de dois papéis, determinando que a mesma pessoa não pode ser titular desses papéis, ao mesmo tempo. Considere-se, por exemplo os dois seguintes papéis incompatíveis: jogador de futebol do Porto e jogador de futebol do Benfica. Como outro exemplo tem-se que um agente que seja titular do papel de membro do conselho fiscal de x, não pode ser titular do papel de membro da direcção de x.

Podem ainda definir-se restrições de *implicação* sobre a titularidade de dois papéis, no sentido de a titularidade de um desses papéis implicar a titularidade do outro papel. Por exemplo, se um agente é titular do papel de Director do Departamento de Informática da Universidade do Minho, também é titular do papel de Membro do Conselho Científico do Departamento de Informática da Universidade do Minho. Mas o inverso não se verifica necessariamente.

Outro tipo de relação entre papéis é a relação de *sub-papel*. Um papel r_1 é um *sub-papel* de r_2 se r_1 é mais específico do que r_2 (e.g. r_1 herda todas as permissões associadas a r_2). Por exemplo, o papel de Director do Departamento de Informática é um sub-papel do papel de Membro do Departamento de Informática. Esta relação pode ser usada para evitar redundância na caracterização deôntica de papéis, como irá ser ilustrado.

No capítulo 6 estas relações serão caracterizadas formalmente.

Alguns dos papéis que correspondem a relações entre agentes podem ser classificados como *papéis de representação*, o que significa que os agentes titulares desses papéis (*representantes*) podem agir em nome dos agentes *representados*. Assim sendo, quando um agente age num papel de representação de um outro agente, ele não age em nome próprio mas em nome desse outro agente. As suas acções contam como acções do agente representado e os efeitos desses actos recaem, em princípio, sobre o agente representado. Isto não significa que o agente representante não possa ser responsabilizado pelos seus actos; em particular, se alguma acção proibida (ou mesmo ilegal) é realizada, em princípio ele também será responsabilizado por ela[14].

Não é usual que um agente tenha poderes de representação ilimitados. Associado a um papel de representação existe normalmente a definição do *âmbito da representação*: os estados específicos que um agente agindo nesse papel está autorizado a produzir em nome do representado. Contudo, não vai ser excluída a possibilidade de representação ilimitada, porque há situações em que os poderes de representação são praticamente ilimitados. Os papéis de representação vão ser cruciais no modelo dos agentes institucionais a apresentar.

Vai ser assumido que um agente age sempre num papel. Naturalmente, há situações em que um agente age sem exercer qualquer tipo específico de propriedade ou de relação com outros agentes. Nesses casos diz-se que o agente age no papel de ele próprio (esse papel será denotado por $itself$). Qualquer agente está qualificado para desempenhar o papel $itself$.

Como se relaciona o papel $itself$ com os outros papéis?

Pode surgir a tendência para assumir que $itself$ deva ser implicado por qualquer papel, no sentido de afirmar que se um agente age num qualquer papel então ele também age no papel de $itself$. Há muitas situações em que isto não se verifica. Por exemplo, quando um agente age num papel do tipo representação de outro agente ele não age em nome próprio.

Outra hipótese, seria considerar que $itself$ é um sub-papel de qualquer papel de que um agente x seja titular. De acordo com esta hipótese, o papel $itself$ herdaria todas as permissões de todos os papéis de que x é titular[15]. Isto significaria que x estaria permitido a fazer, como ele próprio, tudo o que estava permitido a fazer em algum dos outros papéis de que é titular. Mas isto não se verifica. Um agente membro da direcção de uma empresa pode ter permissão para

[14]Em termos legais, as consequências de tais acções ilegais podem ser muito variadas. Por exemplo, se alguém, agindo como representante de uma organização, comete um acto ilegal que causa danos a terceiros, uma possibilidade, entre outras, é a de o agente representante ser responsável pelas sanções criminais e a organização representada responsabilizada pelas eventuais indemnizações. Como é obvio, apenas agentes humanos podem ir "para a prisão".

[15]Alguns autores, tais como [43], [1] e [46], num contexto diferente, assumem este tipo de interpretação. Mais concretamente, eles consideram que quando um agente tenta agir para obter um resultado particular, sem especificar o papel em que age, isto deverá ser interpretado como se o agente tentasse obter esse resultado agindo em qualquer dos papéis que ele está qualificado a desempenhar. (Sobre o conceito de tentativa de acção num papel ver capítulo 7.)

usar o carro da empresa quando se desloca em trabalho, sem que tenha permissão para usar o carro em proveito próprio (e.g. quando vai de férias).

Também não é aceitável dizer que todos os papéis são sub-papéis do papel $itself$. Caso isso se verificasse, o papel $itself$ corresponderia a uma espécie de papel inicial (ou papel por omissão) com uma caracterização inicial (mínima). Mas uma vez mais tal facto não se verifica na realidade. Por exemplo, um agente pode ter permissão para expressar as suas opiniões políticas no papel de ele próprio e não estar permitido a fazê-lo no papel de administrador de uma empresa (porque, por exemplo, isso pode interferir com a opinião dos clientes acerca da empresa)[16].

É-se obrigado a concluir que normalmente não há qualquer tipo de relação padrão entre a caracterização deôntica de um agente no papel de ele próprio e esse agente noutro papel. Não se pode assumir nenhum tipo de relação particular entre o papel $itself$ e os outros papéis.

Outro tópico importante é a *composição de papéis*. Como se podem combinar papéis de forma a gerar papéis mais complexos? Deverá a sua caracterização deôntica obter-se fazendo a união das caracterizações deônticas dos papéis mais simples em causa? Por vezes sim, mas há situações em que tal não acontece. Pode existir, por exemplo, algum tipo de sobreposição entre papéis: face a contradições, por exemplo, um papel prevalece sobre o outro. Este é um assunto complexo que não será abordado nesta dissertação. De momento, considera-se que se um papel é elaborado, deve ser completamente caracterizado previamente, eventualmente fazendo uso das relações de dependência e de sub-papel com outros papéis.

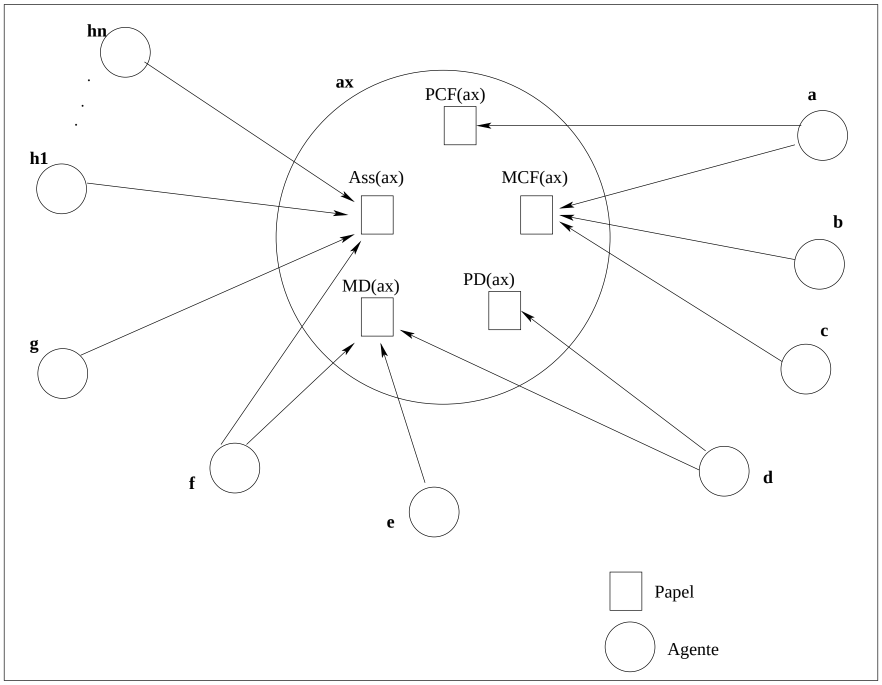
No futuro, deverá ser elaborada uma taxonomia de papéis suportando uma detalhada e mais elegante caracterização de papéis.

4.5 Agente institucional

Conclui-se este capítulo sintetizando a caracterização informal de um agente institucional. Considere-se, em primeiro lugar, a Fig. 4.2 onde se apresenta um exemplo de um agente institucional: *Associação X*[17].

[16]Naturalmente, há papéis que um agente não pode "despir". Por exemplo, o titular do papel de Presidente da República tem muita dificuldade em (e frequentemente não pode) "tirar" este papel e agir simplesmente como, e.g. membro de um clube de futebol. Em geral, os seus actos públicos serão sempre avaliados como actos do Presidente da República.

[17]Os agentes representados na figura não são necessariamente agentes humanos. Podem também ser agentes artificiais ou outros agentes institucionais.



Abreviaturas:

Associaç ˜ao X : ax

Membro da Direcç ˜ao da Associaç ˜ao X : $MD(ax)$

Presidente da Direcç ˜ao da Associaç ˜ao X : $PD(ax)$

Membro do Conselho Fiscal da Associaç ˜ao X : $MCF(ax)$

Presidente do Conselho Fiscal da Associaç ˜ao X : $PCF(ax)$

Associado de X : $Ass(ax)$

Legenda:

Agentes : $a, b, c, d, e, f, g, h_1, \cdots, h_n, ax$

Agentes institucionais: ax

Pap´eis da estrutura de ax:

$PCF(ax), MCF(ax), PD(ax),$
$MD(ax), Ass(ax)$

Figura 4.2: Associação X

Em primeiro lugar, agentes institucionais, como o próprio nome indica, são agentes. Interactuam na sociedade como qualquer outro agente: podem estabelecer contratos ou outras relações normativas com outros agentes, podem ser titulares de papéis, podem ser sujeitos de obrigações, permissões ou outros atributos normativas, e podem ser responsáveis pelo incumprimento de obrigações ou outras situações não-ideais.

Um agente institucional tem uma estrutura estável formada por um conjunto de papéis e por um conjunto de normas definindo a caracterização deôntica de cada papel[18]. Esta estrutura é suportada por outros agentes: os titulares de cada papel. Os agentes titulares de um determinado papel, “herdam” a caracterização deôntica desse papel (obrigações, permissões, etc.). Isto significa que ao agir nesse papel o comportamento do agente vai ser confrontado com essa caracterização deôntica (o comportamento esperado, nela descrito, vai ser confrontado com o comportamento efectivo do agente).

Existem normas que regulam o comportamento interno e externo do agente institucional. Por exemplo, terá de ser definido o mecanismo de transmissão de obrigações do agente institucional para os papéis da sua estrutura (e indirectamente para os titulares desses papéis), definindo quem será responsável pelo cumprimento dessas obrigações.

Outro aspecto que tem de ser definido, é o dos papéis de representação do agente institucional e o respectivo âmbito de representação, determinando quem está autorizado a agir em nome do agente institucional e para fazer o quê.

Um agente institucional não é capaz de agir directamente. Ele age através dos titulares dos papéis da sua estrutura. Os papéis e as normas que os regulam definem o comportamento esperado (ideal) do agente institucional. Os titulares dos papéis são os responsáveis por concretizar o comportamento pretendido. E por vezes desviam-se do ideal. O comportamento efectivo de um agente institucional é na prática da responsabilidade dos agentes que suportam a sua estrutura, e pode ser diferente do comportamento previsto, porque esses agentes podem não agir de acordo com as regras. No entanto, a responsabilidade por esse eventual comportamento não ideal tambem é atribuída ao agente institucional.

Os titulares dos papéis da estrutura de um agente institucional podem mudar sem que a identidade do agente institucional se altere: a sua estrutura permanece.

Os titulares dos papéis de um agente institucional não são necessariamente agentes humanos. Podem ser agentes artificiais ou mesmo outros agentes institucionais.

[18] Mais tarde ser˜ao incluidos org˜aos na estrutura de um agente institucional o que permitir´a uma especifi caç ˜ao mais estruturada.

Acabou de ser descrito informalmente o conceito de agente institucional. Torna-se agora necessário formalizar os conceitos introduzidos, para que possa ser apresentada a especificação formal de um agente institucional. No próximo capítulo apresenta-se uma lógica deôntica e de acção que servirá de suporte ao modelo formal a propor para os agentes institucionais (no capítulo 6).

Capítulo 5

Uma Lógica deôntica e de acção baseada em papéis: $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

Neste capítulo apresenta-se a lógica que vai ser usada na formalização dos diversos conceitos introduzidos no capítulo anterior. Começa-se por discutir a representação desses conceitos usando os operadores de acção apresentados no capítulo 3, concluindo-se pela necessidade da introdução de um novo operador de acção capaz de capturar o conceito de *acção de um agente num papel*. Apresenta-se em seguida a linguagem formal que a lógica tem por base, define-se uma semântica para essa linguagem e finalmente discutem-se os princípios lógicos que devem ser verificados e as restrições a impor à semântica que asseguram a validade desses princípios. Conclui-se o capítulo provando a correcção da lógica apresentada.

5.1 O operador de *acção de um agente num papel*

No capítulo 3 foram apresentadas lógicas de acção que, em combinação com lógicas deônticas, têm sido usadas para descrever a interacção entre agentes e diversos conceitos normativos complexos. No capítulo 4 foi discutida a relevância do conceito de *acção de um agente num papel* no contexto da especificação normativa de agentes institucionais e de sociedades de agentes. Dessa discussão resultaram dois apectos fundamentais na especificação de agentes institucionais: a definição de mecanismos que indiquem como as obrigações dos agentes institucionais se transmitem aos titulares dos papéis da estrutura do agente institucional, e, no sentido inverso, como as acções dos titulares de papéis da estrutura de um agente institucional podem "contar como" acções do agente institucional.

Coloca-se agora a questão da tradução, usando os operadores de acção apresentados no capítulo 3, desse "fluxo" das acções dos titulares de papéis da estrutura de um agente institucional, para esse agente institucional.

Considere-se que i é um qualquer agente, que k é um agente institucional, que ψ é um qualquer estado que está dentro do âmbito do papel de administrador de k e que *is-administrador-of(i,k)* é um predicado. Pode tentar traduzir-se o referido "fluxo de acções" de i para k, usando a fórmula:

(*) $is - administrador - of(i,k) \rightarrow (E_i\ \psi \rightarrow E_k\ \psi)$

com o seguinte significado: *se o agente i é (tem a qualidade de, ou é titular do papel de) administrador de k, então, se i produzir ψ, isso conta como se k tivesse produzido ψ.*

Um primeiro comentário acerca desta representação é o de que para uma tradução mais exacta da situação apresentada, seria necessário substituir a segunda implicação por um operador que capture a noção de "conta como" ("count as"), do tipo do proposto por Andrew Jones e Marek Sergot em [38][1], denotado por $\Rightarrow$, obtendo-se então:

(**) $is - administrador - of(i,k) \rightarrow (E_i\ \psi \Rightarrow E_k\ \psi)$

Esta questão não é central neste momento pelo que, neste capítulo, não se considera este operador "conta como". Será retomada mais tarde a discussão deste operador (ver capítulo 7).

O principal motivo para as expressões (*) e (**) não representarem adequadamente a situação apresentada, reside no facto de o operador de acção utilizado não indicar a qualidade (o papel) em que o agente i agiu quando produziu ψ. O predicado $is - administrador - of(i,k)$ expressa o facto de i ser administrador de k (o agente i tem essa qualificação), e por isso i pode desempenhar o papel de administrador de k. Mas isto não significa que i tenha agido nessa qualidade quando produziu ψ. O agente i pode estar qualificado para agir em diversos papéis (pode ter diversas

[1] Mais precisamente, o operador "count as" proposto em [38] é indexado por um identificador de um sistema s (que aqui poderia ser visto como representando a sociedade subjacente, ou o conjunto de normas que a regulam). Resumidamente, a ideia é a de que num sistema s (sociedade, organização, etc.) há normas determinando que alguns actos ou alguns estados de coisas *contam como*, ou *são classificados como* actos ou estados de uma natureza diferente. No capítulo 7 é feita uma breve referência a este operador.

qualidades) e pode produzir o mesmo estado ψ em diferentes qualidades, i.e. agindo em diversos papéis. Mas, como já se referiu, e se voltará a discutir, mais em pormenor, à frente, a qualidade em que um agente age é relevante em diversos aspectos.

Admita-se então que estendemos o operador de acção indicando explicitamente nesse operador a qualidade (o papel) usada pelo agente para produzir um determinado estado, permitindo que se escrevam fórmulas do género das seguintes[2]:

$$E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi$$

Como propriedades gerais, para qualquer papel e não apenas para o papel de *administrador-of(k)*, temos:

(i) $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi \rightarrow E_i\psi$

"Se o agente i produz ψ agindo num determinado papel, então i produz ψ".

Pode ver-se $E_i\ \ \psi$ como significando que o agente i produz ψ agindo nalguma qualidade que ele possui. É discutível se no âmbito de uma lógica de acção num papel fará sentido considerar um operador como E_i. De momento mantemos ambos os operadores de acção, deixando para mais tarde a discussão sobre a utilidade de o fazer.

(ii) $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi \rightarrow$ *is-administrador-of(i,k)*

"Se o agente i produz ψ agindo num determinado papel, então i está qualificado para desempenhar esse papel".

Como se disse anteriormente a identificação da qualidade em que um agente age é relevante em diversos aspectos. Vão em seguida ser apresentados três desses aspectos que se considera serem fundamentais.

[2]Mais tarde ser´a apresentada uma sintaxe mais concisa.

1. *Efeitos das acções*.

Os efeitos de uma acção (e.g. consequências legais) realizada por i dependem da qualidade em que i agiu. E apesar de (*) não dever ser válido, é correcto dizer que uma acção realizada por i no papel de administrador de k, conta como uma acção realizada por k [3], o que pode ser expresso da seguinte forma:

(***) $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi \rightarrow E_k\ \psi$

Admitindo que $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi$ se verifica, de **(i)** e de (***), pode deduzir-se que se verificam $E_i\ \psi$ e $E_k\ \psi$. Mas ainda não é este o resultado pretendido. Em primeiro lugar, porque não permite discriminar i e k relativamente à produção de ψ, de forma a que se possam analisar as consequências (e.g. jurídicas) do acto. Em segundo lugar, como se está a tentar definir uma lógica para o conceito de acção num papel, onde se pretende assumir que um agente quando age fá-lo sempre num papel, terá de se saber em que papel se deverá dizer que o agente k age ao produzir ψ, em virtude do facto de um dos seus administradores ter produzido ψ.

O que se pretende realmente expressar é o facto de que quando i age como administrador de k (ou num qualquer outro papel de representação de k) isso conta como se k, ele próprio, tivesse agido. Introduzindo o papel $itself$, pode dizer-se com naturalidade que:

(iii) $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi \rightarrow E_{k\ agindo\ na\ qualidade\ de\ itself}\ \psi$

(iv) $E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ administrador-of(k)}\ \psi \rightarrow \neg E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ itself}\ \psi$

Note-se que estes princípios, associados à acção no papel de *administrador-of(k)*, não podem ser generalizados directamente à acção em outra qualquer qualidade. Só os papéis de representação obedecem a princípios similares[4]. Note-se ainda que de **(iii)** e da generalização de **(i)** a uma qualquer qualidade, se pode deduzir (***).

[3] Isto acontece devido aos poderes de representação normalmente associados ao papel de administrador. Este assunto será discutido com mais rigor quando se abordar a questão dos papéis de representação, no capítulo 6.

[4] Um interessante tópico de investigação que não será abordado nesta dissertação é o da representação dos efeitos de uma acção, especialmente os efeitos de natureza jurídica. Intuitivamente, parece natural afirmar que os efeitos de uma acção afectam essencialmente os agentes que agem em nome próprio. Note-se que quando i age como

Relativamente ao princípio **(iv)**, para alguns papéis $r(\cdots)$, terá interesse aceitar que:

$$E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ r(\cdots)}\ \psi \ \wedge \ E_{i\ agindo\ na\ qualidade\ de\ itself}\ \psi$$

seja consistente. Mas, pelo menos, rejeita-se a validade de um princípio genérico da forma:

$$E_{i\ \ agindo\ no\ papel\ de\ r(\cdots)}\ \psi \rightarrow E_{i\ \ agindo\ no\ papel\ de\ itself}\ \psi.$$

2. *Qualificação deôntica*.

   Um agente pode estar autorizado ou mesmo obrigado a produzir ψ agindo em determinados papéis, mas não o estar autorizado (ou obrigado) a fazer quando age noutros papéis. Por exemplo, um agente i, que num determinado momento não tem permissão para produzir ψ no papel de ele próprio, ao assumir o papel de administrador de k pode passar a estar autorizado a produzir ψ agindo nesse papel. Por conseguinte, a qualificação deôntica da acção de um agente, depende do papel em que o agente age.

3. *Autenticação*.

   Como um agente pode estar autorizado a produzir determinados estados de coisas ao agir em certos papéis e não estar autorizado a fazê-lo em outros, torna-se essencial determinar o papel em que um agente tenciona agir, o que conduz ao problema da autenticação. Este assunto é particularmente importante em algumas aplicações computacionais (e.g. ver [1], [43] e [46]), mas também em outro tipo de situações sem qualquer relação com aspectos computacionais. Quando um agente pretende produzir algo que ele apenas está autorizado a produzir num determinado papel, não é suficiente que ele esteja qualificado para o fazer, i.e. que seja titular desse papel, pode ser-lhe exigido que *prove* que de facto possui a qualificação requerida (usualmente através de um documento formal). Por *autenticação* entende-se a prova de uma qualificação de um agente quando este a pretende exercer. O

representante de k, as consequências jurídicas das acções de i recaem sobre k e não sobre i (a não ser que i cometa alguma ilegalidade, podendo nesse caso também ser responsabilizado).

que o princípio **(ii)** traduz é a qualificação que deverá ser autenticada quando o agente age nessa qualidade.

Com excepção da qualidade $itself$ que todo o agente pode exercer sem necessidade de autenticação, pode ser assumido que todas as outras qualidades podem precisar de ser autenticadas. Considere-se, a título ilustrativo, a seguinte situação: "Um agente i agindo no papel de representante do agente k, que por sua vez age na qualidade de dono de um prédio $xpto$, vende o prédio $xpto$". Nesta situação há duas qualidades que requerem autenticação: a qualidade de *representante do agente* i, e a qualidade de *dono do prédio* $xpto$ do agente k.

Considere-se agora uma outra situação onde i é representante do agente institucional k que por sua vez está relacionado com um outro agente institucional z, sendo k titular do papel de administrador de z [5]. Pode ter interesse expressar e distinguir duas situações diferentes:

a) i produz ψ agindo na qualidade de representante de k;

b) i produz ψ agindo na qualidade de representante de k quando este age na qualidade de administrador de z.

Isto pode ser importante por várias razões. Em primeiro lugar, porque **a)** pode estar autorizada e **b)** não. Em segundo lugar, na situação **b)** é necessário não apenas verificar duas qualificações — saber se i é representante de k e se k é administrador de z —, como também se pretende deduzir (usando as propriedades associadas aos papéis de representação) que ela implica (conta como):

c) k produz ψ agindo na qualidade de administrador de z

e de **c)**, usando as propriedades do papel de administrador de z, que se assume ser do tipo representação, deduzir:

d) z produz ψ agindo na qualidade de ele próprio.

[5] Se se considerar o caso da AIM (Associaç ˜ao Industrial do Minho), podemos ter o agente i como sendo uma pessoa concreta, k uma empresa espec´ı fi ca e z a associaç ˜ao AIM (ver apˆendice C).

Estes exemplos sugerem que se estenda a noção de acção de um agente num papel que o relaciona com outro agente, para uma noção de *acção de um agente num papel que o relaciona com outro agente, quando este também se encontra a desempenhar um papel específico*. A acção de um agente num papel que o relaciona com outro agente, pode sempre ser vista como a acção de um agente num papel que o relaciona com outro agente, estando este último no papel de ele próprio ($itself$).

Vamos adoptar esta generalização no texto subsequente. Na próxima secção será explicado como formalizar esta generalização. De momento, podemos representar **a)** e **b)** como se segue (abreviando a expressão "*agindo na qualidade de*" por ":"):

a) $E_{i\,:\,representante-of(k:itself)}\ \psi$

b) $E_{i\,:\,representante-of(k:administrador-of(z:itself))}\ \psi$

Outras abreviaturas serão introduzidas posteriormente para simplificar a linguagem.

Antes de concluir esta secção, note-se que da mesma maneira que se permite a indexação do operador de acção E por um conjunto de agentes em vez de por um único agente (veja-se o capítulo 3), também deve ser considerada a hipótese da indexação desse operador por um conjunto de agentes em papéis. De facto tal operador vai ser considerado mas será apenas introduzido no capítulo 6. Contudo, importa salientar desde já que não vai ser permitida a acção de um conjunto de agentes quando esse conjunto age num papel. A principal motivação para este facto está relacionada com problemas de autenticação. Considera-se que não faz qualquer sentido provar que um conjunto de agentes está qualificado para desempenhar um papel. A tentativa da prova da qualificação de um conjunto de agentes, pode reduzir-se a uma de duas situações. Ou se prova que todos os elementos do conjunto têm a qualificação desejada, e estamos no caso de um conjunto de agentes em papéis, cada um deles agindo numa mesma qualidade (no mesmo papel). Ou, caso isso não aconteça (situação em que só alguns membros do conjunto possuem essa qualidade e estão autorizados a agir em nome do conjunto), estamos perante um agente institucional agindo num papel (não sendo adequado representá-lo como um conjunto), o que corresponde a um caso particular da acção de um agente num papel. Numa primeira fase vai-se abstrair da acção de um conjunto de agentes quando estes desempenham papéis, para focar a atenção na acção de um agente num papel e na sua caracterização formal.

Vai em seguida definir-se a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, começando por se apresentar a linguagem formal de base.

5.2 A linguagem $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

A linguagem formal associada à lógica, designada por $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, é uma linguagem multi-modal e multi-género de $1.^a$ ordem.

Caracterizam-se em detalhe os diversos componentes do alfabeto de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, omitindo no entanto uma descrição formal completa do alfabeto, a qual poderá ser facilmente inferida [6].

A componente não modal de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ é uma linguagem de $1.^a$ ordem multi-género [25] que iremos designar por $\mathcal{L}$ [7]. Tem um conjunto finito de géneros, sendo de distinguir nesse conjunto o género Ag - o género *agente*. Esta é a linguagem usada para expressar descrições factuais e propriedades e relações entre agentes. Para distinguir agentes institucionais de agentes não institucionais, introduz-se um predicado $is - institutionalized$, de género (Ag).

Tem ainda um conjunto finito (eventualmente vazio) de símbolos de funções. Não serão considerados símbolos de função tendo como co-domínio o género Ag, por não se considerarem fundamentais para os propósitos desta dissertação. Alguns dos símbolos de função podem ser classificados como *rí gidos*, sendo os restantes classificados como *não rí gidos* (c.f. capítulo 2).

Para cada género s assume-se a existência de um número infinito de variáveis (escreve-se x^s para indicar que a variável é do género s) e eventualmente algumas constantes (convenciona-se que $i, i_1, \ldots, j, j_1, \ldots, k, k_1, \ldots$ são constantes de género Ag, denotando agentes concretos, institucionais ou não). Tal como as variáveis, todas as constantes serão tratadas como designadores rígidos.

Os símbolos de predicados cujo género contém parâmetros de género Ag são chamados de símbolos de *qualidades de agentes*. Apenas se consideram símbolos de qualidades de agentes contendo no máximo dois parâmetros de género Ag. Se contêm apenas um parâmetro de género Ag, são chamados de símbolos de *propriedades de agentes*. Se contêm dois parâmetros de género Ag são chamados de símbolos de *relações entre agentes*. Como “açucar sintáctico”,

[6] Ver no capítulo 2 uma descrição genérica do alfabeto deste tipo de linguagens.

[7] Mais precisamente, não se está aqui a definir uma única linguagem mas sim uma classe de linguagens, que poderão variar precisamente na componente não modal que consideram. O que se segue é o conjunto de requisitos que tal componente não modal terá de satisfazer para estarmos em presença de uma linguagem do tipo $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

convenciona-se que os símbolos de qualidades de agentes têm a forma de $is-$ seguido de um símbolo que chamamos de símbolo de *gerador de papel* (que genéricamente é denotado por $rg, rg_1, \ldots$). Convenciona-se ainda que os parâmetros de género Ag destes predicados, aparecem no início da sequência dos seus parâmetros; isto significa que um qualquer símbolo de qualidades de agentes, $is{-}rg$, será do género $(Ag, s_1, \ldots, s_n)$ ou do género $(Ag, Ag, s_1, \ldots, s_n)$, para $n \geq 0$ e $s_j \neq Ag$, para $j = 1, \ldots, n$. Tem-se também um símbolo especial de propriedades de agentes, $is - itself$, de género (Ag) que será usado nas situações em que um agente se apresenta na qualidade de ele próprio.

Quanto aos símbolos de relações entre agentes, convenciona-se que irão terminar em $-of$ (e.g., $is - associado - of(i, k)$).

Apesar de o género dos símbolos de qualidades de agentes poderem ter géneros distintos de Ag [8], nos exemplos que irão ser tratados, essa situação será pouco frequente, pelo que, em geral, se consideram géneros de símbolos de qualidades de agentes contendo parâmetros apenas de género Ag.

O conjunto de termos de $\mathcal{L}$ é definido da forma usual:

Definição 5.1 *Termos de $\mathcal{L}$*

i) Se c^s é uma constante de género s então c^s é um termo de género s;

ii) se x^s é uma variável de género s então x^s é um termo de género s;

iii) se f é uma função de género $s_1 \times \cdots \times s_k \longrightarrow s$ e $t_i (1 \leq i \leq k)$ é um termo de género s_i, então $f(t_1, \ldots, t_k)$ é um termo de género s.

(sendo $s, s_1, \ldots, s_n$ géneros de $\mathcal{L}$). ♦

Irão ser usados $t^s, t_1^s, \ldots, u^s, u_1^s, \ldots$ para indicar termos de género s, e $t, t_1, \ldots, u, u_1, \ldots$ para referir termos de género apropriado.

O conjunto dos termos rígidos de $\mathcal{L}$ é o subconjunto dos termos de $\mathcal{L}$ que é gerado a partir das constantes e variáveis pelas funções classificadas de rígidas. Assim, tem-se, em particular, que todos os termos de género Ag são rígidos.

O conjunto das fórmulas de $\mathcal{L}$ é definido da forma usual.

[8] Por exemplo $is - associado - of$ de género (Ag, Ag, N), tendo $is - associado - of(i, k, n)$ o significado seguinte: "o agente i é o associado número n de k".

Definição 5.2 As *fórmulas de* $\mathcal{L}$ definem-se indutivamente como se segue:

i) Se p é um predicado de género $(s_1, \ldots, s_k)$ e $t_i (1 \leq i \leq k)$ é um termo de género s_i, então $p(t_1, \ldots, t_k)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}$ (*formula atómica*).

ii) Se ϕ é uma formula de $\mathcal{L}$, então $(\neg\phi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}$.

iii) Se ϕ e ψ são formulas de $\mathcal{L}$, então $(\phi \rightarrow \psi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}$.

iv) Se ϕ é uma formula de $\mathcal{L}$, e x^s é uma variável de género s, então $(\forall_{x^s})\phi$ é uma fórmula de $\mathcal{L}$.

(Sendo $s, s_1, \ldots, s_k$ géneros de $\mathcal{L}$.)⧫

Chamam-se *qualificações* as fórmulas atómicas geradas a partir dos símbolos de qualidades de agentes.

Estende-se agora a linguagem $\mathcal{L}$ com dois novos géneros: R (género *papel*) e AgR (género *agente num papel*). Para facilitar a apresentação da definição dos termos destes géneros, vai associar-se um género aos símbolos de papel, do seguinte modo:

- se $is - rg$ é de género $(Ag, s_1, \ldots, s_n)$,
  então diz-se que rg é de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$;

- se $is - rg$ é de género $(Ag, Ag, s_1, \ldots, s_n)$,
  então diz-se que rg é de género $(AgR, s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$.

O conjunto dos termos de género R e de género AgR é então definido indutivamente como se segue:

Definição 5.3 *Termos de género R e de género AgR*

i) Se t^{Ag} é um termo de género Ag (variável ou constante), $n \geq 0$, rg é um símbolo de gerador de papel de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$, e $t_j^{s_j}$ é um termo rígido de género s_j $(j = 1, \ldots, n)$, então $rg(t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$ é um papel (i.e. um termo de género R) e $t^{Ag} : rg(t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$ $(t^{Ag} : rg, \;\; se \;\; n = 0)$ é um termo de género AgR (que se diz ser indexado por t^{Ag}).

ii) se t^{Ag} é um termo de género Ag, $n \geq 0$, rg é um símbolo de gerador de papel de género $(AgR, s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$, u^{AgR} é um termo de género AgR [9], e $t_j^{s_j}$ é um termo rígido de género s_j $(j = 1, \ldots, n)$, então $rg(u^{AgR}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$ é um papel e $t^{Ag} : rg(u^{AgR}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$ é um termo de género AgR (indexado por t^{Ag}). ♦

Concluindo, um termo de género AgR é sempre da forma $t^{Ag} : v^R$, sendo t^{Ag} um termo de género Ag e v^R um termo de género R.

As seguintes abreviaturas encurtam e tornam mais intuitivas algumas descrições:

- $t^{Ag} : t^{Ag}$ é uma abreviatura de $t^{Ag} : itself$.
- $rg(u^{Ag}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$ (sendo u^{Ag} um termo de género Ag e não de género AgR) é uma abreviatura de $rg(u^{Ag} : u^{Ag}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$, que por sua vez é uma abreviatura de $rg(u^{Ag} : itself, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$.

Definição 5.4 O conjunto das *fórmulas de* $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ é gerado indutivamente como se segue:

i) se ϕ é uma fórmula de $\mathcal{L}$, então ϕ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ (uma *fórmula não modal*);

ii) se ϕ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, então $(\neg\phi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$;

iii) se ϕ_1 e ϕ_2 são fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, então $(\phi_1 \to \phi_2)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$;

iv) se x^s é uma variável de género s de $\mathcal{L}$ (não se têm variáveis de género R ou de género AgR), e ϕ é uma fórmula (não necessariamente de $\mathcal{L}$), então $(\forall_{x^s})\phi$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$;

v) se ϕ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, então $(O\ \ \phi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ (uma *fórmula deôntica*);

vi) se t é um termo de género Ag, ou de género AgR, e ϕ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, então $(E_t\ \ \phi)$ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ (uma *fórmula de acção* indexada por t).♦

Os conectivos proposicionais habituais e o quantificador existencial são introduzidos através das abreviaturas usuais, e os parênteses serão omitidos usando as convenções usuais (ver cap.2).

São necessários alguns comentários adicionais acerca do tipo de fórmulas relevantes. Não irão ser abordadas questões de controlo entre agentes. Por conseguinte, fórmulas da forma

[9] Em situações normais, apenas fará sentido considerar que nesta definição u^{AgR} é um termo de género AgR não indexado por t^{Ag}. Mas não se considera conveniente complicar a linguagem com este requisito.

$E_t E_{t_1}\phi$ ou da forma $E_t(\forall_{x^{A_g}})E_{x^{Ag}}\phi$, não irão ser consideradas nesta tese. Consideramos também que pode não ser claro e pode conduzir a interpretações erróneas, considerar numa mesma linguagem obrigações pessoais e impessoais. Por esse motivo, as únicas fórmulas deônticas que irão ser objecto de estudo têm uma das seguintes formas

$OE_t\phi \quad (= O_t\phi)$,
$\neg O\neg E_t\phi \quad (= P_t\phi)$ ou
$O\neg E_t\phi \quad (= F_t\phi)$.

Contudo, para evitar complicar a linguagem formal, não serão excluídas da linguagem as fórmulas que não são objecto de estudo nesta dissertação. Por outro lado, é de salientar que fórmulas com a forma $E_tOE_{t_1}\ \psi$ têm interesse no contexto desta dissertação e irão ser consideradas.

Para concluir esta discussão, quer-se apenas referir que uma possível alternativa para a selecção dos operadores deônticos relevantes, consistiria em excluir o operador deôntico de obrigação impessoal, O, e introduzir como operadores primitivos os operadores deônticos pessoais O_t e P_t (ou O_t e F_t).

5.3 Semântica de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

A semântica de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ é definida usando os modelos mínimos de $1.^a$ ordem, introduzidos de uma forma genérica no capítulo 2 e instanciados, em seguida, para a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

Definição 5.5 Os modelos de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ tomam a seguinte forma: $M =< W, I, f_e, f_o >$ onde:

- W é um conjunto não vazio de mundos possíveis.
- I atribui uma estrutura de interpretação à linguagem de $1.^a$ ordem multi-género $\mathcal{L}$, em cada mundo, com as seguintes características[10]:

  i) O domínio associado a cada género s, $I(w, s)$, é um conjunto não vazio, denotado por D_s, e é o mesmo em cada mundo, i.e.:
  $I(w, s) = I(w_1, s)$, para quaisquer w e $w_1 \in W$;

[10]Nos items ii) e iii) os g´eneros $s_1, \ldots, s_n$ podem ser de g´enero Ag.

ii) $I(w, f) : D_{s_1} \times \ldots \times D_{s_n} \longrightarrow D_s$, se f é um símbolo de função de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow s)$, e $I(w, f) = I(w_1, f)$ (para quaisquer w e $w_1 \in W$), se f é um símbolo de função rígido;

iii) $I(w, p) \subseteq D_{s_1} \times \ldots \times D_{s_n}$, se p é um símbolo de predicado de género $(s_1, \ldots, s_n)$ [11];

iv) Se c é uma constante, então $I(w, c) = I(w_1, c)$ (como foi anteriormente referido, todas as constantes são consideradas como designadores *rí gidos*);

v) $I(w, is - himself) = D_{Ag}$.

- Os conjuntos D_R e D_{AgR}, domínios de R e de AgR, respectivamente, são definidos indutivamente da seguinte forma:

i) se rg é um símbolo de gerador de papel de género $(s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$, $a \in D_{Ag}$ e $a_j \in D_{s_j}(j = 1, \ldots, n)$, então $rg(a_1, \ldots, a_n) \in D_R$ e $a : rg(a_1, \ldots, a_n) \in D_{AgR}$;

ii) se rg é um símbolo de gerador de papel de género $(AgR, s_1, \ldots, s_n \longrightarrow R)$, $a \in D_{Ag}$, $b \in D_{AgR}$ e $a_j \in D_{s_j}(j = 1, \ldots, n)$, então $rg(b, a_1, \ldots, a_n) \in D_R$ e $a : rg(b, a_1, \ldots, a_n) \in D_{AgR}$.

- $f_e : (D_{Ag} \cup D_{AgR}) \times 2^W \longrightarrow 2^W$ e

  para $a \in D_{Ag}$ e $Z \subseteq W$, $f_e(a, Z)$ denota o conjunto de mundos onde o agente a faz com que Z se verifique;
  $f_e(a : rg(\cdots), Z)$ denota o conjunto de mundos onde o agente a, agindo no papel $rg(\cdots)$, faz com que Z se verifique.

- $f_o : 2^W \longrightarrow 2^W$, e $f_o(Z)$, para $Z \subseteq W$, denota o conjunto de mundos onde a proposição Z é obrigatória. ♦

Em vez de se considerar uma única função $f_e : (D_{Ag} \cup D_{AgR}) \times 2^W \longrightarrow 2^W$, pode-se, de forma equivalente, considerar uma família de funções de 2^W para 2^W, uma para cada $b \in (D_{Ag} \cup D_{AgR})$. No texto subsequente, para cada $b \in D_{Ag}$ ou $b \in D_{AgR}$, f_{e_b} denota a função $f_{e_b} : 2^W \longrightarrow 2^W$ definida como se segue: $f_{e_b}(Z) = f_e(b, Z)$.

[11] Embora não o tenhamos feito, poderíamos ter permitido na definição das linguagens $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ que alguns dos símbolos de predicados (que não fossem símbolos de qualidades de agentes) pudessem ser classificados de rígidos. Em tal caso, a interpretação desses predicados seria a mesma em todos os mundos (num modelo).

Definição 5.6 *Valoração*
Dado um modelo M, define-se uma função de *valoração* v, como uma função que aplica cada mundo w e cada termo t de género s, num elemento de D_s (denotado por $v(w,t)$), satisfazendo os seguintes requisitos:

- Se t é um termo de género distinto de R e de AgR, então $v(w,t)$ é definido da forma usual:
  $v(w,c) = I(w,c)$, se c é uma constante,
  e $v(w, f(t_1,\ldots,t_n)) = I(w,f)(v(w,t_1),\ldots,v(w,t_n))$, se f é uma função.
- Para cada variável x^s, $v(w,x^s) = v(w_1,x^s)$, o que significa que as variáveis são rígidas.
- Para os termos de género R e de género AgR, tem-se:
  $v(w, rg(t_1,\ldots,t_n)) = rg(v(w,t_1),\ldots,v(w,t_n))$
  e $v(w, t : rg(t_1,\ldots,t_n)) = v(w,t) : v(w, rg(t_1,\ldots,t_n))$,
  onde rg é um qualquer símbolo de gerador de papel e $t, t_1,\ldots,t_n$ são termos de género apropriado. ♦

Isto significa que rg denota rg em qualquer mundo[12]. Por outro lado, como os termos de géneros de $\mathcal{L}$ que ocorrem em $rg(t_1,\ldots,t_n)$ e em $t : rg(t_1,\ldots,t_n)$ são termos rígidos, é fácil verificar que $v(w, rg(t_1,\ldots,t_n))$ e $v(w, t : rg(t_1,\ldots,t_n))$ são independentes de w. Pode-se então concluir que $rg(t_1,\ldots,t_n)$ e $t : rg(t_1,\ldots,t_n)$ podem também ser considerados como *termos rígidos*. Assim os termos rígidos da linguagem $\mathcal{L}$ estendida (com os géneros R e AgR) são os termos rígidos de $\mathcal{L}$ (i.e. as constantes, as variáveis, os termos que se obtêm aplicando símbolos de função rígidos a termos rígidos), mais os termos de género R ou AgR.

Se t é um termo rígido, então $v(w,t)$ é independente de w e pode-se escrever simplesmente $v(t)$, em vez de $v(w,t)$.

Definição 5.7 A *veracidade de uma fórmula* num mundo w e relativamente a uma valoração v num modelo M, é definida como se segue:

i) $M \models_{w,v} p(t_1,\ldots,t_n)$ sse $< v(w,t_1),\ldots,v(w,t_n) > \in I(w,p)$;

ii) $M \models_{w,v} \neg\psi$ sse não se verifica que $M \models_{w,v} \psi$ (i.e. $M \not\models_{w,v} \psi$);

iii) $M \models_{w,v} (\psi_1 \rightarrow \psi_2)$ sse $M \not\models_{w,v} \psi_1$ ou $M \models_{w,v} \psi_2$;

[12] Dito de outro modo, caso se considerasse que I tamb´em interpretava os geradores de pap´eis, ter-se-ia $I(w, rg) = rg$.

iv) $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$ sse $M \models_{w,v_1} \psi$ para qualquer valoração v_1 que seja $x^s - equivalente$ a v;

v) $M \models_{w,v} O\ \psi$ sse $w \in f_o(\parallel \psi \parallel_v)$;

vi) se t é um termo de género Ag, ou de género AgR, então [13]:
$M \models_{w,v} E_t\ \psi$ sse $w \in f_{e_{v(t)}}(\parallel \psi \parallel_v)$. ♦

A noção de conjunto de verdade de uma fórmula ψ para um modelo M e para uma valoração v sobre esse modelo, $\parallel \psi \parallel_v$ (ou $\parallel \psi \parallel_v^M$ se M não for evidente pelo contexto), define-se como anteriormente (c.f. definição 2.25).

Proposição 5.1 Seja $M =< W, I, f_e, f_o >$ um modelo e v uma valoração sobre esse modelo. Tem-se então:

i) $\parallel p(t_1, \ldots, t_n) \parallel_v = \{w :< v(w, t_1), \ldots, v(w, t_n) > \in I(w, p)\}$

ii) $\parallel \top \parallel_v = W$

iii) $\parallel \bot \parallel_v = \emptyset$

iv) $\parallel \neg\psi \parallel_v = W - \parallel \psi \parallel_v$

v) $\parallel \psi_1 \rightarrow \psi_2 \parallel_v = (W - \parallel \psi_1 \parallel_v) \cup \parallel \psi_2 \parallel_v$

vi) $\parallel \psi_1 \wedge \psi_2 \parallel_v = \parallel \psi_1 \parallel_v \cap \parallel \psi_2 \parallel_v$

vii) $\parallel \psi_1 \vee \psi_2 \parallel_v = \parallel \psi_1 \parallel_v \cup \parallel \psi_2 \parallel_v$

viii) $\parallel \psi_1 \leftrightarrow \psi_2 \parallel_v = \parallel \psi_1 \rightarrow \psi_2 \parallel_v \cap \parallel \psi_2 \rightarrow \psi_1 \parallel_v$

ix) $\parallel E_t\psi \parallel_v = f_{e_{v(t)}}(\parallel \psi \parallel_v)$

x) $\parallel O\psi \parallel_v = f_o(\parallel \psi \parallel_v)$

xi) $\parallel (\forall_x)\psi \parallel_v = \bigcap_{v'\ x-equivalente\ a\ v} \parallel \psi \parallel_{v'}$

Demonstração: Obtem-se facilmente das definições 5.7 e 2.25.

[13]Observa-se mais uma vez que, para estes termos t, $v(w,t)$ ´e independente de w.

Proposição 5.2 Seja M um modelo, v uma valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo. Então:

i) $\| \psi \to \phi \|_v = W$ sse $\| \psi \|_v \subseteq \| \phi \|_v$.

ii) $\| \psi \leftrightarrow \phi \|_v = W$ sse $\| \psi \|_v = \| \phi \|_v$.

Demonstração: Decorre das definições 2.25 e 5.7.

Definição 5.8 Uma fórmula diz-se *verdadeira num modelo* M sse $M \models_{w,v} \psi$ para todo o mundo w *em* M e para toda a valoração v sobre M, e escreve-se $M \models \psi$. ♦

Definição 5.9 Uma fórmula diz-se *válida*, e escreve-se $\models \psi$, sse $M \models \psi$ para qualquer modelo M. ♦

Os modelos acima apresentados deverão agora ser sujeitos às restrições necessárias para que os princípios desejados (a apresentar em seguida) para a caracterização da lógica em definição, sejam válidos.

Discutem-se em seguida tais princípios e as restrições aos modelos por eles determinados.

5.4 Axiomatização de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

Alguns dos princípios lógicos que se pretendem para a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, foram sendo introduzidos informalmente nas secções anteriores. Vamos em seguida completar a caracterização dos princípios desejados, formalizando-os e discutindo as consequências que podem resultar da sua adopção. Como se pretende assegurar a correcção da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, vamos associando a cada princípio as restrições que deverão ser impostas a nível semântico que garantem a sua validade. A prova da correcção far-se-á na próxima secção.

No que se segue, as fórmulas (ou esquemas de fórmulas) referidas como sendo válidas devem ser axiomas (ou axiomas esquema) [14] da axiomatização a propor; e as regras que preservam a validade devem ser regras de prova.

Começa-se pelas propriedades dos quantificadores. No capítulo 2 foi discutida a validade dos princípios lógicos que usualmente caracterizam lógicas de 1.a ordem, no contexto das lógicas

[14] Ou simplesmente teoremas, caso se possam deduzir de outros axiomas.

modais de primeira ordem. Foi proposta uma semântica (c.f secção 2.2.3) que adopta domínios constantes e variáveis rígidas, assegurando, dessa forma, a validade dos princípios usuais (embora reformulados no caso do princípio (∀1)). Na semântica acima proposta adoptamos essas restrições o que nos permite dizer que as fórmulas esquema a seguir apresentadas são válidas e podem, por conseguinte ser axiomas da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

Quantificadores

São válidas as fórmulas:

(∀1′) $(\forall_{x^s})\psi \to \psi$

(∀3) $(\forall_{x^s})(\psi_1 \to \psi_2) \to ((\forall_{x^s})\psi_1 \to (\forall_{x^s})\psi_2)$

Também a regra da generalização $(RGen)$ preserva a veracidade num modelo e, portanto, também preserva a validade:

$(RGen)$ de ψ infere-se $(\forall_{x^s})\psi$

Por conseguinte, cada $(\forall_{x^s})$ é um operador normal de tipo T.

Se definirmos a *ocorrência livre de uma variável* da forma usual em linguagens de primeira ordem, temos que “ $\| \psi \|_v = \| \psi \|_{v_1}$ se v e v_1 atribuem os mesmos valores às variáveis livres em ψ” (como se demonstrará à frente).

Logo, a seguinte formula esquema também é valida:

(∀2) $\psi \to (\forall_{x^s})\psi$, se x^s não ocorre livre em ψ.

Se se instanciar a definição de *termo modalmente livre para uma variável* apresentada no capítulo 2, para o caso da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ obtem-se a seguinte definição.

Definição 5.10 Diz-se que um termo t está *modalmente livre* para uma variável x^s numa fórmula ϕ sse:

i) t é de género s,

ii) x^s não ocorre livre em ϕ no alcance de um quantificador $(\forall_{x_1^{s_1}})$, onde $x_1^{s_1}$ é uma variável ocorrendo em t,

iii) ou t é um termo *rígido*, ou x^s não ocorre livre em ϕ no alcance de um O ou de um E_{t_1}, ou no índice t_1 de um E_{t_1}. ♦

Tem-se então que a seguinte fórmula esquema é também válida:

(∀1) $(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s livre}$, se t está modalmente livre para x^s em ψ.

Note-se que o axioma (∀1$'$), anteriormente apresentado, é um caso particular de (∀1), uma vez que x^s está sempre modalmente livre para x^s em ψ.

Operador de acção E_t

Para cada operador E indexado, quer-se, pelo menos, a lógica de acção mínima (ver secção 3.1), com os axiomas:

(T_E) $E_t\psi \rightarrow \psi$

(C_E) $E_t\psi \wedge E_t\phi \rightarrow E_t(\psi \wedge \phi)$

e a regra de prova:

(RE_E) de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $E_t\psi \leftrightarrow E_t\phi$,

(para t um termo de género Ag ou de género AgR).

As fórmulas esquema (T_E) e (C_E) são validadas impondo as seguintes restrições aos modelos, respectivamente:

$(t - e_b) \quad f_{e_b}(X) \subseteq X$

$(c - e_b) \quad f_{e_b}(X) \cap f_{e_b}(Y) \subseteq f_{e_b}(X \cap Y)$

(para cada b, tal que $b \in D_{Ag}$ ou $b \in D_{AgR}$, e cada X e Y contidos em W).

Operadores deônticos

Os princípios lógicos desejados para o operador deôntico O merecem alguns comentários prévios. Apesar de não se ter proibido qualquer tipo de fórmula no alcance de O, tal como foi referido anteriormente, há interesse, essencialmente, em fórmulas deônticas onde O, $P = \neg O \neg$ ou $F = O\neg$ se aplicam a fórmulas de acção da forma $E_t\psi$ (para t de género Ag ou de género AgR). Por conseguinte, apesar de se poder considerar natural que O verifique o esquema:

$(C_O) \quad O\psi \wedge O\phi \rightarrow O(\psi \wedge \phi),$

o qual seria validado impondo a seguinte condição nos modelos:

$(c - o) \quad f_o(X) \cap f_o(Y) \subseteq f_o(X \cap Y),$

este esquema não vai ser imposto, pelo menos sem restrições, de forma a evitar, por exemplo, derivar de fórmulas relevantes para os propósitos desta dissertação, tais como

$OE_{i:r}\ \psi$ ou $O\neg E_{k:r1}\ \phi$,

fórmulas que não são relevantes no contexto deste trabalho, tais como

$O(E_{i:r}\ \psi \wedge \neg E_{k:r1}\ \phi)$.

Refira-se, em particular, que caso se considerasse o esquema (C_O), sem restrições, então seria necessário, pelo menos, que $\neg O \perp$ não fosse um teorema, dado que, caso contrário, dele se poderia derivar (usando (RE_O) e (C_O)) que $\vdash \neg(OE_{i:r}\psi \wedge OE_{k:r1}\neg\psi)$, o que não se pretende. Senão veja-se como:

1)	$E_{i:r}\psi \to \psi$	T_E
2)	$E_{k:r1}\neg\psi \to \neg\psi$	T_E
3)	$E_{i:r}\psi \wedge E_{k:r1}\neg\psi \to \bot$	tautologicamente a partir de 1) e 2)
4)	$E_{i:r}\psi \wedge E_{k:r1}\neg\psi \leftrightarrow \bot$	tautologicamente a partir de 3)
5)	$O(E_{i:r}\psi \wedge E_{k:r1}\neg\psi) \leftrightarrow O\bot$	de 4) por RE_O
6)	$OE_{i:r}\psi \wedge OE_{k:r1}\neg\psi \to O(E_{i:r}\psi \wedge E_{k:r1}\neg\psi)$	C_O
7)	$OE_{i:r}\psi \wedge OE_{k:r1}\neg\psi \to O\bot$	tautologicamente a partir de 5) e 6)
8)	$\neg O\bot$	assumpção
9)	$\neg(OE_{i:r}\psi \wedge OE_{k:r1}\neg\psi)$	tautologicamente a partir de 7) e 8)

Note-se, ainda, que com (RE_O) e com (C_O), $\neg O\bot$ implica o esquema (D_O), mas o inverso não é necessariamente verdade.

Logo, como propriedades não condicionadas de O, assume-se apenas, para além da regra (RE_O), o esquema (D_O):

$$(D_O) \quad O\psi \to \neg O\neg\psi$$

o qual se valida impondo sobre os modelos a seguinte condição:

$$(d-o) \qquad f_o(X) \cap f_o(W-X) = \emptyset$$

Operadores deônticos e de acção

Contudo, pretende-se que cada combinação OE_t, para t de género Ag ou de género AgR, (i.e., cada O indexado, definido de acordo com as abreviaturas a introduzir posteriormente), satisfaça o esquema (C):

$$(C_{OE}) \quad OE_t\psi \wedge OE_t\phi \to OE_t(\psi \wedge \phi)$$

(para t do género Ag ou AgR).

Logo, impõe-se também (para cada b tal que, $b \in DAg$ ou $b \in DAgR$ e cada X e Y contido em W):

$$(c - oe) \quad f_o(f_{e_b}(X)) \cap f_o(f_{e_b}(Y)) \subseteq f_o(f_{e_b}(X \cap Y)).$$

É ainda necessário ter alguma forma restrita da regra (RM) para O, de forma a obter algum tipo de fecho sobre a implicação para estes operadores combinados (deôntico+acção).

Uma hipótese consiste em impor a seguinte condição sobre os modelos (para cada b tal que $b \in DAg$ ou $b \in DAgR$, e cada X e Y contidos em W):

$(rm - rest):$ "se $X \subseteq Y$ então
$f_o(f_{e_b}(X)) \subseteq f_o(f_{e_b}(Y))$
e $f_o(W - f_{e_b}(Y)) \subseteq f_o(W - f_{e_b}(X))$".

Com esta condição as seguintes regras preservam a veracidade num modelo (note-se que o índice de ambos os operadores de acção é, e para já pretende-se que seja, o mesmo):

(RM_{OE}) de $\psi_1 \to \psi_2$ infere-se $OE_t\psi_1 \to OE_t\psi_2$

$(RM_{O\neg E})$ de $\psi_1 \to \psi_2$ infere-se $O\neg E_t\psi_2 \to O\neg E_t\psi_1$

Poderá ser argumentado que caso se considere o esquema (No_E) [15] (o que não foi feito até ao momento), terá de se restringir a regra (RM_{OE}). Senão, de qualquer obrigação OE_tB se obtém a obrigação $OE_t\top$ que não pode ser cumprida. E, caso se considerem como axiomas (No_E) e (NoF_O) [16], obtem-se $\vdash \neg OE_t\psi$ (para qualquer ψ). No capítulo 7 será discutido novamente se o esquema (No_E) deverá ou não ser adoptado. De momento não se considera.

No entanto pode dizer-se desde já que se podem restringir estas regras substituindo na condição $(rm - rest)$, "$X \subseteq Y$" por "$X \subseteq Y$ e $Y \neq W$", ou mesmo por "$f_{e_b}(X) \subseteq f_{e_b}(Y)$".

Poderá ser discutido se de facto se precisa (ou se quer) a regra (RM_{OE}). Mas a regra $(RM_{O\neg E})$, ou uma versão mais fraca dela, parece ser intuitivamente necessária. De facto, a seguinte versão mais fraca de $(RM_{O\neg E})$,

(RM_{EP}) de $E_t\,\psi_1 \;\to\; E_t\,\psi_2$ infere-se $O\neg E_t\,\psi_2 \;\to\; O\neg E_t\,\psi_1$

[15] (No_E) $\neg E_t\top$.
[16] (NoF_O) $\neg O\bot$.

ou de forma equivalente,

(RM_{EP}) de $E_t\ \psi_1\ \rightarrow\ E_t\ \psi_2$ infere-se $PE_t\ \psi_1\ \rightarrow\ PE_t\ \psi_2$

parece ser suficiente para os fins em vista, sem obrigar a que de $PE_t\psi_1$ se derive obrigatoriamente $PE_t\top$ como acontece com a regra $(RM_{O\neg E})$. Esta regra preservará a veracidade num modelo se se impuser que

"se $f_{e_b}(X) \subseteq f_{e_b}(Y)$ então $f_o(W - f_{e_b}(Y)) \subseteq f_o(W - f_{e_b}(X))$".

Note-se que de (RM_{EP}) e do esquema (D_O) se obtém ainda, como regra de prova, a regra intuitivamente necessária

(RM_{EOP}) de $E_t\psi_1 \rightarrow E_t\psi_2$ infere-se $OE_t\psi_1 \rightarrow \neg O\neg E_t\psi_2$.

De momento apenas se considera a regra RM_{EP} (não se considerando as regras (RM_{OE}) e $(RM_{O\neg E})$), embora tal posição possa ser revista no futuro.

Também parece ser útil impor a seguinte condição:

$(f_o(f_{e_b}(X)) - f_o(W - f_{e_b}(Y))) \cap f_o(W - f_{e_b}(X \cap Y)) = \emptyset$

de forma a validar o esquema:

(C_{OP}) $OE_t\psi\ \wedge\ \neg O\neg E_t\varphi\ \rightarrow\ \neg O\neg E_t(\psi \wedge \varphi)$
(i.e., usando as abreviaturas a introduzir no próximo capítulo: $O_t\psi \wedge P_t\varphi \rightarrow P_t(\psi \wedge \varphi)$).

Nos casos considerados até ao momento, caracterizou-se o fluxo de noções deônticas (obrigações, permissões e proibições) através de acções realizadas por um mesmo agente num mesmo papel. Suponha-se agora que temos um teorema com a seguinte forma:

$E_{t_1}\ \psi\ \rightarrow\ E_{t_2}\ \psi$[17].

[17] Por exemplo, suponha-se que se acrescenta `a nossa l´ogica um axioma da forma:

A questão, agora, consiste em saber se neste caso se deseja derivar alguma forma genérica de transmissão de obrigações entre as acções de t_1 e de t_2[18].

Há princípios, como os que se apresentam a seguir, que não se deseja derivar:

i) $OE_{t_1}\ \psi\ \rightarrow\ OE_{t_2}\ \psi$, nem

ii) $OE_{t_2}\ \psi\ \rightarrow\ OE_{t_1}\ \psi$, nem

iii) $\neg O \neg E_{t_2}\ \psi\ \rightarrow\ \neg O \neg E_{t_1}\ \psi$.

Senão, considerem-se os seguintes contra-exemplos:

a) Um agente i pode estar obrigado a vender a casa do agente k (e.g. devido a um contrato entre i e k), sem que k esteja obrigado a vender a sua casa (apesar de ter de aceitar a venda da casa caso i o faça, dado que a acção de i conta como uma acção de k — é como se o próprio k tivesse vendido a casa).

b) Uma obrigação de k não precisa de ser atribuída a todos os seus representantes.
De forma semelhante, há permissões que não podem ser "delegadas".

Contudo, parece natural querer derivar:

iv) $O \neg E_{t_2}\ \psi\ \rightarrow\ O \neg E_{t_1}\ \psi$

(i.e. $FE_{t_2}\ \psi\ \rightarrow\ FE_{t_1}\ \psi$, ou de forma equivalente, $PE_{t_1}\ \psi\ \rightarrow\ PE_{t_2}\ \psi$),

cuja validade se assegura impondo as seguintes condições aos modelos (para cada b_1 e b_2 pertencendo a D_{Ag} ou D_{AgR}, e para cada X e Y contidos em W):

$E_{x^{Ag}:administrador-of(y^{Ag})}\psi \rightarrow E_{y^{Ag}:y^{Ag}}\psi$ onde se diz que as acções de um administrador de y^{Ag} contam como acções de y^{Ag}, i.e. o administrador de y^{Ag} é representante de y^{Ag} para ψ.

[18] Note-se que fluxos de obrigações específicos que se aplicam apenas a determinados casos particulares, podem sempre ser acrescentados à especificação desses casos.

“se $f_{e_{b_1}}(X) \subseteq f_{e_{b_2}}(Y)$ então $f_o(W - f_{e_{b_2}}(Y)) \subseteq f_o(W - f_{e_{b_1}}(X))$”. [19]

Vai-se assim estender a regra (RM_{EP}) ao caso em que os índices dos operadores de acção podem ser distintos.

Em relação ao novo operador de acção proposto nesta dissertação, alguns outros princípios que resultam da discussão apresentada no início deste capítulo, devem ser verificados.

O princípio:

(EE) $E_{t:r(t_1,\ldots,t_n)}\psi \to E_t\psi$

é válido se for imposta a seguinte condição nos modelos:

$f_{e_{a:r(a_1,\ldots,a_n)}}(Z) \subseteq f_{e_a}(Z)$, para $Z \subseteq W$ [20].

Note-se também que de acordo com a semântica definida, o princípio:

$(Itself)$ $(\forall_{x^{Ag}})$ $is - itself(x^{Ag})$

é válido.

Mas isto ainda não é suficiente. Deseja-se também expressar, como princípio geral, que um agente para poder produzir algo, agindo num determinado papel, terá de possuir as qualificações necessárias. Para esse efeito, introduz-se um predicado derivado $\tau(u)$, de género AgR que se define como a conjunção das qualificações necessárias (as que podem precisar de ser autenticadas).

[19] Pode ser argumentado que existem casos em que um agente k não está permitido, ele próprio, a produzir ψ, enquanto que um seu representante pode estar permitido a produzir ψ em seu nome (i.e. no papel de representante de k). É o que acontece, por exemplo, se k for considerado incapaz. Considera-se, no entanto, que este caso não é um contra-exemplo de **iv)**, porque numa situação deste género o que se tem é algo do género: $PE_{k:k}\psi \wedge \neg PD_{k:k}\psi$, (onde $D_{k:k}$ é o operador de acção directa a introduzir no capítulo 7), significando que k tem permissão para fazer com que ψ se verifique, apenas não o pode fazer directamente.

[20] Note-se, antes de continuar, que se pode sempre definir um modelo que satisfaça a todas as condições descritas até ao momento: basta que se definam $f_o(X)$ e $f_{e_b}(X)$ como sendo o conjunto vazio (para todos os b e X).

Definição 5.11 O predicado $\tau(u)$ define-se indutivamente como se segue:

i) $\tau(t^{Ag} : rg(t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})) \stackrel{def}{=} is-rg(t^{Ag}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})$
para rg um símbolo de gerador de papel de género $(s_1, \ldots, s_n \to R)$.

ii) $\tau(t^{Ag} : rg(u^{Ag} : rg_1(u_1, \ldots, u_m), t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n})) \stackrel{def}{=}$
$is-rg(t^{Ag}, u^{Ag}, t_1^{s_1}, \ldots, t_n^{s_n}) \ \wedge \ \tau(u^{Ag} : rg_1(u_1, \ldots, u_m))$
para rg um símbolo de gerador papel de género $(AgR, s_1, \ldots, s_n \to R)$ e rg_1 um qualquer símbolo de gerador de papel.

♦

Como se verá, este predicado também irá desempenhar um papel relevante quando associarmos noções deônticas a papéis.

Se se decidir admitir que o operador E possa ser indexado por um conjunto finito de termos de género AgR, $X = \{u_1, \ldots, u_n\}$, (o que será feito no capítulo 6), então τ deve ser estendido da seguinte maneira:

$$\tau(\{u_1, \ldots, u_n\}) \stackrel{def}{=} \tau(u_1) \wedge \ldots \wedge \tau(u_n).$$

Com este predicado τ podemos expressar um princípio desejável na axiomatização de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$:

$$(Qual) \ \ E_{t:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \to \tau(t : rg(t_1, \ldots, t_n))$$

para rg um qualquer símbolo de gerador de papel e $t, t_1, \ldots, t_n$ quaisquer termos de géneros adequados.

Este princípio pode ser validado através da imposição da seguinte condição nos modelos (para $b \in D_{AgR}$ e $X \subseteq W$):

$$(qual) \quad \text{se } w \in f_{e_b}(X) \text{ então } qual(w, b)$$

sendo $qual(w, b)$ definida indutivamente como se segue, para $b \in D_{AgR}$:

$$qual(w, a : rg(a_1, \ldots, a_n)) = (a, a_1, \ldots, a_n) \in I(w, is - rg)$$

e

$$qual(w, a : rg(a' : rg_1(b', a'_1, \ldots, a'_k), a_1, \ldots, a_n)) =$$
$$(a, a', a_1, \ldots, a_n) \in I(w, is - rg) \ \text{ e } \ qual(w, a' : rg_1(b', a'_1, \ldots, a'_k))$$

Outros princípios relativos a papéis/qualidades particulares podem sempre ser adicionados a uma especificação, caso sejam relevantes para a aplicação em causa. Por exemplo:

$$E_{i:president-of(k:itself)} \ \psi \rightarrow E_{k:itself} \ \psi$$

(i.e., usando a abreviatura introduzida: $E_{i:president-of(k)} \ \psi \rightarrow E_{k:k} \ \psi$),

significando que o papel de presidente de k é do tipo representação, estando ψ no âmbito dessa representação, i.e., se um agente age nesse papel produzindo ψ, isso conta como se k tivesse produzido ψ no papel de ele próprio.

Iterações entre operadores

Relativamente a iterações entre os diversos operadores, em geral, não se quer, que O e E_t possam trocar entre si (em nenhuma das direcções), e o mesmo se passa relativamente a E_{t_1} e a E_t. As iterações entre quantificadores seguem as regras usuais das lógicas de $1.^a$ ordem. Relativamente a iterações entre $(\forall_{x^s})$ e O, nesta dissertação não se impõe que eles possam trocar entre si, embora tal posição possa ser revista no futuro[21].

Comentários semelhantes podem ser feitos em relação à iteração entre $(\forall_{x^s})$ e E_t, se s não é do género Ag. Se s é do género Ag, considera-se que eles não devem permutar entre si. O caso duvidoso surge quando a variável quantificada não ocorre no termo índice do operador de acção. É necessário efectuar mais investigação para esclarecer este caso, pelo que nesta dissertação não será imposto que $(\forall_{x^s})$ e E_t possam permutar entre si.

Por conseguinte, não se vão instanciar os problemas relativos às fórmulas de Barcan para os casos dos operadores modais O e E_t. Tal estudo será feito em investigação futura.

[21] Com a generalização de $(c - o)$ a intersecções arbitrárias obtem-se: $(\forall_{x^s})O\psi$ implica $O(\forall_{x^s})\psi$; na direcção inversa seria necessário que O fosse normal.

5.5 Síntese da caracterização axiomática e semântica

Vamos agora sintetizar a axiomatização proposta para $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, arranjando identificadores para os diversos princípios e regras de prova, de forma a facilitar futuras referências. As restrições semânticas associadas a cada princípio e a cada regra de prova serão igualmente enumeradas e identificadas (ver tablela 5.1).

Definição 5.12 *Axiomatização de* $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

Sejam ψ e ϕ fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, t, t_1 e t_2 termos de género Ag ou AgR, e r um termo de género R. $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ caracteriza-se pelos seguintes axiomas e axiomas-esquema:

(PL)	Tautologias de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$
$(\forall 1)$	$(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s livre}$, se t est´a modalmente livre para x^s em ψ.
$(\forall 2)$	$\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\psi$, se x^s n˜ao ocorre livre em ψ.
$(\forall 3)$	$(\forall_{x^s})(\psi \rightarrow \phi) \rightarrow ((\forall_{x^s})\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\phi)$
(T_E)	$E_t\psi \rightarrow \psi$
(C_E)	$E_t\psi \wedge E_t\phi \rightarrow E_t(\psi \wedge \phi)$
(D_O)	$O\psi \rightarrow \neg O \neg \psi$
(C_{OE})	$OE_t\psi \wedge OE_t\phi \rightarrow OE_t(\psi \wedge \phi)$
(C_{OP})	$OE_t\psi \wedge \neg O \neg E_t\phi \rightarrow \neg O \neg E_t(\psi \wedge \phi)$
(EE)	$E_{t:r}\psi \rightarrow E_t\psi$
$(Itself)$	$(\forall_{x^{Ag}}) is - itself(x^{Ag})$
$(Qual)$	$E_{t:r}\psi \rightarrow \tau(t:r)$

e pelas seguintes regras de prova:

(RMP)	de ψ e de $\psi \to \phi$ infere-se ϕ
$(RGen)$	de ψ infere-se $(\forall_x)\psi$
(RE_E)	de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $E_t\psi \leftrightarrow E_t\phi$
(RE_O)	de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $O\psi \leftrightarrow O\phi$
(RM_{EP})	de $E_{t_1}\psi \to E_{t_2}\phi$ infere-se $\neg O \neg E_{t_1}\psi \to \neg O \neg E_{t_2}\phi$ ♦

Definição 5.13 *Modelos de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$*

Um modelo M para $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ é uma estrutura $M =< W, I, f_e, f_o >$ que obedece à definição 5.7 e que satisfaz as seguintes restrições (onde $b, b_1, b_2 \in D_{Ag}$ ou D_{AgR}, e $X, Y \subseteq W$) [22]:

$(t-e_b)$	$f_{e_b}(X) \subseteq X$
$(c-e_b)$	$f_{e_b}(X) \cap f_{e_b}(Y) \subseteq f_{e_b}(X \cap Y)$
$(d-o)$	$f_o(X) \cap f_o(W - X) = \emptyset$
$(c-oe)$	$f_o(f_{e_b}(X)) \cap f_o(f_{e_b}(Y)) \subseteq f_o(f_{e_b}(X \cap Y))$
$(c-op)$	$(f_o(f_{e_b}(X)) - f_o(W - f_{e_b}(Y))) \cap f_o(W - f_{e_b}(X \cap Y)) = \emptyset$
(ee)	$f_{e_{b:r(\cdots)}}(X) \subseteq f_{e_b}(X)$
$(qual)$	se $w \in f_{e_b}(X)$ então $qual(w, b)$
$(rm-ep)$	se $f_{e_{b1}}(X) \subseteq f_{e_{b2}}(Y)$ então $f_o(W - f_{e_{b2}}(Y)) \subseteq f_o(W - f_{e_{b1}}(X))$.♦

Definição 5.14 A classe de todos os modelos de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ denota-se por $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}}$ e define-se como $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}} = \{M : M \text{ é modelo de } \mathcal{L}_{\mathcal{DA}}\}$.♦

Proposição 5.3 $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}} \neq \emptyset$ (i.e. existe pelo menos um modelo para $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$). ♦

Demonstração:

Basta considerar um modelo $M =< W, I, f_e, f_o >$ que obedeça à definição 5.7 e em que f_o e f_e sejam definidos como se segue: $f_o(X) = \emptyset$ e $f_{e_b}(X) = \emptyset$ para todo o $X \subseteq W$ e para todo o $b \in (D_{Ag} \cup D_{AgR})$. Este modelo M é um modelo de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, uma vez que todos os requisitos apresentados na definição 5.13 são trivialmente verificados. ♦

5.6 Correcção

Vai em seguida demonstrar-se que a axiomatização apresentada é correcta em relação à semântica definida (quando se adoptam as restrições semânticas indicadas), i.e. vai provar-se que os teore-

[22] É usada a abreviatura apresentada em 5.3 : $f_{e_b}(X) = f_e(b, X)$, para $b \in (D_{Ag} \cup D_{AgR})$ e $X \subseteq W$.

	AXIOMATIZAÇÃO PROPOSTA
$(\forall 1)$	$(\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s livre}$, se t est´a modalmente livre para x^s em ψ.
$(\forall 2)$	$\psi \rightarrow (\forall_{x^s})\psi$, se x^s n˜ao ocorre livre em ψ.
$(\forall 3)$	$(\forall_{x^s})(\psi_1 \rightarrow \psi_2) \rightarrow ((\forall_{x^s})\psi_1 \rightarrow (\forall_{x^s})\psi_2)$
$(RGen)$	de ψ infere-se $(\forall_x)\psi$
(T_E)	$E_t\psi \rightarrow \psi$
(C_E)	$E_t\psi \wedge E_t\phi \rightarrow E_t(\psi \wedge \phi)$
(RE_E)	de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $E_t\psi \leftrightarrow E_t\phi$
(D_O)	$O\psi \rightarrow \neg O \neg \psi$
(RE_O)	de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $O\psi \leftrightarrow O\phi$
(C_{OE})	$OE_t\psi \wedge OE_t\phi \rightarrow OE_t(\psi \wedge \phi)$
(C_{OP})	$OE_t\psi \wedge \neg O \neg E_t\phi \rightarrow \neg O \neg E_t(\psi \wedge \phi)$
(RM_{EP})	de $E_{t_1}\psi \rightarrow E_{t_2}\phi$ infere-se $\neg O \neg E_{t_1}\psi \rightarrow \neg O \neg E_{t_2}\phi$
(EE)	$E_{t:r}\psi \rightarrow E_t\psi$
$(Itself)$	$(\forall_{x^{Ag}})is - itself(x^{Ag})$
$(Qual)$	$E_{t:r}\psi \rightarrow \tau(t:r)$

	RESTRIÇÕES SEMÂNTICAS
$(t - e_b)$	$f_{e_b}(X) \subseteq X$
$(c - e_b)$	$f_{e_b}(X) \cap f_{e_b}(Y) \subseteq f_{e_b}(X \cap Y)$
$(d - o)$	$f_o(X) \cap f_o(W - X) = \emptyset$
$(c - oe)$	$f_o(f_{e_b}(X)) \cap f_o(f_{e_b}(Y)) \subseteq f_o(f_{e_b}(X \cap Y))$
$(c - op)$	$(f_o(f_{e_b}(X)) - f_o(W - f_{e_b}(Y))) \cap f_o(W - f_{e_b}(X \cap Y)) = \emptyset$
$(rm - ep)$	se $f_{e_{b1}}(X) \subseteq f_{e_{b2}}(Y)$ ent˜ao $f_o(W - f_{e_{b2}}(Y)) \subseteq f_o(W - f_{e_{b1}}(X))$
(ee)	$f_{e_{a:r(\ldots)}}(X) \subseteq f_{e_a}(X)$
$(qual)$	se $w \in f_{e_b}(X)$ ent˜ao $qual(w, b)$

PRINCÍPIOS LÓGICOS	RESTRIÇÕES SEMÂNTICAS
(T_E)	$(t - e_b)$
(C_E)	$(c - e_b)$
(D_O)	$(d - o)$
(C_{OE})	$(c - oe)$
(C_{OP})	$(c - op)$
(RM_{EP})	$(rm - ep)$
(EE)	(ee)
$(Qual)$	$(qual)$

Tabela 5.1: Síntese dos princípios lógicos e das restrições semânticas que asseguram a sua validade.

mas gerados por esta axiomatização são válidos: "se $\vdash \psi$ então $\models \psi$".

Omite-se a demonstração (ou parte dela) da validade de axiomas cuja prova se efectua do modo usual em lógicas de 1.ª ordem. Tais provas podem ser encontradas, por exemplo, em [11], [31] ou [25].

Lema 5.1 Todas as tautologias de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ são válidas.

Demonstração: Prova-se da forma usual.⧫

Lema 5.2 Todas as instâncias de ∀1 e de ∀2 que sejam fórmulas de $\mathcal{L}_\forall$ (i.e. que não envolvam operadores modais) são válidas.

Demonstração: Demonstra-se da forma usual para lógicas de 1.ª ordem.⧫

Lema 5.3 Sejam v e v' duas valorações sobre M que atribuem o mesmo valor às variáveis livres em ψ.
Tem-se então: $\parallel \psi \parallel_v = \parallel \psi \parallel_{v'}$ (i.e. para todo o $w\ em\ M$, $M \models_{w,v} \psi$ sse $M \models_{w,v'} \psi$).

Demonstração: (por indução na complexidade da fórmula)
Vamos demonstrar apenas para o caso em que ψ é da forma $E_t\phi$ ou $O\phi$. Para os restantes casos prova-se que $M \models_{w,v} \psi$ sse $M \models_{w,v'} \psi$ para qualquer mundo w em M e quaisquer valorações v e v' que atribuam o mesmo valor às variáveis livres em ψ, tal como se prova análogo resultado nas lógicas de 1.ª ordem.
Hipótese de Indução:
Se v e v' atribuem o mesmo valor às variáveis livres em ϕ, então $\parallel \phi \parallel_v = \parallel \phi \parallel_{v'}$
Caso 1: $\psi = E_t\phi$
Seja w um qualquer mundo em M e v e v' duas quaisquer valorações que atribuem o mesmo valor às variáveis livres em $E_t\phi$.
Então $M \models_{w,v} E_t\phi$ sse (pela definição 5.7) $w \in f_{e_{v(t)}}(\parallel \phi \parallel_v)$ sse
$w \in f_{e_{v'(t)}}(\parallel \phi \parallel_{v'})$, pela hipótese de indução (uma vez que v e v' também atribuem o mesmo valor às variáveis livres em ϕ), e porque v e v' atribuem o mesmo valor às variáveis que ocorrem em t (pois estas estão todas livres).
Logo (pela definição 5.7), temos $M \models_{w,v'} E_t\phi$, o que conclui a prova de
$\parallel E_t\phi \parallel_v = \parallel E_t\phi \parallel_{v'}$.

Caso 2: $\psi = O\phi$

Seja w um qualquer mundo em M e v e v' duas quaisquer valorações que atribuem o mesmo valor às variáveis livres em $O\phi$.

Então $M \models_{w,v} O\phi$ sse (pela definição 5.7) $w \in f_o(\| \phi \|_v)$ sse (pela hipótese de indução) $w \in f_o(\| \phi \|_{v'})$ sse $M \models_{w,v'} O\phi$, o que conclui a prova de $\| O\phi \|_v = \| O\phi \|_{v'}$. ♦

Lema 5.4 Se v e v' são duas valorações $x^s - equivalentes$ (se t é um termo de género s) e se $v'(x^s) = v(w,t)$ então qualquer que seja o termo u, $v'(w,u) = v(w, u_t^{x^s})$ onde $u_t^{x^s}$ é o termo que se obtém quando se substitui x^s por t em u.

Demonstração: (Por indução na complexidade dos termos)

Base:

Caso 1: $v'(w,c) = I(w,c) = v(w,c) = v(w, c_t^{x^s})$.

Caso 2: $v'(w,x^s)(= v'(x^s)) =$ (por hipótese) $v(w,t) = v(w, (x^s)_t^{x^s})$.

Caso 3: Seja y uma variável distinta de x^s. Então $v'(w,y) = v'(y)$ e, porque v e v' são $x^s - equivalentes$, $v'(y) = v(y) = v(w,y) = v(w, y_t^{x^s})$.

Passo de indução:

Suponha-se que $v'(w,ti) = v(w, ti_t^{x^s})$ para $i = 1, \dots, n$.

Então:

$v'(f(t1,\dots,tn)) = I(w,f)(v'(w,t1),\dots,v'(w,tn)) =$
$I(w,f)(v(w,t1_t^{x^s}),\dots,v(w,tn_t^{x^s})) =$
$v(w, f(t1_t^{x^s},\dots,tn_t^{x^s})) =$
$v(w, f(t1,\dots,tn)_t^{x^s})$.

♦

Corolário: Se v e v' são duas valorações $x^s - equivalentes$, se t é um termo rígido (de género s) e se $v'(x^s) = v(t)$, então qualquer que seja o termo u e qualquer que seja o mundo w, $v'(w,u) = v(w, u_t^{x^s})$.

Demonstração:

Imediata, pois se $v'(x^s) = v(t)$ e se t é rígido então $v'(x^s) = v(w,t)$ qualquer que seja o mundo w.

♦

Lema 5.5 Seja v' $x^s - equivalente$ a v, $v'(x^s) = v(t)$, e t um termo rígido modalmente livre para x^s em ψ.
Então : $\parallel \psi_t^{x^s \ livre} \parallel_v = \parallel \psi \parallel_{v'}$ (i.e. para todo o $w \ em \ M$, $M \models_{w,v} \psi_t^{x^s \ livre}$ sse $M \models_{w,v'} \psi$)

Demonstração:
Seja x^s uma qualquer variável e t um qualquer termo rígido de género s (fixos daqui em diante).
Vamos provar por indução na complexidade das fórmulas que:

> "quaisquer que sejam v e v' $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(t)$, se t está modalmente livre para x^s em ψ, então: $\parallel \psi_t^{x^s \ livre} \parallel_v = \parallel \psi \parallel_{v'}$"

asserção que se passará a designar por $*(\psi)$.
Base: Verifica-se $*(p(t1, \ldots, tn))$.
Sejam v e v' $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(t)$ (neste caso t está necessariamente modalmente livre para x^s em $p(t_1, \ldots, t_n)$). Quer-se provar que
$\parallel p(t1, \ldots, tn)_t^{x^s \ livre} \parallel_v = \parallel p(t1, \ldots, tn) \parallel_{v'}$
ou seja, que
$\parallel p(t1_t^{x^s}, \ldots, tn_t^{x^s}) \parallel_v = \parallel p(t1, \ldots, tn) \parallel_{v'}$
Seja w em M qualquer. Então[23]
$M \models_{w,v'} p(t1, \ldots, pn)$ sse $< v'(w, t1), \ldots, v'(w, tn) > \in \ I(w,p)$ sse (usando o corolário do lema 5.4) $< v(w, t1_t^{x^s}), \ldots, v(w, tn_t^{x^s}) > \in \ I(w,p)$ sse $M \models_{w,v} p(t1_t^{x^s}, \ldots, tn_t^{x^s})$
Passo de indução:
Caso 1: Qualquer que seja ϕ, se se tem $*(\phi)$ então tem-se $*(\neg\phi)$.
Demonstração simples e análoga à demonstração de idêntico resultado nas lógicas de $1.^a$ ordem.
Caso 2: Quaisquer que sejam ϕ_1 e ϕ_2, se se tem $*(\phi_1)$ e $*(\phi_2)$ então tem-se $*(\phi_1 \to \phi_2)$.
Demonstração simples e análoga à demonstração de idêntico resultado nas lógicas de $1.^a$ ordem.
Caso 3: Qualquer que seja ϕ e qualquer que seja a variável y, se se tem $*(\phi)$ tem-se $*((\forall_y) \ \phi)$.
Demonstração análoga à demonstração de idêntico resultado nas lógicas de $1.^a$ ordem[24].
Caso 4: Qualquer que seja ϕ, se se tem $*(\phi)$ então tem-se $*(E_{t1} \ \phi)$.
Demonstração: Seja ϕ qualquer tal que se tenha $*(\phi)$ (Hipótese de indução).
Quer-se provar que se tem $*(E_{t1}\phi)$.

[23] Demonstração análoga à demonstração de idêntico resultado nas lógicas de $1.^a$ ordem: a alteração básica reside na introdução do parâmetro w.

[24] Onde a noção de termo modalmente livre para x^s é reduzida à de termo livre para x^s e onde não se consideram mundos.

Sejam v e v' quaisquer valorações $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(t)$, e suponha-se que t está modalmente livre para x^s em $E_{t1}\psi$. Seja w em M qualquer. Tem-se:
$w \in \parallel E_{t1}\phi \parallel_{v'}$ sse $M \models_{w,v'} E_{t1}\phi$ sse $w \in f_{e_{v'(t1)}}(\parallel \phi \parallel_{v'})$.
Ora, se t está modalmente livre para x^s em $E_{t1}\phi$ então t também está modalmente livre para x^s em ϕ. Logo, de $*(\phi)$ conclui-se que:
$\parallel \phi \parallel_{v'} = \parallel \phi_t^{x^s\ livre} \parallel_v$.
Por outro lado, $v(t1_t^{x^s\ livre}) = v(t1_t^{x^s}) = v'(t1)$ (basta usar o corolário anterior — repare-se que como $t1$ e t são rígidos, $t1_t^{x^s}$ também o é).
Caso 5: Qualquer que seja ϕ, se se tem $*(\phi)$ então tem-se $*(O\ \phi)$.
Demonstração: Seja ϕ qualquer tal que se tenha $*(\phi)$ (Hipótese de indução).
Quer-se provar que se tem $*(O\phi)$.
Sejam v e v' quaisquer valorações $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(t)$, e suponha-se que t está modalmente livre para x^s em $O\phi$. Seja w em M qualquer. Tem-se:
$w \in \parallel O\phi \parallel_{v'}$ sse $M \models_{w,v'} O\phi$ sse $w \in f_o(\parallel \phi \parallel_{v'})$.
Ora, se t está modalmente livre para x^s em $O\phi$ então t também está modalmente livre para x^s em ϕ. Logo, de $*(\phi)$ conclui-se que $\parallel \phi \parallel_{v'} = \parallel \phi_t^{x^s\ livre} \parallel_v$.
Logo, $w \in f_o(\parallel \phi \parallel_{v'})$ sse $w \in f_o(\parallel \phi_t^{x^s\ livre} \parallel_v)$, o que conclui a demonstração de
$\parallel E_{t1}\phi_t^{x^s\ livre} \parallel_v = \parallel E_{t1}\phi \parallel_{v'}$
♦

Lema 5.6 Se v' é $x^s - equivalente$ a v, se $v'(x^s) = v(w,t)$, se t está modalmente livre para x^s em ψ e se x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um O ou de um E, nem no índice de um E, então : $M \models_{w,v} \psi_t^{x^s\ livre}$ sse $M \models_{w,v'} \psi$. (Repare-se que não se afirma que $\parallel \psi_t^{x^s\ livre} \parallel_v = \parallel \psi \parallel_{v'}$, pois se w' for diferente de w pode não se ter $M \models_{w',v} \psi_t^{x^s\ livre}$ sse $M \models_{w',v'} \psi$).

Demonstração:
Considera-se um modelo M e um mundo w em W quaisquer (fixos), bem como uma variável x^s e um termo t (de género s) quaisquer (também fixos) e prova-se, por indução na complexidade das fórmulas, que:

"quaisquer que sejam as valorações v e v' $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(w,t)$, se t está modalmente livre para x^s em ψ e se x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um O ou de um E, nem no índice de um E, então
$M \models_{w,v} \psi_t^{x^s\ livre}$ sse $M \models_{w,v'} \psi$"

asserção que se designa de $*(\psi)$.

Esta demonstração é também análoga à demonstração de idêntico resultado para as lógicas de $1.^a$ ordem(ver e.g.[31], pp. 62-63). Para a base usa-se o lema 5.4; o facto de o valor do termo t depender do mundo em análise não afecta em quase nada a prova de que $*(\phi)$ implica $*((\forall_y)\ \phi)$, uma vez que o cálculo do valor de t para as várias valorações envolvidas é sempre feito no mundo w, fixado desde o ínicio.

A demonstração dos casos envolvendo operadores modais é feita como se segue.

Caso 1: $*(\phi)$ implica $*(E_{t1}\phi)$

De facto pode-se mesmo provar que se tem $*(E_{t1}\phi)$, independentemente de se ter, ou não, $*(\phi)$:

Sejam v e v' valorações quaisquer $x^s - equivalentes$ e tais que $v'(x^s) = v(w,t)$ e suponha-se que t está modalmente livre para x^s em $\psi = E_{t1}\phi$ e que x^s não ocorre livre em ψ no alcance de um O ou de um E, nem no índice de um E.

Então x^s não ocorre em t_1 nem ocorre livre em ϕ. Logo, $(E_{t1}\phi)_t^{x^s\ livre} = E_{t1}\phi$.

E como x^s não ocorre livre em $\psi = E_{t1}\phi$ e v e v' são $x^s - equivalentes$, tem-se que v e v' atribuem o mesmo valor a todas as variáveis livres em ψ. Logo, pelo lema 5.3,

$M \models_{w,v} E_{t1}\phi$ sse $M \models_{w,v'} E_{t1}\phi$.

Isto é $M \models_{w,v} (E_{t1}\phi)_t^{x^s\ livre}$ sse $M \models_{w,v'} E_{t1}\phi$.

Caso 2: $*(\phi)$ implica $*(O\phi)$

Demonstra-se de forma análoga ao caso anterior.

♦

Lema 5.7 O axioma $(\forall 1)$ é válido: $\models (\forall_{x^s})\psi \rightarrow \psi_t^{x^s livre}$, se t está modalmente livre para x^s em ψ.

Demonstração: Seja M um qualquer modelo, v uma qualquer valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo em M.

Suponha-se que $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$ e que t está modalmente livre para x^s em ψ.

Quer-se provar que $M \models_{w,v} \psi_t^{x^s\ livre}$.

Ora $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$ sse $M \models_{w,v'} \psi$ para qualquer valoração v' $x^s - equivalente$ a v. Em particular, tem-se $M \models_{w,v'} \psi$ para uma valoração v' $x^s - equivalente$ a v em que $v'(x^s) = v(w,t)$. Como t está modalmente livre para x^s em ψ, tem-se que ou t é um termo rígido, ou x^s não ocorre livre em ψ no alcance do operador modal O ou do operador modal E nem no índice de E.

Se t é um termo rígido, pelo lema 5.5 de $M \models_{w,v'} \psi$ pode concluir-se $M \models_{w,v} \psi_t^{x^s\ livre}$.
Se x^s não ocorre livre em ψ no alcance do operador modal O ou do operador modal E nem no índice de E, do lema 5.6 e de $M \models_{w,v'} \psi$ pode concluir-se $M \models_{w,v} \psi_t^{x^s\ livre}$.
♦

Lema 5.8 O axioma $\forall 2$ é válido: $\models \psi \to (\forall_{x^s})\psi$, se x^s não ocorre livre em ψ .

Demonstração: Seja M um qualquer modelo, v uma qualquer valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo em M.
Suponha-se que $M \models_{w,v} \psi$ e que x^s não ocorre livre em ψ.
Quer-se provar que $M \models_{w,v} (\forall_{x^s})\psi$.
Seja v' uma qualquer valoração $x^s - equivalente$ a v. Então v e v' atribuem o mesmo valor a todas as variáveis livres em ψ. Logo, pelo lema 5.4, de $M \models_{w,v} \psi$ conclui-se que $M \models_{w,v'} \psi$.♦

Lema 5.9 O axioma $\forall 3$ é válido: $\models (\forall_{x^s})(\psi_1 \to \psi_2) \to ((\forall_{x^s})\psi_1 \to (\forall_{x^s})\psi_2)$.

Demonstração: É imediato de demonstrar, tal como para as lógicas de $1.^a$ ordem.♦

Lema 5.10 O axioma (T_E) é válido: $\models E_t\psi \to \psi$.

Demonstração: Seja M um qualquer modelo, v uma qualquer valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo em M.
Suponha-se que $M \models_{w,v} E_t\psi$
Quer-se provar $M \models_{w,v} \psi$.
Tem-se $M \models_{w,v} E_t\psi$ sse $w \in f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v)$ pela definição 5.7.
Pela definição 5.13 tem-se que $f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v) \subseteq \| \psi \|_v$.
Logo tem-se $w \in \| \psi \|_v$. E pela definição 2.25 conclui-se $M \models_{w,v} \psi$, o que conclui a demonstração. ♦

Lema 5.11 O axioma (C_E) é válido: $\models E_t\psi \wedge E_t\phi \to E_t(\psi \wedge \phi)$.

Demonstração:
Seja M um qualquer modelo, v uma qualquer valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo em M.
Suponha-se que $M \models_{w,v} E_t\psi \wedge E_t\phi$.
Ora, pela definição 5.7 temos que se verifica $w \in (f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v) \cap f_{e_{v(t)}}(\| \phi \|_v))$.

Pela definição 5.13 e pelo resultado 5.1 temos que
$f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v) \cap f_{e_{v(t)}}(\| \phi \|_v) \subseteq f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v \cap \| \phi \|_v) = f_{e_{v(t)}}(\| \psi \wedge \phi \|_v)$.
Podemos então concluir que $w \in f_{e_{v(t)}}(\| \psi \wedge \phi \|_v)$, o que pela definição 5.7 corresponde a $M \models_{w,v} E_t(\psi \wedge \phi)$. Fica assim concluída a demonstração. ♦

Lema 5.12 O axioma (D_O) é válido: $\models O\psi \rightarrow \neg O\neg\psi$.

Demonstração:
Suponha-se que $M \models_{w,v} O\psi$ para um qualquer modelo M, para uma qualquer valoração v sobre M e para um qualquer mundo w.
Pela definição 5.7 tem-se $w \in f_o(\| \psi \|_v)$
e pela definição 5.13 tem-se $w \in (W - f_o(W- \| \psi \|_v))$
o que pelo resultado 5.1 e pela definição 5.7 equivale a ter $M \models_{w,v} \neg O\neg\psi$, concluindo-se assim a demonstração. ♦

Lema 5.13 O axioma (C_{OE}) é válido: $\models OE_t\psi \wedge OE_t\phi \rightarrow OE_t(\psi \wedge \phi)$.

Demonstração: Semelhante à demonstração do lema 5.11. Resulta directamente das definições 5.13 e 5.7, e do resultado 5.1. ♦

Lema 5.14 O axioma (C_{OP}) é válido: $\models OE_t\psi \wedge \neg O\neg E_t\phi \rightarrow \neg O\neg E_t(\psi \wedge \phi)$

Demonstração: Seja M um qualquer modelo, v uma qualquer valoração sobre esse modelo e w um qualquer mundo em M.
Suponha-se que $M \models_{w,v} OE_t\psi \wedge \neg O\neg E_t\phi$.
Quer-se provar $M \models_{w,v} \neg O\neg E_t(\psi \wedge \phi)$.
Pela definição 5.7 e pelo resultado 5.1 tem-se
$w \in ((f_o(f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v)) - f_o(W - f_{e_{v(t)}}(\| \phi \|_v))))$.
Pelo resultado 5.1 e pela definição 5.13 ($c - op$)tem-se
$(f_o(f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v)) - f_o(W - f_{e_{v(t)}}(\| \phi \|_v))) \cap f_o(W - f_{e_b}(\| \psi \|_v \cap \| \phi \|_v)) = \emptyset$.
Logo pode concluir-se $w \notin (f_o(W - f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v \cap \| \phi \|_v)))$.
Pela definição 5.7 e pelo resultado 5.1 pode então concluir-se que $M \models_{w,v} \neg O\neg E_t(\psi \wedge \phi)$.♦

Lema 5.15 O axioma (EE) é válido: $\models E_{t:r}\psi \rightarrow E_t\psi$.

Demonstração: Resulta directamente das definições 5.13 (ee) e 5.7.♦

Lema 5.16 O axioma $(Itself)$ é válido: $\models (\forall_{x^{Ag}}) is - itself(x^{Ag})$.

Demonstração:

Quer-se provar que para qualquer modelo M, para qualquer valoração v sobre M, e para qualquer mundo w, se tem $M \models_{w,v} (\forall_{x^{Ag}}) is - itself(x^{Ag})$, o que acontece se para qualquer valoração v' $x^{Ag} - equivalente$ a v se tiver $M \models_{w,v'} is - itself(x^{Ag})$.

Logo, pela definição 5.7 terá de se verificar $v'(x^{Ag}) \in I(w, is - itself)$. Tal de facto acontece, pois pela definição 5.5, $I(w, is - itself) = D_{Ag}$. Fica assim concluída a demonstração.♦

Lema 5.17 O axioma $(Qual)$ é válido: $\models E_{t:r}\psi \to \tau(t : r)$.

Demonstração:

Seja $M \models_{w,v} E_{t:r}\psi$, para qualquer modelo M, para qualquer valoração v sobre M, e para qualquer mundo w, t um termo de género Ag e r um termo de género R.

Pela definição 5.7 temos $w \in f_{e_{v(t:r)}}(\| \psi \|_v)$ e pela definição 5.13 $(qual)$ temos então $qual(w, v(t : r))$. A demonstração de que "$qual(w, v(t : r))$ implica $M \models_{w,v} \tau(t : r)$" faz-se por indução na complexidade de r, como se esboça a seguir.

Base: r corresponde a uma propriedade de um agente — $r = rg(t_1, \ldots, t_n)$.

Neste caso tem-se $qual(w, v(t : rg(t_1, \ldots, t_n))) = qual(w, v(t) : rg(v(t_1), \ldots, v(t_n))) = < v(t), v(t_1), \ldots, v(t_n) > \in I(w, is - rg)$.

Ora, pela definição 5.11, $M \models_{w,v} \tau(t : rg(t_1, \ldots, t_n))$ equivale a ter $M \models_{w,v} is - rg(t, t_1, \ldots, t_n))$.

Terá então de se verificar, pela definição 5.7, $< v(t), v(t_1), \ldots, v(t_n) > \in I(w, is - rg)$, o que está garantido acima.

Passo de indução: r corresponde a uma relação entre agentes —

$r = rg(u : rg'(u_1, \ldots, u_m), t_1, \ldots, t_n)$.

Neste caso tem-se

$qual(w, v(t : rg(u : rg'(u_1, \ldots, u_m), t_1, \ldots, t_n))) =$

$qual(w, v(t) : rg(v(u) : rg'(v(u_1), \ldots, v(u_m)), v(t_1), \ldots, v(t_n))) =$

$< v(t), v(u), v(t_1), \ldots, v(t_n) > \in I(w, is - rg)$ e $qual(w, v(u) : rg'(v(u_1), \ldots, v(u_m)))$.

Ora, pela definição 5.11, $M \models_{w,v} \tau(t : rg(u : rg'(u_1, \ldots, u_m), t_1, \ldots t_n))$ equivale a ter

$M \models_{w,v} is - rg(t, u, t_1, \ldots, t_n)) \wedge \tau(u : rg'(u_1, \ldots, u_m))$.

Pela definição 5.7 resulta que tem de ser provado que $M \models_{w,v} is - rg(t, u, t_1, \ldots, t_n))$ e que $M \models_{w,v} \tau(u : rg'(u_1, \ldots, u_m))$.
Ora como se tem $< v(t), v(u), v(t_1), \ldots, v(t_n) > \in I(w, is - rg)$, pela definição 5.7 fica provado $M \models_{w,v} is - rg(t, u, t_1, \ldots, t_n))$.
Por outro lado como se tem
$qual(w, v(u) : rg' : (v(u_1), \ldots, v(u_m))) = qual(w, v(u : rg'((u_1, \ldots, u_m))),$
por hipótese de indução, tem-se $M \models_{w,v} \tau(u : rg'(u_1, \ldots, u_m))$. ♦

Lema 5.18 Todos os axiomas-esquema de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ são válidos na classe de modelos $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}}$.

Demonstração: Resulta directamente dos lemas 5.7 a 5.17. ♦

Lema 5.19 A regra modus ponens (MP) preserva a veracidade num mundo e numa valoração.

Demonstração: Imediato.♦

Lema 5.20 A regra da generalização preserva a veracidade num modelo.

Demonstração: Imediato (tal como para as lógicas de $1.^a$ ordem). ♦

Lema 5.21 A regra (RE_E) preserva a veracidade num modelo.

Demonstração: Suponha-se que $M \models \psi \leftrightarrow \phi$.
Logo, verifica-se $M \models_{w,v} \psi \leftrightarrow \phi$ para uma qualquer valoração v sobre M e para um qualquer mundo w.
Pelo que, em particular, qualquer que seja a valoração v, $\| \psi \leftrightarrow \phi \|_v = W$
e pelo resultado 5.2, $\| \psi \|_v = \| \phi \|_v$.
Quer-se provar que se tem $M \models E_t\psi \leftrightarrow E_t\phi$.
Terá então de se verificar $M \models_{w,v} E_t\psi \leftrightarrow E_t\phi$ para uma qualquer valoração v sobre M e para um qualquer mundo w.
Ora $M \models_{w,v} E_t\psi$ sse $w \in f_{e_{v(t)}}(\| \psi \|_v)$ sse $w \in f_{e_{v(t)}}(\| \phi \|_v)$ sse $M \models_{w,v} E_t\phi$. ♦

Lema 5.22 A regra (RE_O) preserva a veracidade num modelo.

Demonstração: Semelhante à demonstração do lema 5.23. ♦

Lema 5.23 A regra (RM_{EP}) preserva a veracidade num modelo.

Demonstração:
Suponha-se que $M \models E_{t1}\psi \rightarrow E_{t2}\phi$. Verifica-se então $M \models_{w,v} E_{t1}\psi \rightarrow E_{t2}\phi$, para uma qualquer valoração v sobre M e para um qualquer mundo w.
Pelo resultado 5.2 tem-se então $\| E_{t1}\psi \|_v \subseteq \| E_{t2}\phi \|_v$ (para qualquer valoração v),
o que pelo resultado 5.1, equivale a ter $f_{e_{v(t1)}}(\| \psi \|_v) \subseteq f_{e_{v(t2)}}(\| \phi \|_v)$.
Quer-se provar que se tem $M \models O\neg E_{t2}\phi \rightarrow O\neg E_{t1}\psi$
(equivalente a provar $M \models \neg O\neg E_{t1}\psi \rightarrow \neg O\neg E_{t2}\phi$).
Ou seja, terá de se provar que $M \models_{w,v} O\neg E_{t2}\phi \rightarrow O\neg E_{t1}\psi$, para qualquer valoração v sobre M e para qualquer mundo w em M. Pela definição 5.7 e pelos resultados 5.1 e 5.2 isto equivale a provar que $f_o(W - f_{e_{v(t2)}}(\| \phi \|_v)) \subseteq f_o(W - f_{e_{v(t1)}}(\| \psi \|_v))$, para qualquer valoração v. Ora a definição 5.13 ($rm - ep$) assegura que tal se verifica. ⧫

Lema 5.24 Todas as regras de prova de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ preservam a validade em modelos da classe $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}}$, das fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

Demonstração: Resulta directamente dos lemas 5.19 a 5.23 ⧫

Proposição 5.4 A lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ é correcta face à semântica definida na classe de modelos $\mathcal{C}_{\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}}$: se $\vdash \psi$ então $\models \psi$

Demonstração: Resulta directamente dos lemas 5.18 e 5.24. ⧫

Capítulo 6

Especificação formal de agentes institucionais e de sociedades de agentes

No capítulo 4 foi apresentada uma caracterização informal do conceito de agente institucional, baseada nas noções de papel e de acção de um agente num papel. Esta caracterização serviu de suporte à descrição do comportamento de um agente institucional (numa perspectiva normativa) na interacção com outros agentes, tanto com os agentes que fazem parte da sua estrutura como com os agentes com os quais estabelece outras relações normativas. Tal como foi então dito, este tipo de caracterização informal não é suficiente para os propósitos desta dissertação, dado poder ser fonte de ambiguidades, imprecisões ou mal-entendidos, o que pode ser extremamente pernicioso num contexto de especificação com vista à automatização ou simplesmente à compreensão de uma qualquer realidade. Pretende-se sim uma caracterização rigorosa dos agentes institucionais e dos conceitos envolvidos nessa caracterização, que suporte uma análise também ela rigorosa do comportamento dessas entidades, quando encaradas numa perspectiva normativa.

No capítulo 5 definiu-se uma lógica, $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, que formalizou o conceito de papel e de acção num papel e os relacionou com as noções deônticas de obrigação, permissão e proibição. Vai agora utilizar-se a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ na especificação e análise formal de agentes institucionais, de sociedades de agentes e das diversas interacções de carácter normativo que os diversos agentes podem estabelecer entre si. Começam-se por definir algumas extensões à lógica proposta que enriquecem a linguagem apresentada tornando-a mais próxima dos nossos propósitos. Definem-se abreviaturas que permitem associar papéis e agentes desempenhando papéis, às noções deônticas de obrigação, permissão e proibição, e explica-se a sua utilidade na especificação de agentes institucionais. Enriquece-se também a linguagem de forma a capturar vários tipos de relações entre papéis, a caracterizar os papéis de representação, e a permitir a expressão da acção conjunta de agentes e de contratos entre agentes. Apresenta-se, em seguida, um modelo formal de um agente institucional e de uma sociedade de agentes, suportado pela lógica definida, e ilustra-se o tipo de análise formal suportada. É ainda sugerida uma linguagem de especificação de alto nível que permite uma especificação amigável e simples destas entidades. Conclui-se este capítulo discutindo a questão da especificação estruturada de agentes institucionais.

6.1 Extensões à lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$

Vai estender-se a linguagem lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ tendo em vista a especificação de agentes institucionais e de sociedades de agentes.

Para simplificar a notação, por vezes escreve-se x $(x_1, \ldots)$ em vez de x^{Ag} $(x_1^{Ag}, \ldots)$ sempre que for claro pelo contexto que estão a ser referidas variáveis de género Ag.

Começa-se por referir que pode ser conveniente, para propósitos de especificação, decompor o género Ag em dois sub-géneros: IAg — o género dos agente institucionais, e $nIAg$ — o género dos agentes não institucionais.

Poderá também ser útil ter uma forma de referenciar na lógica que um determinado papel faz parte da estrutura de um agente institucional. Para esse efeito, introduz-se um novo símbolo de predicado *is-role-str*, de género (R, IAg), onde *is-role-str(r, i)* significa que r é um papel da estrutura (*papel estrutural*) de i.

Introduzem-se em seguida abreviaturas específicas e outros símbolos de predicado necessários para relacionar os diversos papéis.

6.1.1 Extensões à componente deôntica

A linguagem pode ser estendida com operadores deônticos não primitivos, tal como foi sugerido no capítulo 5:

- $P\ \psi \stackrel{abv}{=} \neg O \neg\ \psi$ (ψ é permitido) e
  $F\ \psi \stackrel{abv}{=} O \neg\ \psi$ (ψ é proibido)
  (para ψ uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$)

- Para t um termo de género Ag ou de género AgR, e ψ uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$:
  $O_t\ \psi \stackrel{abv}{=} O\ E_t\ \psi$,

$P_t\ \psi \stackrel{abv}{=} P\ E_t\ \psi$ e
$F_t\ \psi \stackrel{abv}{=} F\ E_t\ \psi$
(por exemplo: $O_{a:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} O\ E_{a:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi$)

É de salientar que apesar de não se excluirem os outros casos, as fórmulas em que se estará particularmente interessado são as fórmulas deônticas em que os operadores deônticos estão indexados por termos de género AgR. Informalmente, $O_{a:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi$ significa que o agente a está sujeito à obrigação de produzir ψ agindo no papel $rg(t_1,\ldots,t_n)$.

Tal como foi argumentado no capítulo anterior, considera-se que noções deônticas devem ser atribuídas apenas a agentes e não a conjuntos de agentes. Caso se deseje, podem permitir-se expressões tais como $O_X\psi$, mas apenas e sempre como abreviaturas de uma obrigação sobre cada membro do conjunto X, de acordo com a seguinte regra:

- $O_X\ \psi \stackrel{abv}{=} \forall_{t\in X} O_t\ \psi \quad (= O_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge O_{t_n}\ \psi)$
- $P_X\ \psi \stackrel{abv}{=} \forall_{t\in X} P_t\ \psi \quad (= P_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge P_{t_n}\ \psi)$
- $F_X\ \psi \stackrel{abv}{=} \forall_{t\in X} F_t\ \psi \quad (= F_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge F_{t_n}\ \psi)$

(Para $X = \{t_1,\ldots,t_n\}(n > 1)$ um conjunto finito de termos, todos de género Ag, ou todos de género AgR.)

6.1.2 Operadores deônticos indexados por papéis

As definições anteriores podem ser estendidas de forma natural a operadores deônticos indexados por papéis, usando a função de tradução τ, definida no capítulo anterior, como se segue:

- $O_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1,\ldots,t_n)) \rightarrow O_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$
- $P_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1,\ldots,t_n)) \rightarrow P_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$
- $F_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1,\ldots,t_n)) \rightarrow F_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$

para rg um qualquer símbolo de gerador de papel (i.e. um símbolo de papel de género $(s_1,\ldots,s_n \longrightarrow R)$, com $n \geq 0$, ou de género $(AgR, s_1,\ldots,s_{n-1} \longrightarrow R)$, com $n \geq 1$).

Assim, a título ilustrativo, $O_{rg(t1,\ldots,tn)}\ \psi$ pode ser visto como uma obrigação da forma

$$O_{\{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)\ \ tal\ \ que\ \ \tau(x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n))\}}\ \psi$$

Note-se que não se introduzem, na linguagem formal, conjuntos, nem uma linguagem para construir ou descrever conjuntos. O aspecto que se pretende salientar com esta “obrigação indexada por um conjunto”, é o de que informalmente se identifica uma obrigação associada a um papel com uma obrigação sobre o conjunto dos titulares desse papel, vista como uma obrigação sobre cada membro desse conjunto, a qual estende naturalmente a definição prévia de uma obrigação sobre um conjunto finito de termos de género agente num papel. Assim sendo, escrever, por exemplo, $O_{administrador-of(k)}\ \psi$ significa, informalmente, que todos os administradores de k estão obrigados a fazer com que ψ se verifique, agindo na qualidade de administradores de k .

Alguns comentários adicionais devem ainda ser feitos acerca da indexação de operadores deônticos por papéis, que acabou de ser proposta. Tal como se disse anteriormente, considera-se que as noções deônticas devem apenas ser atribuídas a agentes e não a conjuntos de agentes. Mas isto não significa que não se possam definir obrigações [1] sobre um conjunto, como uma *abreviatura* de uma obrigação sobre cada membro do conjunto. Isto pode ser muito útil em especificação, e não contradiz o que se disse anteriormente, pois tal obrigação não é vista como uma obrigação sobre um conjunto no seu todo, mas sobre os agentes que constituem esse conjunto.

Por outro lado, não é correcto inferir das definições anteriores, que as obrigações associadas a um determinado papel dependem do conjunto de agentes que desempenham esse papel na situação actual, no sentido de as obrigações associadas ao papel poderem mudar se o conjunto dos titulares mudar, ou de essas obrigações poderem depender das obrigações que os agentes titulares desse papel têm quando agem em nome próprio.

Não é pelo facto de os agentes actualmente qualificados para desempenhar o papel de administrador estarem permitidos a participar na assembleia geral do Benfica (porque, por coincidência, todos são sócios desse clube), que se pode inferir que existe a permissão de participar na assembleia geral do Benfica associada ao papel de administrador. Esse facto é meramente cir-

[1] Referem-se as obrigações como mero exemplo das noções deônticas em causa. Os comentários que se seguem aplicam-se igualmente às permissões e às proibições. Omitiu-se uma referência directa a estas noções deônticas para evitar “sobrecarregar” o texto.

cunstancial e tem uma origem não relacionada com o papel de administrador, não se verificando necessariamente para todos os administradores.

Mas se todos os administradores estão permitidos a assinar contratos em nome da empresa, agindo na qualidade de seus administradores, então é natural introduzir como abreviatura a permissão de assinar contratos nesse papel. Note-se que esse papel apenas pode ser desempenhado por agentes com a qualificação de administrador (i.e. a quem foi formalmente atribuído esse papel), e de acordo com as abreviaturas acima apresentadas, a permissão em causa apenas se aplica quando esses agentes agem no papel de administradores. E isto não depende do facto de os agentes que neste momento são administradores poderem mudar.

Note-se ainda que vários papéis relevantes têm um titular único (como por exemplo, o papel de *presidente-of(k)*, sendo k um agente institucional)[2]. No entanto, mesmo nestes casos, é útil a atribuição de noções deônticas a papéis (da forma definida atrás), precisamente, porque o titular actual de tais papéis pode mudar.

Finalmente, salienta-se que o facto de as obrigações associadas a um papel serem definidas como obrigações sobre cada titular desse papel, não exclui a possibilidade de definir obrigações que, sem estarem associadas a um papel, estão directamente associadas a um agente específico num papel. É o que acontece frequentemente nos contratos entre agentes, como se verá mais à frente, que para além de serem fontes de papéis, dão também origem a obrigações sobre os agentes concretos envolvidos nesse contrato, apesar de só se aplicarem quando os agentes agem nos papéis associados a esses contratos [3]. Esses casos devem ser modelados através de fórmulas da forma:

$$O_{b:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi, \quad P_{b:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \quad \text{ou} \quad F_{b:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi,$$

[2] Este facto pode expressar-se na linguagem de base da lógica proposta, caso se assuma que se tem um predicado de igualdade para cada género.

[3] Existem ainda outras situações mais complexas, que não serão consideradas de momento, em que quando é atribuído um papel da estrutura de um agente institucional a um agente, este último estabelece também um contrato com o agente institucional onde podem ser definidas obrigações, permissões ou proibições adicionais sobre esse agente nesse papel, para além das obrigações, permissões ou proibições intrínsecas ao papel estrutural. Por exemplo, quando se atribui o papel de $administrador-of(k)$ a um agente b, ele herda a caracterização deôntica desse papel (i.e. obrigações, permissões e proibições associadas ao papel de administrador de k) mas no contrato de trabalho que b estabelece com k podem definir-se obrigações ou permissões específicas sobre esse agente b, quando ele agir no papel de administrador de k, que podem não se aplicar a outros agentes que eventualmente desempenham ou venham a desempenhar esse mesmo papel.

e não através de fórmulas da forma:

$$O_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi,\quad P_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \quad \text{ou} \quad F_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi.$$

Usando as extensões atrás definidas, podem expressar-se princípios relacionados com o fluxo de obrigações num agente institucional, que podem ser adicionados à sua especificação sempre que tal for conveniente. Exemplos possíveis são (para k um agente institucional e $presidente - of(k)$ um papel da sua estrutura):

$$O_{k:itself}\ \psi \rightarrow O_{presidente-of(k:itself)}\ \psi$$

i.e., usando as abreviaturas previamente introduzidas:

$$O_{k:k}\ \psi \rightarrow O_{presidente-of(k)}\ \psi$$

Informalmente, a última fórmula esquema significa que o papel de presidente de k "herda" uma determinada obrigação de k, e indirectamente, o agente titular desse papel "herda" essa obrigação. Note-se ainda que o presidente de um agente institucional k pode herdar determinadas obrigações de k, sem que o mesmo aconteça com todos os titulares dos vários papéis da estrutura do agente institucional. Isto significa que a fórmula acima pode ser verdadeira sem que a fórmula seguinte o seja:

$$O_{k:k}\ \psi \rightarrow O_{administrador-of(k)}\ \psi$$

(sendo $administrador - of(k)$ um papel da estrutura de k)

Como um exemplo muito simples do fluxo de obrigações de um agente institucional para os titulares de papéis da sua estrutura, suponha-se que de acordo com os estatutos de uma organização (vista como um agente institucional) k, se tem (sendo φ uma fórmula sem variáveis):

(1) $O_{k:k}\ \varphi \rightarrow O_{presidente-of(k:k)}\ \varphi$

(2) $(\forall_{x^{Ag}})(E_{x^{Ag}:president-of(k:k)}\ \varphi \rightarrow E_{k:k}\ \varphi)$

Suponha-se também que o agente i é o presidente actual de k, i.e. tem-se

(3) *is-president(i, k)*

Finalmente, suponha-se que em resultado de um contrato estabelecido entre k e outro agente (cuja identificação não é aqui relevante), se tem:

(4) $O_{k:k}\ \varphi$

Então, de (1) e de (4) pode derivar-se

(5) $O_{presidente-of(k:k)}\ \varphi$

Mas (5) implica (por causa do teorema (esquema) $(\forall_{x^s})\psi \ \rightarrow\ \psi_t^{x^s livre}$, para t modalmente livre para x^s em ψ)

(6) $is - presidente(i, k) \wedge is - itself(k) \rightarrow O_{i:presidente-of(k:k)}\ \varphi$

Logo, de (1), (3) e (4), pode derivar-se (dado que $is - itself(k)$ é um teorema da axiomatização proposta)

(7) $O_{i:presidente-of(k:k)}\ \varphi$

Isto significa que o agente i fica obrigado a fazer com que φ se verifique agindo no papel de $presidente - of(k)$ — a obrigação do agente k “flui” para o agente i !

Falta agora formalizar o “fluxo” de acções de agentes titulares de papéis da estrutura de um agente institucional, para esse agente institucional.

6.1.3 Relações entre papéis

No capítulo 4, foi informalmente caracterizada a noção de papel e foram discutidas algumas relações entre papéis que serão em seguida formalizadas.

Relações de dependência entre papéis

Tal como foi anteriormente referido, há relações de dependência entre papéis, nomeadamente relações de *implicação* e relações de *incompatibilidade* entre papéis.

Diz-se que um papel r_2 *implica* um papel r_1, e denota-se por $r_2 \gg r_1$, se sempre que um agente for titular do papel r_2 então ele, automaticamente (sem que seja necessária uma atribuição formal), é titular do papel r_1. Formalmente:

$$r_2 \gg r_1 \quad \stackrel{abv}{=} \quad (\forall_x)\ (\tau(x : r_2)\ \rightarrow\ \tau(x : r_1)).$$

Como se pode facilmente derivar da definição, esta relação é reflexiva e transitiva.

Dizer-se que um papel r_2 *é incompatí vel com* um papel r_1, o que se denota por $r_2 <> r_1$, significa que se um agente é titular de um papel r_2 então ele não pode ser titular do papel r_1. Formalmente:

$$r_2 <> r_1 \quad \stackrel{abv}{=} \quad (\forall_x)\ (\tau(x : r_2)\ \rightarrow\ \neg\tau(x : r_1)).$$

Naturalmente, esta relação é simétrica.

Note-se que embora existam relações de dependência entre a titularidade destes papéis, usualmente não existe qualquer relação entre a sua caracterização deôntica.

A relação de *sub-papel*

Outro tipo de relação entre papéis, anteriormente referida, é a relação de *sub-papel*. Um papel r_2 é um *sub-papel* de outro papel r_1, se r_2 é um papel *mais especí fico* do que r_1. Ser "mais específico" significa, neste caso particular, que se algo é permitido no papel r_1 então também é permitido no papel r_2. Significa também que r_2 *implica* r_1, no sentido indicado acima, ou seja, se um agente é titular do papel r_2 então também é titular do papel r_1. Mais ainda, um agente pode cumprir uma obrigação que sobre ele recai resultante do facto de ser titular dum papel r_1, ao agir num papel r_2 mais específico (este assunto será em seguida discutido em mais detalhe).

Para expressar esta relação de *sub-papel* introduz-se na linguagem um novo símbolo de predicado, $\preceq$, de género (R, R), onde $r_2 \preceq r_1$ significa que "r_2 é um sub-papel de r_1" e impõem-se as propriedades desejadas acrescentando à lógica os axiomas seguintes:

- Se r_2 é um sub-papel de r_1 então ser titular de r_2 implica ser titular de r_1:

  $$r_2 \preceq r_1 \ \rightarrow \ r_2 \gg r_1$$

  (Por exemplo, se um agente é titular do papel de director do Departmento de Informática (DDI) então ele também é titular do papel de membro desse Departamento (MDI):

  $DDI \preceq MDI \ \rightarrow \ DDI \gg MDI$.)

- As permissões *descem* (i.e. os sub-papéis herdam as permissões):

  $$r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ P_{r_1}\, \psi \ \rightarrow \ P_{r_2}\, \psi$$

  (O director do Departmento de Informática tem permissão para fazer tudo o que um membro desse Departamento está permitido a fazer:

  $DDI \preceq MDI \ \wedge \ P_{MDI}\, \psi \ \rightarrow \ P_{DDI}\, \psi$.)

- As acções *sobem* (sob certas condições):

  $$r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ E_{i:r_2}\, \psi \wedge \ P_{r_1}\, \psi \ \rightarrow \ E_{i:r_1}\, \psi$$

  (Se um agente titular do papel de director do Departamento de Informática produz um determinado estado ψ nesse papel, e esse estado está dentro do âmbito das tarefas associadas ao papel de membro do Departamento de Informática, a sua acção também pode ser considerada como uma acção desse agente no papel de membro do Departamento de Informática:

  $DDI \ \preceq \ MDI \ \wedge \ E_{x:DDI}\, \psi \ \wedge \ P_{MDI}\, \psi \ \rightarrow \ E_{x:MDI}\, \psi$.)

- $\preceq$ é reflexiva, transitiva e anti-simétrica.

Outras propriedades dos sub-papéis podem derivar-se dos axiomas anteriores. Por exemplo:

- Incompatibilidade *desce*: $(r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ r_1 <> r_3) \ \rightarrow \ r_2 <> r_3$
- Implicação *desce*: $(r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ r_1 \gg r_3) \ \rightarrow \ r_2 \gg r_3$

Como exemplos de algumas propriedades que não se têm, nem se desejam como se discutirá a seguir, podem referir-se as seguintes:

- $\not\vdash \ r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ P_{r_2} \ \psi \ \rightarrow \ P_{r_1} \ \psi$ (Permissões não *sobem*)
- $\not\vdash \ r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ O_{r_2} \ \psi \ \rightarrow \ O_{r_1} \ \psi$ (Obrigações não *sobem*)
- $\not\vdash \ r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ O_{r_1} \ \psi \ \rightarrow \ O_{r_2} \ \psi$ (Obrigações não *descem*).

O director do Departamento de Informática pode estar permitido ou mesmo obrigado a assinar um contrato, mas um outro qualquer membro do Departamento pode não ter essa obrigação nem mesmo ter permissão para o fazer.

Por outro lado, os membros do Departamento podem ter certas obrigações (e.g. escrever um relatório bianual de actividades) que podem não estar associadas ao papel de director do Departamento. A avaliação das suas acções no papel de director do Departamento não entra em consideração com as obrigações que ele pode ter enquanto membro do Departamento. Contudo, como o director também é membro do Departamento, ele também terá de apresentar o referido relatório.

Este último exemplo necessita de alguns comentários adicionais. É correcto afirmar que x como director do Departamento de Informática não tem a obrigação de, por exemplo, escrever o relatório bianual, enquanto que x como membro do Departamento de Informática tem essa obrigação. E, conceptualmente, a forma correcta de x cumprir essa obrigação será escrever o referido relatório desempenhando o papel de membro e não de director. Mas isto não seria prático, pois levaria a que x estivesse constantemente e formalmente a mudar de papel. Há ainda situações em que essa mudança de papel não seria possível. A título ilustrativo, há organizações que seguem uma política pragmática segundo a qual todos os actos do titular do papel de director de um Departamento, quando realizados no interior do edifício onde funciona o Departamento, contam como actos realizados no papel de director — i.e. ele não pode “despir” esse papel [4].

A solução adoptada para resolver este problema foi a de considerar que apesar de x como director não ter qualquer obrigação de escrever o relatório bianual, ele está permitido a fazê--lo, pois as obrigações implicam permissões e estas *descem* na estrutura dos sub-papéis. E se x

[4] No próximo capítulo este assunto será novamente abordado, embora de forma breve.

escrever o relatório como director esse acto conta como se o tivesse feito no papel de membro do Departamento, pois as acções *sobem* na estrutura de sub-papéis, cumprindo, por conseguinte, a obrigação que tinha na qualidade de membro do Departamento.

Esta relação de *sub-papel* pode ser usada para evitar redundância na especificação deôntica dos papéis. Claro que só trará vantagens significativas em situações onde se verifiquem múltiplas relações de *sub-papel* entre os diversos papéis [5].

6.1.4 Papéis de representação

No capítulo 4 foi referido que alguns dos papéis podem ser classificados como *papéis de representação* de agentes específicos. Isto significa que os titulares desses papéis, denominados *representantes*, podem agir em nome dos agentes *representados*, dentro do *âmbito de representação* previamente definido entre esses agentes.

Para representar esta situação, introduz-se a seguinte notação:

$$r : REP(a, \psi),$$

que se lê da seguinte maneira: “*r* é um papel de representação do agente *a* tendo como âmbito de representação ψ”.

Formalmente a expressão $r : REP(a, \psi)$ é uma abreviatura da seguinte expressão [6]:

$$r : REP(a, \psi) \quad \stackrel{abv}{=} \quad (\forall_x)\ (E_{x:r}\ \psi\ \rightarrow\ E_{a:a}\ \psi).$$

Quando um agente age como representante de outro agente ele não age em nome próprio

[5]Exemplos interessantes podem encontrar-se se se tentar especificar a estrutura da Universidade do Minho. Por exemplo: $DDI \preceq MDI,\ MDI \preceq MEE,\ PEE \preceq MEE,\ MEE \preceq MUM,$ onde :
DDI – director do Departamento de Informática; MDI – membro do Departamento de Informática;
PEE – presidente da Escola de Engenharia; MEE – membro da Escola de Engenharia;
MUM – membro da Universidade do Minho.

[6]Quer-se salientar que em vez de usar a implicação material na abreviatura a seguir proposta, seria preferível incluir na linguagem de base da lógica um operador “conta como”(“count as”) do género do proposto em [38], e substituir na expressão correspondente à abreviatura $r : REP(a, \psi)$, $\rightarrow$ por $\Rrightarrow_s$ para s uma etiqueta representando a sociedade subjacente (ou, no caso de se estarem a representar acções internas a uma organização (agente institucional) k, e situações de “delegação” interna, então s poderá ser o próprio k). Tal operador, já anteriormente referido, não será considerado de momento para evitar complicar a lógica, sendo novamente referido no capítulo 7.

mas sim em nome do agente representado. Logo, é natural impor que:

$$E_{x:r}\ \psi\ \wedge\ r : REP(a, \psi)\ \rightarrow\ \neg E_{x:x}\ \psi.$$

Isto não significa que o agente representante não possa ser reponsabilizado por "mau comportamento". Suponha-se, por exemplo, que $r : REP(a, \psi)$, e que $E_{b:r}\ \psi$ se verifica. De acordo com a definição apresentada acima, pode deduzir-se que $E_{a:a}\psi$ também se verifica. Suponha-se ainda que tal acto é proibido, isto é, que se verifica $F_{b:r}\psi = \neg P_{b:r}\psi$. Isto significa que apesar de ser proibido ao agente b fazer com que ψ se verifique, agindo no papel r do tipo representação do agente a, ele de facto efectua essa acção. Duas situações podem ocorrer:

- $F_{b:r}\ \psi$ (porque, por exemplo, $F_r\ \psi$) e $P_{a:a}\ \psi$ ou
- $F_{a:a}\ \psi$ [7]

Apesar de a acção a tomar quando ocorre um acto proibido depender das situações em causa e das normas aplicáveis [8], intuitivamente, no primeiro caso, as eventuais sanções podem aplicar-se ao agente representante, b, mas provavelmente não ao agente representado, a [9]; no segundo caso, tanto a como b poderão ser sancionados.

Uma alternativa para evitar esta situação seria definir $r : REP(a, \psi)$ como uma abreviatura de

$$r : REP(a, \psi)\ \stackrel{abv}{=}\ (\forall_x)\ (P_r\ \psi\ \rightarrow\ (E_{x:r}\ \psi\ \rightarrow\ E_{a:a}\ \psi))\ ^{10}.$$

Optou-se por não impor esta última definição, permitindo a ocorrência de situações não ideais do tipo das atrás mencionadas.

[7] Note-se que se se assumir que $r : REP(a, \psi)$ é acrescentado à lógica como um novo axioma (ver em seguida como se fazem deduções a partir de uma especificação), então de $F_{a:a}\psi$ obtém-se $F_{b:r}\ \psi$, usando a regra (RM_{EP}).

[8] E se se pensar em termos de possíveis sanções criminais, muitos outros factores deverão ser tomados em consideração, como, por exemplo, as motivações e as intenções (boa ou má fé) do agente que efectuou o acto proibido.

[9] Em termos legais, há situações deste tipo em que a pode conseguir anular os efeitos da acção de b, pois está-se perante uma situação de *abuso de poder*.

[10] Ou $r : REP(a, \psi)\ \stackrel{abv}{=}\ (\forall_x)(P_r\psi \rightarrow (E_{x:r}\psi \Rightarrow_s E_{a:a}\psi))$, onde $\Rightarrow_s$ é o operador "conta como" anteriormente referido.

Existem situações onde, pelo menos numa perspectiva pragmática, se pode considerar a existência de papéis de representação com um âmbito de representação ilimitado, i.e., papéis em que o representante tem poderes para realizar qualquer acção em nome do representado. Se for usada a expressão $r : REP(a,*)$ para representar que um papel r é do tipo representação do agente a para tudo, pode expressar-se essa situação impondo o seguinte axioma esquema[11]:

$$r : REP(a,*) \rightarrow r : REP(a,\psi)$$

Os papéis do tipo representação são essenciais na especificação de agentes institucionais, porque um agente institucional não pode agir directamente, necessitando de outros agentes para agir em seu nome. Esses agentes são os titulares dos papéis do tipo representação. Por conseguinte, alguns dos papéis da estrutura de um agente institucional são necessariamente papéis de representação desse agente institucional. No modelo a propor para os agentes institucionais terão de ser claramente identificados quais os papéis do tipo representação e qual o âmbito de representação de cada um desses papéis.

Podem ainda existir outras formas de representação que não se consideram de momento. Por exemplo, podem existir normas estatutárias definindo que *a assinatura de dois quaisquer administradores "obriga" o agente institucional*, significando com isso que: se dois administradores conjuntamente produzirem um determinado estado, esse facto "conta como" se o agente institucional tivesse produzido esse estado. Esta é uma forma de representação ilimitada. É ainda uma forma de "representação conjunta": dois agentes, cada um desempenhando papéis específicos e agindo conjuntamente têm poderes de representação; mas se agirem isoladamente, desempenhando os mesmos papéis, já não tem esses poderes de representação[12].

Os papéis do tipo representação não fazem necessariamente parte da estrutura de um agente institucional. Podem resultar de contratos ou de outras relações normativas que os agentes são livres de estabelecer entre si. Um agente institucional, por exemplo, pode também estabelecer relações de representação arbitrárias com agentes que não fazem parte da sua estrutura, atribuindo-lhes papéis de representação para situações específicas. Na próxima secção será discutida a formalização de contratos e o problema da representação em contratos.

[11]Formalmente, pode ver-se $r : REP(a,*)$ como um predicado de género (R, Ag) aplicado a (r, a).

[12]Usando o operador de acção conjunta, a introduzir na próxima secção, uma possível representação desta situação seria: $(\forall_x)(\forall_y)\ (\ x \neq y \rightarrow\ \ (E_{\{x:Adm(i),y:Adm(i)\}}\ \psi\ \rightarrow\ E_{i:i}\ \psi))$

6.1.5 Acção conjunta e contratos

Acção conjunta

Muitas das acções que um agente pode realizar podem ser concretizadas isoladamente. Contudo, há muitas outras acções tais como a celebração de contratos, que se exprimem mais correctamente se forem vistas como sendo efectuadas conjuntamente por dois (ou mais) agentes.

No capítulo 3 foram referidos operadores de acção da forma E_X para X um conjunto finito de agentes, que foram introduzidos e.g. em [44].

Vai em seguida estender-se a linguagem de base da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ com um operador similar, mas onde X é um conjunto de agentes em papéis, em vez de um conjunto de agentes. As fórmulas da linguagem estendida, $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$, definem-se como se segue:

Definição 6.1 *Fórmulas de* $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$

- Se ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, então ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$;

- Se ψ é uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ e $t_1, \ldots, t_n$ ($n \geq 2$) são termos de género AgR, então $E_{\{t_1,\ldots,t_n\}}\ \psi$ é uma fórmula de $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$ (uma *fórmula de acção conjunta*);

- Combinações booleanas de fórmulas de $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$ e quantificações universais de fórmulas de $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$, são também fórmulas de $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$. ♦

A definição acima pode estender-se ao caso em que $n = 1$ impondo que $E_{\{t\}}\ \psi$ seja equivalente a $E_t\ \psi$. Por outro lado $O_{\{t_1,\ldots,t_n\}}\ \psi$ [13], visto como uma abreviatura de $OE_{\{t_1,\ldots,t_n\}}\ \psi$, não é uma fórmula da linguagem, o que está de acordo com a opinião defendida nesta dissertação de que as noções deônticas podem apenas ser atribuídas a agentes (e não a conjuntos de agentes).

Note-se ainda, que apesar de se considerarem operadores de acção conjunta da forma $E_{\{a_1:r_1,\ldots,a_n:r_n\}}$, não se consideram operadores de acção da forma $E_{\{a_1,\ldots,a_n\}:r}$ (os motivos para esta opção foram discutidos nos capítulos 4 e 5, onde se argumentou não fazer sentido atribuir um papel a um conjunto).

Tal como foi feito para os outros operadores de acção, considera-se que cada operador de acção conjunta, $E_{\{a_1:r_1,\ldots,a_n:r_n\}}$, é caracterizado pela lógica de *acção mínima* (c.f. capítulo 3), e o axioma da qualificação estende-se naturalmente a fórmulas de acção conjunta, como se segue:

[13] Não confundir com a situação em que $O_{\{t_1,\ldots,t_n\}}\ \psi$ é definido como sendo uma abreviatura de $O_{t_1}\psi \wedge \ldots O_{t_n}\ \psi$.

$$E_{\{a_1:r_1,\ldots,a_n:r_n\}}\ \psi \rightarrow \tau(a_1 : r_1) \wedge \ldots \wedge \tau(a_n : r_n)$$

Levanta-se agora a questão de saber se o facto de um agente a ter poderes de representação para produzir ψ (agindo num papel r), se estende sem restrições à acção conjunta, ou se é um outro tipo de representação. A resposta não é clara neste momento, mas caso se verifique a primeira situação, então deve acrescentar-se à lógica o seguinte princípio lógico ($REJA$)[14]:

(REJA) $\quad r : REP(a,\psi) \rightarrow (\forall_x)\ (E_{\{x:r\}\cup X}\ \psi \rightarrow E_{\{a:a\}\cup X}\ \psi)$

para X qualquer conjunto finito de termos de género AgR.

Contratos

Os agentes numa sociedade são livres de estabelecer relações normativas entre si. Um tipo particular dessas relações são os *contratos*. No domínio jurídico podem identificar-se *contratos tipificados* e *contratos não tipificados*[15]. Os contratos tipificados usualmente têm associados papéis e uma caracterização deôntica genérica desses papéis, que terá de ser instanciada em situações concretas. Um exemplo de um contrato tipificado é o *mandato*, tendo associados os papéis de *mandatário* e *mandante* (cf. capítulo 4 para mais detalhes sobre este tipo de contrato).

Quando dois agentes [16] estabelecem entre si um contrato tipificado, atribuem mutuamente papéis e caracterizam deonticamente esses papéis, ou seja, definem quais são as obrigações, permissões ou proibições associadas a cada papel. Alguns destes papéis podem ser papéis de representação de um dos agentes. Neste caso, no próprio contrato tem de estar definido o âmbito da representação desse papel.

Em contratos não tipificados podem não existir papéis atribuídos aos agentes. Nestes contratos as obrigações, permissões ou proibições são atribuídas directamente aos agentes envolvidos. Isto significa que esses agentes ficam obrigados, permitidos ou proibidos, no papel de eles próprios, a efectuar os actos fixados no contrato. Se existirem papéis no contrato, estes podem eventualmente ser do tipo representação de algum dos agentes envolvido.

Se se usar $C(a_1, a_2)$ para denotar o conteúdo de um contrato entre a_1 e a_2 (onde a_1 e a_2 serão constantes de género Ag), pode dizer-se que num contrato tipificado $C(a_1, a_2)$ será uma

[14] A sigla ($REJA$) signifi ca "representation extends to joint action".

[15] Tamb´em chamados *contratos inominados*.

[16] Para simplifi car, consideram-se apenas contratos entre dois agentes.

fórmula da forma:

is-rg$_1(a_1, a_2)$ $\wedge$ *is-rg*$_2(a_2, a_1) \wedge$	*Atribuição de papéis a agentes*
$P_{a_1:rg_1(a_2)}A_1 \wedge P_{a_1:rg_1(a_2)}A_2 \wedge \ldots$	*Caracterização deôntica de* $rg_1(a_2)$
$O_{a_1:rg_1(a_2)}B_1 \wedge O_{a_1:rg_1(a_2)}B_2 \wedge \ldots$	
$P_{a_2:rg_2(a_1)}C_1 \wedge P_{a_2:rg_2(a_1)}C_2 \wedge \ldots$	*Caracterização deôntica de* $rg_2(a_1)$
$O_{a_2:rg_2(a_1)}G_1 \wedge O_{a_2:rg_2(a_1)}G_2 \wedge \ldots$	
$rg_1(a_2) : REP(a_2, H_1) \wedge \ldots$	*Âmbito de representação de* $rg_1(a_2)$
$rg_2(a_1) : REP(a_1, I_1) \wedge \ldots$	*Âmbito de representação de* $rg_2(a_1)$

onde a_1 e a_2 são constantes de género Ag, rg_1 e rg_2 são geradores de papéis de género $(Ag \rightarrow R)$ (logo, $rg_1(a_2)$ e $rg_2(a_1)$ serão papéis concretos), e $A_1, A_2, \ldots$, $B_1, B_2, \ldots$, $C_1, C_2, \ldots$, $G_1, G_2, \ldots$, $H_1, H_2, \ldots$, $I_1, I_2, \ldots$, serão fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ sem variáveis livres. Num contrato concreto, alguns dos componentes da conjunção acima indicada podem ser omitidos.

Um exemplo de um contrato tipificado seria:

$$
\begin{aligned}
C(a,b) \quad = \quad & is - mandatario(a,b) \ \wedge \ is - mandante(b,a) \ \wedge \\
& O_{a:mandatario(b)}A \ \wedge \ P_{a:mandatario(b)}B \ \wedge \ O_{b:mandante(a)}C \\
& \wedge \ mandatario(b) : REP(b, A)
\end{aligned}
$$

onde:

A = *comprar uma casa*;
B = *pagar um preç o superior ao acordado*;
C = *fornecer a quantia necessária para efectuar o pagamento*

(para simplificar a apresentação do exemplo, substituiram-se as fórmulas atómicas por letras).

Os contratos não tipificados têm uma estrutura similar, frequentemente sem papéis associados. Um exemplo de um contrato não tipificado seria:

$$C(a,b) = O_{a:a}A \wedge O_{b:b}B$$

onde:

A = *fazer limpeza*;
B = *pagar uma determinada quantia*;

Para permitir uma descrição amigável de contratos, definiu-se uma linguagem de especificação para contratos [17]. Nessa linguagem, os contratos atrás apresentados são representados como se segue:

Contract mandato-X:

Agents: a, b;
Role Attributions: a **is** mandatario(b); b **is** mandante(a);
Deontic Characterization:

a **as** mandatario(b):

Obligations: A; **Permissions**: B;

b **as** mandante(a):

Obligations: C;

Representation:
mandatario(b) **is representative of** a **for** A;

End contract mandato-X.

e

[17] Ver no apˆendice A uma descriç ˜ao formal desta linguagem.

Contract Limpeza:

Agents: a, b;

Deontic Characterization:

a **as** a : **Obligations**: A;

b **as** b : **Obligations**: B;

End contract Limpeza.

Foi referido anteriormente que alguns dos componentes de um contrato podem ser omitidos. Pode então colocar-se a questão de saber qual a "fórmula mínima" que pode corresponder a um contrato. Considera-se que um *contrato mí nimo* é uma formula envolvendo dois agentes e cujo conteúdo tem pelo menos duas obrigações, uma sobre cada agente[18].

Um outro aspecto que importa referir, é o de os contratos (tipificados ou não) geralmente incluirem obrigações condicionais (ou permissões condicionais). Em particular, nos contratos legais é frequente incluir obrigações condicionais descrevendo os efeitos do cumprimento ou incumprimento de outras obrigações constantes do contrato. A título ilustrativo, um contrato $C(a, b)$ para além de poder incluir uma obrigação sobre um agente a, $O_{a:rg_1(b)}\psi$, pode também incluir uma obrigação sobre o agente b sob a condição de a cumprir a obrigação anterior:

$$E_{a:rg_1(b)}\ \psi\ \rightarrow\ O_{b:rg_2(a)}\ \phi,$$

ou outra obrigação sobre a caso ele não cumpra a obrigação anterior:

$$\neg E_{a:rg_1(b)}\ \psi\ \rightarrow\ O_{a:rg_1(b)}\ \varphi.$$

Logo, o conteúdo $C(a, b)$ de um contrato entre a e b pode também incluir fórmulas da forma

$$\psi\ \rightarrow\ O_{\dots:rg(\cdots)}\ \phi \quad (\text{ou}\ \ \psi\ \rightarrow\ P_{\dots:rg(\cdots)}\ \phi)$$

fórmulas essas sem variáveis e onde apenas ocorrem os agentes a e b, e onde ψ tipicamente é uma fórmula de acção (ou a negação de uma fórmula de acção), possivelmente em conjunção com outras condições.

[18] No dom´ı nio jur´ı dico as coisas n˜ao se passam necessariamente assim.

Um obrigação condicional como, por exemplo, a que a seguir se apresenta:

$$E_{a:mandatario(b)}\ \psi \rightarrow O_{b:mandante(a)}\ \varphi$$

pode descrever-se na linguagem de especificação como se segue:

Contract $\cdots$

...

Deontic Characterization:

...

b **as** mandante(a):

Obligations: φ **on condition** a **does** ψ **as** mandatario(b);

...

End contract $\cdots$.

Para além de contratos, também se vão permitir relações normativas arbitrárias entre agentes. Um exemplo desse tipo de relações entre agentes, ocorre quando um agente atribui permissões a outro agente para efectuar determinadas acções, ou quando atribui poderes de representação a outro agente (sem ser em contratos). Este tipo de relações têm uma composição semelhante à dos contratos, com a única diferença de não existirem forçosamente obrigações mútuas sobre os agentes envolvidos na relação.

Celebração de contratos

Os agentes agem em papéis e uma das possíveis acções que podem efectuar é a celebração de um contrato. Vai usar-se a seguinte expressão (para a, b de género Ag e r_1, r_2 de género R):

$$\textit{MAKE-CONTRACT}(a : r_1, b : r_2, contrato)$$

para denotar esse facto. A situação mais frequente é da forma:

$$\textit{MAKE-CONTRACT}(a : a, b : b, C(a, b)).$$

Quando dois agentes estabelecem um contrato entre si, agem conjuntamente. Por conseguinte, a forma mais natural de expressar essa situação na nossa linguagem lógica é através da fórmula:

$$\textit{MAKE-CONTRACT}(a : a, b : b, C(a, b)) \stackrel{abv}{=} E_{\{a:a,b:b\}}\ C(a, b)$$

Existem contudo muitas situações em que os agentes são representados por outros agentes quando celebram contratos. Logo, podem ocorrer situações em que se tem

$$\textit{MAKE-CONTRACT}(z : rg_3(a), w : rg_4(b), C(a, b)).$$

Note-se que o conteúdo do contrato permanece inalterado — continua a ser um contrato entre os agentes a e b. A única diferença ocorre nos agentes que efectivamente celebram o contrato: z em nome de a e w em nome de b. É evidente que, para que o contrato seja efectivamente celebrado, $rg_3(a)$ tem de ser um papel do tipo de representação de a, z tem de ser titular desse papel e a celebração de contratos tem de fazer parte do âmbito de representação desse papel. Condições similares terão de ser verificadas para $rg_4(b)$ e w.

Logo (apesar de este assunto necessitar de mais investigação), considera-se que a forma mais natural de representar esta situação na linguagem lógica aqui proposta, é através da seguinte fórmula condicional:

$$\begin{aligned} &\textit{MAKE-CONTRACT}(z : rg_3(a), w : rg_4(b), C(a, b)) \stackrel{abv}{=} \\ &rg_3(a) : REP(a, C(a, b)) \ \wedge \ rg_4(b) : REP(b, C(a, b)) \ \wedge \\ &\tau(z : rg_3(a)) \ \wedge \ \tau(w : rg_4(b)) \ \rightarrow \ E_{\{\ z:rg_3(a),\ w:rg_4(b)\ \}}\ C(a, b) \end{aligned}$$

Note-se ainda, que caso se considere o axioma $(REJA)$ (c.f. secção 6.1), quando o antecedente da implicação acima apresentada é verdadeiro, pode derivar-se que também se verifica:

$$E_{\{a:a,b:b\}}\ C(a, b).$$

6.1.6 Síntese dos axiomas e das abreviaturas introduzidas

Sintetizam-se em seguida as diversas abreviaturas introduzidas neste capítulo.

$P\ \psi \stackrel{abv}{=} \neg O \neg \psi$

$F\ \psi \stackrel{abv}{=} O \neg \psi$

$O_t\ \psi \stackrel{abv}{=} O\ E_t\ \psi$,

$P_t\ \psi \stackrel{abv}{=} P\ E_t\ \psi$

$F_t\ \psi \stackrel{abv}{=} F\ E_t\ \psi$

$O_X\ \psi \stackrel{abv}{=} O_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge O_{t_n}\ \psi$

$P_X\ \psi \stackrel{abv}{=} P_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge P_{t_n}\ \psi$

$F_X\ \psi \stackrel{abv}{=} F_{t_1}\ \psi \wedge \ldots \wedge F_{t_n}\ \psi$

$O_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1, \ldots, t_n)) \rightarrow O_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$

$P_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1, \ldots, t_n)) \rightarrow P_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$

$F_{rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi \stackrel{abv}{=} (\forall_{x^{Ag}})(\tau(x^{Ag} : rg(t_1, \ldots, t_n)) \rightarrow F_{x^{Ag}:rg(t_1,\ldots,t_n)}\ \psi)$

$r_2 \gg r_1 \stackrel{abv}{=} (\forall_x)\ (\tau(x : r_2) \rightarrow \tau(x : r_1))$

$r_2 <> r_1 \stackrel{abv}{=} (\forall_x)\ (\tau(x : r_2) \rightarrow \neg\tau(x : r_1))$

$r : REP(a, \psi) \stackrel{abv}{=} (\forall_x)\ (E_{x:r}\ \psi \rightarrow E_{a:a}\ \psi)$

MAKE-CONTRACT$(a : a, b : b, C(a, b)) \stackrel{abv}{=} E_{\{a:a,b:b\}}\ C(a, b)$

MAKE-CONTRACT$(z : rg_3(a), w : rg_4(b), C(a, b)) \stackrel{abv}{=}$
$rg_3(a) : REP(a, C(a, b)) \wedge rg_4(b) : REP(b, C(a, b)) \wedge$
$\tau(z : rg_3(a)) \wedge \tau(w : rg_4(b)) \rightarrow E_{\{\ z:rg_3(a),\ w:rg_4(b)\ \}}\ C(a, b)$

Apresenta-se agora a síntese dos princípios lógicos que caracterizam $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$, introduzidos neste capítulo.

para r_1, r_2 e r_3 termos de género R, e k um termo de género Ag tem-se:

$r_2 \preceq r_1 \ \rightarrow \ r_2 \gg r_1$
$r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ P_{r_1}\ \psi \ \rightarrow \ P_{r_2}\ \psi$
$r_2 \preceq r_1 \ \wedge \ E_{k:r_2}\ \psi \wedge \ P_{r_1}\ \psi \ \rightarrow \ E_{k:r_1}\ \psi$
$r_1 \preceq r_1$
$r_1 \preceq r_2 \wedge r_2 \preceq r_3 \rightarrow r_1 \preceq r_3$

para $X = \{a_1 : r_1, \ldots, a_n : r_n\}$, i, a, a_i $(i = 1, \ldots, n)$ de género Ag e r, r_i $(i = 1, \ldots, n)$ de género R, tem-se:

de $\psi \leftrightarrow \phi$ infere-se $E_X\psi \leftrightarrow E_X\phi$
$E_X\ \psi \rightarrow \psi$
$(E_X\ \psi \wedge E_X\ \phi) \rightarrow E_X(\psi \wedge \phi)$
$E_{\{a_1:r_1,\ldots,a_n:r_n\}}\ \psi \rightarrow \tau(a_1 : r_1) \wedge \ldots \wedge \tau(a_n : r_n)$

$E_{i:r}\ \psi \ \wedge \ r : REP(a, \psi) \ \rightarrow \ \neg E_{i:i}\psi$
$r : REP(a, \psi) \rightarrow (\forall_x)\ (E_{\{x:r\}\cup X}\ \psi \rightarrow E_{\{a:a\}\cup X}\ \psi)$

6.2 Especificação formal

Com as extensões à lógica que acabaram de ser introduzidas estão reunidas as condições para abordar a especificação formal de agentes institucionais e de sociedades de agentes, e a análise formal suportada.

6.2.1 Agentes institucionais

No capítulo 4 identificaram-se informalmente as características e os componentes essenciais de um agente institucional. Apresenta-se em seguida um modelo formal com uma descrição precisa desses componentes, usando a lógica ${\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}}^+$.

A especificação de um agente institucional consiste num *identificador*, i, e numa *estrutura* ST_i, constituída por:

$$ST_i =< R_i, DCR_i, TO_i, RER_i, RR_i >$$

sendo :

R_i : um *conjunto de papéis*, associados ao agente institucional (são os papéis estruturais). Este componente da estrutura de i é constituído por um conjunto de fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ da forma $is - role - str(rg(i), i)$, declarando que o papel $rg(i)$ é um papel da estrutura de um agente institucional i.

DCR_i : a *caracterização deôntica de cada papel* — obrigações, permissões ou proibições intrínsecas a cada papel. Este componente é formado por um conjunto finito de fórmulas da forma $O_{rg(i)}\ \psi$, $P_{rg(i)}\ \psi$ ou $F_{rg(i)}\ \psi$, sendo $rg(i)$ um papel da estrutura do agente institucional i e ψ uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

TO_i : a *transmissão de obrigações* do agente institucional i para papéis específicos da sua estrutura. Neste componente define-se o modo como as obrigações de um agente institucional são atribuídas a papéis da sua estrutura e, indirectamente, aos titulares desses papéis, ficando assim atribuída a responsabilidade pelo cumprimento das diversas obrigações que podem recair sobre o agente institucional. Este componente é formado por um conjunto de fórmulas da forma $O_{i:i}\ \psi \to O_{rg(i)}\ \psi$, sendo $rg(i)$ um papel da estrutura de i e ψ uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.
Um exemplo, será $O_{i:i}\ \psi \to O_{Presidente-da-Administracao-of(i)}\ \psi$ significando que sempre que o agente institucional i tenha a obrigação de fazer com que ψ se verifique, essa obrigação será atribuida ao papel $Presidente - da - Administracao - of(i)$ (i.e. será o titular desse papel que terá a obrigação de fazer com que ψ se verifique).

RER_i : *papéis de representação* com informação acerca dos papéis do tipo representação do agente i e do respectivo âmbito de representação. Este componente é constituído por um conjunto de fórmulas da forma $rg(i) : REP(i, \psi)$, sendo $rg(i)$ um papel da estrutura de i e ψ uma fórmula de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

RR_i **:** *relações entre papéis estruturais*, formado por:

> SR_i **:** *relação de sub-papel* — é um conjunto de fórmulas da forma $rg_1(i) \preceq rg_2(i)$;
>
> IMP_i **:** *relação de implicação* — é um conjunto de fórmulas da forma $rg_1(i) \gg rg_2(i)$;
>
> INC_i **:** *relação de incompatibilidade* — é um conjunto de fórmulas da forma $rg_1(i) <> rg_2(i)$.

A especificação de um agente institucional i pode incluir outros componentes intrínsecos ao agente institucional (os seus objectivos, os seus recursos, etc.) que não serão considerados nesta dissertação.

A descrição $< i, ST_i >$ contém os aspectos essenciais que caracterizam a identidade do agente institucional i e que permanecem no tempo[19]. No entanto, esta descrição não é suficiente para explicar como age o agente institucional i, dado que i não pode agir directamente, agindo através dos titulares dos papéis da sua estrutura. Será então necessário incluir na especificação de i um componente adicional TIT_i, descrevendo quais os agentes que num dado momento são titulares dos papéis da estrutura de i. Tal componente deverá ser constituída por um conjunto de fórmulas da forma $is - rg(b, i)$, sendo $rg(i)$ um papel da estrutura de i e b o agente a quem foi atribuído esse papel. Como a componente TIT_i traduz relações que o agente i estabelece com outros agentes da sociedade, foi decidido incluir esta componente na especificação da sociedade de agentes (a apresentar mais à frente) [20].

A título ilustrativo, apresenta-se em seguida a especificação do exemplo da Figura 4.2, apresentado no capítulo 4 [21].

---

[19] Um agente institucional não é uma entidade rígida podendo sofrer transformações na sua estrutura e modo de funcionamento ao longo do tempo. Tais transformações correspondem a uma alteração de identidade do agente institucional e por definição não devem ser frequentes, devendo corresponder a situações de excepção. Nesta dissertação considera-se um agente institucional no seu funcionamento normal, e portanto, com uma estrutura estável.

[20] Seria possível (mas não o vamos fazer nesta dissertação) extrair uma versão estendida da especificação de um agente institucional i, $ESIA_i$, formada por duas componentes: uma componente estável e fixa - ST_i e uma componente flexível contendo os aspectos que podem variar sem que se altere a identidade do agente institucional i, onde se incluiriam TIT_i assim como outros aspectos relacionados com relações temporárias que i tenha estabelecido com outros agentes (contratos, por exemplo).

[21] No exemplo apresentado na Figura 4.2, as siglas usadas para identificar os vários papéis da estrutura do agente institucional ax, tinham o seguinte significado:
Membro da Direcção da Associação X : $MD(ax)$
Presidente da Direcção da Associação X : $PD(ax)$

$$ST_{ax} = < R_{ax}, DCR_{ax}, TO_{ax}, RER_{ax}, RR_{ax} >$$

$$\begin{array}{lcll} R_{ax} & = & \{ & \textit{is-role-str}(PD(ax), ax), \\ & & & \textit{is-role-str}(MD(ax), ax), \\ & & & \textit{is-role-str}(PCF(ax), ax), \\ & & & \textit{is-role-str}(MCF(ax), ax), \\ & & & \textit{is-role-str}(Ass(ax), ax)\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} DCR_{ax} & = & \{ & O_{MD(ax)}\ p_1, P_{MD(ax)}\ p_2, \\ & & & O_{PD(ax)}\ p_2, O_{PD(ax)}\ p_3, P_{PD(ax)}\ p_4, \\ & & & O_{PCF(ax)}\ p_5, P_{PCF(ax)}\ p_6, \\ & & & O_{MCF(ax)}\ p_7, \\ & & & P_{Ass(ax)}\ p_8, O_{Ass(ax)}\ p_9\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} TO_{ax} & = & \{ & O_{ax:ax}\ p_1 \rightarrow O_{MD(ax)}\ p_1, \\ & & & O_{ax:ax}\ p_2 \rightarrow O_{PD(ax)}\ p_2, \\ & & & O_{ax:ax}\ p_4 \rightarrow O_{PD(ax)}\ p_4\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} RER_{ax} & = & \{ & MD(ax) : REP(ax, p_1), \\ & & & PD(ax) : REP(ax, p_2), \\ & & & PD(ax) : REP(ax, p_4)\} \end{array}$$

$$RR_{ax} = < SR_{ax},\ IMP_{ax},\ INC_{ax} >$$
$$SR_{ax} = \{PD(ax) \preceq MD(ax), PCF(ax) \preceq MCF(ax)\}$$
$$IMP_{ax} = \{MD(ax) >> Ass(ax)\}$$
$$INC_{ax} = \{MD(ax) <> MCF(ax)\}$$

Esta notação pode ser considerada pouco amigável para a especificação de agentes institucionais. Por conseguinte, definiu-se uma linguagem de “alto nível”, a que se chamou $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$, que possibilita uma especificação amigável e acessível a qualquer tipo de utilizador. Vai omitir-se aqui uma descrição formal dessa linguagem [22] para não sobrecarregar o texto e porque não é

Membro do Conselho Fiscal da Associaç ˜ao X : $MCF(ax)$

President do Conselho Fiscal da Associaç ˜ao X : $PCF(ax)$

Associado de X : $Ass(ax)$.

[22] No apˆendice A pode encontrar-se uma descriç ˜ao formal de $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$.

essencial à dissertação. Limitamo-nos a ilustrar a sua utilização traduzindo o exemplo anterior para $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$.

Institutional Agent ax:

Roles:
Ass(ax), MD(ax), PD(ax), MCF(ax), PCF(ax);
Deontic Characterization of Roles:

Ass(ax):

Obligations: p9;
Permissions: p8;

MD(ax):

Obligations: p1;
Permissions: p2;

PD(ax):

Obligations: p2, p3;
Permissions: p4;

MCF(ax):

Obligations: p7 ;
Permissions: ;

PCF(ax):

Obligations: p5;
Permissions: p6;

Transmission of obligations:

Obligation p1 **goes to** MD(ax);
Obligation p2 **goes to** PD(ax);
Obligation p4 **goes to** PD(ax);

Representative roles:

PD(ax) **is representative of** ax **for**: p2,p4;
MD(ax) **is representative of** ax **for**: p1;

Relations between roles:

Sub-roles:

PD(ax) **sub-role of** MD(ax);
PCF(ax) **sub-role of** MCF(ax);

Incompatibility:

MD(ax) **incompatible with** MCF(ax);

End Specifi cation ax.

6.2.2 Sociedades de agentes

Considera-se que uma sociedade de agentes, SA, é constituída essencialmente por agentes e por relações normativas entre agentes, podendo ainda incluir-se conhecimento sobre a sociedade que se considere relevante. Tem-se então o seguinte modelo:

$SA = < AG, NR, GK >$
$AG = < IA, nIA >$ (agentes da sociedade)
$NR = < TIT, ONR >$ (relações normativas entre agentes)

onde

IA **:** Contém a especificação dos agentes institucionais da sociedade. Este componente é formado por um conjunto de pares $< i, ST_i >$, um para cada agente institucional i, cuja composição foi descrita anteriormente.

nIA **:** Esta componente contém a especificação dos outros agentes (não institucionais) da sociedade. É formada por um conjunto de pares $< i, PA_i >$ onde i é o identificador do agente e PA_i contém qualificações do agente i relativas a propriedades desse agente que não correspondem a interacções com outros agentes (e.g. $is{-}pai(i)$ ou $is{-}professor(i)$).

TIT **:** Contém informação sobre os titulares dos papéis estruturais dos agentes institucionais. Contém um conjunto de componentes TIT_i, um para cada agente institucional i da sociedade (sendo TIT_i formado como se descreveu anteriormente).

ONR **:** Contém outro tipo de relações normativas que os agentes tenham estabelecido entre si, e em particular os contratos, que estão actualmente em vigor.

GK **:** Contém conhecimento geral sobre a sociedade. Em particular, vai considerar-se que GK contém a especificação de alguns efeitos normativos de acções, descritos através de fórmulas da forma (sem variáveis livres): $E_{a:r_1}\ \psi \rightarrow O_{b:r_2}\ \varphi$ possivelmente sob condicções adicionais.

Um exemplo poderia ser:

$(\forall_{y^{IAg}})(\forall_{x^{Ag}})\ (is-role-str(empregado-of(y^{IAg}),y^{IAg}) \rightarrow$

$(E_{x^{Ag}:empregado-of(y^{IAg})}\ \psi \rightarrow O_{y^{IAg}:y^{IAg}}\ \varphi))$

onde:

ψ = *causar dano a uma terceira pessoa*

φ = *reparar o dano causado*

Considere-se agora a sociedade de agentes representada na Fig. 4.2 e acrescente-se mais alguma informação:

1) A sociedade tem mais um agente i;

2) Os agentes i e h_1 estabeleceram um contrato entre si com o seguinte conteúdo:

$C(i,h_1) = is-mandatario(i,h_1) \ \wedge \ is-mandante(h_1,i) \ \wedge$

$O_{i:mandatario(h_1)}\ p10 \ \wedge \ O_{h_1:mandante(i)}\ \neg p9$

(Note-se que o agente h_1, como mandante de i tem a obrigação de fazer com que $\neg p9$ se verifique, enquanto que como associado de ax está obrigado a fazer com que $p9$ se verifique (c.f. exemplo atrás apresentado)).

3) O agente i estabeleceu um contrato com o agente ax com o seguinte conteúdo:

$C(i,ax) = O_{i:i}\ p11 \ \wedge \ O_{ax:ax}\ p1$

4) O componente GK regista a seguinte informação:

$(\forall_x) \ \ (E_{x:MD(ax)}\ p2 \rightarrow O_{ax:ax}\ p4)$

A sociedade de agentes SA será então especificada como se segue:

$$
\begin{array}{l}
SA = < AG, NR, GK > \\
AG = < IA, nIA > \\
NR = < TIT, ONR > \\
IA = \{< ax, ST_{ax} >\} \\
ST_{ax} = \ldots (definido \ \text{atr\'as}) \\
\begin{array}{rcll}
nIA & = & \{ & < a, PA_a >, < b, PA_b >, < c, PA_c >, < d, PA_d >, \\
 & & & < e, PA_e >, < f, PA_f >, < g, PA_g >, \\
 & & & < h_1, PA_{h_1} >, \ldots < h_n, PA_{h_n} >, < i, PA_i >\}
\end{array} \\
PA_a = PA_b = PA_c = PA_d = PA_e = PA_f = PA_g = \\
PA_{h_1} = \ldots = PA_{h_n} = PA_i = \{\} \\
TIT = \{TIT_{ax}\} \\
\begin{array}{rcll}
TIT_{ax} & = & \{ & is - Ass(d, ax), \\
 & & & is - Ass(e, ax), \\
 & & & is - Ass(f, ax), \\
 & & & is - Ass(g, ax), \\
 & & & is - Ass(h_1, ax), \\
 & & & is - Ass(h_n, ax), \\
 & & & is - MD(f, ax), \\
 & & & is - MD(e, ax), \\
 & & & is - PD(d, ax), \\
 & & & is - MCF(c, ax), \\
 & & & is - MCF(b, ax), \\
 & & & is - PCF(a, ax)\}
\end{array} \\
\begin{array}{rcll}
ONR & = & \{ & C(i, h_1), C(i, ax)\} \\
 & = & \{ & is - mandatario(i, h_1) \ \wedge \\
 & & & is - mandante(h_1, i) \ \wedge \\
 & & & O_{i:mandatario(h_1)} \ p10 \ \wedge \ O_{h_1:mandante(i)} \ \neg p9, \\
 & & & O_{i:i} p11 \ \wedge \ O_{ax:ax} p1\}
\end{array} \\
GK = \{(\forall_x)(E_{x:MD(ax)} \ p2 \rightarrow O_{ax:ax} \ p4)\}
\end{array}
$$

Na linguagem $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$ esta sociedade de agentes seria especificada como se segue[23]:

Society of Agents SA:

Agents

Non-Institutionalized Agents : $a, b, c, d, e, f, g, h_1, \ldots, h_n, i$;

Properties of agent a :

. . .

Properties of agent i :

Institutionalized Agents : ax;

Institutionalized Agent ax :

...definido atrás.....

End Specification ax.

Normative Relations

Titularity of Structural Roles

Institutionalized Agent ax:

d **is** Ass(ax);

e **is** Ass(ax);

f **is** Ass(ax);

g **is** Ass(ax);

h_1 **is** Ass(ax);

. . .

h_n **is** Ass(ax);

f **is** MD(ax);

e **is** MD(ax);

d **is** PD(ax);

c **is** MCF(ax);

b **is** MCF(ax);

a **is** PCF(ax);

Other Normative Relations

Contract C1:

Agents: i, h_1;

Role Attributions:

[23] Naturalmente, uma ferramenta de suporte à especificação de agentes institucionais e de sociedades de agentes terá de garantir a "coerência" da especificação, i.e., terá de assegurar que se verifica um conjunto de restrições caracterizando uma especificação bem formada. A título ilustrativo e informalmente, uma dessas restrições terá de ser: "se na componente TIT_i (relativa à titularidade dos papeis do agente institucional i), existir um predicado $is-r(k,i)$, então o papel $r(i)$ terá de fazer parte da estrutura de i, i.e., $is-role-str(r(i),i)$ tem de pertencer a R_i". Embora não fosse de difícil concepção, tal ferramenta não vai ser definida nesta dissertação.

i **is** $mandatario(h_1)$;
h_1 **is** $mandante(i)$;

Deontic Characterization:

i **as** $mandatario(h_1)$:

Obligations: $p10$;

h_1 **as** $mandante(i)$:

Obligations: $\neg p9$;

End Contract C1.
Contract C2:

Agents : i, ax;
Deontic Characterization :

i **as** i:

Obligations : $p11$;

ax **as** ax:

Obligations : $p1$;

End Contract C2.

General Knowledge

Effects of Actions

Action p2 **done by agent on role** MD(ax)
has the normative effect :

Obligation p4 **on agent** ax **on role** itself;

End Specifi cation SA.

6.2.3 Análise

Não seria difícil definir uma ferramenta que dada uma especificação de uma sociedade de agentes, suportasse a interrogação dessa sociedade numa perspectiva estática, respondendo a questões tais como:

Está um agente qualificado para desempenhar um papel?
Quais os papéis que um agente está qualificado para desempenhar?
Quais os agentes qualificados para desempenhar um determinado papel?
Qual é a caracterização deôntica de um papel determinado?
Está um agente permitido (obrigado/proibido) a produzir um determinado estado

num determinado papel?
Qual é a estrutura de um agente institucional?
Quais os agentes que suportam a estrutura de um agente institucional (i.e. os agentes titulares de papéis da sua estrutura)?

Mas nesta dissertação pretende-se essencialmente analisar os agentes institucionais e a sociedade de agentes, numa "perspectiva dinâmica" tirando proveito da lógica subjacente. A ideia consiste em analisar as consequências resultantes de determinadas acções, tanto de acções individuais como de acções conjuntas (como a realização de contratos), que ocorrem no contexto de uma sociedade de agentes. Esta ideia será em seguida formalizada.

A especificação de uma sociedade de agentes SA define uma linguagem $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$ particular (com uma constante para cada agente, etc.) e um conjunto de fórmulas dessa linguagem. Vamos chamar de teoria definida por SA, e donotada por $\mathcal{T}(SA)$, a lógica que se obtém adicionando essas fórmulas à lógica subjacente como novos axiomas [24]. Supondo agora que Δ é um conjunto de fórmulas de acção, pode analisar-se se determinadas fórmulas ψ podem ser inferidas de Δ em $\mathcal{T}(SA)$, o que se pode representar por:

$$\Delta \vdash_{\mathcal{T}(SA)} \psi$$

Pode, por exemplo, ter interesse saber quais os efeitos da acção de um agente a, quando este age num papel r:

- nas acções de outros agentes:

  $\{E_{a:r}\ \psi\} \vdash_{\mathcal{T}(SA)} E_{b:r_1}\ \varphi$

- na criação de novas obrigações ou permissões sobre o mesmo agente ou sobre outros agentes:

[24] Outra possibilidade interessante consistiria em dividir a especificação da sociedade de agentes SA em duas partes: uma parte fixa, $F(SA)$, contendo a informação que é fixa, no sentido de ser estável e de permanecer ao longo do tempo (como a estrutura ST_i de cada agente institucional i e o conhecimento geral sobre a sociedade GK, ou parte desse conhecimento), e uma parte variável, $V(SA)$, contendo o que pode mudar (como a informação de TIT ou de ONR). Então, considerando $F(SA)$ como novos axiomas, poder-se-ia analisar a "evolução" da sociedade de agentes usando algum tipo de lógica dinâmica. Contudo, a forma exacta de o fazer precisa de mais investigação.

$\{E_{a:r}\ \psi\}\ \vdash_{\mathcal{T}(SA)}\ O_{b:r_1}\ \varphi$

$\{E_{a:r}\ \psi\}\ \vdash_{\mathcal{T}(SA)}\ P_{b:r_1}\ \varphi$

- na análise do cumprimento ou incumprimento de obrigações:

  $\{E_{a:r}\psi\} \vdash_{\mathcal{T}(SA)} O_{b:r_1}\varphi \wedge E_{b:r_1}\varphi$

Também poderá ter interesse detectar comportamento *não ideal* dos agentes, no sentido de comportamento que se desvia do comportamento esperado se as normas fossem seguidas. Um exemplo destas situações não ideais é a seguinte[25]:

$$\{E_{a:r}\psi\} \vdash_{\mathcal{T}(SA)} E_{b:r_1}\varphi \wedge \neg P_{b:r_1}\varphi$$

Uma sociedade de agentes pode reagir de diferentes formas a estas situações não ideais: pode sancionar (por exemplo, restringindo permissões, cancelando qualificações ou gerando novas obrigações), pode anular os efeitos das acções, etc. Nesta dissertação apenas se detectam estas situações não se entrando em consideração com o que deverá ser feito quando elas ocorrem.

Vão em seguida ser apresentados alguns exemplos muito simples do tipo de inferências que poderão ser efectuadas a partir da especificação da sociedade de agentes apresentada anteriormente. Apresentam-se algumas inferências e descreve-se informalmente como elas podem ser deduzidas (indicam-se apenas esboços das provas).

Caso 1: $\Delta = \{E_{i:i}\ p_{11},\quad E_{d:PD(ax)}\ p_1\}$

O agente i agindo no papel de ele próprio (*itself*) faz com que $p11$ se verifique. O agente d agindo no papel de presidente da direcção de ax faz com que $p1$ se verifique.

Infere-se que: Tanto o agente i como o agente ax cumprem as obrigações resultantes do contrato que estabeleceram entre si:

$O_{i:i}\ p_{11} \wedge E_{i:i}\ p_{11}$, e $O_{ax:ax}\ p_1 \wedge E_{ax:ax}\ p_1$.

Esboç o de algumas deduções::

De ONR obtém-se $O_{ax:ax}\ p_1$.

De TO_{ax} sabe-se que $O_{ax:ax}\ p_1 \rightarrow O_{MD(ax)}\ p_1$,

logo tem-se $O_{MD(ax)}\ p_1$.

[25]Caso se considerem outros operadores de acç ˜ao, como um operador de tentativa de acç ˜ao, ent˜ao poder-se-iam analisar situaç ˜oes onde um agente tenta desempenhar pap´eis para os quais n˜ao est´a qualifi cado.

De TIT_{ax} e de RR_{ax} tem-se que $is - PD(d, ax)$
e $PD(ax) \preceq MD(ax)$.
Logo tem-se também *is-MD(d,ax)*. Por conseguinte, tem-se $O_{d:MD(ax)}\ p_1$.
E, como $O_{MD(ax)}\ p_1 \to P_{MD(ax)}\ p_1$
e $PD(ax) \preceq MD(ax)$,
pelo princípio que afirma que as "acções sobem na estrutura de sub-papéis" sob certas circunstâncias, da hipótese $E_{d:PD(ax)}\ p_1$,
pode deduzir-se $E_{d:MD(ax)}\ p_1$.
Logo, $O_{d:MD(ax)}\ p_1 \wedge E_{d:MD(ax)}\ p_1$, i.e., o agente d cumpriu a sua obrigação de fazer com que p_1 se verifique, agindo no papel de membro da direccao de ax.
Por outro lado, como (de acordo com RER_{ax})
$MD(ax) : REP(ax, p1)$, de $E_{d:MD(ax)}\ p_1$ obtem-se que $E_{ax:ax}\ p_1$.
Logo $O_{ax:ax}\ p_1 \wedge E_{ax:ax}\ p_1$, i.e., a associação ax também cumpriu a sua obrigação, resultante do contrato que estabeleceu com i, de fazer com que p_1 se verifique.

Caso 2: $\Delta = \{E_{e:MD(ax)}\ p2, \quad E_{d:PD(ax)}\ p4\}$
O agente e agindo como membro da direcção de ax faz com que $p2$ se verifique. O agente d agindo no papel de presidente da direcção de ax faz com que $p4$ se verifique.
Infere-se que: O agente d cumpre a obrigação de fazer com que $p4$ se verifique, agindo como presidente da administração de ax, e, consequentemente, ax cumpre a sua obrigação de produzir $p4$ que resulta (segundo GK) da acção de realização de $p2$ pelo agente e como membro da direcção de ax:
$O_{ax:ax}\ p4 \ \wedge\ E_{ax:ax}\ p4$ e $O_{d:PD(ax)}\ p4 \ \wedge\ E_{d:PD(ax)}\ p4$.
Esboço de algumas deduções
De $E_{e:MD(ax)}\ p2$ e de GK obtém-se $O_{ax:ax}\ p4$.
De TO_{ax} sabe-se que $O_{ax:ax}\ p4 \to O_{PD(ax)}\ p4$, logo tem-se $O_{PD(ax)}\ p4$.
De TIT_{ax} sabe-se que $is - PD(d, ax)$.
Logo, também se tem $O_{d:PD(ax)}\ p4$.
Pode concluir-se então $O_{d:PD(ax)}\ p4 \ \wedge\ E_{d:PD(ax)}\ p4$.
Por outro lado, de RER_{ax} sabe-se que $PD(ax) : REP(ax, p4)$.
Logo, de $E_{d:PD(ax)}\ p4$ obtém-se $E_{ax:ax}\ p4$.
Pode então concluir-se $O_{ax:ax}\ p4 \ \wedge\ E_{ax:ax}\ p4$.

Case 3: (Caso não-ideal) $\Delta = \{E_{b:MCF(ax)} \neg\, p7\}$

O agente b agindo como membro do Conselho Fiscal de ax faz com que $\neg p7$ se verifique.

Infere-se que: há um incumprimento de $O_{b:MCF(ax)}\ p_7$.

Esboço de algumas deduções:

Em DCR_{ax} tem-se que $O_{MCF(ax)}\ p_7$.

Como, por TIT se tem *is-MCF(b, ax),*

pode deduzir-se $O_{b:MCF(ax)}\ p_7 = OE_{b:MCF(ax)} p_7$.

Logo, como $\vdash E_{b:MCF(ax)} \neg p_7 \rightarrow \neg E_{b:MCF(ax)} p_7$

tem-se $OE_{b:MCF(ax)} p_7 \wedge \neg E_{b:MCF(ax)} p_7$.

Numa sociedade de agentes, os únicos factores de mudança são as acções que os agentes individuais podem realizar, agindo isoladamente ou em conjunto com outros agentes. Nos exemplos acima apresentados foram consideradas acções de agentes em papéis realizadas individualmente, e analisados os efeitos das suas acções em acções de outros agentes e na caracterização deôntica de outros agentes e deles próprios.

Podem também incluir-se em Δ fórmulas de acção conjunta, relativas, por exemplo, à celebração de contratos (ou de outras relações normativas) entre agentes ou à tomada de decisões por parte de um conjunto de agentes no papel de associados de uma associação determinada. Já se abordou com algum detalhe a questão da formalização de contratos. Vai agora considerar-se, a título meramente ilustrativo, o último caso da acção conjunta de associados, continuando a usar o exemplo da associação ax. Considere a seguinte situação:

> Os associados de ax decidem, em assembleia geral, que a associação fica obrigada a fazer com que p_{12} se verifique, devendo a direcção providenciar para que tal aconteça [26].

Formalmente teremos:

$$E_{\{x:Ass(ax)\ \ tal\ que\ \ is-Ass(x,ax)\}}(O_{ax:ax}\ p12 \wedge\ (O_{ax:ax}\ p12\ \rightarrow\ O_{MD(ax)}\ p12))$$

[26] Um aspecto que importa salientar, ´e o facto de nem qualquer conjunto arbitr´ario de associados ter poder para tomar decis˜oes que vinculem uma associaç ˜ao. H´a procedimentos e crit´erios formais, defi nidos nos estatutos, fi xando as condiç ˜oes para que tal aconteç a. Nestes exemplos abstraimos desses aspectos, assumindo que os conjuntos de associados em causa verifi cam os requisitos necess´arios. Na pr´oxima secç ˜ao este assunto ser´a novamente abordado.

Note-se que apenas os associados têm poder para alterar a estrutura de um agente institucional, atribuindo novas obrigações à associação e definindo internamente quem será responsável pelo cumprimento dessas obrigações.

Outra situação, consiste em os associados decidirem incluir novas acções no âmbito da actividade da associação. No nosso modelo tal situação corresponderia a dizer que o agente institucional está permitido a realizar novas acções e em definir quem dentro da sua estrutura tem a obrigação de efectuar tais acções caso o agente institucional fique obrigado a realizá-las (como resultado da interação com outros agentes ou em resultado da deliberação dos associados) ou apenas em indicar quem dentro da estrutura do agente institucional, está permitido a efectuar tal acções.
Formalmente, tal situação poderá ser traduzida por:

$$E_{\{x:Ass(ax)\ tal\ que\ is-Ass(x,ax)\}}\ (O_{ax:ax}\ p13 \rightarrow O_{MD(ax)}\ p13)$$

no primeiro caso, ou simplesmente:

$$E_{\{x:Ass(ax)\ tal\ que\ is-Ass(x,ax)\}}\ P_{MD(ax)}\ p13$$

no segundo caso.

Estas acções, para além de poderem ter implicações nas acções de outros agentes ou na sua caracterização deôntica, provocam ainda alterações na própria estrutura do agente institucional [27], tanto na caracterização deôntica dos papéis da sua estrutura, como na forma como as obrigações são transmitidas aos papéis da sua estrutura.

Os exemplos apresentados, embora extremamente simples, ilustram o tipo de análise suportada pelo modelo e pela lógica proposta. Análises deste tipo podem usar-se para simular o comportamento de agentes institucionais e sociedades de agentes, com propósitos diversos: perceber entidades colectivas organizadas existentes (e.g. uma organização sem um modelo formal definido e cujo comportamento normativo se pretende estudar); desenhar entidades organizacionais que se pretendem criar (e.g. simulando diversas alternativas e analisando o seu comportamento); alterar entidades existentes (e.g. analisando o impacto das transformações que se pretendem efectuar); etc.

[27] Em termos legais isto corresponde a uma alteraç ˜ao aos estatutos da associaç ˜ao.

6.3 Agentes institucionais estruturados

As pessoas colectivas, usadas como base para o modelo proposto para os agentes institucionais, para além de terem papéis associados à sua estrutura têm também *órgãos*. Uma associação, por exemplo, tem como órgãos a *Direcção*, o *Conselho Fiscal* e a *Assembleia Geral*. No modelo apresentado para os agentes institucionais os órgãos não foram considerados, tendo-se definido uma estrutura "plana" formada por um conjunto de papéis. Vão agora incluir-se órgãos na estrutura dos agentes institucionais .

Importa em primeiro lugar analisar que tipo de entidades são os órgãos.

É frequente associar obrigações, permissões ou proibições aos órgãos (e.g. a Direcção está obrigada a prestar contas todos os anos) e afirmar que estes produzem determinados estados (e.g. a Assembleia Geral aprovou as contas da associação). Por conseguinte, os órgãos são agentes. Ou, mais precisamente, são agentes institucionais, pois são entidades abstractas, com uma estrutura própria e estável formada por papéis e eventualmente por outros órgãos, como qualquer agente institucional. Considere-se o exemplo da associação ax que tem sido usado ao longo da dissertação. A Direcção tem dois papéis associados: o papel de *membro da Direcção* e o de *presidente da Direcção*. Ao Conselho Fiscal estão associados os papéis de *membro do Conselho Fiscal* e de *presidente do Conselho Fiscal*. E à Assembleia Geral estão associados os papéis de *membro da Assembleia Geral*, *presidente da Assembleia Geral* e de *secretário da Assembleia Geral* (estes papéis não tinham sido considerados anteriormente, porque só fazem sentido quando se considera o órgão Assembeia Geral, o que não tinha ainda acontecido). Estes papéis deixam de traduzir relações entre os agentes seus titulares e o agente institucional, passando a traduzir relações entre os seus titulares e os órgãos do agente institucional. Existe ainda o papel *associado* que faz parte da estrutura do agente institucional associação ax, sem que faça parte da estrutura de algum órgão.

A inclusão de órgãos na estrutura de um agente institucional é necessária, em primeiro lugar, para estruturar a especificação desse agente institucional. Os agentes institucionais são habitualmente entidades complexas, com um grande número de papéis fazendo parte da sua estrutura, e seria difícil e muito pouco prático especificá-los numa estrutura "plana" como a anteriormente proposta. A decomposição da especificação em partes, usando órgãos, vai facilitar a tarefa.

Outro motivo, relacionado com o anterior, consiste no facto de frequentemente ser necessário atribuir obrigações, ou outros conceitos deônticos, a órgãos e não directamente a papéis específicos, não apenas por questões de estruturação, mas também, por não ser possível (ou desejável) especificar de uma só vez todos os detalhes, desde o agente institucional até aos papéis concretos.

Por exemplo, pode querer expressar-se que a Assembeia Geral de uma associação está obrigada a aprovar ou reprovar as contas, sem se querer entrar em detalhes sobre o modo como essa decisão é tomada. A única forma de poder representar esta situação é considerando que o órgão Assembleia Geral é um agente institucional. Há situações em que terá interesse fazer referência a papéis da sua estrutura (e.g. "o presidente da Assembleia Geral deu por terminada a assembleia"), havendo em outras situações interesse em referir simplesmente a Assembleia Geral.

Um motivo adicional para a introdução de órgãos na estrutura de um agente institucional, consiste no facto de alguns órgãos poderem ter papéis internos irrelevantes para o agente institucional (e eventualmente dele desconhecidos). Faz todo o sentido, "encapsular" esses papéis na estrutura do agente correspondente ao órgão. Estas situações ocorrem com frequência quando os órgãos dispõem de um elevado grau de autonomia face ao agente institucional do qual fazem parte. Este assunto será abordado novamente mais à frente.

Mas, o que distingue um órgão de um agente institucional, de outro qualquer agente institucional? E qual a relação que existe entre um agente institucional e um órgão da sua estrutura?

Os órgãos são *agentes institucionais dependentes*, pois dependem do agente institucional de cuja estrutura fazem parte, pelo menos no sentido de existirem apenas enquanto o agente institucional existir (são criados quando o agente institucional é criado e extinguem-se com a extinção do agente institucional). Este facto também se traduz na sua identificação que, usualmente, é parameterizada com a identificação do agente institucional do qual faz parte (e.g. Direcção da APPIA; Conselho Fiscal da Dat Schaub - Porto, Conselho Científico da Escola de Engenharia da Universidade do Minho). A estrutura geral de um órgão de um agente institucional normalmente é definida quando o agente institucional é criado [28]. Um agente institucional concreto associado a esse órgão (e.g. a Direcção actual da APPIA, o Conselho Científico actual da Escola de Engenharia) terá de ter essa estrutura pré-definida (embora possa enriquecê-la com outros componentes, especialmente para fins internos ao funcionamento do próprio órgão). Por exemplo, está definido nos estatutos da associação APPIA que a Direcção deve ter um presidente e quatro membros, e que o Conselho Fiscal deverá ter um presidente, um secretário e um relator.

Podem existir outros tipos de dependência, conforme o grau de autonomia do órgão face ao

[28] Numa pessoa colectiva a composição dos órgãos é definida nos seus estatutos.

agente institucional de que faz parte. Por exemplo, a Direcção da APPIA é um órgão com um pequeno grau de autonomia face à APPIA — existe apenas em função da associação. Todas as interacções que eventualmente estabeleça com o exterior são sempre em representação da APPIA, os papéis que fazem parte da sua estrutura são caracterizados e "vistos" pela associação (incompatibilidade entre os papéis de membro da Direcção e membro do Conselho Fiscal é definida ao nível da associação). Em contrapartida, o Departamento de Informática da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, apesar de fazer parte integrante da Escola de Engenharia e depender da Escola em múltiplos aspectos, tem um elevado grau de autonomia, podendo estabelecer interacções com o exterior que não resultem directamente da Escola de Engenharia, a caracterização dos vários papéis é feita essencialmente no interior do próprio Departamento (embora tenha de respeitar normas gerais da Escola de Engenharia), podendo mesmo haver papéis locais ao Departamento que a Escola de Engenharia não vê (e.g. pessoas alocadas a projectos).

Como deve ser formalizada a relação entre um agente institucional i e um agente institucional *o-i* correspondente a um órgão da estrutura de i?

Há dois aspectos que aparentam estar em conflito. Por um lado, os órgãos são agentes, e por conseguinte, fazem parte da sociedade de agentes, tendo uma identidade própria. Por outro lado, os órgãos fazem parte da estrutura do agente institucional, e em consequência, a sua estrutura e a sua caracterização deôntica é definida quando o agente institucional é criado.

Uma solução simples consiste em assumir que no agente institucional existe um papel para cada órgão. Tais papéis são do tipo relação entre o agente institucional e o órgão (i.e. o agente institucional correspondente ao órgão), têm cardinalidade um e apenas o agente institucional correspondente ao órgão pode ser titular desse papel (ver Figura 6.1). Frequentemente, dependendo do grau de autonomia do órgão em relação ao agente institucional do qual faz parte, esse papel é o único que o agente correspondente ao órgão pode desempenhar. Quando o agente institucional é criado, a caracterização deôntica desses papéis é definida independentemente dos agentes concretos que em cada momento correspondem aos órgãos. Quando um órgão concreto é criado, é-lhe atribuido o papel correspondente, e por conseguinte, herda a caracterização deôntica desse papel, da mesma forma que qualquer outro agente titular de qualquer outro papel.

Por exemplo, na associação ax para representar o órgão direcção de ax:

- Cria-se o papel $D(ax)$ ao qual se associa a caracterização deôntica pretendida para a

Direcção (obrigações, permissões e proibições). Formalmente, insere-se o predicado $is - role - str(D(ax), ax)$ na componente R_{ax} da especificação de ax, ST_{ax}.

- Representam-se os actos que a Direcção está permitida a realizar em nome do agente institucional classificando este papel como sendo de representação de ax para esses actos. Formalmente, acrescentam-se a RER_{ax} fórmulas da forma $D(ax) : REP(ax, \psi)$, sendo ψ algo que a Direcção está permitida a produzir em nome da associação.

- Transmitem-se ao papel $D(ax)$ as obrigações da associação que a Direcção tem a obrigação de fazer cumprir. Formalmente, introduzem-se em TO_{ax} fórmulas da forma $O_{ax:ax}\psi \rightarrow O_{D(ax)}\psi$.

- Acrescenta-se à sociedade de agentes SA um novo agente institucional $D - ax$, que tem na sua estrutura os papéis $P(D - ax)$ — presidente da direção de ax, e $M(D - ax)$ — membro da direcção de ax, definidos em R_{D-ax}, define-se a sua caracterização deôntica em DCR_{D-ax}, transmitem-se as obrigações da direcção a estes papéis em RER_{D-ax} e caracterizam-se eventuais relações entre estes papéis em RR_{D-ax}.

- Na sociedade de agentes define-se que o agente $D - ax$ é titular do papel $D(ax)$. Formalmente, acrescenta-se o predicado $is - D(D - ax, ax)$ à componente TIT_{ax} onde se especifica a titularidade dos papéis da estrutura de ax.

- Na sociedade de agentes, têm ainda de definir-se os titulares dos papéis da estrutura de $D - ax$, em TIT_{D-ax}. Note-se que, por exemplo, o papel de presidente da Direcção de ax traduz, neste modelo, uma relação directa entre o agente titular desse papel e o agente $D - ax$ e só indirectamente com ax (através do papel $D(ax)$ que $D - ax$ desempenha).

Caso se adopte esta solução, a estrutura de um agente institucional ou da sociedade de agentes, e a linguagem de especificação, não sofrem quaisquer alterações com a inclusão de órgãos na sua estrutura, simplesmente são usadas de forma diferente.

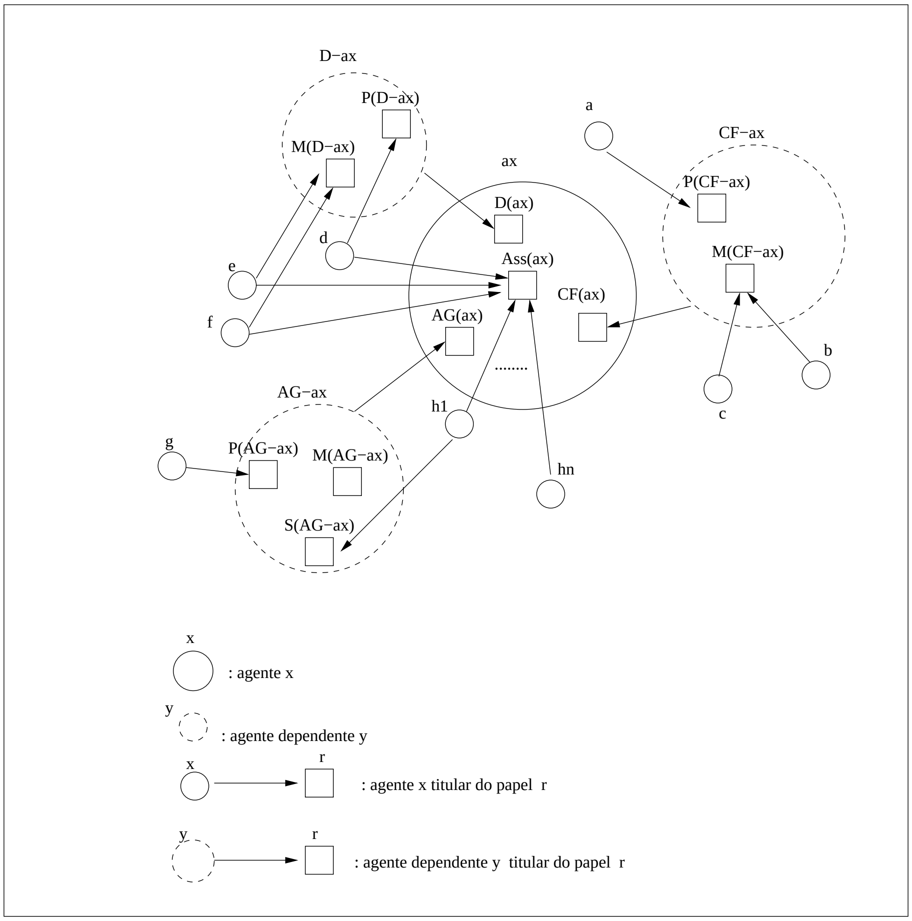
Esta solução tem a vantagem de ser simples, mas não deixa de ser susceptível de algumas críticas.

Caso existam relações de dependência entre papéis de órgãos diferentes, onde devem ser colocadas essas relações? Pegando no exemplo que temos vindo a tratar, onde se deve colocar a relação de incompatibilidade entre os papéis de presidente da Direcção de ax e de presidente do Conselho Fiscal de ax : $P(D - ax) <> P(CF - ax)$? No agente institucional do qual os órgãos fazem parte, ou seja, em ax? Ou em todos os órgãos que contêm esses papéis na sua estrutura, i.e. em $D - ax$ e em $CF - ax$? Tanto num caso como no outro, há referência a papéis que não fazem directamente parte da estrutura do agente institucional em causa: por exemplo, na primeira opção $P(D - ax)$ é um papel de $D - ax$ e não de ax; e na segunda opção $P(D - ax)$ não faz parte da estrutura de $CF - ax$. Como tanto $D - ax$ como $CF - ax$ são agentes dependentes de ax, conceptualmente considerou-se ser mais natural colocar este tipo de dependências entre papéis de órgãos de um agente institucional, no próprio agente institucional [29]. Este facto pode ser visto como mais um sinal exterior da dependência que de facto existe entre os agentes correspondentes aos órgãos de um agente institucional e este último. Para além disso, caso se adoptasse a segunda opção haveria alguma redundância na especificação (no exemplo referido, a restrição de incompatibilidade teria de aparecer tanto na especificação de $D - ax$ como de $CF - ax$). Note-se que esta questão é irrelevante a nível da análise formal suportada, pois ambas as alternativas de especificação dão origem ao mesmo conjunto de fórmulas de $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$.

Neste modelo o facto de um órgão ser um agente institucional dependente não está explícito. Um órgão é apenas mais um agente, podendo apenas inferir-se pelas diversas relações entre o agente institucional e o agente correspondente ao órgão que há uma dependência do segundo relativamente ao primeiro. Caso se pretenda explicitar claramente tal dependência, pode, por exemplo, substituir-se a relação de titularidade entre o agente correspondente ao órgão e o papel da estrutura do agente institucional correspondente ao mesmo órgão, por uma relação específica; poder-se-ia ainda acrescentar um predicado de existência de agentes para traduzir o facto de um agente dependente de outro só existir enquanto este último existir. Uma outra alternativa seria alterar a estrutura de um agente institucional acrescentando um componente específico para os órgãos. Estas possíveis alternativas não vão ser exploradas nesta dissertação, por se considerar o modelo anterior elegante, simples e suficiente para os propósitos em causa.

Concluimos esta secção apresentando a especificação da sociedade de agentes correspondente ao exemplo da Figura 6.1.

[29] Caso estivessem em consideração relações de dependência entre papéis relativos a agentes institucionais não dependentes entre si, possivelmente essas relações seriam especificadas na própria sociedade (e.g. fazendo parte do conhecimento geral da sociedade).



Legenda:

Agentes: $a, b, c, d, e, f, g, h_1, \ldots, h_n, i, ax, D - ax, CF - ax, AG - ax$

Agentes institucionais: $ax, D - ax, CF - ax, AG - ax$

Agentes institucionais dependentes: $D - ax$ (Direcç ˜ao de ax),

$CF - ax$ (Conselho Fiscal de ax), $AG - ax$ (Assembleia Geral de ax),

Pap´eis da estrutura de ax:

$Ass(ax)$ - associados de ax, $D(ax)$ - direcç ˜ao de ax,

$CF(ax)$ - conselho fi scal de ax, $AG(ax)$ - assembleia geral de ax,

Pap´eis da estrutura de $D - ax$:

$P(D - ax)$ - presidente de $D - ax$, $M(D - ax)$ - membro de $D - ax$,

Pap´eis da estrutura de $CF - ax$:

$P(CF - ax)$ - presidente de $CF - ax$, $M(CF - ax)$ - membro de $CF - ax$,

Pap´eis da estrutura de $AG - ax$:

$P(AG - ax)$ - presidente de $AG - ax$, $M(AG - ax)$ - membro de $AG - ax$,

$S(AG - ax)$ - secret´ario de $AG - ax$,

Figura 6.1: Associação X (incluindo órgãos)

$$SA =< AG, NR, GK >$$
$$AG =< IA, nIA >$$
$$NR =< TIT, ONR >$$
$$\begin{aligned} nIA \;\; = \;\; \{ \;\; & < a, PA_a >, < b, PA_b >, < c, PA_c >, < d, PA_d >, \\ & < e, PA_e >, < f, PA_f >, < g, PA_g >, \\ & < h_1, PA_{h_1} >, \ldots < h_n, PA_{h_n} >, < i, PA_i >\} \end{aligned}$$
$$PA_a = PA_b = PA_c = PA_d = PA_e = PA_f = PA_g =$$
$$PA_{h_1} = \ldots = PA_{h_n} = PA_i = \{\}$$
$$IA = \{< ax, ST_{ax} >, < D - ax, ST_{D-ax} >, < CF - ax, ST_{CF-ax} >, < AG - ax, ST_{AG-ax} >\}$$

$$ST_{ax} =< R_{ax}, DCR_{ax}, TO_{ax}, RER_{ax}, RR_{ax} >$$
$$\begin{aligned} R_{ax} \;\; = \;\; \{ \;\; & is - role - str(D(ax), ax), \\ & is - role - str(CF(ax), ax), \\ & is - role - str(AG(ax), ax), \\ & is - role - str(Ass(ax), ax)\} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} DCR_{ax} \;\; = \;\; \{ \;\; & O_{D(ax)}\, p_1, O_{D(ax)}\, p_2, \\ & O_{D(ax)}\, p_3, P_{D(ax)}\, p_4, \\ & O_{CF(ax)}\, p_5, P_{CF(ax)}\, p_6, \\ & O_{CF(ax)}\, p_7, \\ & P_{Ass(ax)}\, p_8, O_{Ass(ax)}\, p_9\} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} TO_{ax} \;\; = \;\; \{ \;\; & O_{ax:ax}\, p_1 \rightarrow O_{D(ax)}\, p_1, \\ & O_{ax:ax}\, p_2 \rightarrow O_{D(ax)}\, p_2, \\ & O_{ax:ax}\, p_4 \rightarrow O_{D(ax)}\, p_4\} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} RER_{ax} \;\; = \;\; \{ \;\; & D(ax) : REP(ax, p_1), \\ & D(ax) : REP(ax, p_2), \\ & D(ax) : REP(ax, p_4), AG(ax) : REP(ax, *)\} \end{aligned}$$

$$RR_{ax} =< SR_{ax},\ IMP_{ax},\ INC_{ax} >$$
$$SR_{ax} = \{\}$$
$$IMP_{ax} = \{M(D - ax) >> Ass(ax), P(AG - ax) >> Ass(ax),$$
$$S(AG - ax) >> Ass(ax), Ass(ax) >> M(AG - ax)\}$$
$$INC_{ax} = \{M(D - ax) <> M(CF - ax), M(D - ax) <> P(AG - ax),$$
$$M(D - ax) <> S(AG - ax), M(CF - ax) <> P(AG - ax), M(CF - ax) <> S(AG - ax)\}$$

$$ST_{D-ax} =< R_{D-ax}, DCR_{D-ax}, TO_{D-ax}, RER_{D-ax}, RR_{D-ax} >$$

$$\begin{array}{lcll} R_{D-ax} & = & \{ & is-role-str(P(D-ax), D-ax), \\ & & & is-role-str(M(D-ax), D-ax)\} \\ DCR_{D-ax} & = & \{ & O_{M(D-ax)}\ p_1, P_{M(D-ax)}\ p_2, \\ & & & O_{P(D-ax)}\ p_2, O_{P(D-ax)}\ p_3, P_{P(Dax)}\ p_4\} \\ TO_{D-ax} & = & \{ & O_{D-ax:D-ax}\ p_1 \rightarrow O_{M(D-ax)}\ p_1, \\ & & & O_{D-ax:D-ax}\ p_2 \rightarrow O_{P(D-ax)}\ p_2, \\ & & & O_{D-ax:D-ax}\ p_4 \rightarrow O_{P(D-ax)}\ p_4\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} RER_{D-ax} & = & \{ & M(D-ax) : REP(D-ax, p_1), \\ & & & P(D-ax) : REP(D-ax, p_2), \\ & & & P(D-ax) : REP(D-ax, p_4)\} \end{array}$$

$$RR_{D-ax} =< SR_{D-ax},\ IMP_{D-ax},\ INC_{D-ax} >$$
$$SR_{D-ax} = \{P(D-ax) \preceq M(D-ax)\}$$
$$IMP_{D-ax} = \{\}$$
$$INC_{D-ax} = \{\}$$

$$ST_{CF-ax} =< R_{CF-ax}, DCR_{CF-ax}, TO_{CF-ax}, RER_{CF-ax}, RR_{CF-ax} >$$

$$\begin{array}{lcll} R_{CF-ax} & = & \{ & is-role-str(P(CF-ax), CF-ax), \\ & & & is-role-str(M(CF-ax), CF-ax)\} \\ DCR_{CF-ax} & = & \{ & O_{P(CF-ax)}\ p_5, P_{P(CF-ax)}\ p_6, \\ & & & O_{M(CF-ax)}\ p_7\} \\ TO_{CF-ax} & = & \{ & O_{CF-ax:CF-ax}\ p_5 \rightarrow O_{P(CF-ax)}\ p_5, \\ & & & O_{CF-ax:CF-ax}\ p_6 \rightarrow O_{P(CF-ax)}\ p_6, \\ & & & O_{CF-ax:CF-ax}\ p_7 \rightarrow O_{P(CF-ax)}\ p_7\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} RER_{CF-ax} & = & \{ & P(CF-ax) : REP(CF-ax, p_5), \\ & & & P(CF-ax) : REP(CF-ax, p_6), \\ & & & P(CF-ax) : REP(CF-ax, p_7)\} \end{array}$$

$$RR_{CF-ax} =< SR_{CF-ax},\ IMP_{CF-ax},\ INC_{CF-ax} >$$
$$SR_{CF-ax} = \{P(CF-ax) \preceq M(CF-ax)\}$$
$$IMP_{CF-ax} = \{\}$$
$$INC_{CF-ax} = \{\}$$

$$ST_{AG-ax} =< R_{AG-ax}, DCR_{AG-ax}, TO_{AG-ax}, RER_{AG-ax}, RR_{AG-ax} >$$

$$\begin{aligned} R_{AG-ax} &= \{ \; is-role-str(P(AG-ax), AG-ax), \\ &\quad\;\; is-role-str(S(AG-ax), AG-ax), \\ &\quad\;\; is-role-str(M(AG-ax), AG-ax)\} \\ DCR_{AG-ax} &= \{ \; O_{M(AG-ax)}\, p_{12}, P_{M(AG-ax)}\, p_{13}, \\ &\quad\;\; O_{P(AG-ax)}\, p_{14}, O_{S(AG-ax)}\, p_{15}\} \\ TO_{AG-ax} &= \{ \; O_{AG-ax:AG-ax}\, p_{14} \rightarrow O_{P(AG-ax)}\, p_{14}\} \\ \\ RER_{AG-ax} &= \{ \; P(AG-ax) : REP(AG-ax, p_14)\} \end{aligned}$$

$$RR_{AG-ax} =< SR_{AG-ax},\ IMP_{AG-ax},\ INC_{AG-ax} >$$
$$SR_{AG-ax} = \{P(AG-ax) \preceq M(AG-ax), S(AG-ax) \preceq M(AG-ax)\}$$
$$IMP_{AG-ax} = \{\}$$
$$INC_{AG-ax} = \{P(AG-ax) <> S(AG-ax)\}$$

$$TIT = \{TIT_{ax}, TIT_{D-ax}, TIT_{CF-ax}, TIT_{AG-ax}\}$$

$$\begin{aligned} TIT_{ax} &= \{ \; is-Ass(d, ax), \\ &\quad\;\; is-Ass(e, ax), \\ &\quad\;\; is-Ass(f, ax), \\ &\quad\;\; is-Ass(g, ax), \\ &\quad\;\; is-Ass(h_1, ax), \\ &\quad\;\; is-Ass(h_n, ax), \\ &\quad\;\; is-D(D-ax, ax), \\ &\quad\;\; is-CF(CF-ax, ax), \\ &\quad\;\; is-AG(AG-ax, ax) \; \} \\ TIT_{D-ax} &= \{ \; is-M(f, D-ax), \\ &\quad\;\; is-M(e, D-ax), \\ &\quad\;\; is-P(d, D-ax) \; \} \\ TIT_{CF-ax} &= \{ \; is-M(c, CF-ax), \\ &\quad\;\; is-M(b, CF-ax), \\ &\quad\;\; is-P(a, CF-ax) \; \} \\ TIT_{AG-ax} &= \{ \; is-P(g, AG-ax), \\ &\quad\;\; is-S(h_1, AG-ax) \; \} \\ ONR &= \{ \; C(i, h_1), C(i, ax)\} \\ &= \{ \; is-mandatario(i, h_1) \;\wedge\; is-mandante(h_1, i) \;\wedge \\ &\quad\;\; O_{i:mandatario(h_1)}\, p10 \;\wedge\; O_{h_1:mandante(i)}\, \neg p9, \\ &\quad\;\; O_{i:i} p11 \;\wedge\; O_{ax:ax} p1 \; \} \end{aligned}$$

$$GK = \{(\forall_x)(E_{x:M(D-ax)}\, p2 \rightarrow O_{ax:ax}\, p4)\}$$

A especificação na linguagem $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$ desta sociedade de agentes estruturada, pode inferir-se facilmente e pode ser encontrada no apêndice B.

Conclui-se este capítulo com a indicação de que no apêndice C podem encontrar-se alguns exemplos “reais” de especificação de agentes institucionais: a *sociedade anónima Dat Schaub - Porto*, exemplo de uma pessoa colectiva do tipo sociedade anónima, onde se usou a proposta de especificação não estruturada; a *APPIA (Associação Portuguesa para a Inteligência Artificial)*, exemplo de uma pessoa colectiva do tipo associação, sendo apresentada uma especificação estruturada dos agentes institucionais; a *AIM (Associação Industrial do Minho)* exemplo de uma pessoa colectiva do tipo associação cujos membros são outros agentes institucionais (empresas), sendo apresentada uma especificação não estruturada ; e *Escola de Engenharia da Universidade do Minho*, exemplo de uma entidade colectiva organizada, de natureza diferente das anteriores, sendo apresentada uma especificação estruturada dos agentes institucionais envolvidos (embora muito incompleta).

Capítulo 7

Outras extensões e outros problemas

Neste capítulo abordam-se algumas questões sobre as quais foi realizado algum trabalho mas que ainda se encontram em investigação.

Começa-se por estender a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ com alguns operadores modais. Apresentam-se brevemente novos operadores de acção, nomeadamente o operador de *acção directa* e o operador de *tentativa de acção* (acção não necessariamente com sucesso). Caracteriza-se, em seguida, o operador *conta como*, referido diversas vezes ao longo do texto da dissertação e a explorar no texto subsequente. Faz-se ainda uma breve referência ao operador de *crença*. É feita uma apresentação informal sobre o significado destes operadores e são dadas algumas indicações sobre a sua caracterização lógica. Estes operadores são, em seguida, utilizados na formalização de alguns problemas.

Um dos problemas abordado é o problema do *reconhecimento* da acção de um agente num papel, tentando dar resposta à questão: "Como pode um sistema s *saber* (ou *acreditar*) que um agente agiu num papel particular?"

Um outro problema relevante no contexto da acção de um agente num papel é o da identificação e detecção de possíveis fraudes. Quando um agente i age num papel r, produzindo (ou tentando produzir) ψ, várias situações não ideais podem ocorrer:

- *identificação* do agente i: "i não é i".
- *qualificação* do agente i para desempenhar o papel r: "o agente i pode não estar qualificado para desempenhar o papel r (não ser titular do papel r)".

- *âmbito do papel* r: o estado ψ pode estar fora do âmbito do papel r (não estar permitido ou estar mesmo proibido).
- combinações destas situações.

Nos capítulos anteriores apenas foram abordadas situações não ideais relacionadas com a última situação, onde agentes agiam em papéis para os quais estavam qualificados, mas produzindo estados que não estavam autorizados a produzir nesses papéis. Neste capítulo abordar-se-ão situações onde os outros tipos de problemas podem ocorrer.

7.1 Alguns operadores úteis

Estende-se em seguida $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ com alguns operadores modais.

7.1.1 Operador de *acção directa*

Foi afirmado anterirmente que os agentes institucionais não podem agir directamente, agindo através dos agentes titulares dos papéis da sua estrutura. Seria interessante enriquecer a linguagem proposta de forma a poder expressar este facto[1]. Note-se que uma fórmula da forma $E_{k:itself}\ \psi$ não significa que k tenha produzido ψ directamente, dado que pode dar-se o caso de ter sido um representante de k a produzir ψ em nome de k.

Suponha-se então que se introduz na linguagem um outro operador, G_t, com o significado intuitivo de t *age directamente* [2], para t um termo de género Ag ou AgR (vai tratar-se essencialmente este último caso).

Informalmente, $G_{k:r(t_1,\ldots,t_n)}\psi$ significa que o agente k, agindo no papel $r(t_1,\ldots,t_n)$, produziu directamente ψ. Por outro lado, $E_{k:r(t_1,\ldots,t_n)}\psi$ significa apenas que o agente k, agindo no papel $r(t_1,\ldots,t_n)$, produziu ψ, directamente ou não.

Coloca-se agora o problema da caracterização lógica do operador G_t e da sua relação com o operador E_t. Vai apenas discutir-se o caso em que t é do género AgR, por ser o mais relevante

[1]Uma discussão sobre as noções de acção directa e de acção indirecta e sua caracterização lógica pode encontrar--se, por exemplo, em [63], embora num contexto diferente.

[2]Pareceria mais natural denotar este operador de acção directa por D_t. Não se adopta este símbolo para não o confundir com o operador de reconhecimento D_s proposto por Andrew Jones e Marek Sergot, ao qual se fará referência mais à frente. O motivo por que se escolheu o símbolo G_t reside no facto de ele ter sido usado em [63] com um significado semelhante.

no contexto desta dissertação. Neste caso, o operador G_t traduz uma acção intencional, porque para que um agente realize uma acção directa num papel, ele tem de "mostrar" que está a agir num papel. Mais precisamente, ele tem de exibir "sinais exteriores inequívocos" de que está agir num papel: exibindo um documento (e.g. um representante mostra a procuração), vestindo um uniforme característico (e.g., polícia com farda policial), estando num local específico (e.g. administrador da empresa no edifício da empresa)[3]. Por conseguinte, deve aceitar-se o esquema No_G: $\neg G_t \top$, traduzindo o facto de a intervenção intencional do agente ser necessária para que um determinado estado seja por ele produzido. Uma opção natural para a caracterização de G_t será considerá-lo um operador do tipo $ETCNo$ (c.f. capítulo 2 e 3).

É de salientar que, contrariamente a G_t, não se pode considerar E_t como um operador intencional. Senão veja-se: Admita-se que $E_{k:k}(\psi_1 \wedge \psi_2)$ se verifica. Isto pode acontecer, porque, por exemplo, dois administradores de k, a_1 e a_2, produziram ψ_1 e ψ_2 respectivamente, agindo cada um na qualidade de administrador de k[4]. Neste caso, considera-se não se poder afirmar que k tem a intenção de produzir $\psi_1 \wedge \psi_2$ (ou é pelo menos discutível que tal possa ser afirmado peremptoriamente). Este é o motivo principal para não se impor o esquema No_E. Apesar de conceptualmente em muitos contextos (e.g. o da especificação de organizações) continuar a não fazer sentido dizer que um agente "faz com que" uma tautologia se verifique, adoptou-se nesta dissertação uma perspectiva mais pragmática, propondo uma lógica mais simples mas que satisfaz os requisitos pretendidos.

Pode agora representar-se o facto de um agente institucional não poder agir directamente:

$$(\forall_{x^{Ag}})(is - institutionalized(x^{Ag}) \rightarrow \neg G_{x^{Ag}}\psi).$$

Note-se que um princípio geral da forma:

$$E_k\psi \rightarrow (\exists_{x^{Ag}})G_{x^{Ag}}\psi$$

não pode ser imposto, porque como se tem o esquema C_E, pode acontecer que diferentes partes de ψ tenham sido produzidas directamente por diferentes representantes de k.

[3]Regressaremos a este assunto mais `a frente.

[4]Est´a-se a considerar que o papel *administrador de k* ´e do tipo representaç ˜ao de k. Logo, tem-se que $E_{a_1:admnistrador(k)}\psi_1 \rightarrow E_{k:k}\psi_1$ e que $E_{a_2:admnistrador(k)}\psi_2 \rightarrow E_{k:k}\psi_2$. Pelo esquema (C_E) tem-se ent˜ao que $E_{k:k}(\psi_1 \wedge \psi_2)$.

Contudo, impõe-se o seguinte princípio que relaciona E_t com G_t (sendo t um termo de género Ag ou AgR):

$$G_t\psi \rightarrow E_t\psi$$

Usando este príncipio podem descrever-se os actos directos de um agente (agindo num papel) usando G_t, e continuar a expressar os efeitos de tais actos em actos de outros agentes através do operador E_t (sem usar G_t), não sendo necessário alterar nada do que se fez anteriormente.

A semântica deste operador pode definir-se facilmente de forma semelhante à usada para a caracterização semântica do operador E_t.

7.1.2 Operador *tentiva de acção*

Em [65] é proposto um operador de *tentativa de acção*, H, que captura a noção de acção não necessáriamente com sucesso. Considera-se em seguida um operador similar, H_t, para t um termo de género Ag ou AgR. $H_{i:r}\ \psi$, lê-se "o agente i agindo no papel r, tenta produzir ψ".

Para a caracterização lógica deste operador, sugere-se que H_t seja do tipo EC, i.e. que inclua o axioma (C_H) e a regra de prova (RE_H) (c.f. capítulo 2). Como é evidente, este operador de acção não necessariamente com sucesso, não obedece ao axioma esquema (T). Relativamente à interacção entre o operador H_t e os operadores de acção de sucesso, E_t e G_t, apenas se pode dizer que:

$$G_t\ \psi \rightarrow H_t\ \psi$$

traduzindo a ideia de que uma acção directa realizada com sucesso é um caso particular de uma tentativa de acção. Note-se que caso não se assuma a intencionalidade de E_t não se pode ter

$$E_t\ \psi \rightarrow H_t\ \psi$$

pois H_t é claramente um operador intencional.

7.1.3 Operador *conta como*

Ao longo desta dissertação surgiram diversas referências ao operador *conta como* (*count as*), proposto em [38]. Este operador é indexado por um identificador de um sistema s (que poderá ser visto como representando a sociedade subjacente, ou o conjunto de normas que a regulam). Resumidamente, a ideia é a de que num sistema s (sociedade, organização, etc.) há normas determinando que alguns actos ou alguns estados de coisas *contam como*, ou *são classificados como* actos ou estados de uma natureza diferente. Estas normas variam de sistema para sistema. Para tentar expressar essas relações de *count as*, Andrew Jones e Marek Sergot propuseram um operador modal condicional, denotado por $\Rightarrow_s$, sendo expressões da forma $\psi \Rightarrow_s \phi$ lidas como "para o sistema s, ψ conta como ϕ". Introduzem ainda um operador modal normal D_s, sendo uma expressão da forma D_sA lida como: "é incompatível com as normas (restrições) em vigor em s que A não se verifique". D_s pode ser visto como um operador de "reconhecimento"(ou "crença") (note-se que o axioma (T_{D_s}): $D_sA \rightarrow A$ não pode ser válido). Duas das propriedades destes dois operadores, entre outras, são:

$$(A \Rightarrow_s C) \rightarrow D_s(A \rightarrow C) \quad \text{e}$$

$$(A \Rightarrow_s C) \rightarrow (D_sA \rightarrow D_sC)$$

Note-se que a última propriedade decorre da anterior atendendo a que D_s é normal, e portanto satisfaz o esquema (K_{D_s}). Ver [38] para mais detalhes sobre a caracterização lógica destes operadores.

Estruturação da informação

Nesta dissertação, o operador $\Rightarrow_s$ foi referido essencialmente no contexto da representação entre agentes, onde actos dos representantes contam como actos dos representados. A etiqueta s pode representar a sociedade de agentes em causa, ou, no caso de se estarem a representar acções internas a uma organização (agente institucional) k, e situações de "delegação" interna, então s poderá ser o próprio k.

Para além de princípios relacionados com a transmissão de acções entre agentes, este operador pode também ser usado para estruturar a informação numa sociedade de agentes ou no contexto interno de um agente institucional. À semelhança de [65], pode usar-se este operador para decompor “tarefas” ou relacionar diferentes estados, da seginte forma:

$$\psi_1 \wedge \psi_2 \Rightarrow_s \phi$$

onde ψ_1 e ψ_2 contam como ϕ, podendo ser vistos como *sub-estados* ou *sub-tarefas* de ϕ;

$$\psi \Rightarrow_s \phi$$

caso particular do anterior, que intuitivamente pode ser lido como ψ é um *caso particular de* ou *sub-estado de* ϕ.

Este conjunto de regras pode fazer parte do conhecimento geral sobre a sociedade de agentes ou do conhecimento interno de um agente institucional, podendo ser usado na especificação formal destas entidades. Desta forma, estrutura-se e facilita-se a especificação de agentes institucionais e de sociedades de agentes.

7.1.4 Operador de *crenç a*

Finalmente, faz-se uma breve referência ao operador de *crença*, B_t (para t um termo de género Ag), sendo expressões da forma $B_t\ \psi$ lidas como “o agente t acredita que ψ se verifica”. Sobre a caracterização lógica deste operador, apenas se considera que B_t é um operador modal normal, que naturalmente não verifica o axioma esquema (T_B).

7.2 Outros problemas

7.2.1 Reconhecimento de acção num papel

Foi argumentado que o papel (ou qualidade) em que um agente age, ou pretende agir, é fundamental relativamente a dois aspectos: os efeitos (legais ou outros) da acção e a sua qualificação deôntica. Mas até agora nada foi dito sobre como se poderá saber, e discutir na linguagem lógica, que um agente agiu ou pretende agir num determinado papel. Uma primeira questão que se poderá colocar será:

> Como pode um sistema s *saber* que um agente agiu num papel particular, i.e. saber que $E_{i:r}\psi$ se verifica?

Mas provavelmente esta não será a formulação mais correcta do problema, pois para saber quais os efeitos de um acto, o que é fundamental não é saber se um agente de facto agiu num determinado papel, mas sim saber se o sistema s reconhece esse acto como tendo sido um acto nesse papel.

Adopta-se, em seguida, o operador D_s proposto por Andrew Jones e Marek Sergot em [38], atrás referido, para expressar esse reconhecimento. A questão anterior pode agora ser reformulada como se segue:

> Como se pode saber que $D_s E_{i:r}\psi$ se verifica?
> (i.e. Como saber se o sistema s reconhece que o agente i agiu no papel r para produzir ψ?)

Em algumas situações há agentes específicos a quem o sistema s atribui *papéis de reconhecimento*. Do âmbito desses papéis constam certos "actos oficiais" que *contam como* actos de reconhecimento de outros factos (e.g. a realização de uma escritura de venda de uma casa *conta como* a venda dessa casa). Quando um desses agentes acredita que $E_{i:r}\psi$ se verifica, expressa esse facto através de um determinado acto "oficial" reconhecido pela sociedade s como significando que "para a sociedade s, $E_{i:r}\psi$ verifica-se": $D_s E_{i:r}\psi$.

Naturalmente, tal agente pode estar errado, e por conseguinte D_s não pode verificar o axioma esquema (T). De uma forma mais geral, num sistema s podem existir regras determinando que alguns actos ou estados *contam como*, or *são classificados como* actos ou estados de uma natureza diferente, regras essas que podem variar de sistema para sistema. Usando o operador *conta como*, $\Rightarrow_s$, anteriormente referido, pode expressar-se, por exemplo, que quando um notário produz um facto específico, ϕ, (e.g. produz um documento específico de escritura de uma casa onde i representa k na venda da casa agindo no papel de representação $r(k)$), isso conta como o reconhecimento de que i em nome de k produziu ψ (e.g. vender a casa de k), da seguinte forma:

$$E_{x:notario}\ \phi \Rightarrow_s E_{i:r(k)}\ \psi$$

Há outras situações em que o agente pode não explicitar o papel em que age mas o contexto da acção torna esse papel explícito e inequívoco. Tal contexto pode consistir de diversas situações, apresentando-se algumas dessas possíveis situações em seguida:

- Há *actos característicos* de determinados papéis. Por exemplo, quando um agente, titular do papel de notário, realiza uma escritura, é evidente que esse agente está a agir no papel de notário. Algo de similar se verifica, por exemplo quando um padre celebra uma cerimónia religiosa, ou quando um cirurgião efectua uma operação.

- Há *uniformes característicos* de determinados papéis. Quando um agente age vestindo uma farda de polícia, conclui-se que ele está a agir no papel de polícia (se não estiver de uniforme e quiser agir nesse papel, terá de exibir a documentação necessária para provar que é polícia). O mesmo acontece, por exemplo, quando um bombeiro usa o seu uniforme ou quando um médico usa bata branca e estetoscópio ao pescoço [5].

- Há *espaços* onde os titulares de determinados papéis não os podem "despir". Por exemplo, quando um agente titular do papel de presidente de uma organização, age no interior do edifício sede da organização, a sua acção vai ser sempre interpretada como uma acção sua no papel de presidente, sem que para isso ele tenha de explicitar o papel em que age. Situações semelhantes ocorrem, por exemplo, quando um professor está na sua sala de aula ou quando um advogado está no seu escritório.

Coloca-se agora a questão da formalização destes casos. Provavelmente existe uma regra no sistema s afirmando que quando uma pessoa que é notário, realiza determinados actos, e.g. assina determinados documentos legais (que se encontram no âmbito desse papel), tal acto conta como um acto dessa pessoa no papel de notário. Por exemplo:

$$E_x\psi \wedge is - notario(x) \wedge acto - caracteristico(notario, \psi) \Rightarrow_s E_{x:notario}\psi$$

De forma análoga, quando um agente titular do papel de presidente de uma organização k, produz um determinado estado ψ dentro do edifício sede da organização, tal facto conta com um acto desse agente no papel de presidente de k:

[5] Usualmente, é também necessário que o acto realizado seja um acto característico (no sentido indicado no ponto anterior) do papel associado ao uniforme. Por exemplo, quando um agente exibindo um uniforme de polícia se desloca a uma repartição de finanças para entregar a sua declaração pessoal de IRS, ele está a agir no papel *itself* e não no papel de polícia (apesar de as pessoas que olham para ele, numa primeira impressão, provavelmente o identificarem como polícia).

$$E_i\psi \wedge is - presidente - of(i,k) \wedge esta - na - sede(i,k) \Rightarrow_k E_{i:presidente(k)}\psi.$$

Conclui-se assim que o contexto em que um agente age pode determinar o papel em que esse agente age.

7.2.2 Tentativa de acção num papel

Tal como já foi dito, o papel em que um agente age, ou tenciona agir, é relevante para a caracterização deôntica do acto. E essa caracterização é relevante, porque determinados actos podem conduzir a “violações” de normas em vigor, e há todo o interesse em expressar essas situações não ideais. Por exemplo,

$$E_{i:r}\psi \wedge \neg PE_{i:r}\psi$$

representa uma violação e

$$D_s(E_{i:r}\psi \wedge \neg PE_{i:r}\psi)$$

representa o facto de s reconhecer (acreditar) que uma violação ocorreu.

Outra situação frequente e relevante, é a situação em que um agente i pretende produzir um determinado estado ψ agindo num papel r, e i sabe, ou acredita, que tal só será possível se outro agente k reconhecer, ou acreditar, que o agente i está a tentar obter ψ agindo no papel r. Ou seja, i necessita que k *lhe torne possí vel* obter ψ. Isto pode verificar-se, por exemplo, porque k fornece uma autorização a i para que este produza ψ, ou porque i necessita que k produza ψ em seu nome. E tal só acontecerá se k reconhecer (acreditar) que i está a tentar obter ψ em algum papel para o qual tal acto é permitido. Para que isso se verifique i tem de fazer com que k reconheça (acredite) que i está a tentar obter ψ agindo no papel r. E k terá de autenticar que i está qualificado para realizar tal acção [6].

Considere-se a seguinte situação concreta que sintetiza o problema acima apresentado:

> “Um agente i pretende obter um serviço (e.g. ler um documento ou correr um programa), denotado por ψ, para o qual só tem permissão quando age no papel r, sendo

[6] A forma como essa autenticaç ˜ao poderia ser feita n˜ao ser´a objecto de estudo.

esse serviço controlado por um agente k, tudo isto no contexto de uma organização s".

Para tentar representar esta situação vai usar-se o operador tentativa de acção acima referido, H_t, sendo t um termo de género Ag ou AgR. Uma possível formulação será:

$$H_{i:r}\ \psi \wedge PE_{i:r}\ \psi \Rightarrow_s OE_k E_{i:r}\ \psi$$

para o caso em que k torna possível a acção de i, ou

$$H_{i:r}\ \psi \wedge PE_{i:r}\ \psi \Rightarrow_s OE_k\ \psi$$

para o caso em que k produz ψ para o agente i.

Analise-se em primeiro lugar o lado direito das relações "conta como".

Caso o agente k não detenha o controlo total sobre o serviço, ter-se-á:

$$H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OH_k E_{i:r}\psi$$

ou

$$H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OH_k\psi.$$

A formulação acima apresentada não explicita a qualidade em que o agente k está obrigado a agir (ou a tentar agir). Pode assumir-se que k desempenha um papel ao serviço de s (e.g. empregado de s), podendo reformular-se as expressões acima indicadas, da seguinte forma:

$$H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OE_{k:empregado(s)}E_{i:r}\psi$$

(ou $H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OH_{k:empregado(s)}E_{i:r}\psi$)

ou

$$H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OE_{k:empregado(s)}\psi$$

(ou $H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s OH_{k:empregado(s)}\psi$).

No caso de k ser um agente de software, poder-se-ia assumir que k foi desenhado de modo a cumprir sempre as suas obrigações. Nesse caso pode-se eliminar a obrigação do lado direito das relações "conta como" acima apresentadas. Mais ainda, pode-se adoptar uma posição semelhante à proposta em [1], e.g., e considerar que se k controla o serviço, então sempre que ele tenta obter ψ, tem sucesso nessa tentativa. Neste cenário seria tentador representar as expressões acima apresentadas, por:

$$H_{i:r}\ \psi \wedge PE_{i:r}\ \psi \rightarrow \psi.$$

Mas isto pode não ser suficiente quando algo corre mal e é necessário atribuir responsabilidades. Nesses casos pode ser necessário saber em que qualidade k produziu ψ. E essa qualidade pode não ser óbvia. Há situações em que k pode ser visto como um mero componente da organização s, o que pode ser expresso da seguinte forma:

$$H_{i:r}\ \psi \wedge PE_{i:r}\ \psi \Rightarrow_s E_{k:componente-de-software-of(s)}\ \psi.$$

Há outras situações em que k pode ser visto como estando em representação do agente que solicita o serviço. Nesse caso a expressão acima indicada deverá ser reformulada como se segue:

$$H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi \Rightarrow_s E_{k:r'(i:r)}\psi$$

(sendo r' um papel do tipo representação de i)[7].

Analise-se agora o lado esquerdo destas relações de "conta como".

Em primeiro lugar, note-se que provavelmente o que se pretende não é dizer que $H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi$ se verifica, mas sim que k acredita que tal facto se verifica, o que pode ser expresso usando o operador de crença B_k, anteriormente referido:

$$B_k(H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi)$$

[7]Caso se pretendesse entrar em mais detalhes, relativamente a esta ´ultima situaç ˜ao, poder-se-ia ainda tentar expressar que quando $H_{i:r}\psi \wedge PE_{i:r}\psi$ se verifi ca isto conta para o sistema s como se i nomeasse k seu representante para ψ, e que i sabe que quando k produz ψ isso conta como se i, agindo no papel r, tivesse produzido ψ. Contudo, n˜ao se abordam aqui tais detalhes.

e pela normalidade de B_k, ter-se

$$B_k H_{i:r}\psi \wedge B_k P E_{i:r}\psi$$

. Pode-se ainda tentar refinar esta condição de forma a conseguir discriminar:

- o que se pode assumir que k sabe,
- o que k precisa de acreditar e
- quais dessas crenças resultam das acções de i.

Desta forma fica claro o modo como um agente deverá agir de forma a obter ψ, tanto em situações em que esse agente está qualificado para o fazer, como em situações fraudulentas em que o agente tenta obter ψ sem ter autorização para o fazer.

Relativamente à condição $B_k P E_{i:r}\psi$ uma possibilidade será considerar que tal facto acontece, porque

$$B_k P_r\psi \wedge B_k qual(i,r).$$

É ainda natural assumir que k possa ter conhecimento sobre a caracterização deôntica dos papéis relevantes e portanto, das permissões associadas a esses papéis. Nesse caso pode-se substituir $B_k P_r\psi$ por $P_r\psi$.

Caso se possa também considerar que k conhece quais os agentes qualificados para desempenhar os diversos papéis, pode substituir-se $B_k\ qual(i,r)$ por $qual(i,r)$.

No caso de k não ter um conhecimento total sobre as qualificações dos diversos agentes, mas conhecer a caracterização dos papéis relevantes, a condição do lado esquerdo do operador "conta como", que se tem vindo a considerar, pode refinar-se para a seguinte expressão:

$$B_k H_{i:r}\psi \wedge B_k qual(i:r) \wedge P_r\psi.$$

Esta expressão indica que dois tipos de fraudes podem ocorrer:

1) o agente i pode conseguir fazer k acreditar que tem as qualificações necessárias para desempenhar o papel r, sem que tal facto seja verdadeiro;

2) o agente i (ou o agente que quer obter ψ — ver a seguir) pode conseguir fazer k acreditar que o agente i está a tentar obter ψ, agindo no papel r, sem que tal seja verdade.

Note-se que quando i está qualificado para desempenhar o papel r o único motivo para se ter a situação 2) é porque se pode verificar $(E_j B_k H_{i:r}\psi) \wedge (i \neq j)$ o que corresponde a uma fraude, pelo menos quando $H_{i:r}\psi$ não se verifica. Este caso será analisado em mais detalhe no texto subsequente.

Coloca-se então o problema de identificar e expressar quais as crenças de k que resultam das acções de i (ou de j), de forma a determinar como deve agir o agente i (ou j) de forma a obter ψ.

Relativamente ao reconhecimento das qualificações necessárias a i para desempenhar o papel r — $qual(i, r)$ — pode considerar-se essa tarefa como sendo da responsabilidade de k (o que não contradiz o facto de i poder ter a capacidade de enganar k relativamente às suas qualificações).

Em relação a $B_k H_{i:r}\psi$, apesar de se poderem imaginar agentes k tão subservientes que tomem a iniciativa de tentar permanentemente saber o que os outros agentes desejam, parece mais natural considerar, pelo menos no tipo de cenários descritos atrás, que é o agente que pretende obter ψ, i (ou j), que tem a responsabilidade de fazer com que k acredite que i está a tentar obter ψ agindo no papel r. Isto pode modelar-se da seguinte forma:

$$E_i B_k H_{i:r}\psi \quad \text{(ou } E_j B_k H_{i:r}\psi\text{)}.$$

Note-se que $E_i B_k H_{i:r}\ \psi$ significa que i consegue fazer como que k acredite que i pretende obter ψ, mas não significa que i consiga obter ψ.

Esta expressão, $E_i B_k H_{i:r}\ \psi$ (ou $E_j B_k H_{i:r}\psi$) pode ser vista como significando "i (ou j) *diz* a k que i quer (está a tentar) obter ψ agindo no papel r", usando um conceito, *diz* (*says*), similar ao considerado em [1]. Pode ainda supor-se que se está num cenário onde o agente k apenas reconhece expressões da forma "eu quero ψ agindo num papel r". Note-se que isto não implica que um agente x não possa agir como representante do agente i, quando este age no papel r, para obter ψ. Neste caso, não se tem i a tentar obter ψ no papel r, mas sim, x a tentar obter ψ no papel de $r'(i : r)$, sendo r' um papel do tipo representação de i para ψ. Nesta situação, espera-se que x *diga*: "eu quero ψ agindo no papel $r'(i : r)$".

Parece então natural assumir que:

(**) $B_k H_{i:r}\psi \rightarrow B_k E_i B_k H_{i:r}\psi$

(ou talvez $B_k H_{i:r}\psi \Rightarrow_s B_k E_i B_k H_{i:r}\psi$).

Pode então reformular-se o lado esquerdo da condição "conta como" que temos vindo a refinar, para:

$$B_k E_i B_k H_{i:r}\psi \wedge B_k qual(i:r) \wedge P_r\psi$$

indicando que podem ser cometidas fraudes em relação a dois aspectos:

- a qualificação do agente — situação 1) referida anteriormente,
- ou a identidade do agente que se dirige a k (do agente que "fala") — situação 2) referida anteriormente.

De facto neste tipo de cenário, pode deduzir-se $B_k E_i B_k H_{i:r}\ \psi$ por dois motivos diferentes:

a) ou porque i diz "eu, no papel r, quero ψ", ou seja $E_i B_k H_{i:r}\psi$,

b) ou porque j diz "eu, no papel r, quero ψ" e j faz com que k acredite que é i, ou seja $E_j B_k(j = i) \wedge E_j B_k H_{i:r}\psi$ (e j está a cometer uma fraude se j não é i).

Quando se verifica a situação a), pode deduzir-se $B_k E_i B_k H_{i:r}\ \psi$ usando (**) e o esquema (T_E) para E_i.

Quando se verifica a situação b), pode deduzir-se $B_k E_i B_k H_{i:r}\psi$ da seguinte forma:

Pela normalidade de B_k, tem-se:

$\vdash B_k(j = i) \wedge B_k H_{j:r}\psi \leftrightarrow B_k(j = i \wedge H_{j:r}\psi)$.
Logo, pela regra RE_E e pelo esquema C_E para E_j, tem-se:

$\vdash E_j B_k(j = i) \wedge E_j B_k H_{j:r}\psi \rightarrow E_j B_k(j = i \wedge H_{j:r}\psi)$.
Então, de b) pode deduzir-se:

$E_j B_k(j = i \wedge H_{j:r}\psi)$

e usando o esquema T_E pode deduzir-se:

$B_k(j = i \wedge H_{j:r}\psi)$

Caso se aceite que:

$\vdash j = i \wedge H_{j:r}\psi \rightarrow H_{i:r}\psi$

usando a normalidade de B_k, pode deduzir-se

$B_k H_{i:r}\psi$.

Finalmente, $B_k E_i B_k H_{i:r}\psi$ obtem-se de (**).

Conclui-se este capítulo com alguns comentários finais sobre as relações entre os operadores *tentativa de acção* e *tentativa de acção num papel*.

Foi anteriormente afirmado que o seguinte princípio não deveria se válido:

$$H_i\psi \wedge qual(i, r) \rightarrow H_{i:r}\psi.$$

Contudo, pode assumir-se que em certos sistemas s se verifica a seguinte regra:

$$E_i B_k H_i\psi \wedge E_i B_k qual(i, r) \Rightarrow_s E_i B_k H_{i:r}\psi^8.$$

Mas também se podem conceber sistemas que têm regras mais "fracas" para interpretar tentativas de acção num papel. Por exemplo, há sistemas (e.g. [1]), em que se considera que quando um agente i tenta agir no sentido de obter ψ, ele tenta agir em qualquer papel r. Nesse caso ter-se-ia: $E_i B_k H_i\psi \Rightarrow_s E_i B_k H_{i:r}\psi$.

Fica ilustrado, neste capítulo, o elevado poder expressivo da lógica proposta quando combinada com os operadores aqui introduzidos. Ilustra-se também uma possível aplicação deste tipo de lógicas a problemas de natureza distinta da dos problemas relacionados com os agentes institucionais.

[8] Caso se considere que todos os sistemas funcionam segundo esta regra, pode substituir-se a express˜ao apresentada por $E_i B_k H_i\psi \wedge E_i B_k qual(i, r) \rightarrow E_i B_k H_{i:r}\psi$.

Capítulo 8

Conclusões e trabalho futuro

Conclui-se esta dissertação com a apresentação de um resumo do trabalho apresentado e das suas contribuições, e com a indicação de diversos problemas que serão objecto de trabalho futuro.

8.1 Resumo

Esta dissertação teve por objectivo essencial, contribuir para o estudo formal de conceitos e de modelos adequados para a especificação dos aspectos normativos de entidades colectivas organizadas e que permitissem uma análise rigorosa de tais entidades.

Com esse objectivo em vista, e tomando como ponto de partida as lógicas deônticas e de acção propostas inicialmente por S.Kanger, I. Pörn e L. Lindahl, e posteriormente usadas e desenvolvidas por diversos autores, em contextos relacionados com a caracterização de sistemas normativos complexos, estudou-se a possibilidade de formalização de conceitos relacionados com agência colectiva, tendo-se concluido pela inadequação das propostas lógicas que têm sido feitas. Desse estudo resultou também a ideia de que o problema essencial residia na noção de agente colectivo visto como um conjunto de agentes. Impôs-se então a necessidade de investigar em maior profundidade a noção de agente colectivo e de agência colectiva que conduzisse a uma caracterização mais satisfatória desses conceitos.

Como se pretendia fazer uma caracterização normativa da agência colectiva, tomou-se o Direito como base para a investigação de modelos normativos para a agência colectiva. A motivação que determinou esta opção residiu no facto de os modelos legais para a agência colectiva terem necessariamente de existir, pois tais entidades ocorrem com frequência nas sociedades humanas, e por conseguinte o Direito terá forçosamente de entrar em consideração com elas na sua função reguladora, precisando para isso de as modelar. Identificaram-se então alguns conceitos legais com interesse para os fins em vista nesta dissertação: o conceito de *pessoa colectiva* e as relações jurídicas de *representação* e de *mandato*. Com base nestes conceitos legais, introduziram-se os conceitos de *papel*, de *acção de um agente num papel*, de *representação* entre agentes, de *contrato* entre agentes e de *agente institucional*. Tais conceitos permitiram a caracterização, nesta fase ainda informal, de um modelo para entidades colectivas organizadas, tendo definidos mecanismos que relacionam a entidade colectiva no seu todo com os elementos que a compõem. Permitiram ainda a caracterização das relações de carácter normativo que os agentes numa sociedade são livres de estabelecer entre si.

Foi então necessário confrontar os modelos acima caracterizados com outras propostas de autores tais como R.Tuomela, M.Gilbert ou J.Coleman que têm abordado questões relacionadas com a agência colectiva e que são referências essenciais da área da Inteligência Artificial e da Filosofia. Verificou-se que, de uma forma geral, e para o caso da agência colectiva organizada, os modelos acima referidos se encontravam em conformidade com as ideias apresentadas por estes autores.

Não foram contudo encontrados modelos formais adequados para estes problemas.

Em consequência, procedeu-se de seguida à formalização dos conceitos acima referidos. Numa primeira fase foi feita uma tentativa de usar as lógicas deônticas e de acção anteriormente referidas, tendo-se concluido pela necessidade de introdução de um novo operador modal de acção que captasse a noção de *acção de um agente num papel*, $E_{a:r}$. Estudou-se em seguida a interacção entre este operador de acção e o operador deôntico de obrigação, O, identificando os princípios lógicos desejados para a sua caracterização. Procedeu-se então à caracterização da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, lógica de $1.^a$ ordem, multi-género e multi-modal (inclui os operadores modais $E_{a:r}$ e O), definindo uma linguagem formal de base, uma semântica usando os modelos mínimos de $1.^a$ ordem introduzidos no capítulo 2, e propondo uma axiomatização para esta lógica. Provou-se ainda a correção da axiomatização apresentada face à semântica definida.

Seguiu-se a utilização da lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$ na especificação e análise formal de agentes institucionais, de sociedades de agentes e das diversas interacções de carácter normativo que os diversos agentes podem estabelecer entre si. Nesse sentido, estendeu-se a lógica $\mathcal{L}_{\mathcal{DA}}$, tornando-a mais próxima do nível da especificação, definindo-se uma lógica $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$. Definiram-se abreviaturas que permitem associar papéis e agentes desempenhando papéis, às noções deônticas de obrigação, permissão e proibição ($P, F, O_r, P_r, F_r, O_{a:r}, P_{a:r}, F_{a:r}$); enriqueceu-se a linguagem de forma a capturar vários tipos de relações entre papéis (sub-papel ($\preceq$), implicação ($>>$) ou incompatibilidade ($<>$)). Definiram-se abreviaturas para a caracterização de *papéis de representação* entre agentes ($r : REP(i, \psi)$). Introduziu-se um operador de acção conjunta, E_X, onde X é um conjunto de agentes em papéis, e discutiram-se princípios lógicos que caracterizam este operador. Foram também propostas fórmulas para a formalização de *contratos* e da *celebração de contratos* entre agentes Apresentou-se, depois, um modelo formal para a especificação normativa de agentes institucionais e de sociedades de agentes, suportado pela lógica $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$ definida. Uma linguagem de alto nível para a especificação de agentes institucionais e de sociedades de agentes foi também sugerida.

Com este modelo é possível analisar as consequências resultantes de acções, individuais ou conjuntas, que ocorrem numa sociedade de agentes. A especificação de uma sociedade de agentes SA define uma linguagem $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$ particular e um conjunto de fórmulas dessa linguagem. A lógica que se obtém adicionando essas fórmulas à lógica subjacente como novos axiomas, chamou-se teoria definida por SA, $\mathcal{T}(\mathcal{SA})$. A análise suportada permite, essencialmente, verificar se determinadas fórmulas se podem inferir em $\mathcal{T}(\mathcal{SA})$, a partir de um conjunto de fórmulas de acção. Em particular, pode analisar-se quais os efeitos das acções de um agente, quando este age num papel: nas acções de outros agentes, na criação de novas obrigações ou permissões sobre o mesmo agente ou sobre outros agentes, ou na análise do cumprimento ou incumprimento de obrigações — permitindo assim a detecção de comportamentos não ideais de agentes.

Apresentou-se ainda uma breve discussão sobre a possibilidade da especificação estruturada de agentes institucionais, introduzindo o conceito de *agente dependente* (tendo por base o conceito legal de *órgão* de uma pessoa colectiva).

Concluiu-se a dissertação discutindo algumas possíveis extensões à lógica apresentada. São propostos alguns conceitos adicionais e introduzidos operadores modais que os expressam (operador de *acção directa* — G_t, operador *tentativa de acção* — H_t, operador *conta como* — $\Rightarrow_s$ e operador de *crença* — B_t). Explora-se depois a expressividade da lógica estendida com estes operadores modais, na representação de alguns problemas: o problema de saber como reconhecer uma acção num papel, e problemas relacionados com a detecção de situações de fraude que podem ocorrer quando um agente tenta agir num papel.

Considera-se terem sido atingidos os objectivos deste trabalho. Por um lado foram discutidos em detalhe conceitos muitas vezes usados na especificação de organizações, mas nem sempre de forma clara, tais como os conceitos de: papel, obrigação (permissão e proibição), representação entre agentes, contrato entre agentes e agente institucional. Julga-se com esta discussão ter contribuido para uma melhor compreensão destes conceitos. Por outro lado, esses conceitos foram formalizados, ficando definido de forma rigorosa e sem ambiguidades, qual o significado a eles atribuido e quais as implicações do seu uso. A lógica de suporte à formalização destes conceitos é bastante simples, tendo contudo um elevado poder expressivo. É ainda de salientar que apesar de o contexto que originou e motivou este trabalho ter sido a definição de modelos para a agência colectiva organizada, a lógica proposta permite expressar problemas mais gerais relacionados com a interacção entre agentes. Por exemplo, os conceitos de papel e de acção de um agente num papel e a sua formalização, podem ser explorados em contextos não relacionados com a agência colectiva.

Considera-se, no entanto, que o trabalho apresentado nesta dissertação não está, de forma alguma, concluído. Há múltiplos problemas em aberto que precisam de trabalho futuro.

8.2 Trabalho futuro

Uma primeira classe de problemas que importa investigar, está relacionada com a lógica definida nesta dissertação. Entre os problemas que terá interesse abordar, destacam-se os seguintes: estudar a completude e a decidibilidade da lógica, aprofundar o estudo da interação entre os diversos operadores modais introduzidos, estudar a relevância (ou não) das fórmulas de Barcan no contexto desta lógica e em caso afirmativo, estudar os problemas que tais fórmulas poderão levantar a nível semântico. Algumas referências que poderão servir como ponto de partida para o estudo destes problemas são, por exemplo, [19], [25], [29], [31] e [37].

Outra questão que se impõe naturalmente é a da automação da lógica apresentada. A automação (ou semi-automação) da lógica é crucial permitindo a definição de protótipos que suportem a especificação formal e a análise rigorosa de organizações. A especificação e análise de organizações quando feitas manualmente, apesar de serem tarefas disciplinadoras e enriquecedoras para quem esteja disposto a efectuá-las, dificilmente será uma abordagem "vendável". Exige conhecimentos de lógica e é trabalhosa, o que a torna irrealista sob um ponto de vista pragmático. Será, por isso, crucial automatizar a lógica de suporte à especificação, definindo protótipos que permitam estudar o comportamento de organizações face a acções dos agentes da sociedade da qual fazem parte.

Esta tarefa não é trivial.

Duas classes de abordagens podem ser adoptadas para efectuar esta automação: usar *demons-*

tradores de teoremas ou usar *sistemas de verificação orientada a modelos*.

Os *demonstradores de teoremas* usam métodos dedutivos e são semi-automáticos (daí a denominação frequente de *sistemas de prova assistida*) permitindo que um utilizador efectue provas matemáticas tradicionais (provar a partir de um conjunto de axiomas, de regras de prova e de um conjunto de hipóteses, se uma determinada fórmula se pode deduzir). O sistema *Isabelle* (ver http://isabelle.in.tum.de/) é um exemplo de um sistema deste tipo. Este sistema permite a protótipagem de diversas lógicas (codificando-as na meta-lógica do sistema) de forma bastante rápida e simples. Entre as desvantagens desta classe de abordagens encontra-se o facto de ser necessária a intervenção do utilizador, que tem de ter conhecimentos de lógica para conseguir efectuar uma prova e o facto de tais provas terem de ser detalhadas (os "saltos triviais" que por vezes se fazem em provas efectuadas manualmente não podem aqui ser feitos). A definição de estratégias de prova por parte do utilizador, que facilitem o processo de demonstração, exige algum tempo de aprendizagem.

Outra abordagem consiste na utilização de *sistemas de verificação orientada a modelos* (*model checking*). Tais sistemas usam métodos algorítmicos e são sistemas de verificação completamente automáticos, que a partir de uma representação da especificação de um sistema e das propriedades a verificar, são capazes de determinar se a propriedade é válida no sistema, fornecendo contra-exemplos quando tal não acontece. Nestes métodos, uma máquina de estados finita correspondente à especificação de um sistema, pode ser sujeita a uma analise exaustiva de todo o seu espaço de estados para determinar quais as propriedades que esse sistema verifica. Relativamente aos demonstradores de teoremas, têm a vantagem de serem completamente automáticos e de a validade de uma propriedade ser sempre decidível. O maior problema reside no tamanho da máquina de estados finitos correspondente a um determinado sistema, podendo tornar esta técnica impraticável. Só é possível aplicar este método de verificação automática a sistemas representáveis por máquinas de estados finitos. Há técnicas desenvolvidas para converter fórmulas com quantificadores e fórmulas com operadores modais em fórmulas aceites pelo sistema de verificação e para lidar de forma eficiente com a explosão de estados resultante. Uma referência essencial para o estudo desta abordagem é [21]. Um dos sistemas desta classe de abordagens que se está a pensar estudar é o *SVC — Stanford Validity Checker* (ver http://sprout.Stanford.EDU/SVC/).

No estado de desenvolvimento actual, esta última classe de abordagens parece ser uma via promissora, que se pensa explorar em primeiro lugar.

Independentemente de qual a classe de abordagens a adoptar, um trabalho que terá inevitavelmente de ser estudado, será o de F. Santos [63], dado ele ter desenvolvido um método de prova automática baseada em tableaux, para suportar operadores modais de acção clássicos, semelhantes aos operadores de acção definidos nesta dissertação. Uma possibilidade que haverá todo o interesse em explorar será a adaptação e extensão desse método para a lógica aqui proposta. Um problema que imediatamente se coloca reside no facto de, neste caso, se estar perante lógicas modais de 1.ª ordem. Referências a considerar para este estudo são, por exemplo, [27] e [28].

De momento a autora não está em posição de discutir a viabilidade destas alternativas. Limitou-se a indicar as abordagens que tenciona investigar.

É de referir que este problema da automação foi sendo colocado insistentemente ao longo de todo o trabalho (os motivos são óbvios: a demonstração manual de teoremas é tarefa árdua, delicada e pouco atractiva quando o objectivo é ilustrar as potencialidades de uma lógica a terceiros!) mas a sua resolução foi sendo preterida em favor do desenvolvimento da lógica. Isto, porque quando se pretendem modelar *exemplos reais* estes são uma fonte interminável de novos problemas: há sempre pormenores ainda não considerados, ou casos que configuram excepções. Há neste processo de modelação um exercício constante de equilíbrio entre o desafio de capturar a complexidade da realidade e por outro lado a definição de modelos simples, elegantes e que "funcionem".

Como foi salientado diversas vezes, o modelo proposto é um modelo abstracto, podendo ser apenas usado num primeiro nível de especificação de organizações. Nesta dissertação foi argumentado que este nível de especificação é útil para estudar e perceber uma organização existente, ou que se planeia criar ou alterar. Este modelo abstracto apesar de crucial, não é suficiente para a definição de modelos concretos de organizações. Torna-se necessário refinar os modelos abstractos aqui propostos para modelos mais concretos, caso se pretendam definir modelos "reais" de organizações.

Tal refinamento pode ser feito segundo diferentes perspectivas.

Numa primeira perspectiva, podem usar-se os modelos abstractos (ou, de preferência, os protótipos que os automatizam) para simular e estudar o comportamento das organizações, e posteriormente usar esse conhecimento, de forma implícita, na modelação "real" de organizações. Essa segunda fase do processo de modelação de organizações poderá ser independente dos modelos lógicos definidos no nível abstracto, no sentido de se usarem ferramentas ou metodologias que podem não estar relacionadas formalmente com a lógica usada no nível abstracto (e.g. sistemas orientados a objectos ou sistemas multi-agentes). Para que esta perspectiva possa ter algum rigor deve ser feito um estudo sobre quais as implicações do modelo lógico no modelo "real" definido [1].

Existem diversas linguagens, metodologias e sistemas (ver, e.g. [67], [70], [9], [54], [41]) propostos para a especificação de organizações que usam conceitos semelhantes aos usados nesta dissertação mas que não têm um correspondente modelo formal. Seria interessante investigar a semelhança ou a divergência entre tais conceitos. A titulo ilustrativo, a metodologia GAIA proposta em [70] usa conceitos tais como o conceito de *papel*, de *permissão* ou de *responsabilidade*, que numa primeira análise parecem semelhantes aos usados nesta dissertação, mas que numa análise mais cuidada revelam ter diferentes interpretações[2]. Outro exemplo de uma linguagem que usa conceitos similares aos usados nesta dissertação e que seria interessante comparar, é a linguagem UML (ver, e.g. [45]).

Outra perspectiva de refinamento do modelo abstracto para modelos mais concretos, consiste em ir progressivamente incluindo no modelo inicial aspectos não considerados anteriormente. Entre esses aspectos destacamos os seguintes:

- Incluir *outros conceitos normativos* relevantes para a especificação de organizações (e.g. responsabilidade, delegação, poder) e expressá-los formalmente de forma a poder fazer um uso rigoroso e sem ambiguidades desses conceitos.

- Em modelos mais detalhados de organizações é inevitável a inclusão de *acções* concretas que os agentes devem realizar, em vez de referir apenas os estados genéricos que eles devem produzir: para além de dizer *o que* devem produzir é necessário indicar *como* o devem fazer. Um tópico de investigação que parece interessante neste contexto consiste em tentar combinar lógicas dinâmicas (do género das propostas por D. Harel — ver [32], [33]) onde aparecem referências explicitas a acções, com lógicas de acção do tipo das usadas nesta dissertação.

  A inclusão de *aspectos temporais* também será necessária caso se pretenda fazer uma análise dos aspectos dinâmicos de uma organização. Por exemplo, os contratos (e consequentemente, os papeis e as obrigações neles fixadas) tipicamente têm uma duração limitada no tempo.

---

[1] Idealmente, tal estudo poderia traduzir-se numa geração automática de restrições sobre o modelo real (o que não parece ser tarefa fácil).

[2] Por exemplo, a noção aí chamada de *permissão* corresponde apenas ao conceito de *possibilidade* (sobre este assunto ver, e.g., [38]).

- Considerar um *modelo concreto de agentes* incluindo aspectos tais como capacidades de agentes, objectivos, motivações, ou outros. No modelo proposto nesta dissertação não foi adoptado qualquer modelo específico de agentes, não devendo a inclusão de um modelo concreto alterar em nada o modelo abstracto apresentado.

- Há fenómenos de natureza colectiva não considerados nesta dissertação relacionados, por exemplo, com grupos ou equipas, que por terem uma existência real nas organizações, deverão também ser objecto de estudo caso se pretendam definir modelos reais de organizações.

A autora está essencialmente interessada na investigação dos dois primeiros tópicos indicados.

Um último aspecto que importa referir relativamente a trabalho futuro, é a exploração da lógica proposta em contextos diferentes do da agência colectiva organizada. A lógica proposta foi essencialmente explorada neste contexto, mas como se disse anteriormente, pode ainda ser explorada em contextos diferentes onde os conceito de papel, de acção num papel, de obrigação, de contrato, ou de representação, sejam relevantes. Um exemplo de um contexto possível será o dos *mercados virtuais*, onde os aspectos normativos têm uma importância crescente. Um outro contexto de trabalho interessante é o da segurança em sistemas distribuidos, na linha do trabalho realizado por M. Abadi, M. Burrows, B. Lampson e outros em, por exemplo, [1] e [43].

Apêndice A

Linguagem de especificação $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$

Apresenta-se em seguida uma gramática descrevendo a sintaxe da linguagem de especificação $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$.

Algumas convenções usadas:

- Os símbolos não terminais são apresentados em maiúsculas.
- Os símbolos terminais variáveis são apresentados em minúsculas (tipo de letra normal):
  - idsa — identificador de uma sociedade de agentes;
  - ida — identificador de um agente;
  - pa — propriedade de um agente,
  - idr — identificador de um papel;
  - flda — fórmula da lógica deôntica e de acções;
  - idc — identificador de um contrato.
- Os símbolos terminais constantes correspondentes a palavras reservadas da linguagem são apresentados a "bold" (e.g. **Society of Agentes**).
- Os símbolos terminais constantes correspondentes a sinais de pontuação são apresentados entre aspas (e.g. ":").

Sociedade de Agentes	SPEC-SA	$\longrightarrow$	HEAD BODY END
Início da especificação	HEAD	$\longrightarrow$	**Society of Agents** idsa “:”
Finalização	END	$\longrightarrow$	**End Specification** idsa “.”
	BODY	$\longrightarrow$	AG NR GK
Agentes	AG	$\longrightarrow$	**Agents** “:” nIA IA
Agentes não institucionais	nIA	$\longrightarrow$	IDnIA PnIA
Identificadores	IDnIA	$\longrightarrow$	**Non-Institutionalized Agents:** LIDA “;”
Lista de identificadores	LIDA	$\longrightarrow$	ida | ida “,” LIDA
Propriedades dos agentes	PnIA	$\longrightarrow$	PA | PA PnIA
	PA	$\longrightarrow$	**Properties of agent** ida “:” LPA “;”
	LPA	$\longrightarrow$	ε | pa “,” LPA
Agentes Institucionais	IA	$\longrightarrow$	IDIA LSTIA
Identificadores	IDIA	$\longrightarrow$	**Institutionalized Agents** “:” LIDA
	LSTIA	$\longrightarrow$	ε | STIA LSTIA
Estrutura do agente institucional	STIA	$\longrightarrow$	HEAD-IA BODY-IA END-IA
	HEAD-IA	$\longrightarrow$	**Institutional Agent** “:” ida “;”
	END-IA	$\longrightarrow$	**End Specification** ida “;”
	BODY-IA	$\longrightarrow$	ROLES DCR TO RER RR
Papeis	ROLES	$\longrightarrow$	**Roles** “:” LIDR “;”
Lista de identificadores	LIDR	$\longrightarrow$	idr | idr “,” LIDR
Caracterização deôntica	DCR	$\longrightarrow$	**Deontic Characterization of Roles** “:” LCR
	LCR	$\longrightarrow$	CR | CR LCR
	CR	$\longrightarrow$	idr “:” LDC “;”
	LDC	$\longrightarrow$	ε | DCr “;” LDC
Características deônticas	DCr	$\longrightarrow$	DC “:” LF
	LF	$\longrightarrow$	fda | fda “,” LF
Conceito Deôntico	DC	$\longrightarrow$	**Obligation** | **Permission** | **Prohibition**
Transmissão de obrigações	TO	$\longrightarrow$	**Transmission of obligations** “:” LTO
	LTO	$\longrightarrow$	TOR “;” | TOR “;” LTO
	TOR	$\longrightarrow$	**Obligation** fda **goes to** idr
Papeis de Representação	RER	$\longrightarrow$	**Representative roles** “:” LRER “;”
	LRER	$\longrightarrow$	REPR | REPR “;” LRER
	REPR	$\longrightarrow$	idr **is representative of** ida **for** “:” LF

Relações entre papéis	RR	$\longrightarrow$	**Relations between roles** ":" [SRR] [IMPR] [INCR]
Sub-papéis	SRR	$\longrightarrow$	**Sub-roles** ":" LSR ";"
	LSR	$\longrightarrow$	SR | SR ";" LSR
	SR	$\longrightarrow$	idr **sub-role of** idr
Implicação	IMPR	$\longrightarrow$	**Implication** ":" LIMPR
	LIMPR	$\longrightarrow$	ε | IMP ";" LIMPR
	IMP	$\longrightarrow$	idr **implies** idr
Incompatibilidade	INCR	$\longrightarrow$	**Incompatibility** ":" LINCR
	LINCR	$\longrightarrow$	ε | INC ";" LINCR
	INC	$\longrightarrow$	idr **incompatible with** idr
Relações entre agentes	NR	$\longrightarrow$	**Normative Relations** [TSR] [ONRS]
Titularid. papeis	TSR	$\longrightarrow$	**Titularity of Structural Roles** LSRIA
	LSRIA	$\longrightarrow$	SRIA | SRIA LSRIA
	SRIA	$\longrightarrow$	**Institutionalized Agent** ida ":" LTR
	LTR	$\longrightarrow$	TR | TR LTR
	TR	$\longrightarrow$	ida **is** idr ";"
Outras relações	ONRS	$\longrightarrow$	**Other Normative Relations** LONR
	LONR	$\longrightarrow$	ONR | ONR LONR
Contratos	ONR	$\longrightarrow$	CONT
	CONT	$\longrightarrow$	TCONTR | ACONTR
	TCONTR	$\longrightarrow$	HEAD-CONT BODY-CONT END-CONT
	HEAD-CONT	$\longrightarrow$	**Contract** idc ":"
	END-CONT	$\longrightarrow$	**End contract** idc ";"
	BODY-CONT	$\longrightarrow$	AGC RAC DCRC [RRC]
Agentes envolvidos	AGC	$\longrightarrow$	**Agents** ":" ida "," ida ";"
Papéis do contrato	RAC	$\longrightarrow$	**Role Atributions** ":" FRA SRA
	FRA	$\longrightarrow$	TR
	SRA	$\longrightarrow$	TR
Caracteriza. deôntica	DCRC	$\longrightarrow$	**Deontic Characterization**: DCAR DCAR
	DCAR	$\longrightarrow$	ida **as** idr ":" DC
Papéis representação	RRC	$\longrightarrow$	**Representation** ":" REPR [REPR]
Conhecimento geral	GK	$\longrightarrow$	**General Knowledge** EFA
Efeitos das acções	EFA	$\longrightarrow$	**Effects of Actions** LEF
	LEF	$\longrightarrow$	EF | EF LEF
	EF	$\longrightarrow$	ACTION **has the normative effect** : EFFECT
	ACTION	$\longrightarrow$	**Action** ida **done by agent on role** idr
	EFFECT	$\longrightarrow$	DC ida **on agent** ida **on role** idr ";"

Apêndice B

Especificação estruturada do agente institucional ax

Society of Agents SAE:

Agents:

Non-Institutionalized Agents: a, b, c, d, e, f, g, h1, ..., hn, i;
Properties of Agents: ...
Institutionalized Agents: ax, D-ax, CF-ax, AG-ax;
Specification of Institutionalized Agents:

Institutionalized Agent : ax;

Roles:
Ass(ax), D(ax), CF(ax), AG(ax);
Deontic Characterization of Roles:

Ass(ax): **Obligations**: p_9; **Permissions**: p_8;
D(ax): **Obligations**: p_3; **Permissions**: p_4;
CF(ax): **Obligations**: p_5, p_7; **Permissions**: p_6;
AG(ax):

Transmission of obligations:

Obligation p_1 **goes to** D(ax);
Obligation p_2 **goes to** D(ax);
Obligation p_4 **goes to** D(ax);

Representative roles:

D(ax) **is representative of** ax **for**: p_1;
D(ax) **is representative of** ax **for**: p_2;
D(ax) **is representative of** ax **for**: p_4;
AG(ax) **is representative of** ax **for**: *;

Relations between roles:

Implication:

M(D-ax) **implies** Ass(ax);
P(AG-ax) **implies** Ass(ax);
S(AG-ax) **implies** Ass(ax);
Ass(ax) **implies** M(AG-ax);

Incompatibility:

M(D-ax) **incompatible with** M(CF-ax);
M(D-ax) **incompatible with** P(AG-ax);
M(D-ax) **incompatible with** S(AG-ax);
M(CF-ax) **incompatible with** P(AG-ax);
M(CF-ax) **incompatible with** S(AG-ax);

End Specifi cation ax ;

Institutionalized Agent : D-ax;

Roles:
M(D-ax), P(D-ax);
Deontic Characterization of Roles:

M(D-ax): **Obligations**: p_1; **Permissions**: p_2;
P(D-ax): **Obligations**: p_2, p_3; **Permissions**: p_4;

Transmission of obligations:

Obligation p_1 **goes to** M(D-ax);
Obligation p_2 **goes to** P(D-ax);
Obligation p_4 **goes to** P(D-ax);

Representative roles:

P(D-ax) **is representative of** D-ax **for**: p_4, p_2;
M(D-ax) **is representative of** D-ax **for**: p_1 ;

Relations between roles:

Subroles:

P(D-ax) **sub-role of** M(D-ax);

End Specification D-ax;

Institutionalized Agent : CF-ax;

Roles:
P(CF-ax), M(CF-ax);
Deontic Characterization of Roles:

P(CF-ax): **Obligations**: p_5; **Permissions**: p_6 ;
M(CF-ax): **Obligations**: p_7;

Transmission of obligations:

Obligation p_5 **goes to** P(CF-ax);
Obligation p_6 **goes to** P(CF-ax);
Obligation p_7 **goes to** P(CF-ax);

Representative roles:

P(CF-ax) **is representative of** CF-ax **for**: p_5, p_6, p_7;

Relations between roles:

Subroles:

P(CF-ax) **sub-role of** M(CF-ax);

End Specification CF-ax;

Institutionalized Agent : AG-ax;

Roles:
P(AG-ax), M(AG-ax), S(AG-ax);
Deontic Characterization of Roles:

M(AG-ax): **Obligations**: p_{12}; **Permissions**: p_{13};
P(AG-ax): **Obligations**: p_{14};
S(AG-ax): **Obligations**: p_{15};

Transmission of obligations:

Obligation p_{14} **goes to** P(AG-ax);

Representative roles:

P(AG-ax) **is representative of** AG-ax **for**: p_{14};

Relations between roles:

Subroles:

P(AG-ax) **sub-role of** M(AG-ax);
S(AG-ax) **sub-role of** M(AG-ax);

End Specification AG-ax;

Normative Relations:

Titularity of Roles:

Holders of Structural Roles of: ax;

d **is** Ass(appia);
e **is** Ass(appia);
f **is** Ass(appia);
g **is** Ass(appia);
h_1 **is** Ass(appia);
...
h_n **is** Ass(appia);
D-ax **is** D(ax);
CF-ax **is** CF(ax);
AG-ax **is** AG(ax);

Holders of Structural Roles of: D-ax;

d **is** P(D-ax);
e **is** M(D-ax);
f **is** M(D-ax);

Holders of Structural Roles of: CF-ax;

c **is** M(CF-ax);
b **is** M(CF-ax);
a **is** P(CF-ax);

Holders of Structural Roles of: AG-ax;

g **is** P(AG-ax);
h_1 **is** S(AG-ax);

Other Normative Relations

Contract C1:

Agents: i, h_1;
Role Attributions:
i **is** $mandatario(h_1)$;
h_1 **is** $mandante(i)$;
Deontic Characterization:

i **as** $mandatario(h_1)$:

Obligations: $p10$;

h_1 **as** $mandante(i)$:

Obligations: $\neg p9$;

End Contract C1;
Contract C2:

Agents : i, ax;
Deontic Characterization :

i **as** i:

Obligations : $p11$;

ax **as** ax:

Obligations : $p1$;

End Contract C2;

General Knowledge

Effects of Actions:

Action p2 **done by agent on role** MD(ax)
has the normative effect :

Obligation p4 **on agent** ax **on role** itself;

End Specification SAE.

Apêndice C

Exemplos de especificação de agentes institucionais

C.1 A Sociedade Anónima *Dat Schaub-Porto*

A *sociedade anónima Dat Schaub - Porto* é um exemplo de uma pessoa colectiva do tipo sociedade anónima. Uma representação gráfica da sociedade é apresentada na Fig. C.1. Com base nos estatutos da sociedade, definiu-se o agente institucional dsp cuja especificação se apresenta em seguida. Naturalmente, o modelo apresentado abstrai dos pormenores que não são relevantes para a caracterização normativa do agente institucional dsp. Usamos identificadores abstractos para os agentes que suportam a estrutura do agente institucional dsp, em vez de referir pessoas concretas.

C.1.1 Extractos dos estatutos da *Dat Schaub - Porto*

Apresentam-se, em seguida, alguns artigos dos estatutos da sociedade anónima *Dat Schaub - Porto*.

Artigo Oitavo

São órgãos da sociedade a Assembleia Geral, o Conselho de Administração e o Fiscal Único.

Artigo Nono

1. A Assembleia Geral é constituida por todos os accionistas com direito de voto e pelos membros da Mesa da Assembleia Geral, do Conselho de Administração e do Conselho Fiscal.
2. As deliberações da Assembleia Geral quando tomadas nos termos da lei e deste contrato, são obrigatórias para todos, ainda que ausentes, dissidentes ou incapazes.
4. Os accionistas com direito de voto poderão fazer-se representar por um membro do Conselho de Administração, por cônjuge, ascendente ou descendente do accionista representado ou por outro accionista.
5. A sociedade é representada por quem para o efeito designar.
6. As representações e as designações referidas nos dois números precedentes serão comunicadas ao Presidente da Mesa por carta certificada pela sociedade, entregue na sede social até cinco dias úteis antes da data designada para a reunião da Assembleia Geral.

Artigo Décimo-primeiro

1. A Mesa da Assembleia Geral será constituida por um presidente e um secretário, eleitos pela Assembleia Geral, podendo ser reeleitos uma ou mais vezes.
2. Compete ao Presidente da Mesa convocar as assembleias gerais com pelo menos trinta dias de antecedência para reunir no primeiro trimestre de cada ano social a fim de deliberar sobre as matérias que sejam, por lei, da sua competência, e, ainda, tratar de quaisquer assuntos de interesse para a sociedade que sejam expressamente indicados na respectiva convocatória, dirigir as reuniões, dar posse aos membros do Conselho de Administração e ao Fiscal Único, bem como exercer as demais funções que lhe são conferidas pela lei e pelos presentes estatutos.
3. O Presidente da Mesa deverá convocar extraordinariamente a Assembleia Geral sempre que tal seja solicitado pelo Conselho de Administração, pelo Conselho Fiscal ou por accionistas que possuam, pelo menos, acções correspondentes ao valor mínimo imposto por lei imperativa e que lho requeiram em carta em que se indiquem, com precisão, os assuntos a incluir na ordem do dia e se justifique a necessidade de reunir a Assembleia.
4. Aos secretários compete, além de coadjuvar o Presidente, todo o expediente relativo às Assembleias Gerais.

Artigo Décimo-quinto

A gestão e representação da sociedade será exercida por um Conselho de Administração composto por três, cinco, sete ou nove membros, accionistas ou não, conforme for deliberado em Assembleia Geral que designará também o Presidente e o Vice-Presidente, os quais serão eleitos por esta Assembleia, podendo ser reeleitos por uma ou mais vezes.

Artigo Décimo-sexto

Ao Conselho de Administração compete assegurar a gestão dos negócios sociais, sendo-lhe atribuídos os mais amplos poderes, cabendo-lhe designadamente:

a) efectuar todas as operações relativas ao objecto social;

b) representar a sociedade em juizo e fora dele, activa e passivamente, propor e seguir acções, confessá-las, desistir, transigir, e comprometer-se em árbitros;

c) adquirir, alienar ou, por qualquer forma, onerar quaisquer bens ou direitos, móveis ou imóveis, incluindo obrigações próprias ou alheias, bem como participações no capital de outras sociedades;

d) constituir mandatários;

e) deliberar sobre a oportunidade e condições da emissão de obrigações da sociedade;

f) contrair empréstimos e outros financiamentos.

Artigo Décimo-sétimo

1. Compete ao Presidente do Conselho de Administração convocar e dirigir as reuniões do Conselho, promover a boa execução das suas deliberações e exercer o voto de qualidade nos termos deste contrato.
2. Os membros do Conselho de Administração caucionarão ou não a sua responsabilidade, consoante venha a ser deliberado em Assembleia Geral.
3. A Assembleia Geral poderá deliberar não preencher a totalidade dos lugares do Conselho de Administração, mantendo, todavia, um número ímpar de administradores.

Artigo Décimo-oitavo

1. O Conselho de Administração fica autorizado a delegar num ou mais administradores, ou numa comissão executiva formada por um número ímpar de administradores, a gestão corrente da sociedade.
2. A deliberação do Conselho deve fixar os limites da delegação e, no caso de criar uma comissão, estabelecer a composição e o modo de funcionamento desta.

Artigo Vigésimo

A sociedade obriga-se:

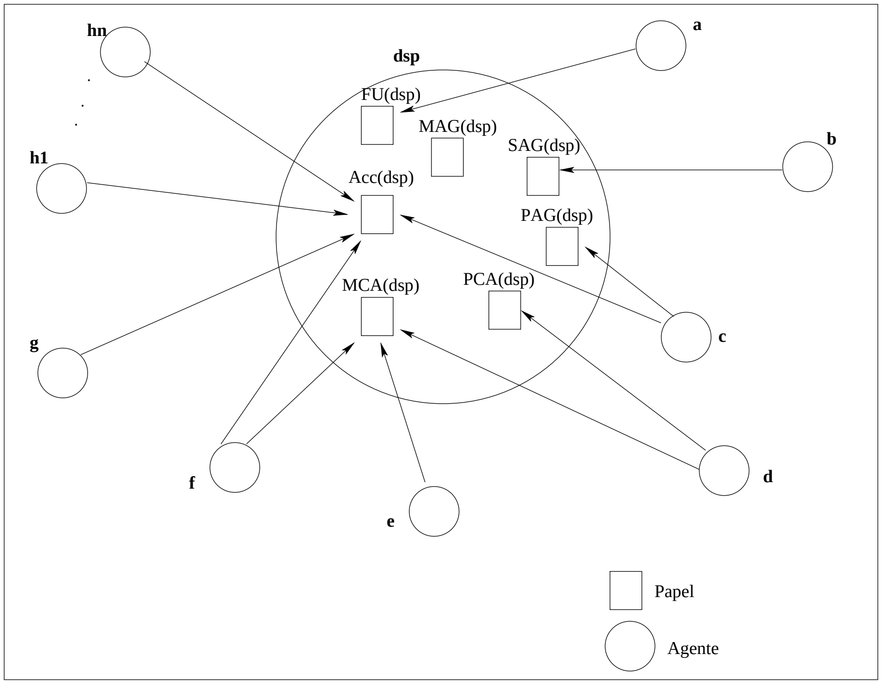
a) pela assinatura de dois administradores ou de um deles e de um mandatário;

b) pela assinatura de um administrador delegado dentro dos limites de delegação do Conselho de Administração;

c) pela assinatura de um ou mais mandatários, no âmbito dos respectivos poderes de representação.

Artigo Vigésimo-primeiro

A fiscalização da sociedade compete a um Fiscal Único, eleito pela Assembleia Geral, podendo ser reeleito por uma ou mais vezes, ao qual cabem as competências que lhe estão fixadas por lei.



Legenda:

Agentes: $a, b, c, d, e, f, g, h_1, \ldots, h_n, dsp$

Agentes institucionais: dsp

Papéis da estrutura de dsp:

$Acc(dsp)$ - accionistas de dsp, $MCA(dsp)$ - membro do conselho de administração de dsp,
$PCA(dsp)$ - presidente do conselho de administração de dsp,
$FU(dsp)$ - fiscal único de dsp, $PAG(dsp)$ - presidente da assembleia geral de dsp,
$MAG(ax)$ - membro da assembleia geral de dsp, $SAG(ax)$ - secretário da assembleia geral de dsp;

Figura C.1: Sociedade anónima Dat Schaub - Porto

C.1.2 Especificação de dsp em $\mathcal{L}^+_{\mathcal{DA}}$

$$SA =< AG, NR, GK >$$
$$AG =< IA, nIA >$$
$$NR =< TIT, ONR >$$
$$IA = \{< dsp, ST_{dsp} >\}$$
$$ST_{dsp} =< R_{dsp}, DCR_{dsp}, TO_{dsp}, RER_{dsp}, RR_{dsp} >$$
$$\begin{aligned} R_{dsp} = \{ & \textit{is-role-str}(PCA(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(MCA(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(FU(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(PAG(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(SAG(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(MAG(dsp), dsp), \\ & \textit{is-role-str}(Acc(dsp), dsp)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DCR_{dsp} \;=\; \{ \;\; & O_{MCA(dsp)}\; p_1, P_{MCA(dsp)}\; p_2, \\ & O_{PCA(dsp)}\; p_2, O_{PCA(dsp)}\; p_3, P_{PCA(dsp)}\; p_4, \\ & O_{FU(dsp)}\; p_5, P_{FU(dsp)}\; p_6, \\ & O_{PAG(dsp)}\; p_7, \\ & O_{SAG(dsp)}\; p_8, \\ & P_{MAG(dsp)}\; p_9, \\ & P_{Ass(dsp)}\; p_{10}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TO_{dsp} \;=\; \{ \;\; & O_{dsp:dsp}\; p_1 \rightarrow O_{MCA(dsp)}\; p_1, \\ & O_{dsp:dsp}\; p_2 \rightarrow O_{PCA(dsp)}\; p_2, \\ & O_{dsp:dsp}\; p_4 \rightarrow O_{PCA(dsp)}\; p_4\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RER_{dsp} \;=\; \{ \;\; & MCA(dsp) : REP(dsp, p_1), \\ & PCA(dsp) : REP(dsp, p_2), \\ & PCA(dsp) : REP(dsp, p_4)\} \end{aligned}$$

$$RR_{dsp} = < SR_{dsp},\; IMP_{dsp},\; INC_{dsp} >$$

$$SR_{dsp} = \{PCA(dsp) \preceq MCA(dsp), PAG(dsp) \preceq MAG(dsp)\}$$

$$IMP_{dsp} = \{MCA(dsp) >> MAG(dsp), FU(dsp) >> MAG(dsp)\}$$

$$INC_{dsp} = \{MCA(dsp) <> FU(dsp)\}$$

$$\begin{aligned} nIA \;=\; \{ \;\; & < a, PA_a >, < b, PA_b >, < c, PA_c >, < d, PA_d >, \\ & < e, PA_e >, < f, PA_f >, < g, PA_g >, \\ & < h_1, PA_{h_1} >, \ldots < h_n, PA_{h_n} >\} \end{aligned}$$

$$PA_a = PA_b = PA_c = PA_d = PA_e = PA_f = PA_g =$$

$$PA_{h_1} = \ldots = PA_{h_n} = \{\ldots\}$$

$$TIT = \{TIT_{dsp}\}$$

$$\begin{aligned} TIT_{dsp} \;=\; \{ \;\; & is - Acc(c, dsp), \\ & is - Acc(f, dsp), \\ & is - Acc(g, dsp), \\ & is - Acc(h_1, dsp), \\ & is - Acc(h_n, dsp), \\ & is - MCA(f, dsp), \\ & is - MCA(e, dsp), \\ & is - PCA(d, dsp), \\ & is - PAG(c, dsp), \\ & is - SAG(b, dsp), \\ & is - FU(a, dsp)\} \end{aligned}$$

$$ONR \;=\; \{ \;\; \ldots\}$$

$$GK = \{\ldots\}$$

Nesta especificação foram usados símbolos de proposições abstractos p_i ($i = 1, \ldots 10$). Tenta-se em seguida ilustrar o tipo de proposições em causa na especificação de dsp:

- exemplos de proposições p_1, p_2, p_3 e p_4 podem encontrar-se nos artigos **Décimo-quinto** a **Décimo-oitavo**;
- exemplos de proposições p_5 e p_6 podem encontrar-se no artigo **Artigo Vigésimo-primeiro**;
- exemplos de proposições p_7 podem encontrar-se no artigo **Décimo-primeiro** pontos 2 e 3;
- um exemplo de uma proposição p_8 pode encontrar-se no artigo **Décimo-primeiro** ponto 4.

C.1.3 Especificação de dsp em $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$

Society of Agents SA:

Agents

Non-Institutionalized Agents : $a, b, c, d, e, f, g, h_1, \ldots, h_n$;
Properties of agent a : ...
...
Institutionalized Agents : dsp;

Institutionalized Agent dsp :

Roles: Acc(dsp), MCA(dsp), PCA(dsp), FU(dsp), PAG(dsp), SAG(dsp), MAG(dsp);
Deontic Characterization of Roles:

Acc(dsp): **Permissions**: p10;
MCA(dsp): **Obligations**: p1; **Permissions**: p2;
PCA(dsp): **Obligations**: p2, p3; **Permissions**: p4;
FU(dsp): **Obligations**: p5 ; **Permissions**: p6;
PAG(dsp): **Obligations**: p7;
SAG(dsp): **Obligations**: p8;
MAG(dsp): **Permissions**: p9;

Transmission of obligations:

Obligation p1 **goes to** MCA(dsp);

Obligation p2 **goes to** PCA(dsp);

Obligation p4 **goes to** PCA(dsp);

Representative roles:

PCA(dsp) **is representative of** dsp **for**: p2,p4;

MCA(dsp) **is representative of** dsp **for**: p1;

Relations between roles:

Sub-roles:

PCA(dsp) **sub-role of** MCA(dsp);

PAG(dsp) **sub-role of** MAG(dsp);

Implication:

MCA(dsp) **implies** MAG(dsp);

FU(dsp) **implies** MAG(dsp);

Incompatibility:

MCA(dsp) **incompatible with** FU(dsp);

End Specification dsp.

Normative Relations

Titularity of Structural Roles

Institutionalized Agent ax:

c **is** Acc(dsp);

f **is** Acc(dsp);

g **is** Acc(dsp);

h_1 **is** Acc(dsp);

. . .

h_n **is** Acc(dsp);

f **is** MCA(dsp);

e **is** MCA(dsp);

d **is** PCA(dsp);

c **is** PAG(dsp);

b **is** SAG(dsp);

a **is** FU(dsp);

Other Normative Relations: ...

General Knowledge ...

End Specification SA.

C.2 APPIA - Associação Portuguesa para a Inteligência Artificial

A *APPIA - Associação Portuguesa para a Inteligência Artificial* é um exemplo de uma pessoa colectiva do tipo *associação* (ver Figura C.2). Tendo por base os estatutos da associação que podem ser consultados em http://www.appia.pt/estatutos.html, apresenta-se uma especificação estruturada do agente institucional $appia$.

C.2.1 Especificação de $appia$ em $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$

$$SA = < AG, NR, GK >$$
$$AG = < IA, nIA >$$
$$NR = < TIT, ONR >$$
$$\begin{array}{rcl} nIA & = & \{ \ < a1, PA_{a1} >, \ldots, < an, PA_{an} >, < b, PA_b >, \\ & & < c, PA_c >, < d, PA_d >, < e, PA_e >, \\ & & < f, PA_f >, < g, PA_g >, < h, PA_h >, \\ & & < i, PA_i >, < j, PA_j >, < k, PA_k > \} \end{array}$$
$$PA_{a1} = \ldots = PA_{an} = PA_b = PA_c = PA_d = PA_e = PA_f = PA_g =$$
$$= PA_i = PA_j = PA_k = \{\ldots\}$$
$$IA = \{< appia, ST_{appia} >, < D - appia, ST_{D-appia} >, < CF - appia, ST_{CF-appia} >,$$
$$< AG - appia, ST_{AG-appia} >\}$$

$$ST_{appia} = < R_{appia}, DCR_{appia}, TO_{appia}, RER_{appia}, RR_{appia} >$$
$$\begin{array}{rcl} R_{appia} & = & \{ \ is - role - str(D(appia), appia), \\ & & is - role - str(CF(appia), appia), \\ & & is - role - str(AG(appia), appia), \\ & & is - role - str(Ass(appia), appia) \} \end{array}$$
$$\begin{array}{rcl} DCR_{appia} & = & \{ \ O_{D(appia)}\ p_1, O_{D(appia)}\ p_2, \\ & & O_{D(appia)}\ p_3, P_{D(appia)}\ p_4, \\ & & O_{CF(appia)}\ p_5, P_{CF(appia)}\ p_6, \\ & & O_{CF(appia)}\ p_7, \\ & & P_{Ass(appia)}\ p_8, O_{Ass(appia)}\ p_9 \} \end{array}$$

$$TO_{appia} = \{ \; O_{appia:appia}\, p_1 \rightarrow O_{D(appia)}\, p_1, \; O_{appia:appia}\, p_2 \rightarrow O_{D(appia)}\, p_2, \; O_{appia:appia}\, p_4 \rightarrow O_{D(appia)}\, p_4 \}$$

$$RER_{appia} = \{ \; D(appia) : REP(appia, p_1), \; D(appia) : REP(appia, p_2), \; D(appia) : REP(appia, p_4) \}$$

$$RR_{appia} =< SR_{appia}, \; IMP_{appia}, \; INC_{appia} >$$

$$SR_{appia} = \{\}$$

$$IMP_{appia} = \{V(D-appia) >> Ass(appia), P(AG-appia) >> Ass(appia), S(AG-appia) >> Ass(appia), Ass(appia) >> M(AG-appia), P(CF-appia) >> M(AG-appia), S(CF-appia) >> M(AG-appia), R(CF-appia) >> M(AG-appia)\}$$

$$INC_{appia} = \{V(D-appia) <> R(CF-appia), V(D-appia) <> S(CF-appia), V(D-appia) <> P(CF-appia), P(AG-appia) <> R(CF-appia), P(AG-appia) <> S(CF-appia), P(AG-appia) <> P(CF-appia), S(AG-appia) <> R(CF-appia), S(AG-appia) <> S(CF-appia), S(AG-appia) <> P(CF-appia), V(D-appia) <> P(AG-appia), V(D-appia) <> S(AG-appia)\}$$

$$ST_{D-appia} =< R_{D-appia}, DCR_{D-appia}, TO_{D-appia}, RER_{D-appia}, RR_{D-appia} >$$

$$R_{D-appia} = \{ \; is-role-str(P(D-appia), D-appia), \; is-role-str(V(D-appia), D-appia) \}$$

$$DCR_{D-appia} = \{ \; O_{V(D-appia)}\, p_1, P_{V(D-appia)}\, p_2, \; O_{P(D-appia)}\, p_2, O_{P(D-appia)}\, p_3, P_{P(D-appia)}\, p_4 \}$$

$$TO_{D-appia} = \{ \; O_{D-appia:D-appia}\, p_1 \rightarrow O_{V(D-appia)}\, p_1, \; O_{D-ax:D-appia}\, p_2 \rightarrow O_{P(D-appia)}\, p_2, \; O_{D-appia:D-appia}\, p_4 \rightarrow O_{P(D-appia)}\, p_4 \}$$

$$RER_{D-appia} = \{ \; V(D-appia) : REP(D-appia, p_1), \; P(D-appia) : REP(D-appia, p_2), \; P(D-appia) : REP(D-appia, p_4) \}$$

$$RR_{D-appia} =< SR_{D-appia}, \; IMP_{D-appia}, \; INC_{D-appia} >$$

$$SR_{D-appia} = \{P(D-appia) \preceq V(D-appia)\}$$

$$IMP_{D-appia} = \{\}$$

$$INC_{D-appia} = \{\}$$

$$ST_{CF-appia} =< R_{CF-appia}, DCR_{CF-appia}, TO_{CF-appia}, RER_{CF-appia}, RR_{CF-appia} >$$

$$\begin{aligned}
R_{CF-appia} &= \{ && is-role-str(P(CF-appia), CF-appia), \\
& && is-role-str(S(CF-appia), CF-appia), \\
& && is-role-str(R(CF-appia), CF-appia)\} \\
DCR_{CF-appia} &= \{ && O_{P(CF-appia)}\ p_5, P_{P(CF-appia)}\ p_6, \\
& && O_{S(CF-appia)}\ p_7, O_{R(CF-appia)}\ p_8\} \\
TO_{CF-appia} &= \{ && O_{CF-appia:CF-appia}\ p_5 \rightarrow O_{P(CF-appia)}\ p_5, \\
& && O_{CF-ax:CF-appia}\ p_7 \rightarrow O_{P(CF-appia)}\ p_6\} \\
RER_{CF-appia} &= \{ && P(CF-appia) : REP(CF-appia, p_5), \\
& && P(CF-appia) : REP(CF-appia, p_6)\}
\end{aligned}$$

$$RR_{CF-appia} =< SR_{CF-appia},\ IMP_{CF-appia},\ INC_{CF-appia} >$$
$$SR_{CF-appia} = \{\}$$
$$IMP_{CF-appia} = \{\}$$
$$INC_{CF-appia} = \{P(CF-appia) <> S(CF-appia), P(CF-appia) <> R(CF-appia),$$
$$S(CF-appia) <> R(CF-appia)\}$$

$$ST_{AG-appia} =< R_{AG-appia}, DCR_{AG-appia}, TO_{AG-appia}, RER_{AG-appia}, RR_{AG-appia} >$$

$$\begin{aligned}
R_{AG-appia} &= \{ && is-role-str(P(AG-appia), AG-appia), \\
& && is-role-str(S(AG-appia), AG-appia), \\
& && is-role-str(M(AG-appia), AG-appia)\} \\
DCR_{AG-appia} &= \{ && O_{M(AG-appia)}\ p_9, P_{M(AG-appia)}\ p_{10}, \\
& && O_{P(AG-appia)}\ p_{11}, O_{S(AG-appia)}\ p_{12}\} \\
TO_{AG-appia} &= \{ && O_{AG-appia:AG-appia}\ p_{11} \rightarrow O_{P(AG-appia)}\ p_{11}\}
\end{aligned}$$

$$RER_{AG-appia} = \{ \quad P(AG-appia) : REP(AG-appia, p_1 1)\}$$
$$RR_{AG-appia} =< SR_{AG-appia},\ IMP_{AG-appia},\ INC_{AG-appia} >$$
$$SR_{AG-appia} = \{P(AG-appia) \preceq M(AG-appia), S(AG-appia) \preceq M(AG-appia)\}$$
$$IMP_{AG-appia} = \{\}$$
$$INC_{AG-appia} = \{P(AG-appia) <> S(AG-appia)\}$$

$$TIT = \{TIT_{appia}, TIT_{D-appia}, TIT_{CF-appia}, TIT_{AG-appia}\}$$

$$
\begin{aligned}
TIT_{appia} \quad = \quad \{ \quad & is - Ass(a_1, appia), \\
& is - Ass(a_n, appia), \\
& is - Ass(b, appia), \\
& \ldots \\
& is - Ass(k, appia), \\
& is - D(D - appia, appia), \\
& is - CF(CF - appia, appia), \\
& is - AG(AG - appia, appia)\}
\end{aligned}
$$

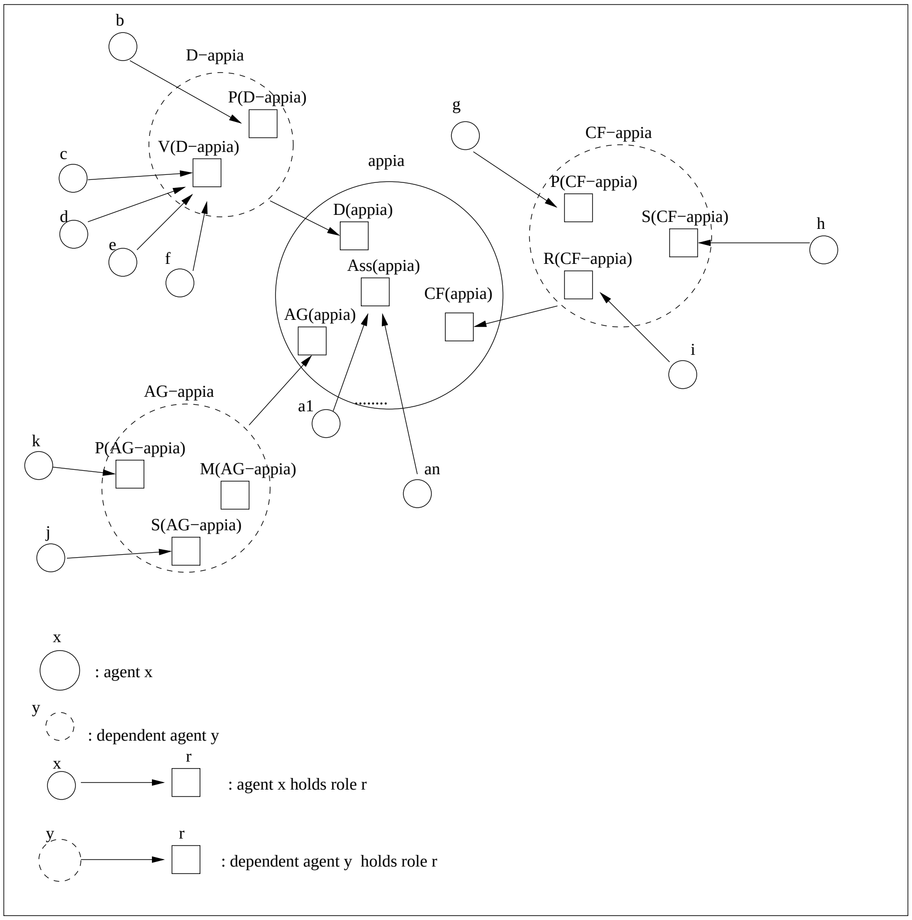
$$
\begin{aligned}
TIT_{D-appia} \quad = \quad \{ \quad & is - P(b, D - appia), \\
& is - V(c, D - appia), \\
& is - V(d, D - appia), \\
& is - V(e, D - appia), \\
& is - V(f, D - appia)\}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
TIT_{CF-appia} \quad = \quad \{ \quad & is - P(g, CF - appia), \\
& is - S(h, CF - appia), \\
& is - R(i, CF - appia)\}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
TIT_{AG-appia} \quad = \quad \{ \quad & is - P(k, AG - appia), \\
& is - S(j, AG - appia)\}
\end{aligned}
$$

$$ONR \quad = \quad \{ \quad \ldots\}$$

$$GK = \{\ldots\}$$



Legenda:

Agentes: $a1, \ldots, an, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, appia$,
$D - appia, CF - appia, AG - appia$;
Agentes institucionais: $appia$, $D - appia$, $CF - appia$, $AG - appia$;
Papéis da estrutura de $appia$:
$Ass(appia)$ – associado de $appia$, $D(appia)$ – direcção da $appia$,
$CF(appia)$ – conselho fiscal da $appia$, $AG(appia)$ – assembleia geral da $appia$,
Papéis da estrutura da direcção, $D - appia$:
$P(D - appia)$ – presidente, $V(D - appia)$ – vogal,
Papéis da estrutura do conselho fiscal, $CF - appia$:
$P(CF - appia)$ – presidente, $S(CF - appia)$ – secretário, $R(CF - appia)$ – relator,
Papéis da estrutura da assembleia geral, $AG - appia$:
$P(AG - appia)$ – presidente, $S(AG - appia)$ – secretário, $M(AG - appia)$ – membro.

Figura C.2: Associação APPIA

C.2.2 Especificação de $appia$ em $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$

Society of Agents SA2:

Agents:

Non-Institutionalized Agents: a1, ..., an, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k.
Institutionalized Agents: appia, D-appia, CF-appia, AG-ax;
Properties of Agents: ...
Specification of Institutionalized Agents:

Institutionalized Agent : appia;

Roles:
Ass(appia), D(appia), CF(appia), AG(appia);
Deontic Characterization of Roles:

Ass(appia):
Obligations: p_9; **Permissions**: p_8;
D(appia):
Obligations: p_1, p_2, p_3; **Permissions**: p_4;
CF(appia):
Obligations: p_5, p_7; **Permissions**: p_6;
AG(appia):
Obligations: ; **Permissions**: ;

Transmission of obligations:

Obligation p_1 **goes to** D(appia);
Obligation p_2 **goes to** D(appia);
Obligation p_4 **goes to** D(appia);

Representative roles:
D(appia) **is representative of** appia **for**: p_1;
D(appia) **is representative of** appia **for**: p_2;
D(appia) **is representative of** appia **for**: p_4;
Relations between roles:
Implication:

V(D-appia) **implies** Ass(appia);
P(D-appia) **implies** Ass(appia);
P(AG-appia) **implies** Ass(appia);
S(AG-appia) **implies** Ass(appia);
P(CF-appia) **implies** Ass(appia);
S(CF-appia) **implies** Ass(appia);
R(CF-appia) **inplies** Ass(appia);
Ass(appia) **implies** M(AG-appia);

Incompatibility:

V(D-appia) **incompatible with** P(CF-appia);
V(D-appia) **incompatible with** S(CF-appia);
V(D-appia) **incompatible with** R(CF-appia);
P(D-appia) **incompatible with** P(CF-appia);
P(D-appia) **incompatible with** S(CF-appia);
P(D-appia) **incompatible with** R(CF-appia);
V(D-appia) **incompatible with** P(AG-appia);
V(D-appia) **incompatible with** S(AG-appia);
P(D-appia) **incompatible with** P(AG-appia);
P(D-appia) **incompatible with** S(AG-appia);
P(CF-appia) **incompatible with** P(AG-appia);
P(CF-appia) **incompatible with** S(AG-appia);
S(CF-appia) **incompatible with** P(AG-appia);
S(CF-appia) **incompatible with** S(AG-appia);
R(CF-appia) **incompatible with** P(AG-appia);
R(CF-appia) **incompatible with** S(AG-appia);

End Specifi cation appia.

Institutionalized Agent : D-appia;

Roles:
V(D-appia), P(D-appia);
Deontic Characterization of Roles:

V(D-appia):
Obligations: p_1; **Permissions**: p_2;
P(D-appia):

Obligations: p_2, p_3; **Permissions**: p_4;

Transmission of obligations:

Obligation p_1 **goes to** V(D-appia)

Obligation p_2 **goes to** P(D-appia)

Obligation p_4 **goes to** P(D-appia)

Representative roles:

P(D-appia) **is representative of** D-appia **for**: p_4, p_2;

V(D-appia) **is representative of** D-appia **for**: p_1 ;

Relations between roles:

Subroles:

P(D-appia) **sub-role of** V(D-appia)

End Specification D-appia.

Institutionalized Agent : CF-appia;

Roles:

P(CF-appia), R(CF-appia); S(CF-appia)

Deontic Characterization of Roles:

P(CF-appia):

Obligations: p_5; **Permissions**: p_6

S(CF-appia):

Obligations: p_7;

R(CF-appia):

Obligations: p_8;

Transmission of obligations:

Obligation p_5 **goes to** P(CF-appia);

Obligation p_6 **goes to** P(CF-appia);

Representative roles:

P(CF-appia) **is representative of** CF-appia **for**: p_5, p_6;

Relations between roles:

Incompatibility:

P(CF-appia) **is incompatible with** S(CF-appia);

P(CF-appia) **is incompatible with** R(CF-appia);

R(CF-appia) **is incompatible with** S(CF-appia);

End Specification CF-appia.

Institutionalized Agent : AG-appia;

Roles:

P(AG-appia), M(AG-appia), S(AG-aappia);

Deontic Characterization of Roles:

M(AG-appia):

Obligations: p_9; **Permissions**: p_{10}

P(AG-appia):

Obligations: p_{11};

S(AG-appia):

Obligations: p_{12};

Transmission of obligations:

Obligation p_{11} **goes to** P(AG-appia);

Representative roles:

P(AG-appia) **is representative of** AG-appia **for**: p_{11};

Relations between roles:

Subroles:

P(AG-appia) **sub-role of** M(AG-appia);

S(AG-appia) **sub-role of** M(AG-appia);

End Specification AG-appia.

Normative Relations:

Titularity of Roles:

Holders of Structural Roles of: appia;

a1 **is** Ass(appia); ... an **is** Ass(appia); b **is** Ass(appia); ... k **is** Ass(appia); D-appia **is** D(appia), CF-appia **is** CF(appia);

AG-appia **is** AG(appia);

Holders of Structural Roles of: D-appia;

b **is** P(D-appia);
c **is** V(D-appia);
d **is** V(D-appia);
e **is** V(D-appia);
f **is** V(D-appia);

Holders of Structural Roles of: CF-appia;

g **is** P(CF-appia), h **is** S(CF-appia),
i **is** R(CF-appia)

Holders of Structural Roles of: AG-appia;

k **is** P(AG-appia), j **is** S(AG-appia)

Other Normative Relations ...

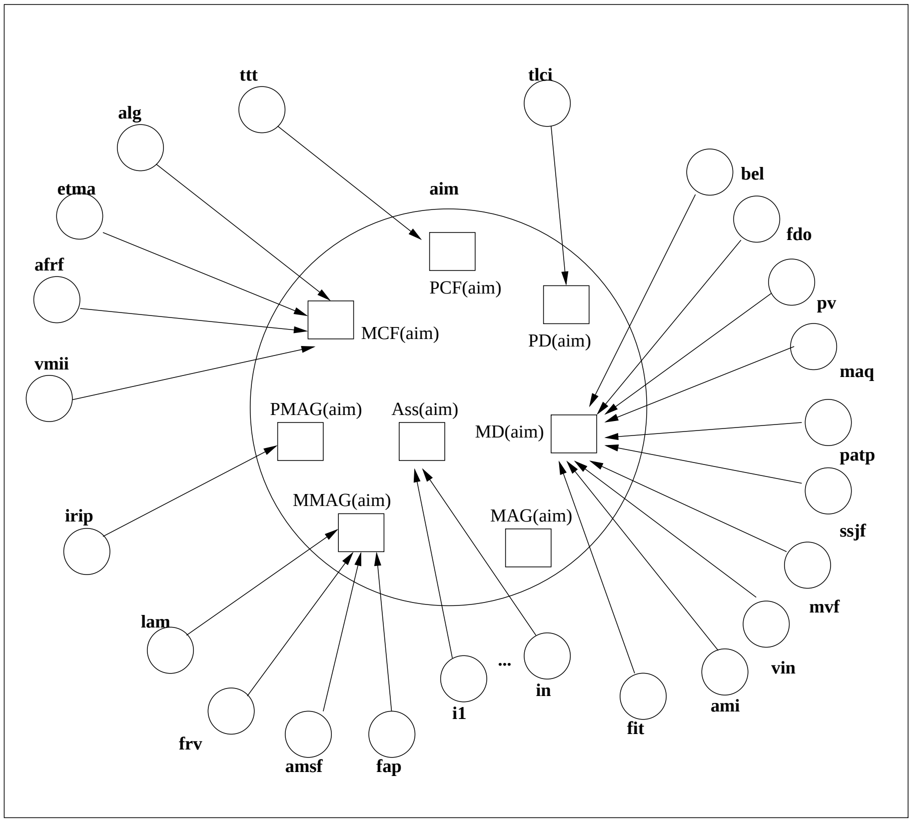
General Knowledge ...

End Specification SA2.

C.3 AIM - Associação Industrial do Minho

A *associação AIM - Associação Industrial do Minho* é um exemplo de uma pessoa colectiva do tipo associação cujos membros são outros agentes institucionais (empresas). Uma representação gráfica da sociedade é apresentada na Fig. C.3. Apresenta-se apenas um esboço da especificação do agente institucional aim em $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$, sem que se especifiquem os agentes institucionais correspondentes às empresas titulares de papéis da estrutura de aim. Para obter mais informações sobre a AIM pode consultar-se, por exemplo, http://www.fam.ulusiada.pt/Dep/cont/cadeiras/informatica/9900/721099/frames.htm.

Abreviaturas a usar na Fig. C.3:
irip — Império - RI Pneus, SA
lam — Lameirinho - Industria Textil, SA
frv — Friaque - Refrigeração e Ventilação, Lda
amsf — Aurélio Martins Sobreiro & Filhos, Lda
fap — Faprosinol - Fab. Prod. Met. Sub. Ind. Nacional
fit — FITEXAR - Fibras Texteis Articiais, SA
ami — AMI - Come. Equip. Informática, Lda
vin — VINOMAC - Tecnica Mecânica, Lda
mvf — Mario Vidal & Filhos, Lda
ssjf — Serafim da Silva Jerónimo & Filhos, Lda
patp — Petropec-Assist. Tecnica Petrolifero,Lda
maq — MAQUISIS - Maq. e Sist. Automatics, SA
pv — Protucel Viana, SA
fdo — FDO - Construções, SA
bel — BELISOTEX - Confecções, Lda
tlci — TLCI - Sol. Integradas de Telecomunicações, Lda
ttt — Tinamar - Tinturaria Textil , SA
alg — Algimo - Gestão Imobiliária, SA
etma — Etma - Empresa Técnica de Metalurgia
afrf — António Ferreira Rito & Filhos, Lda
vmii — Vila Minho - Inovação Imobiliária, SA .



Legenda:

Agentes: $aim, irip, lam, frv, amsf, fap, fit, ami, vin, mvf,$
$ssjf, patp, maq, pv, fdo, bel, tlci, ttt,$
$alg, etma, afrf, vmii, i1, \ldots, in, \ldots;$
Agentes institucionais: $aim, irip, lam, frv, amsf, fap, fit, ami, vin, mvf,$
$ssjf, patp, maq, pv, fdo, bel, tlci, ttt, alg, etma, afrf, vmii, i1, \ldots, in;$
Pap´eis da estrutura de aim:
$Ass(aim)$ – associado de aim,
$PD(aim)$ – presidente da direcç ˜ao da aim,
$MD(aim)$ – membro da direcç ˜ao da aim,
$PCF(aim)$ – presidente do conselho fi scal da aim,
$MCF(aim)$ – membro do conselho fi scal da aim,
$PMAG(aim)$ – presidente da mesa da assembleia geral da aim,
$MMAG(aim)$ – membro da mesa da assembleia geral da aim,
$MAG(aim$ – membro da assembleia geral da aim,

Figura C.3: Associação AIM

C.3.1 Especificação de aim em $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$

Apresenta-se em seguida um esboço da especificação do agente institucional aim em $\mathcal{L}^{+}_{\mathcal{DA}}$. As diversas empresas que suportam a estrutura de aim são identificadas por siglas correspondentes aos nomes dessas empresas.

$$SA =< AG, NR, GK >$$
$$AG =< IA, nIA >$$
$$NR =< TIT, ONR >$$
$$IA = \{< aim, ST_{aim} >, < irip, ST_{irip} >, \dots, < i1, ST_{i1} >, \dots, < in, ST_{in} >\}$$
$$ST_{aim} =< R_{aim}, DCR_{aim}, TO_{aim}, RER_{aim}, RR_{aim} >$$
$$\begin{array}{lcll} R_{aim} & = & \{ & \textit{is-role-str}(PD(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(MD(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(PCF(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(MCF(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(PMAG(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(MMAG(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(MAG(aim), aim), \\ & & & \textit{is-role-str}(Ass(aim), aim)\} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcll} DCR_{aim} & = & \{ & O_{PD(aim)}\, p_1, P_{PD(aim)}\, p_2, \\ & & & P_{MD(aim)}\, p_1, O_{MD(aim)}\, p_3, \\ & & & O_{PCF(aim)}\, p_4, P_{PCF(aim)}\, p_5, \\ & & & P_{MCF(aim)}\, p_6, P_{MCF(aim)}\, p_7, \\ & & & O_{PMAG(aim)}\, p_8, \\ & & & O_{MMAG(aim)}\, p_9, \\ & & & P_{MAG(aim)}\, p_{10}, \\ & & & P_{Ass(aim)}\, p_{11}, O_{Ass(aim)}\, p_{12}\} \end{array}$$
$$\begin{array}{lcll} TO_{aim} & = & \{ & O_{aim:aim}\, p_1 \rightarrow O_{PD(aim)}\, p_1, \\ & & & O_{aim:aim}\, p_2 \rightarrow O_{PD(aim)}\, p_2\} \end{array} \quad \begin{array}{lcll} RER_{aim} & = & \{ & PD(aim) : REP(aim, p_1), \\ & & & PD(aim) : REP(aim, p_2)\} \end{array}$$
$$RR_{aim} =< SR_{aim},\ IMP_{aim},\ INC_{aim} >$$
$$SR_{aim} = \{PD(aim) \preceq MD(aim), PMAG(aim) \preceq MMAG(aim),$$
$$PCF(aim) \preceq MCF(aim)\}$$
$$IMP_{aim} = \{MD(aim) >> Ass(aim), MCF(aim) >> Ass(aim),$$
$$MMAG >> Ass(aim), Ass(aim) >> MAG(aim)\}$$
$$INC_{aim} = \{MD(aim) <> MCF(aim)\}$$

$$TIT = \{TIT_{aim}, TIT_{irip}, \ldots, TIT_{i1}, \ldots, TIT_{in}\}$$

$$\begin{aligned} TIT_{aim} \quad = \quad \{ \quad & is - Ass(i1, aim), \\ & \ldots \\ & is - Ass(in, aim), \\ & is - PD(tlci, aim), \\ & is - MD(bel, aim), \\ & is - MD(fdo, aim), \\ & is - MD(pv, aim), \\ & \ldots \\ & is - MD(fit, aim), \\ & is - MMAG(fap, aim), \\ & is - MMAG(amsf, aim), \\ & is - MMAG(frv, aim), \\ & is - MMAG(lam, aim), \\ & is - PMAG(irip, aim), \\ & is - MCF(vmii, aim), \\ & is - MCF(afrf, aim), \\ & is - MCF(etma, aim), \\ & is - MCF(alg, aim), \\ & is - PCF(ttt, aim)\} \end{aligned}$$

$$TIT_{irip} = \ldots$$

$$\ldots$$

$$ONR \quad = \quad \{ \quad \ldots\}$$

$$GK = \{\ldots\}$$

C.4 Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Nos exemplos anteriores foram especificadas entidades colectivas organizadas correspondentes a pessoas colectivas. Vai agora apresentar-se um exemplo de uma entidade colectiva organizada de natureza diferente das anteriores: vai especificar-se o agente institucional correspondente à Escola de Engenharia da Universidade do Minho, $eeum$ (ver regulamento em http://presidencia.eng.uminho.pt/Informacoes/Outras/RegulamentoEngenharia/). Tal como nos casos anteriores faz-se apenas um esboço da especificação. Apresenta-se uma representação gráfica do agente institucional $eeum$ e um esboço da sua especificação estruturada em $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$. Salienta-se o facto de a estrutura do agente institucional $eeum$ ser suportada por diferentes tipos de agentes: agentes institucionais dependentes (e.g. $AR-eeum$ titular do papel $AR(eeum)$), agentes individuais (humanos) (e.g. fsm titular do papel $VP(eeum)$) e agentes institucionais (não dependentes) (e.g. DI um dos titulares do papel $Dp(eeum)$)[1].

Legenda da Fig. C.4 :

Agentes: $eeum, AR-eeum, P-eeum, CG-eeum, CC-eeum, CCCC-eeum,$
$DI, DEB, DEC, DPS, \ldots$;

Agentes institucionais: $eeum, AR-eeum, P-eeum, CG-eeum, CC-eeum,$
$CCCC-eeum, DI, DEB, DEC, DPS, \ldots$;

Papéis da estrutura de $eeum$:

$AR(eeum)$ – Assembleia de Representantes da Escola;

$P(eeum)$ – Presidente da Escola;

$VP(eeum)$ – Vice-Presidente da Escola;

$CG(eeum)$ – Conselho de Gestão da Escola;

$CC(eeum)$ – Conselho Científico da Escola;

$CCu(eeum)$ – Conselho de Cursos da Escola;

$Dp(eeum)$ – Departamento da Escola;

Papéis da estrutura da Assembleia de Representantes, $AR-eeum$:

$M(AR-eeum)$ – membro da Assembleia,

$RDD(AR-eeum)$ – representante dos docentes doutorados ,

[1] Apesar de existir algum grau de dependência dos departamentos que integram a Escola de Engenharia, relativamente a esta, eles têm uma elevada autonomia. Daí o ter-se modelado os departamentos como agentes institucionais independentes. Em contextos diferentes tal opção pode ser discutível.

$RDnD(AR-eeum)$ – representante dos docentes não doutorados,

$REL(AR-eeum)$ – representante dos estudantes de licenciatura,

$REPG(eeum)$ – representante dos estudantes de pós-graduação,

$RFnD(AR-eeum)$ – representante dos funcionários não docentes.

Papéis da estrutura do Conselho de Gestão, $CG-eeum$:

$M(CG-eeum)$ – membro,

$S(CG-eeum)$ – secretário,

$RFnD(CG-eeum)$ – representante dos funcionários não docentes;

Papéis da estrutura do Conselho Científico, $CC-eeum$:

$M(CC-eeum)$ – membro;

$S(CC-eeum)$ - secretário;

$CC(CC-eeum)$ – comissão cordenadora;

Papéis da estrutura da Comissão Coordenadora do Conselho Científico, $CCCC-eeum$:

$M(CCCC-eeum)$ – membro;

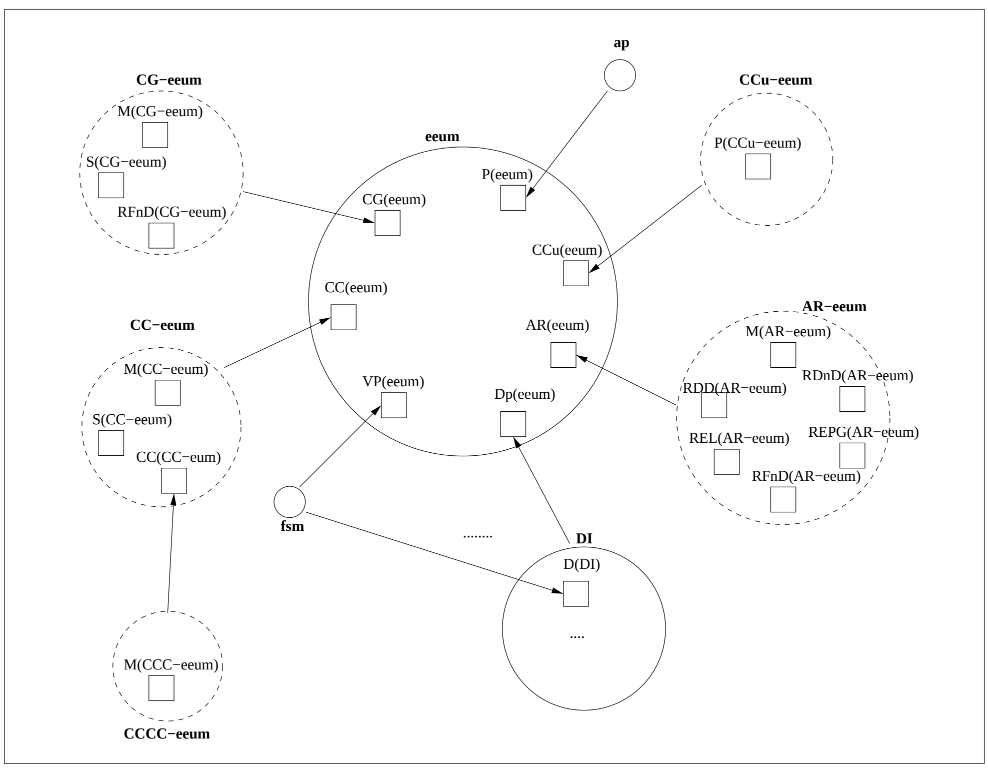


Figura C.4: Escola de Engenharia da Universidade do Minho

C.4.1 Especificação de $eeum$ em $\mathcal{L}_{\mathcal{SP}}$

Society of Agents SA:

Agents

Non-Institutionalized Agents : fsm, ap;

Properties of agent fsm :

...

Institutionalized Agents : eeum, AR-eeum, CC-eeum, CCu-eeum, CG-eeum, CCCC-eeum, DI, . . .;

Institutionalized Agent eeum :

Roles:
AR(eeum), CC(eeum), CG(eeum), P(eeum) VP(eeum), CCu(eeum), D(eeum);

Deontic Characterization of Roles:

AR(eeum):

Obligations: p1; **Permissions**: p2;

CC(eeum):

Obligations: p3; **Permissions**: p4;

CG(eeum):

Obligations: p4; **Permissions**: p5;

P(eeum):

Obligations: p6 ; **Permissions**: p7;

VP(eeum):

Obligations: p8; **Permissions**: p9;

...

Transmission of obligations:

Obligation p6 **goes to** P(eeum);
Obligation p1 **goes to** AR(eeum);
Obligation p4 **goes to** CG(eeum);

Representative roles:

P(eeum) **is representative of** eeum **for**: p6,p7;

Relations between roles:

Implication:

P(eeum) **implies** M(AR-eeum);
VP(eeum) **implies** M(AR-eeum);
P(CCu-eeum) **implies** M(AR-eeum);
D(DI) **implies** M(AR-eeum);
D(DEB) **implies** M(AR-eeum);
D(DPS) **implies** M(AR-eeum);
. . .
P(eeum) **implies** M(CG-eeum);
VP(eeum) **implies** M(CG-eeum);
P(CCu-eeum) **implies** M(CG-eeum);
D(DI) **implies** M(CG-eeum);
D(DEB) **implies** M(CG-eeum);
D(DPS) **implies** M(CG-eeum);
. . .
P(eeum) **implies** M(AR-eeum);
VP(eeum) **implies** M(AR-eeum);
P(CCu-eeum) **implies** M(AR-eeum);
D(DI) **implies** M(AR-eeum);
D(DEB) **implies** M(AR-eeum);
D(DPS) **implies** M(AR-eeum);
. . .
P(eeum) **implies** M(CCCC-eeum);
VP(eeum) **implies** M(CCCC-eeum);
P(CCu-eeum) **implies** M(CCCC-eeum);
D(DI) **implies** M(CCCC-eeum);
D(DEB) **implies** M(CCCC-eeum);
D(DPS) **implies** M(CCCC-eeum);
. . .

End Specification eeum;
Institutionalized Agent AR-eeum :
. . .
End Specification AR-eeum;
Institutionalized Agent CC-eeum :
. . .
End Specification CC-eeum;
Institutionalized Agent CCCC-eeum :
. . .
End Specification CCCC-eeum;

Institutionalized Agent CG-eeum :

. . .

End Specification CG-eeum;

Institutionalized Agent CCu-eeum :

. . .

End Specification CCu-eeum;

Institutionalized Agent DI:

. . .

End Specification DI;

Institutionalized Agent DPS :

. . .

End Specification DPS;

Institutionalized Agent DEB:

. . .

End Specification DEB;

. . .

Normative Relations

Titularity of Structural Roles

Institutionalized Agent eeum:

AR-eeum **is** AR(eeum); CC-eeum **is** CC(eeum);
CG-eeum **is** CG(eeum);
CCu-eeum **is** CCu(eeum);
ap **is** P(eeum);
fsm **is** VP(eeum);
DI **is** D(eeum);
DPS **is** D(eeum); DEB **is** D(eeum); . . .

Institutionalized Agent CC-eeum:

CCCC-eeum **is** CC(CC-eeum); . . .

. . .

Institutionalized Agent DI:

fsm **is** D(DI); . . .

Other Normative Relations

. . .

General Knowledge . . .

End Specification SA.

Bibliografia

[1] Abadi, M., Burrows, M., Lampson, B. e Plotkin, G.: ”A Calculus for Access Control in Distributed Systems”, *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, **15 - 4**, 1993, 706–734.

[2] Ascensão, J.O.: *Teoria Geral do Direito*, Vol. 1, AAFDL, Lisboa, 1996.

[3] Bailhache, P.: “Authorities and Addresses in Deontic Logic: Indexed Operators and Action”. J.-J.Ch. Meyer e R.J. Wieringa (eds.), *Proceedings of First International Workshop on Deontic Logic in Computer Science (DEON'91)*, Amsterdam, 1991.

[4] Bastos, J.R.: *Código Civil Português*, Almedina, Coimbra, 1984.

[5] Belnap,N.: “Backwards and Forwards in the Modal Logic of Agency”, *Philosophy and Phenomenological Research*, **II**, 1989, 777–807.

[6] Belnap, N. e Perloff, M.: “Seeing To It That: A Canonical Form for Agentives”, *Theoria*, **54**, 1989, 175–199.

[7] Bertino, E., Ferrari, E. e Atluri, V.: “A Flexible Model for the Specification and Enforcement of Authorizations in Workflow Management Systems”,*Proceedings of 2nd ACM Workshop on Role Based Access Control*, 1997, 1–12.

[8] Brown, M. e Carmo, J.: “Report on the Third International Workshop on Deontic Logic in Computer Science”, *Knowledge Engineering Review*, **11-3**, 1996, 289–292.

[9] Carley, K.M. e Les Gasser: “Computational Organization Theory”. G. Weiss (ed.), *Multiagent Systems - A modern approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, 2000, 299–330.

[10] Carmo, J.: *Lógica Modal: Uma Panorâmica*, Apêndice às Provas de Agregação, DMIST, 1996.

[11] Carmo, J.: *Fundamentos Lógicos e Algébricos da Programação* (versão preliminar), Departamento de Matemática, Universidade da Madeira, 2000.

[12] Carmo, J. e Jones, A.:"Deontic Logic and Contrary-to-Duties". D. Gabbay e F. Guenthner (eds.) *Handbook of Philosophical Logic - Second Edition*, **4**, Kluwer, 2001, 287–363, in press.

[13] Carmo, J. e Pacheco, O.: "Deontic and Action Logics for Collective Agency and Roles". R. Demolombe e R. Hilpinen (eds.), *Proceedings of the Fifth International Workshop on Deontic Logic in Computer Science (DEON'00)*, ONERA-DGA, Toulouse, 2000, 93–124.

[14] Carmo, J. e Pacheco, O.: "Logics for Modeling Business and Agents Interaction". *Proceedings of the International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science and Education on the Internet - SSGRR 2000*, l' Aquilla, 2000, ISBN 88-85280-52-8. (http://www.ssgrr.it/en/ssgrr2000/proceedings.htm)

[15] Carmo, J. e Pacheco, O.: "Deontic and action logics for organized collective agency, modeled through institutionalized agents and roles", Journal *Fundamenta Informaticae* (special issue), Vol. 48 (Nos. 2 e 3), IOS Press, Novembro, 2001, 129–163, ISSN 169-2968.

[16] Castelfranchi, C.: "All I Understand About Power (and something more)", *2nd SARA Workshop*, Lisboa, 2000.

[17] Castelfranchi, C.: "Formalising the Informal?". R. Demolombe and R. Hilpinen (eds.), *Proceedings of the Fifth International Workshop on Deontic Logic in Computer Science (DEON'00)*, ONERA-DGA, Toulouse, 2000.

[18] Chellas, B. J.: *The Logical Form of Imperatives*, Perry Lane Press, 1969.

[19] Chellas, B. J.: *Modal Logic - An Introduction*, Cambridge University Press, 1980.

[20] Chellas, B. J.: "Time and Modality in the Logic of Agency", *Studia Logica*, **51**, 1992, 485–517.

[21] Clark, E. M., Grumberg, O., e Peled, D. A.: *Model Checking*, The MIT Press, 1999.

[22] Coleman, J.: *Foundations of Social Theory*, The Belknap Press of Harvard University Press, 1990.

[23] Cordeiro, A.M.: *Direito das Obrigações*, Vol. 3, Lisboa, AAFDL, 1991.

[24] Cuppens, F.: "Roles and Deontic Logic".A.J.I. Jones and M. Sergot (eds.),*Proceedings of Second International Workshop on Deontic Logic in Computer Science (DEON'94)*, Complex 1/94 NRCCL, Oslo, 1994, 86–106.

[25] Enderton, H. B.: *A Mathematical Introduction to Logic*, New York: Academic Press, 1972.

[26] Elgesem, D.: *Action Theory and Modal Logic*, PhD thesis, Department of Philosophy, University of Oslo, 1993.

[27] Fitting, M.: "First-Order Modal Tableaux". Em *Journal of Automated Reasoning*, no.**4**, 1988, 191–213.

[28] Fitting, M. : *First-Order Logic and Automated Theorem Proving*. Springer-Verlag, 1990.

[29] Fitting, M. e Mendelsohn, R.: *First-Order Modal Logic*, Synthese Library, Kluwer Academic Publishers, 1999.

[30] Gilbert, M.: *On Social Facts*, Princeton University Press, 1989.

[31] Hamilton, A.G.: *Logic for Mathematicians*, Cambridge University Press, 1988.

[32] Harel, D.: *First-Order Dynamic Logic*, LNCS **68**, Springer, 1979.

[33] Harel, D.: "Dynamic Logic". D.M. Gabbay and F. Guenthner (eds.), *Handbook of Philosophical Logic*, **II**, Dordrecht:D. Reidel, 1984, 497–604.

[34] Herrestad,H.: *Formal Theory of Rights*, PhD thesis, Department of Philosophy, University of Oslo, 1996.

[35] Hilpinen, R. (ed.), *Deontic Logic: Introductory and Systematic Readings*, Dordrecht : D. Reidel, 1971.

[36] Hilpinen, R., "On the Semantics of Personal Directives", *Ajatus*, **35**, 1973, 140–157.

[37] Hughes, G., Cresswell, M.: *A New Introduction to Modal Logic*, Routledge, 1996.

[38] Jones, A. e Sergot, M.: “A Formal Characterization of Institutionalized Power”, *Journal of the IGPL* , **4(3)**, 1996, 429–445. Reprinted in Garzón Valdés, E., Krawietz, W., von Wright, G.H., Zimmerling, R. (eds.), *Normative Systems in Legal and Moral Theory*, (Festschrift for Carlos E. Alchourrón and Eugenio Bulygin), Berlin: Duncker & Humblot, 1997, 349–369.

[39] Kanger,S.: *New Foundations for Ethical Theory*, Stockholm, 1957. (Reprinted in [35].)

[40] Kanger, S.: “Law and Logic”, *Theoria*, **38**, 1972.

[41] Kirn, S.: “Organizational Intelligence and Distributed Artificial Intelligence”, G. M. P. O’Hare e N. R. Jennings (eds.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, John Wiley & Sons, pp.505-526,1996.

[42] Krogh, C.: *Normative Structures in Natural and Artificial Systems*, PhD thesis, Complex 5/97, 1997.

[43] Lampson, B. and Abadi, M. and Burrows, M. and Wobber, E.: “Authentication in Distributed Systems: Theory and Practice”, *ACM Transactions on Computer Systems*, **10-4**, 1992, 265–310.

[44] Lindahl, L.: *Position and Change - A Study in Law and Logic*, Synthese Library **112**, Dordrecht:D. Reidel, 1977.

[45] Marshall, C.: *Entreprise modeling with UML: designing successful software through business analysis*, Addison-Wesly, 2000.

[46] Massacci, F.: “Reasoning about Security: a Logic and a Decision Method for Role-Based Access Control”. D. Gabbay et al. (eds.), *Proc. of the Int. Joint Conference on Qualitative and Quantitative Practical Reasoning*, LNAI, **1244**, Springer Verlag, 1997, 421–435.

[47] Meyer, J.-J. Ch. and Wieringa, R. J.: “Deontic Logic: A Concise Overview”. J.-J.CH. Meyer and R.J. Wieringa (eds), *Deontic Logic in Computer Science: Normative System-Specification*, John Wiley & Sons, 1993, 3–16.

[48] “Normatics: The Characterisation of Computer Systems and Complex Organisations as Normative Systems”. ESPRIT III BRA proposal, 1991.

[49] Pacheco, O.: *Concepção de um Sistema Pericial para o Registo Predial*, Relatório de Estágio de Licenciatura, Universidade do Minho, 1990.

[50] Pacheco, O.: *Uma Lógica para Bases de Dados Temporais no Registo Predial*, Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 1993.

[51] Pacheco, O. e Carmo, J.: "Les Agents Collectifs: du Droit vers l'Intelligence Artificielle". D. Bourcier, P. Hasset and C. Roquilly (eds.), *Droit et Intelligence Artificielle (Une Révolution de la Connaissance Juridique)*, éditions Romillat, Collection Droit et Technologies, 2000, 93-109 , ISBN.... (tradução francesa da versão revista de [52])

[52] Pacheco, O. and Carmo, J.: "Collective Agents: From Law to AI". *Proceedings of 2nd French-American Conference on Law and Artificial Intelligence*, Nice, 1998.

[53] Pacheco, O. e Carmo, J.: "A Role Based Model for the Normative Specification of Organized Collective Agency and Agents Interaction", *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Kluwer, 2001.(aceite para publicação)

[54] Parunak, H. Van D.: "Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry", , G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings (eds.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, John Wiley & Sons, pp.139-164, 1996.

[55] Pörn, I.: *The Logic of Power*. Oxford : Blackwell, 1970.

[56] Pörn, I.: *Action Theory and Social Science: Some Formal Models*, Synthese Library, **120**, Dordrecht : D. Reidel, 1977.

[57] Ramos,P. e Fiadeiro,J.: "A Deontic Logic for Diagnosis of Organisational Process Design". Em *Proc. 4th International Workshop on Deontic Logic in Computer Science (Deon'98)*, Università degli Studi di Bologna, pp. 353-369, 1998.

[58] Rao,A. e Georgeff, M. and Sonenberg, E.: "Social Plans: A Preliminary Report". Y. Demazeau e E. Werner (eds.), *Decentralized Artificial Intelligence*, **3**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992.

[59] Reis, A. F., "Pessoas Colectivas e Sociedades Comerciais - a sua Representação", Elcla Editora, 1990.

[60] Rescher, N.: *The Logic of Commands*, New York : Dover, 1966.

[61] Royakkers, L.: *Extending Deontic Logic for the Formalisation of Legal Rules*, Kluwer, 1998.

[62] Royakkers, L. e Dignum, F.: “Collective Obligation and Commitment”. *Proceedings of Il Diritto nella Societa dell’Informazione*, Firenze, 1998.

[63] Santos, F.: *Lógicas Modais de Acção para a Modelação da Interação entre Agentes e de Organizações*, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Informática, Universidade de Lisboa, 1998.

[64] Santos, F. e Carmo, J.: “Indirect Action, Influence and Responsibility”. M. Brown e J. Carmo (eds.), *Deontic Logic, Agency and Normative Systems*, Workshops in Computing Series, Springer-Verlag, 1996, 194–215.

[65] Santos, F., Jones, A.J.I. e Carmo, J.: “Responsibility for Action in Organizations: a Formal Model”. G. Holmstrom-Hintikka e R. Tuomela (eds.), *Contemporary Action Theory*, **II** (Social Action), Synthese Library, **267**, Kluwer, 1997, 333–350.

[66] Sergot, M. J.: “Normative Positions”.MacNamara, P. e Prakken, H. (eds), *Norms, Logics and Information Systems* (New Studies in Deontic Logic and Computer Science), Frontiers in Artificial Intelligence and Application, **49**, IOS Press, 1999, 289–308.

[67] Skarmeas, N.:“Modeling Organizations using Roles and Agents”, *Proceedings of 5h Hellenic Conference on Informatics*, Athens, 1995.

[68] Teles, I. G.: “Direito das Obrigações”, Coimbra Editora, 1997.

[69] Tuomela, R.: *The importance of Us: A Philosophical Study of Basic Social Notions,* Stanford series in Philosophy, Stanford University Press, 1995.

[70] Wooldridge, M., Jennings, N.R. and Kinny, D.: “The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design”, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems,* Vol.3, Issue 3, Kluwer, pp. 285-312, 2000.