

Breve Nota sobre os Limites da Abordagem Organizacional aos Sistemas Multiagentes

Antônio Carlos da Rocha Costa^{1*}

¹Programa de Pós-Graduação em Filosofia - PPGFil
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS
90.619-900 Porto Alegre, RS, Brazil.

ac.rocha.costa@gmail.com

Resumo. *Este artigo propõe que as arquiteturas que denominamos sociais, e não as arquiteturas usualmente denominadas organizacionais, são as formas arquitetônicas apropriadas para suportar a concepção, projeto e implementação de sistemas multiagentes plenos, ou seja, sistemas multiagentes capazes de modelar computacionalmente todas as características essenciais de sociedades plenamente desenvolvidas.*

Abstract. *This short note claims that societal architectures, not just organizational architectures, are the appropriate architectural forms for framing the conception, design, and implementation of full-fledged multiagent systems, that is, SMA that are able to computationally model all the essential characteristics of full-fledged societies.*

1. Introdução

Este artigo apresenta uma *visão crítica* sobre o estado da arte da área dos *sistemas multiagentes* (SMA), não no sentido de apontar erros teórico-conceituais ou práticos que por ventura estejam presentes, mas no sentido de apontar desenvolvimentos teóricos e práticos que ainda não estão sendo realizados, mas para os quais as tecnologias disponíveis já são suficientes. Mais especificamente, o artigo se ocupa - em termos conceituais - da questão das *arquiteturas organizacionais*, desenvolvidas até aqui, e das *arquiteturas sociais* que podem estendê-las e serem prontamente implementadas com as mesmas tecnologias que implementam aquelas.

Por *arquiteturas organizacionais* de sistemas multiagentes, entendemos as arquiteturas que estruturam sistemas multiagentes conforme o conceito de *organização*, tal como ele é compreendido na Teoria das Organizações (ver, p.ex., [Scott 2003]). Por *arquiteturas sociais* ¹ entendemos as arquiteturas que englobam *redes de organizações interconectadas*, funcionalmente divididas em *sistemas sociais* que realizam *funções sociais* essenciais para o pleno funcionamento da sociedade (produção, distribuição, regulação, etc.).

*Este artigo é, essencialmente, uma versão em Português da nota breve apresentada no EMAS@AAMAS 2022 [Costa 2022a]. Trabalho parcialmente financiado pela CAPES.

¹Utilizamos aqui o adjetivo *societal* (neologismo derivado diretamente do termo *societal* da língua inglesa), ao invés do adjetivo mais usual (*social*), para reservar este à qualificação de qualquer tipo de *relação* ou *estrutura* envolvendo *interação* entre agentes, independentemente do tipo de *estrutura mais ampla* (organização ou sociedade) em que tais relações ou estruturas estejam ocorrendo.

O artigo propõe, em particular, que as arquiteturas que denominamos *societais*, e não as arquiteturas usualmente denominadas *organizacionais*, são as formas arquitetônicas apropriadas para suportar a concepção, projeto e implementação de *sistemas multiagentes plenos*, ou seja, sistemas multiagentes capazes de modelar computacionalmente todas as características essenciais de *sociedades* plenamente desenvolvidas.

O texto está organizado como segue. A Seção 2 apresenta uma visão geral do artigo, incluindo um comentário sobre a evolução histórica da área dos SMA. A Seção 3 esquematiza a *arquitetura organizacional*. A Seção 4 esquematiza a *arquitetura societal*, mostrando sua relação com aquela. A Seção 5 conclui o artigo, indicando pontos de pesquisa ainda em aberto, tanto relativos às arquiteturas organizacionais quanto em relação às arquiteturas societais.

2. Visão Geral da Proposta

O *nível organizacional* é, tipicamente, o mais alto nível arquitetônico levado em conta pela pesquisa atual em sistemas multiagentes. Isso significa que, em geral, a estrutura de qualquer arquitetura SMA atualmente concebida é pensada como variando entre um nível arquitetônico mais baixo constituído pela *população* do sistema agente (seu *conjunto de agentes*) e um nível arquitetônico mais alto constituído por uma *organização* (uma *rede de papéis organizacionais* estruturada tanto por meio de um sistema de *processos de interação* quanto por um sistema de *normas comportamentais e de interação*, talvez hierarquicamente estruturado como *um sistema de sub-organizações*). Esta forma de conceber os SMA tem dominado a área desde que a abordagem organizacional se consolidou, como ilustra a Figura 1.

A seqüência de caixas na Figura 1 enfatiza a ascensão histórica do nível arquitetônico *mais alto* dos SMA desde o início do interesse com questões organizacionais nos dias da *Inteligência Artificial Distribuída*, em meados dos anos 80 (ver, por exemplo, [Bond and Gasser 1988, Demazeau and Müller 1990]), que adotou desde o início a *Teoria das Organizações* como seu principal quadro teórico de referência (como sugerido pela primeira vez para sistemas de software complexos por Mark Fox [Fox 1979]).

A figura também mostra que, aparentemente, a evolução arquitetônica da área está estagnada no nível organizacional desde a consolidação desta abordagem no final dos anos 90 (ver, por exemplo [Weiss 1999] e especialmente [Ferber 1996]), embora a tecnologia SMA disponível desde o início dos anos 2010 já permita estruturar o nível arquitetônico mais alto dos SMA em termos de uma *rede inter-organizacional* (ver, por exemplo, [Jiang et al. 2011]), bem como *sociedades de agentes plenas* e *sistemas de agentes inter-societários* (como reforçado no presente trabalho).

Do ponto de vista deste artigo, a principal razão para esta estacionariedade duradoura na evolução da estrutura hierárquica da arquitetura dos SMA reside na atração exercida pela praticidade da perspectiva *organizacional*, que favorece a *abordagem de médio alcance* dos sistemas sociais que Robert Merton propôs, visando um tratamento integrado mais fácil da análise social teórica e empírica [Merton 1968]².

²Para a estreita conexão entre a abordagem de médio alcance e o estudo das organizações, ver [Pinder and Moore 1979]).

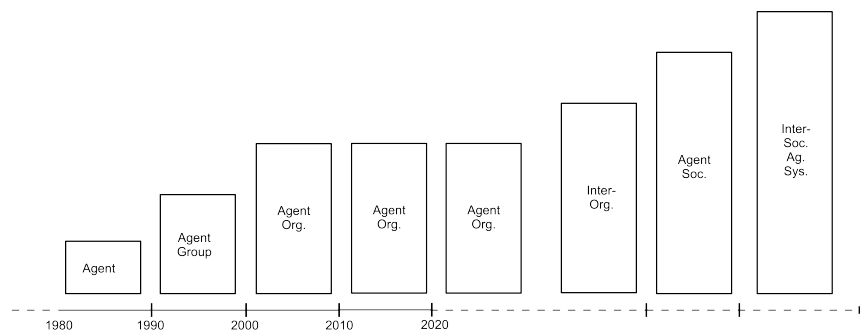


Figura 1. Evolução histórica da arquitetura dos SMA.

A abordagem de médio alcance afirma que a análise social deve se concentrar em questões específicas, entre todo o conjunto de questões sociais presentes em uma dada sociedade, sem se preocupar em deduzir *teorias de médio alcance* das chamadas *grandes teorias*, assim chamadas por terem como objetivo permitir a derivação de todos os princípios teóricos específicos para todas as questões sociais específicas, mas que foram criticadas como "uma proliferação de categorias abstratas desprovidas de hipóteses concretas ou testáveis", como mencionado por N. Smelser na introdução crítica à teoria sociológica de Talcott Parsons [Parsons 1951], o exemplo clássico de grande teoria.

No entanto, mesmo que tal abordagem de médio alcance seja frutífera o suficiente para a análise social das sociedades naturais (humanas) existentes, ela é claramente insuficiente como uma abordagem para a especificação e projeto de sociedades *agentes*, que têm que ter todas as suas características essenciais consistentemente articuladas sob um *conjunto comum de princípios teóricos*, os quais devem ser claramente compreendidos e aceitos por seus projetistas, implementadores e usuários. Em particular, tal conjunto comum de princípios teóricos deve suportar alguma forma minimamente aceitável de raciocínio dedutivo sobre as questões sociais acima mencionadas, e sua possível modelagem e realização baseada em agentes.

Esta breve nota propõe que a tecnologia SMA está pronta para se envolver com uma perspectiva *societal* ao SMA, ou seja, com um esforço de pesquisa para desenvolver conceitos, métodos e técnicas para lidar com as questões sociais que surgem na concepção, implementação e uso do SMA, com base em uma *abordagem societal* para a arquitetura de sistemas multiagentes.

3. A Arquitetura Organizacional

Neste artigo, dizemos que um SMA tem *arquitetura organizacional* sempre que é composto de dois níveis arquitetônicos principais:

- *Nível Populacional*: constituído pelo *conjunto estratificado de agentes* que habitam o SMA, ele próprio composto de dois sub-níveis:
 - *Categorias Populacionais*: constituído por *categorias sociais* (estratos sociais) de agentes;
 - *Agentes Populacionais*: constituído pelo *conjunto* de agentes propriamente ditos;
- *Nível Organizacional*, ele mesmo composto por dois subníveis:

- *Nível Micro-organizacional*: constituído pelo *conjunto de papéis organizacionais* que os agentes podem desempenhar;
- *Nível Meso-organizacional*: constituído pelo *conjunto de unidades organizacionais* (grupos, organizações, instituições, etc.), possivelmente estruturadas internamente de modo hierárquico recursivo e implementadas por particulares subconjuntos de papéis organizacionais.

Os agentes, papéis organizacionais e unidades organizacionais de um SMA projetado de acordo com uma arquitetura organizacional são ditos serem os *atores organizacionais* desse SMA.

Opcionalmente, uma arquitetura organizacional pode incluir mais dois componentes:

- *Ambiente Material*: constituído pelo *conjunto de objetos materiais* sobre os quais os atores organizacionais do SMA podem agir;
- *Ambiente Simbólico*: constituído pelo *conjunto de objetos simbólicos* (valores, normas, símbolos organizacionais, padrões de comportamento e interação, etc.) sobre os quais os atores organizacionais do SMA podem agir.

Muitas vezes, todo o SMA é tomado como *uma única unidade organizacional*, a de nível superior, no nível meso-organizacional da arquitetura do SMA. Como mostrado na próxima seção, esta *arquitetura organizacional* para SMA é claramente como uma sub-arquitetura da forma básica do que chamamos de *arquitetura societal* para o SMA.

4. A Arquitetura Societal

4.1. Características Estruturais

O conceito de *arquitetura societal* estende a *arquitetura organizacional* com um sub-nível organizacional superior, que denominamos:

- - *Nível Macro-organizacional*: constituído pelo conjunto (possivelmente, hierarquicamente recursivo) de *sistemas sociais*, implementados por subconjuntos particulares de *unidades organizacionais*.

Por simplicidade, no que segue, o termo *sociedade de agentes* é entendido como um SMA que é estruturado com base em uma arquitetura societal.

Como ilustração, a Figura 2 esboça a arquitetura societal de uma sociedade agentes hipotética, indicando todos os seus principais componentes estruturais. A figura também ilustra como o conceito de arquitetura societal engloba o conceito de arquitetura *organizacional*. As abreviações da Figura 2 significam o seguinte:

- *Org* denota a *estrutura organizacional*;
- *Pop* denota a *população*;
- *SEnv* e *MEEnv* denotam o ambiente *simbólico* e o ambiente *material*, respectivamente;
- os três sub-níveis organizacionais (*macro*, *meso* e *micro*) são denotados na figura por Org_{Ω} , Org_{mu} , e Org_{ω} , respectivamente;
- os dois subníveis populacionais (*categorias sociais* e *agentes*) são indicados na figura de $PopCat$ e $PopAg$, respectivamente ³;

³Como exemplos de categorias sociais usuais temos: *nível sócio-econômico*, *etnia*, *identidade de gênero*, *formação profissional*, *nacionalidade* etc.

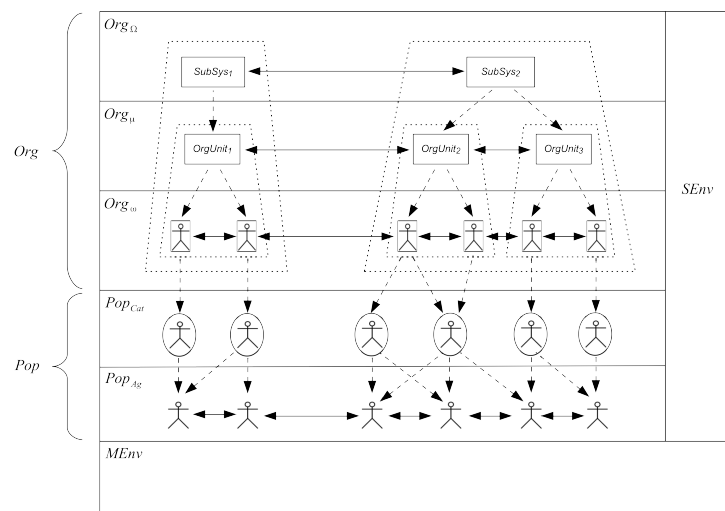


Figura 2. Esquema da arquitetura societal de uma sociedade de agentes elementar.

- as setas verticais tracejadas denotam as *relações de implementação* estabelecidas entre os vários níveis arquitetural;
- as setas horizontais contínuas denotam *processos de interação* entre os elementos de cada nível arquitetural;
- os trapézios pontilhados denotam os *escopos de encapsulamento* dos elementos arquiteturais que são próprios dos subsistemas da sociedade e das unidades organizacionais;
- *relações de acesso* entre os componentes da estrutura principal da arquitetura (os componentes *Pop* e *Org*) e os ambientes *simbólico* e *material* não são mostrados na figura 2.

Analogamente ao conceito de *ator organizacional*, em relação à arquitetura *organizacional* apresentada acima, o conceito de *ator social* pode ser usado como um conceito geral para qualquer um dos elementos e componentes arquiteturais da arquitetura societal, incluindo o próprio SMA, quando estruturado de acordo com este último conceito.

Note-se que os escopos de encapsulamento das unidades organizacionais e subsistemas da sociedade *não abrangem* os agentes que os implementam. Isto está de acordo com o princípio de *separação* entre estruturas organizacionais e populacionais, o que permite que as estruturas organizacionais sejam tratadas como entidades computacionais de *primeira classe*, ou seja, que permite que elas sejam concebidas e projetadas (e realizadas computacionalmente em plataformas *organizacionais* e *sociais* apropriadas, de acordo com a noção de *artefato organizacional* [Piunti et al. 2009]), independentemente dos agentes que as colocarão em operação (ver Seção 5, para comentários adicionais). Note-se, também, que os *papéis organizacionais* não são implementados *imediatamente* pelos agentes, mas por *categorias sociais*, os agentes sendo designados para desempenhar papéis organizacionais somente em conexão com as categorias sociais às quais pertencem.

Note-se também que os sistemas sociais tendem a ter uma estrutura aberta e não hierárquica, estruturando-se em geral como uma *rede descentralizada* de unidades

organizacionais.

Finalmente, note-se que, em geral, as unidades organizacionais têm *interfaces* bem definidas com seu ambiente exterior, caracterizando-se praticamente como os *módulos* componentes da sociedade, de modo que as *interações* entre elas podem ser pensadas como se dando através de processos de *importação* e *exportação* de elementos (*objetos*, *agentes* etc. - ver, p.ex., [Costa 2014]), realizando com isso a *funções sociais* pelas quais são responsáveis os *sistemas sociais* a que elas pertencem.

4.2. Os Componentes de Nível Macro e suas Funções

Os *sistemas sociais* são os elementos da *estrutura de nível macro*, os quais têm a forma dos trapezóides pontilhados englobando os emphistemas sociais $SocSys_1$ e $SocSys_2$ da Figura 2. São eles que realizam as *funcionalidades de nível macro* em qualquer SMA que adote uma arquitetura societal. Consideramos, no que segue, alguns exemplos típicos de sistemas sociais, no que diz respeito a essas suas funções de nível macro.

- **Sistema de Produção** O *sistema de produção* de uma sociedade de agentes pode ser caracterizado como o sistema social que coordena um conjunto de atores sociais (os *produtores*) a fim de produzir continuamente novos objetos nos ambientes *material* e *simbólico* da sociedade, possivelmente consumindo para esse fim alguns dos objetos disponíveis, em cada momento, nesses ambientes. Os sistemas de produção que realizam a produção de objetos capazes de armazenar *energia* são sistemas sociais básicos para as sociedades de agentes em que os agentes são dotados de corpos físicos, que operam consumindo energia (ver, por exemplo, [Costa 2017]), e também para as sociedades de agentes cujos processos sociais são regulados por princípios econômicos (ver, por exemplo, [Costa 2018]).

- **Sistema de Distribuição** O *sistema de distribuição* de uma sociedade de agentes pode ser caracterizado como o sistema social que coordena um conjunto de atores sociais (os *distribuidores*) a fim de distribuir continuamente, para consumo, entre a população da sociedade, os objetos produzidos pelo sistema de produção, especialmente os objetos capazes de armazenar energia, no caso das sociedades cujas populações são compostas por agentes dotados de corpos físicos.

- **Sistema Educacional** O *sistema educacional* de uma sociedade de agentes pode ser caracterizado como o sistema social que coordena um conjunto de atores sociais (os *educadores*) a fim de capacitar alguns agentes a participarem em alguns dos sistemas sociais da sociedade (incluindo o próprio sistema educacional).

- **Sistema Jurídico** O *sistema jurídico* de uma sociedade de agentes pode ser caracterizado como um *sistema social de nível superior* que coordena dois sistemas sociais de nível inferior (o *ordenamento jurídico* e o *sistema judicial*) a fim de regulamentar os processos sociais da sociedade com base em *mecanismos de sanção* capazes de punir atores sociais quando não obedecem a essas normas. Em particular, o sistema jurídico de uma sociedade de agentes deve gerenciar ordenamentos jurídicos

que regulamentem, entre outros, o sistema de produção, o sistema de distribuição e o sistema educacional da sociedade. Além disso, observe-se que os *ordenamentos jurídicos* são estruturas simbólicas que são naturalmente representadas nos *ambientes simbólicos* das sociedades de agentes.

• **Sistema Ideológico** O *sistema ideológico* compreende todos os elementos culturais que estão presentes na sociedade, impactando nos comportamentos e interações dos atores sociais: moralidade, direito, costumes, concepções tradicionais, etc. Nas sociedades de agentes, assume-se que todos eles sejam simbolicamente representados no *Ambiente Simbólico* (ver, por exemplo, [Costa 2015, Costa 2016, Costa 2020]).

• **Sistema Político** O *sistema político* de uma sociedade de agentes pode ser caracterizado, em sua funcionalidade mínima, da forma proposta por David Easton [Easton 1965], isto é, como o sistema social responsável pela *alocação autorizada de recursos* entre os atores sociais. Como tal, ele se articula naturalmente, de maneira estreita, com os sistemas *jurídico* e *ideológico*, agindo essencialmente sobre os parâmetros que determinam a estrutura e o funcionamento de todos os outros sistemas sociais, especialmente dos sistemas de *produção* e de *distribuição*.

5. Para Concluir: Uma Visão Sumária do Estado da Arte

No que diz respeito à abordagem *organizacional* aos SMA, referências importantes podem ser encontradas nos anais informais dos workshops COINE e nos correspondentes anais publicados pela Springer⁴. Além disso, os anais informais dos workshops EMAS e seus correspondentes anais também publicados pela Springer⁵, constituem uma fonte de referências importantes.

No que diz respeito à abordagem *societal* aos SMA, uma definição inicial do modelo da *Sociedade de Agentes*, que serviu de base para esta visão geral, pode ser encontrada em [Costa 2019] e nas referências complementares ali indicadas⁶.

Em relação às *plataformas* para a execução de SMA *organizacionais*, a situação atual é que as plataformas e frameworks que estão disponibilizados publicamente são cada um específico para um determinado modelo arquitetônico organizacional. Nenhuma plataforma SMA organizacional *universal*, permitindo aos projetistas experimentar variações e integrações de diferentes modelos arquitetônicos organizacionais, está disponível publicamente, mesmo que a tecnologia SMA atual possa suportá-los claramente (veja os trabalhos apresentados nas oficinas COINE ou EMAS acima mencionadas). Em particular, a abordagem de *artefatos organizacionais* para a implementação de organizações multiagentes, própria da plataforma JaCaMo

⁴Ver <https://www2.pcs.usp.br/~coin/> e <https://link.springer.com/conference/coin>.

⁵Ver <https://emas.in.tu-clausthal.de> e <https://link.springer.com/conference/emas>.

⁶Observamos que, do ponto de vista das *teorias sociais formais*, é importante que, em algum momento, os modelos societais concebidos dentro de quadros conceituais computacionais (como o que acaba de ser mencionado) sejam articulados com modelos societais concebidos dentro dos quadros conceituais sociológicos (como, p.ex., o proposto por Jonathan H. Turner [Turner 2010]), para que os primeiros possam servir como modelos semânticos formais para os segundos.

[Boissier et al. 2013], parece ser naturalmente extensível a uma abordagem baseada em *artefatos sociais*.

A situação relativa às plataformas ou frameworks para a execução de SMA societal é ainda pior, já que simplesmente nenhuma plataforma ou framework desse tipo está disponível publicamente, embora, claramente, a tecnologia SMA atual também poder apoiá-los.

Finalmente, três questões técnicas devem ser mencionadas, as quais não foram investigadas *com a frequência e intensidade necessárias*, nem a nível *organizacional* nem, muito menos, a nível *societal*:

- *modularização* (ver, e.g., [Costa 2014]);
- *tipagem* (ver, e.g., [Costa 2021]);
- *linguagens de modelagem independentes de plataforma* (ver, e.g., [Costa 2022b]).

Agradecimentos

O autor agradece aos revisores do artigo pelas leituras atentas e pelos comentários bem detalhados.

Referências

- Boissier, O., Bordini, R., Hübner, J. F., Ricci, A., , and Santi, A. (2013). Multi-agent oriented programming with JaCaMo. *Science of Computer Programming*, 78:747–761.
- Bond, A. H. and Gasser, L., editors (1988). *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, San Mateo.
- Costa, A. C. R. (2014). Proposal for a notion of modularity in multiagent systems. In van Riemsdijk, M. B., Dalpiaz, F., and Dix, J., editors, *Informal Proceedings of EMAS 2014*. AAMAS @ Paris.
- Costa, A. C. R. (2015). Situated ideological systems: A core formal concept, some computational notation, some applications. *Axiomathes*, 27(February):15–78.
- Costa, A. C. R. (2016). Moral systems of agent societies: Some elements for their analysis and design. In *Workshop on Ethical Issues in the Design of Intelligent Agents - EDIA@ECAI 2016*, page Paper 10. EURAI/University of Delft.
- Costa, A. C. R. (2017). Energy systems in material agent societies. In *Anais do WESAAC 2017*, pages 35–46, Rio Grande. FURG. Online at <http://wesaac2017.c3.furg.br>.
- Costa, A. C. R. (2018). Elementary economic systems in material agent societies. In *Anais do WESAAC 2018*, pages 12–24, Fortaleza. UECE. Online at <https://wesaac.herokuapp.com>.
- Costa, A. C. R. (2019). *A Variational Basis for the Regulation and Structuration Mechanisms of Agent Societies*. Springer, Cham.
- Costa, A. C. R. (2020). Elements of the agent-based modeling of slavery systems. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 9(1):15–27.

- Costa, A. C. R. (2021). TPO: A type system for the architecture of agent societies. In *EMAS 2021 - Engineering Multiagent Systems - Online Papers and Slides*, <https://emas2021.in.tu-clausthal.de/index.php/schedule>. - To appear in EMAS 2021 post-proceedings.
- Costa, A. C. R. (2022a). A short note on the bounds of the organizational approach to MAS. In *EMAS@AAMAS 2022 Informal Proceedings*, Richland. IFAMAS. Available at <https://emas.in.tu-clausthal.de/2022/>.
- Costa, A. C. R. (2022b). A type system and a modeling language for agent societies (draft). Technical report, PPGFil-PUCRS, Porto Alegre. Available online at <https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Carlos-Rocha-Costa/publications>.
- Demazeau, Y. and Müller, J.-P., editors (1990). *Decentralized Artificial Intelligence*. Elsevier, Amsterdam.
- Easton, D. (1965). *A Framework for Political Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Ferber, J. (1996). *Multi-Agent Systems: an Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Fox, M. S. (1979). Organization structuring: Designing large complex software. Technical report, Carnegie-Mellon University. (Technical Report CMU-CS-79-155).
- Jiang, J., Dignum, V., and Tan, Y.-H. (2011). An agent based inter-organizational collaboration framework: Opera+. In Hübner, J. F., Petit, J.-M., and Suzuki, E., editors, *Intl. Conf. on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, volume 3, pages 21–24. IEEE.
- Merton, R. K. (1968). *Social Theory and Social Structure*. Free Press, New York.
- Parsons, T. (1951). *The Social System*. Free Press.
- Pinder, C. C. and Moore, L. F., editors (1979). *Middle Range Theory and the Study of Organizations*. Martinus Nijhoff, Boston.
- Scott, W. R. (2003). *Organizations: Rational, Natural, and Open Systems*. Pearson, New Jersey.
- Turner, J. H. (2010). *Theoretical Principles of Sociology (Vols. 1-3)*. Springer.
- Weiss, G., editor (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge.