

**USO DE SISTEMAS MULTI-AGENTES  
NO PROCESSAMENTO DA LINGUAGEM NATURAL:  
ESTUDANDO O PROBLEMA  
ATRAVÉS DO PROJETO NALAMAS<sup>12</sup>**

*Vera Lúcia Strube de Lima, PUCRS - Instituto de Informática*

vera@andros.inf.pucrs.br

*Rosa Maria Viccari, UFRGS - Instituto de Informática*

rosa@inf.ufrgs.br

*Ariadne R. Carvalho, UNICAMP - Instituto de Computação*

ariadne@dcc.unicamp.br

*Raul S. Wazlawick, UFSC - Departamento de Informática*

raul@inf.ufsc.br

*Jaime Simão Sichman, ESP - Escola Politécnica*

jaime@lsd.usp.br

*Flávio Oliveira, PUCRS - Instituto de Informática*

flavio@inf.pucrs.br

### **Resumo**

Embora as arquiteturas multi-agentes se mostrem como interessantes alternativas, no processamento da linguagem natural, algumas questões ainda estão em aberto: *Quem são os agentes lingüísticos ?* Serão eles os agentes associados a sintagmas ou palavras? Ou será mais adequada uma abordagem associada aos domínios<sup>3</sup> de processamento lingüístico? *Como estes agentes se organizam em sociedade, para a compreensão da linguagem natural?* É possível imaginar sociedades (ou subsociedades) de agentes adaptadas para o processamento de fenômenos complexos requerido no processamento da linguagem natural? Ou serão estes fenômenos resolvidos por agentes específicos? Através de um projeto cooperativo sendo desenvolvido em conjunto por pesquisadores de 06 instituições - no Brasil, PUCRS, UFRGS, UFSC, UNICAMP e USP, e em Portugal, Universidade Nova de Lisboa - estamos estudando as questões colocadas, com o objetivo de chegar à especificação de uma arquitetura de um sistema multi-agentes para o processamento da linguagem natural.

## **1 Introdução**

Do ponto de vista computacional, vários trabalhos [BOITET 94, GUHA 94, CSUHAJ-VARJÚ 93, STEFANINI 93, FUM 88, ADRIENS 86, DEVOS 88, SMALL 80, entre outros] vêm demonstrando que uma abordagem distribuída constitui uma alternativa aos sistemas tradicionais de processamento da linguagem natural (PLN), através de características que permitem exatamente o tratamento do conhecimento

---

<sup>1</sup> Apoio PROTEM-CC/CNPq, processo nro. 680081/95-0

<sup>2</sup> Este trabalho foi elaborado pela coordenação do projeto a partir de relatos/contribuições de equipes agregadas ao NALAMAS. Constam aqui os nomes dos coordenadores institucionais que participaram diretamente na organização de material para elaboração deste documento.

<sup>3</sup> Neste trabalho, buscando uma abordagem distribuída com relação ao problema, consideraremos como domínios de processamento lingüístico as diferentes 'etapas' associadas às arquiteturas seqüenciais de processamento da linguagem: léxica, morfológica, sintática, semântica, pragmática etc.

através da cooperação entre módulos distribuídos especializados e autônomos (ou, simplesmente, agentes [OLIVEIRA 96, SICHMAN 92, DEMAZEAU 90]).

Entretanto, algumas questões iniciais se colocam:

- *Quem devem ser os agentes lingüísticos ?* Serão eles os agentes associados a sintagmas ou a palavras [ADRIENS 86, DEVOS 88, SMALL 80, PAIVA 97]? Ou será mais adequada uma abordagem associada aos domínios de processamento lingüístico, assim se prevendo agentes morfológicos, sintáticos, semânticos, etc [STEFANINI 93]?

- *Como estes agentes se organizam em sociedade, para a compreensão da linguagem natural?* É possível imaginar sociedades (ou subsociedades) de agentes adaptadas para o processamento de fenômenos complexos, como a resolução da ambigüidade [SILVA 97] ou de referências anafóricas, requerido no processamento da linguagem natural? Ou serão estes fenômenos resolvidos por agentes específicos num SMA?

- *Como deve ser a arquitetura de um SMA para PLN?*

Através de um projeto cooperativo sendo desenvolvido em conjunto por pesquisadores de 06 instituições - no Brasil, PUCRS, UFRGS, UFSC, UNICAMP e USP, e em Portugal, Universidade Nova de Lisboa - estamos estudando as questões colocadas, com o objetivo de chegar à especificação de uma arquitetura de um SMA para PLN. Neste primeiro ano de pesquisas (o projeto tem prevista a duração de dois anos) estamos investigando, no contexto descrito, as duas primeiras questões colocadas, ou seja, '*Quem são os agentes lingüísticos ?*' e '*Como estes agentes se organizam em sociedade, para a compreensão da linguagem natural?*'. No presente trabalho, evidenciamos o estado atual das pesquisas em desenvolvimento pela equipe.

## **2 Alternativas multi-agentes na solução de fenômenos lingüísticos**

### **2.1 Experimentando sistemas baseados em palavras**

Foi desenvolvido na UNICAMP [PAIVA 97] um sistema multi-agentes para PLN, o qual segue a linha dos "sistemas baseados na palavra" [SMALL 80, ADRIENS 86, DEVOS 88, HIRST 88], onde um agente representa uma categoria morfo-sintática<sup>4</sup> e é instanciado de acordo com a categoria de cada palavra de uma frase.

Cada tipo de agente se comporta de acordo com as funções estabelecidas para a categoria que ele representa (substantivo, verbo, preposição, conjunção, determinante ou pronome relativo). Tal comportamento foi baseado em uma noção de *forças de atração* entre as categorias (por exemplo, os verbos atraem substantivos, preposições ou pronomes relativos, os substantivos atraem determinantes ou preposições, e assim por diante. Associados a essa idéia de forças de atração estão outros *mecanismos de restrição* que se relacionam ao posicionamento das palavras, a sua categoria semântica e a sua subcategorização (utilizada somente para os verbos).

O processo de interpretação de sentenças nesse modelo é visto como cada agente tentando encontrar outro(s) agente(s) que ele atrai (ou pelo(s) qual(is) é atraído), guiado pela noção de forças de atração e limitado (ou reforçado) pelos mecanismos de restrição. O objetivo dessa busca é estabelecer ligação(ões) com o(s) agente(s) que satisfaz(em) as

---

<sup>4</sup> O fato de se assumir que uma determinada palavra pertence a apenas uma categoria foi uma restrição para tornar a implementação de um primeiro modelo viável. Uma solução para lidar com ambigüidade categorial está sendo estudada.

características necessárias para obter uma estrutura que possa representar, quando todos os agentes estiverem conectados, a frase como um todo. Essa estrutura é semelhante a uma árvore sintática.

O sistema trata orações onde os seguintes fenômenos linguísticos estão presentes: topicalização ("a goiaba o menino comeu"), posposição do sujeito ("caiu o menino"), orações relativas ("a menina que o menino ama caiu"), orações coordenadas ("joão caiu e maria correu"), "gapping" ou elipse lacunar ("joão gosta de maria e antonio, de joana") e redução ("joão adora e maria detesta doce"). Quando esses fenômenos -- "gapping" e redução -- estão presentes na frase, normalmente há uma falta de palavras e, por conseguinte, de agentes para representá-las.

Os principais resultados da pesquisa podem ser descritos em dois pontos. Em termos de sistemas multi-agentes, foi possível definir as características do agente a ser utilizado nesse tipo de arquitetura. Com relação ao modelo de comunicação, os agentes são considerados cognitivos, porque comunicam-se de uma forma estruturada. Com relação ao modelo de ação, existem dois níveis a serem considerados. Em um nível micro (o nível "agente"), os agentes se comportam de um modo bem reativo: verificam suas necessidades, observam o ambiente e tomam decisões sem que haja planejamento; em um nível macro (o nível "sociedade"), é possível notar a presença de um componente de negociação forte, que vai direcionando a fase de busca tentando aproximar o sistema de uma solução global.

Em termos de PLN, consideramos que houve um avanço em relação aos sistemas citados (especialmente os derivados diretamente de [SMALL 80]), visto que o comportamento dos agentes desses sistemas no processo de busca era modelado somente em termos de uma estratégia passiva ("an expectation-based strategy"), enquanto que o comportamento dos agentes de nosso sistema foi modelado podendo assumir tanto uma estratégia passiva, quanto ativa (dependendo do tipo de agente). Além disso, o fato de o agente poder mudar sua estratégia no decorrer do processo permitiu que a classe de fenômenos com os quais tal tipo de arquitetura pode lidar fosse expandida (sistemas baseados na palavra), especialmente em relação aos fenômenos que são caracterizados pela ausência de palavras na frase, como por exemplo "gapping".

## **2.2 Agentes associados à palavra na resolução do fenômeno da ambigüidade léxica categorial<sup>5</sup>**

O trabalho em desenvolvimento na UFSC também enfoca a abordagem de agentes associados à palavra, dando ênfase à resolução de ambigüidades como essência da compreensão da linguagem [ADRIENS 88]. A ambigüidade é provavelmente o aspecto mais difícil das linguagens naturais, para um processamento automático. Existem vários tipos de procedimentos para a resolução de ambigüidades em PLN, tais como métodos que utilizam um conjunto de regras, ou seja, uma gramática (como por exemplo as gramáticas de cláusulas definidas e as gramáticas de restrições [BICK 96]), ou métodos estatísticos.

Estudando estas alternativas, a equipe chega a algumas características desejáveis para um algoritmo de resolução de ambigüidades:

---

<sup>5</sup> Denomina-se ambigüidade léxica categorial o fenômeno da multiplicidade de categorias (ou tipos) que uma palavra pode assumir, na representação de uma frase (exemplo: *casa*- verbo, *casa*- substantivo, moradia).

- o princípio do procedimento deve ser igual durante toda a análise (como em [BICK 96]);
- o algoritmo deve ser robusto, i.e. deve ainda funcionar com, por exemplo, informações semânticas incompletas;
- o algoritmo deve considerar tanto o contexto da direita, quanto o contexto da esquerda da palavra;
- deve contar com um procedimento de aprendizagem para determinar as informações necessárias para o seu funcionamento;
- o tamanho do contexto considerado para a resolução de ambigüidades deve ser adequado (regras globais podem influenciar bastante no desempenho do sistema).

Foram estudados diferentes sistemas baseados na palavra, como o Word Expert Parser [ADRIENS 88, RIEGER 81], o sistema ABSITY [HIRST 88], o sistema de Paiva [PAIVA 97], e estes estudos indicam a composicionalidade como um ponto importante para a interpretação de uma frase. Por conseguinte, estudou-se o agrupamento de agentes (palavras) representando seqüências de palavras, sintagmas, seqüências de sintagmas, frases etc. Os primeiros resultados apontam para um sistema assim caracterizado:

- cada agente é representado por um *frame* que tem *slots* obrigatórios e opcionais associados;
- diversos valores em um *slot* representam ambigüidades;
- agentes agrupam-se no momento em que eles resolveram suas ambigüidades que inibem agrupamento ou para diminuir o número de ambigüidades a considerar, como por exemplo: *éoi* (artigo ou pronome), *ébancoi* (verbo ou substantivo), *éo bancoi* (pronome+verbo ou artigo+substantivo);
- a coordenação dos grupos de agentes pode ser feita numa forma de ajustamento mútuo (seqüência de palavras, seqüência de sintagmas) ou por supervisão direta (sintagma com o núcleo como supervisor);
- existem regras de resolução de ambigüidades e regras de agrupamento;
- cada agente comunica-se diretamente somente com seus agentes (grupos de agentes) vizinhos.

### **2.3 Agentes associados aos domínios lingüísticos na resolução do fenômeno da ambigüidade léxica categorial**

O objetivo deste trabalho desenvolvido na PUCRS [SILVA 97] foi avançar na proposta de uma abordagem arquitetural para o PLN, onde a granularidade na constituição dos agentes componentes, tal como em [STEFANINI 93], abrange os próprios domínios lingüísticos de processamento. Foi focalizado, em particular, o fenômeno lingüístico da ambigüidade léxica categorial. Demonstrou-se que o tratamento da ambigüidade configura-se, basicamente, como uma resolução de conflitos entre fontes heterogêneas de conhecimento.

Enquanto alternativas tais como [PAIVA 96], ou a alternativa em estudo pela UFSC, apontam para uma granularidade fina, através dos sistemas baseados na palavra, ou mesmo nos sintagmas, exploramos a granularidade em nível de domínio de análise. Nos sistemas baseados na palavra, os agentes apresentam alto grau de acoplamento funcional e são altamente cognitivos (por reunirem conhecimentos de diferentes domínios), o que os torna aparentemente simples; entretanto o grau de interação é forçosamente maior, tornando complexa a comunicação e o protocolo utilizados, e

aumentando a sobrecarga comunicativa, sobretudo quando se ultrapassa o nível sentencial, em direção ao texto. Já uma granularidade mais ‘grossa’, como a adotada neste experimento, dificulta uma interação forte, limitando os agentes à troca de conhecimentos ou intenções. A manutenção de um agente também se torna trabalhosa, à medida que se necessita modificar seus métodos e capacidades internas.

A arquitetura adotada para a resolução da ambigüidade léxica envolve os agentes LÉXICO-MORF, SINTÁTICO e SEMÂNTICO, organizados em subsociedade. Optou-se pela subsociedade, e não por um agente específico para este fim: a definição de um agente próprio acarretaria a multiplicação de capacidades já existentes na sociedade, e a redundância do conhecimento necessário. Inicialmente, todos os agentes trabalham na frase a ser analisada, através da análise léxico-morfológica (agente LÉXICO-MORF) com acesso aos dicionários, através da estruturação dos itens léxicos pelo agente SINTÁTICO (à medida que este os recebe do LÉXICO-MORF), e assim por diante. Deste modo, a frase a ser analisada é tratada de forma paralela pelos diversos agentes, e os resultados parciais são comparados entre si sempre que mensagens de requisição são disparadas na sociedade. Enquanto isso o agente SEMÂNTICO percorre a frase reconhecendo os itens léxicos e seus relacionamentos conceituais.

Na resolução de uma ambigüidade pela subsociedade criada para tal, a interação cooperativa é determinada quando o analisador sintático (agente SINTÁTICO) necessita de informações adicionais para resolução de um conflito. À medida que a estrutura sentencial é construída, uma ambigüidade léxica em nível categorial, identificada pela presença de mais de um descritor para o mesmo item léxico, conduz o agente SINTÁTICO a trabalhar nas subestruturas possíveis entre as construídas. Interagindo com os agentes LÉXICO-MORF e SEMÂNTICO, o agente SINTÁTICO consegue resolver este conflito descartando os fragmentos de estruturas não promissoras.

## **2.4 O estudo das referências anafóricas**

### **2.4.1 Anáforas pronominais e anáforas nominais**

O fenômeno das referências anafóricas, além da atenção dedicada em [PAIVA 97], também vem sendo estudado pelas equipes da UFRGS e de Portugal, através de sistema que trata de um subconjunto das referências anafóricas no contexto do discurso, especialmente as anáforas pronominais do pronome pessoal (casos reto e oblíquo). A resolução de anáforas toma um aspecto mais abrangente quando olhamos para as anáforas nominais, ou seja, aquelas introduzidas pelos sintagmas nominais definidos. É estabelecida uma metodologia que permite resolver as anáforas (tanto pronominais quanto nominais) através da utilização de uma estrutura construída a partir da movimentação dos focos de atenção e da abdução de antecedentes e relações. As entidades interpretadas em cada frase indicam a existência de dois tipos de focos:

- explícito, ou seja, aquele que é explicitamente introduzido através da realização léxica numa frase, ou através da reafirmação deste foco através do emprego de elisões ou anáforas pronominais;
- implícito, ou seja, aquele que está subjacente a cada frase, e que mesmo não sendo explicitamente citado ou referenciado, está implícito no assunto (identificamos os focos implícitos através do emprego das anáforas nominais: o antecedente de uma anáfora nominal poderá vir a ser o foco implícito da próxima frase).

#### 2.4.2 Anáforas pronominais do pronome possessivo

As anáforas do pronome possessivo representam um caso especialmente interessante em português. Ao contrário dos seus correspondentes *his/her* em inglês, os possessivos em português não concordam com o referente, e sim com o referido (*seu carro*). A resolução deste tipo de referência está sendo modelada pela equipe da PUCRS, através de uma proposta distribuída, que leva em conta os conhecimentos léxico, sintático, semântico e pragmático, entre outros. A proposta está sendo trabalhada sobre um *corpus* de sentenças de legislação ambiental.

### 3 Agentes de suporte à resolução dos fenômenos lingüísticos

Um sistema para a marcação automática de *corpora* foi desenvolvido pela UFRGS em cooperação com Portugal, através da aplicação de métodos estatísticos. Este trabalho descreve o processo de marcação automática de categorias morfo-sintáticas, introduzindo a marcação automática para a língua portuguesa, algo até então inédito. O software produzido, embora ainda não agentificado, poderá tornar-se interessante agente participando na resolução dos fenômenos lingüísticos.

Também está em desenvolvimento, pela PUCRS, a implementação de um léxico semântico, tal como definido por Pustejovsky em [PUSTEJOVSKY 96]. Através desta implementação e de experimentos com a apropriação do modelo à língua portuguesa, será disponibilizado um agente semântico, o qual poderá vir a ser utilizado na resolução dos diferentes fenômenos lingüísticos.

### 4 Estudos teóricos e metodológicos

No que se refere à utilização da metodologia de agentes para PLN, o grupo da UFRGS vem realizando estudos da utilização de estados mentais, mais especificamente, o estado mental intencional, para a análise do discurso. Aqui, os estudos relacionam-se com a representação das intenções dos agentes ao escreverem sentenças em linguagem natural.

O grupo da UFRGS também vem realizando estudos teóricos relacionados à interpretação dos elementos referentes ao tempo expresso pelas frases em língua natural. Estes elementos são conhecidos por entidades temporais e vão corresponder às situações e situações que são apresentadas pela linguagem. Em particular, uma forma de representação para essas entidades será delineada, com a especificação de uma ontologia descrevendo as características e estrutura interna de entidades tais como estados, processos e eventos. Isto vai possibilitar a interpretação semântica e pragmática das orações nos vários tempos verbais indicativos da língua portuguesa. Tal interpretação exige o estudo dos mecanismos que relacionam temporalmente as diversas entidades do discurso (no contexto) e o raciocínio necessário à inferência de relações e entidades implícitas no texto, que devem ser pressupostas a fim de completar a informação necessária para a interpretação de novas entidades temporais.

Os trabalhos realizados na USP, no âmbito do projeto NALAMAS, relacionam-se mais especificamente ao estudo de organizações em sistemas multi-agentes. O foco de estudo é o de tentar levantar aspectos relevantes no tema, a serem posteriormente utilizados para o projeto de organizações multi-agentes para o processamento de linguagem natural. Em particular, foi iniciado estudo sobre a diferenciação de representação subjetiva, no seio dos agentes, de origens distintas de objetivos, intenções etc, com o objetivo de tentar modelar a adequabilidade de agentes a desempenhar certos

papéis. Tal estudo baseia-se nas noções de relações e situações de objetivo e dependência, descritas em [SICHMAN 95], cujo formalismo vem sendo estendido.

Do ponto de vista prático, o grupo da USP vem ainda construindo um ambiente para desenvolvimento de sistemas multi-agentes, MASENV [CARDOZO 93, DEMAZEAU 95], com o intuito de torná-lo operacional para eventuais testes de integração nas próximas fases do projeto.

Outros trabalhos ainda estão em andamento, por exemplo, na PUCRS, através dos quais se vem testando ferramentas orientadas a agentes, para a experimentação de arquiteturas e soluções.

### Referências Bibliográficas

- [ADRIENS 86] Adriens, G. (1986) **WEP (Word Expert Parsing) Revised and Applied to Dutch**. *Proceedings of 7th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI86*, Brighton, 1986.
- [BICK 96] Bick, E. (1996). **Automatic parsing of Portuguese**. *Proceedings of II Encontro para o Processamento Computacional do Português Escrito e Falado, SBIA'96*, Curitiba.
- [BOITET 94] Boitet, C. e Seligman, M. (1994). **The Whiteboard Architecture: A way to Integrate Heterogeneous Components of NLP Systems**. *Proceedings of COLING-94*, Vol I, Kyoto, Japan, August 5-9.
- [CSUHAI-VARJ' 93] Csuhaï-Varj, E. e Alez, R.A. (1993). **Multi-Agent Systems in Natural Language Processing**. In K. Sikkel, A. Nijholt eds. *Twent Workshop on Language Technology 6*, pgs. 129-137, December 16-17.
- [DEMAZEAU 90] Demazeau, Y.; Muller, J.-P. (1990) **Decentralized AI**. Morgan Kaufmann, 1990.
- [DEMAZEAU 95] Demazeau, Y. (1995). **From Interactions to Collective Behavior in Agent-Based Systems**. *European Conference on Cognitive Science*, Saint-Malo, Avril.
- [DEVOS 88] Devos, M.; Adriens, G.; Willems, Y.D. (1988). **The Parallel Expert Parser (PEP): a thoroughly revised descendant of the Word Expert Parser**. *Proceedings of the 12th International Conference on Computational Linguistics*, COLING 88, Budapest.
- [FUM 88] Fum, D.; Guida, G. e Tasso, C. (1988). **A Distributed Multi-Agent Architecture for Natural Language Processing**. *Proceedings of COLING-88*, Vol II, Budapest, August 22-27.
- [GUHA 94] Guha, R.V. e Lenat, D.B. (1994). **Enabling Agents to Work Together**. *Communications of the ACM*, Vol. 37, n<sup>o</sup> 7, pgs. 127-142.
- [HIRST 88] Hirst, G. (1988). Semantic Interpretation and Ambiguity. **Artificial Intelligence**, 34:131-77.
- [OLIVEIRA 96] Oliveira, F.M. (1996). **Inteligência Artificial distribuída**. In IV Escola Regional de Informática, Londrina-Itajaí-Canoas, Brasil, Abril.

- [PAIVA 97] Paiva, D. S. de (1997). **Um Sistema Multi-Agentes para Processamento Distribuído de Linguagem Natural**. UNICAMP: Dissertação de mestrado, Campinas.
- [PUSTEJOVSKY 96] Pustejovsky, J. (1996). **The Generative Lexicon**. MIT-PRESS, Cambridge.
- [RIEGER 81] Rieger, C. e Small, S. L. (1981). **Toward a Theory of Distributed Word Expert Natural Language Parsing**. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-11(1):43-51, Jan.
- [SICHMAN 92] Sichman, J.S.; Demazeau, Y. e Boissier, O. (1992). **When can Knowledge-based Systems be called Agents?** *IX Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*, RJ, p. 131.
- [SICHMAN 95] Sichman, J.S. (1995). **Du raisonnement social chez les agents: une approche fondée sur la théorie de la Dépendance**. INPG-Grenoble: Thèse de Doctorat, Grenoble.
- [SILVA 97] Silva, J.L.T. (1997). **Utilização do Paradigma Multi-Agentes no Processamento da Linguagem Natural: um modelo voltado à resolução da ambigüidade léxica categorial na Língua Portuguesa**. PUCRS: Dissertação de Mestrado, Porto Alegre.
- [SMALL 80] Small, S. L. (1980). **Word Expert Parsing: a theory of distributed word-based natural language understanding**. University of Mariland: Doctoral dissertation.
- [STEFANINI 93] Stefanini, M.H. (1993). **TALISMAN: une Architecture Multi-Agent pour l'Analyse du Français ...crit**. These de Doctorat, Université Pierre Mendès-France, Grenoble - France.