UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Felipe Lombardi Pierin

Desenvolvimento de um tradutor WSML para PDDL no contexto de um sistema de composição automática de serviços web

São Paulo

Novembro de 2011

Universidade de São Paulo

Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Felipe Lombardi Pierin

Desenvolvimento de um tradutor WSML para PDDL no contexto de um sistema de composição automática de serviços web

Monografia apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos exigidos na disciplina ACH 2018 – Projeto Supervisionado ou de Graduação II, do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação.

Modalidade:
TCC longo (anual) – monografia final

São Paulo

Novembro de 2011

Universidade de São Paulo
Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Felipe Lombardi Pierin

Desenvolvimento de um tradutor WSML para PDDL no contexto de um sistema de composição automática de serviços *web*

Orientação

_____

Prof. Dr. Esteban Fernandez Tuesta

Banca Examinadora:

_____

Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques

_____

Prof. Dr. Fábio Nakano.

São Paulo, Novembro de 2011

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me iluminar o caminho certo perante escolhas difíceis.

Agradeço a minha família que me apoiou incondicionalmente e que por vezes privou-se de interesses próprios para permitir com que eu pudesse continuar seguindo em frente com minha graduação.

Agradeço novamente a minha família pelos valores transmitidos e pela paciência comigo, não somente ao longo dos anos acadêmicos, mas ao longo da vida.

Agradeço aos meus orientadores José de Jesús Pérez Alcázar e Esteban Fernandes Tuesta por acreditarem e estarem sempre presentes para ajudar no bom andamento deste trabalho.

Agradeço aos meus (ex) professores que, ao seu modo, ensinaram no mais alto-nível utilizando criatividade, conhecimento e imposição de desafios.

Agradeço aos meus colegas com os quais tive a oportunidade de compartilhar dificuldades, incentivos, sorrisos e vitórias.

Agradeço a todos aqueles que colaboraram para a construção do meu caráter, para a minha graduação e em especial para a conclusão deste trabalho.

Glossário

ADL: *Action Description Language*.

AST: *Abstract Syntax Tree*.

ANTLR: *ANother Tool for Language Recognition*.

IA: Inteligência Artificial.

IDE: *Integrated Development Environment*.

PDDL: *Planning Domain Definition Language*.

RDF: *Resource Description Framework*.

STRIPS: *Stanford Research Institute Problem Solver*.

XML: *Extensible Markup Language*.

WSML: *Web Service Modeling Language*.

WSMO: *Web Service Modeling Ontology*.

YACC: *Yet Another Compiler Compiler*.

Resumo

Ao passo em que os serviços *web* promovem a interoperabilidade entre as organizações e, por essa razão, estão sendo cada vez mais adotados, o reuso de serviços *web* já existentes torna-se cada vez mais evidente. Ao reaproveitar um serviço *web* já construído, além de evitar o retrabalho, a tarefa de planejar e desenvolver uma determinada funcionalidade fica restrita a escolha ou a composição manual de uma ou mais funções que atinjam certo objetivo. Contudo, em algumas situações, o uso dos *webservices* publicados não é suficiente senão pela composição desses e, nesse sentido, como a composição de *web services* de forma manual pode se tornar uma tarefa demasiadamente onerosa, a agregação automática e semi-automática por meio da aplicação de inteligência artificial já é considerada uma tarefa plausível. Desse modo, a *web* semântica empregando definições ontológicas para descrever *web services* pode ser traduzida em linguagem de planejadores em inteligência artificial e, a partir dessa tradução, torna possível a tarefa de composição automática de *web* services. Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso focaliza o estudo e desenvolvimento de uma ferramenta para a tradução do domínio de linguagem WSML das definições ontológicas provindas de descrições oferecidas por *web* services que suportam WSMO para a linguagem de planejador de inteligência artificial conhecida por PDDL.

Palavras chaves: Linguagem de domínio PDDL para planejadores em inteligência artificial, *webservices* semânticos WSMO transcritos em WSML, tradutores de domínios de *web services* semânticos, composição de *web services* a partir da aplicação de inteligência artificial, tradução de ontologias em modelos de planejamento em inteligência artificial.

Lista de Figuras

Sumário

1 Introdução

Em meio à globalização e a demasiada necessidade de sinergia perante diferentes organizações, os serviços *web*, conhecidos também por *webservices*, estão sendo cada vez mais utilizados a fim de suprir a demanda de troca de informações perante pontos geograficamente distribuídos. Essa integração, no entanto, ao passo em que é realizada e mais e mais *webservices* são construído leva, em algumas ocasiões, a reimplementação de sistemas já publicados e, portanto, em desperdício de tempo e de dinheiro.

A reimplementação de *webservices* é uma tarefa muito onerosa. Traduz-se no investimento em criação de algo já pronto e passível de interação. Nesse sentido, a capacidade de busca, composição e reutilização de serviços *web* já disponíveis é capaz de elevar a vantagem concorrencial de uma empresa que detém esse *know-how* perante outra que não o possui ao modo em que torna possível o enfoque sempre em novas funcionalidades nunca oferecidas por outra.

A reutilização de serviços *web* já disponíveis, por outro lado, não é uma tarefa simples e pode tornar-se extremamente cara. O dinamismo e o nascimento ininterrupto de novos serviços sem descrição na internet fazem com que uma busca manual de um serviço que atenda uma determinada demanda especifica possa ser praticamente impossível senão pela aplicação de agentes de software e da *web* semântica.

A *web* semântica é um modelo que agrega significado aos serviços disponibilizados na internet. Esse modelo, ao ser utilizado no *webservices*, permite a interpretação de sistemas por meio agentes de software que, ao seu modo, podem ser transcritos em uma linguagem de planejamento que permitem a aplicação de inteligência artificial (IA). Valendo-se desse contexto, os pesquisadores Digiampietri, Pérez-Alcázar e Medeiros (2007) arquitetaram um mecanismo, conforme ilustrado na figura 1, capaz de aplicar técnicas de IA em *webservices* semânticos para tornar possível a composição automática de serviços *web*.

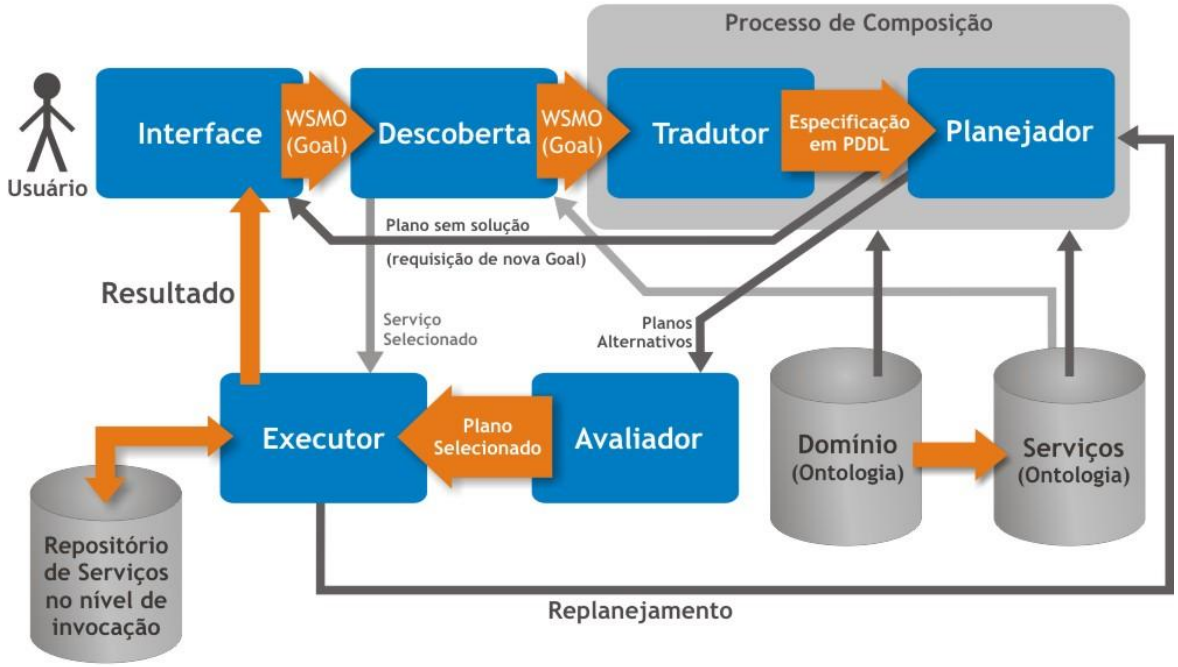


Figura 1 - Arquitetura do sistema de composição de serviços *web* (PÉREZ-ALCÁZAR, 2007)

A arquitetura do sistema de composição de serviços *web* compreende cinco módulos. A "Interface" é responsável por receber requisições de linguagem WSML que descrevem *webservices* semânticos do tipo WSMO e enviá-las ao tradutor na forma de metas. A "Descoberta" encontra um serviço publicado adequado a uma meta dentro do repositório de serviços. O "Tradutor" é capaz de mapear uma requisição de domínio WSML em um domínio de planejamento do tipo PDDL. O "Planejador" gera uma política ou plano de solução a partir de uma solicitação PDDL e o "Executor" que dado um plano de solução, realiza um mapeamento em serviço WSML equivalente.

Neste trabalho, será realizado o estudo e desenvolvimento do módulo "Tradutor" que, de acordo com Pérez-Alcázar (2007), apresenta duas funcionalidades fundamentais. A tradução o de domínios e metas WSML em especificação de problema PDDL e alimentação do repositório de ontologias de domínio e o repositório de ontologias de serviços como mostrado na figura 2.

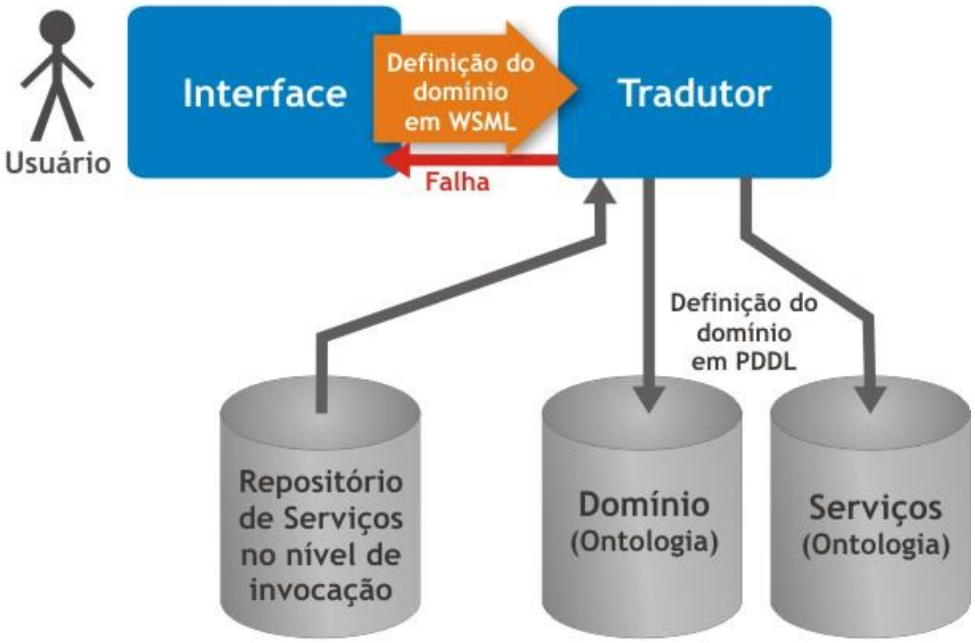


Figura 2 - Diagrama do processo de criação do sistema estocástico (PÉREZ-ALCÁZAR, 2007)

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu na pesquisa e elaboração de um arcabouço capaz de tornar viável a tradução metas e ontologias especificadas em WSML para a linguagem de planejamento PDDL no contexto de um sistema de composição automática de serviços *web*.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- A aplicação de compiladores para tradução de linguagens;
- O desenvolvimento de um analisador léxico WSML;
- O desenvolvimento de um analisador sintático WSML;
- O desenvolvimento de um analisador semântico WSML;
- O desenvolvimento de um sistema tradutor de linguagem WSML para linguagem PDDL;

3 Revisão Bibliográfica

3.1 *Web* Semântica

O significado dos dados no atual contexto dos recursos de informação é muitas vezes ausente e demanda uma programação complexa ou um usuário para suprimi-lo (HEBELER et al., 2009). Nesse cenário, o estabelecimento de contextos ou significados aderentes a uma gramática ou às construções de determinada linguagem, poderia tornar eficiente o uso de dados subjacentes, tornando possível a descrição e a correlação da *web* de dados (HEBELER et al., 2009).

A semântica permite com que um símbolo tenha um significado a partir de relacionamentos (HEBELER et al., 2009). Ao passo em que existindo significados e relações bem definidos é fácil para o leitor humano interpretá-los, para que a máquina chegue numa mesma conclusão partindo de raciocínio lógico é necessária a codificação do entendimento humano para linguagem de máquina, afinal a máquina não ganha entendimento real (FENSEL et al., 2007). Essa codificação do entendimento humano sobre dados a fim de permitir a interpretação através de agentes de *software* é o âmago da *web* semântica.

A *web* semântica foi o termo escolhido por Tim Berners-Lee[1] (FENSEL et al., 2007) para detalhar a geração em que os computadores seriam providos de inteligência de leitura originada através de vocabulários interligados usados pelos autores da *web* para definir explicitamente as palavras e conceitos deles. Isso permitiria a agentes de software realizar inferências inteligentes que vão além de simples analise lingüística providas pelas atuais máquinas de pesquisa (ALESSO; SMITH, 2005).

As ligações entre recursos de informação e terminologias formais são expressas por anotações chamadas ontologias (FENSEL et al., 2007). Elas permitem as máquinas compreenderem a informação através das ligações entre os recursos da informação e os

[1] BERNERS-LEE, T.; FISCHETTI, M. **Weaving the Web**: The past, present and future of the World Wide *Web* by its inventor, 1999, 272p.

termos da ontologia o que facilita a interoperabilidade pois são uma especificação formal explicita de uma conceituação compartilhada. (FENSEL et al., 2007).

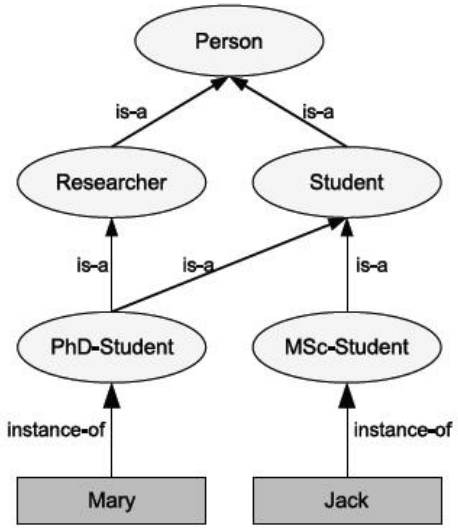


Figura 3 – Exemplo de um relacionamento de dados (FENSEL et al., 2007)

3.1.1 *Web Services* Semânticos

Um *webservice* é uma aplicação de negócio aberta, orientada a internet, modular e baseada em interfaces padrões que pode ser identificada por um URI na qual suas interfaces e ligações são capazes de serem definas, descritas e descobertas como artefatos XML (ALONSO et al., 2004). São sistemas que permitem a existência e criação de *softwares* clientes que se ligam e interagem em aplicações mais complexas e distribuídas (ALONSO et al., 2004). Já os *webservices* semânticos são o próximo estágio dos atuais *web services* (FENSEL et al., 2007) e constituem-se na aplicação da *web* semântica sobre os serviços *web* com foco na automatização de todos os estágios da vida destes (ALONSO et al., 2004).

A automatização de todos os estágios da vida um serviço *web* se dá a partir da padronização da representação e manipulação da metadata semântica usada para descrever a eles e a todos os aspectos usados neles (ALONSO et al., 2004). Essa padronização é importante porque permite o desenvolvimento de ferramentas que automatizam o uso de serviços *web* especialmente na descoberta de *web services* semanticamente equivalente, ou

seja, a padronização permite ir além da busca de *webservices* que suportam uma interface ou um protocolo conhecido (ALONSO et al., 2004).

Segundo Alonso et al. (2004), existem muitos trabalhos evoluindo no sentido de automatizar o uso de serviços *web* semânticos e que giram em torno de especificações como a RDF *and* RDF *Schema*, a DAML_OIL, a OWL, a DAML-S e mais recentemente o WSMO.

3.1.2 O Modelo conceitual WSMO

De acordo com Fensel, Kerrigan e Zaremba (2007), o *Web Service Modeling Ontology* (WSMO) é um modelo conceitual que descreve todos os aspectos relacionados a serviços *web* semânticos e que torna possível a integração entre estes. É uma meta-ontologia criada para descrever todos os aspectos de *web* services semânticos (KASHYAP; BUSSLER; MORAN, 2008) e que consiste de quatro elementos bases: *web services*, objetivos (*goal*), ontologias (*ontology*) e mediadores (*mediator*) conforme a figura 4 ilustra.

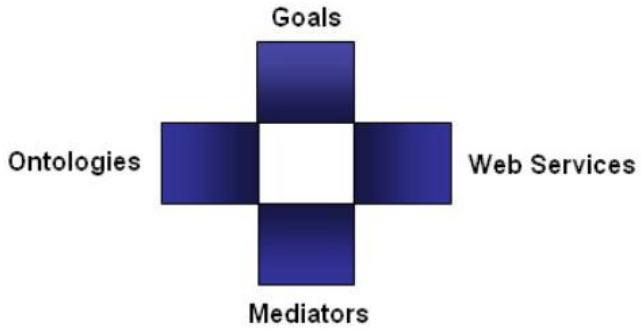


Figura 4 – Elementos base de um WSMO (FENSEL et al., 2011)

De acordo com Fensel et at. (2011), o sucesso de um serviço *web* semântico é proveniente da existência de ontologias e portanto não é de se impressionar que ela seja descrita como um dos quatro elementos base do modelo WSMO, afinal, é dela a responsabilidade de conectar as descrições de todos os elementos do modelo a partir da agregação de significado. Elas são geralmente compostas de anotações simples, ontologias importadas de outras ontologias, mediadores responsáveis por mediar diferenças ontológicas, conceitos que representam a ligação entre terminologia e domínios, relações e funções que determinam a conexão entre

conceitos, instâncias que permitem herança e por fim axiomas que provêem um mecanismo de se adicionar expressões lógicas arbitrárias a ontologia conforme representa a figura 5.

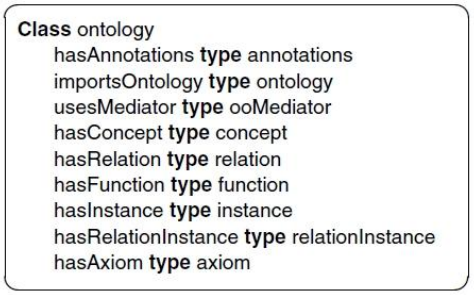


Figura 5 – Definição de ontologia (FENSEL et al., 2011)

As entidades computacionais que provêem alguma funcionalidade que possuem um valor associado em um determinado domínio são chamadas de *webservices* (FENSEL et al., 2011). Dele são extraídos todos os dados referentes em torno de capacidades e interfaces de comunicação. Eles são compostos de propriedades não funcionais que agem como anotações simples, capacidades que, compostas de vários axiomas, descrevem precondições, resultados e efeitos de um serviço web e por fim as interfaces que representam a forma com que uma capacidade pode ser atingida.

Os desejos ou objetivos do usuário são outro importante alicerce do modelo WSMO especificado pelos *Goals* (FENSEL et al., 2011). Ela descreve os aspectos relacionados aos desejos do usuário com respeito à funcionalidade e comportamentos requeridos de um serviço usando ontologias como especificação formal. Nas palavras de Fensel, Kerrigan e Zaremba (2007), o *goal* modela a visão do usuário com relação ao uso de um serviço *web*.

A interoperabilidade no nível de dados, processos ou protocolos de serviços ou ontologias é uma das questões centrais do modelo que contempla os *goals* e *ontologies.* Conforme afirma Bruijn (2008), a interoperabilidade é um importante obstáculo a ser superado para permitir larga abrangência entre serviços semânticos. Nesse contexto, a especificação detalhada de como a interação entre objetos acontece é justamente o papel do elemento base chamado mediador (ou *mediator*) que assim como todos os outros elementos do modelo WSMO possuem anotações e podem importar ontologias.

3.1.3 A linguagem WSML

O *Web Service Modeling Language* (WSML) é uma linguagem formal concreta para a descrição de ontologias e *web services* semânticos que levam em consideração todos os aspectos de descrição de *web* services identificados pelo WSMO (BRUIJN et al., 2008). É uma linguagem que por ser voltada a *internet* adota padrões especificados pela W3C como o XML, o RDF e IRI que identifica objetos e recursos (FENSEL et al., 2011).

O WSML reconhece duas camadas ou paradigmas importantes: lógicas de descrição e lógicas baseadas em regra de linguagem (BRUIJN et al., 2008). Essa característica possibilita ao usuário escolher entre qual paradigma usar através de diferentes variantes (WSML-Core, WSML-DL, WSML-Flight, WSML-Full) que diferem em expressividade lógica e complexidade assim como mostrado na figura 6.

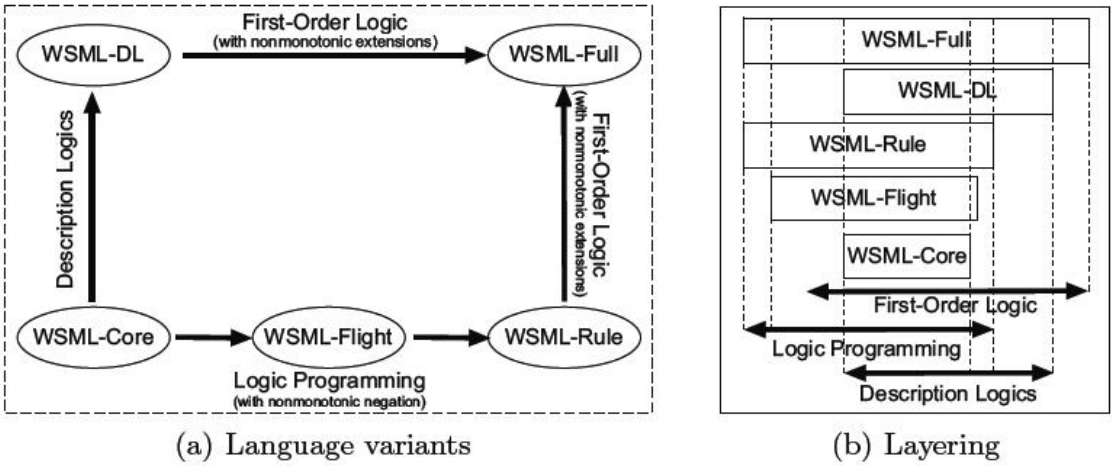


Figura 6 – Variantes e camadas da linguagem WSML (FENSEL et al., 2007)

Entre as variantes de uma linguagem WSML, é o WSML-Core o menos expressivo. Ele possui conceitos, atributos, instâncias, relações binárias, relações hierárquicas e suporte a tipos. O WSML-DL tem uma relação com outra linguagem para *webservices* semânticos, o OWL. Por sua vez, o WSML-Flight é uma extensão do WML-Core que acrescenta recursos como metamodelo, restrições e negação não monotônica. Já o WSML-Rule é uma extensão do WSML-Flight com ainda mais recursos. Finalmente, o WSML-Full é a linguagem que unifica os três modelos citados anteriormente.

3.2 O problema do planejamento

Ao passo em que o planejamento é definido para Russel e Norvig (2004) como a tarefa de apresentar uma sequência de ações que alcançarão um objetivo conhecido, para Ghallab, Nau e Traverso (2004) é um processo que escolhe e organiza ações, antecipa resultados e procura atingir-los da melhor forma possível. Ainda para Ghallab, Nau e Traverso (2004) pode também ser considerado uma área da IA que estuda esse problema computacionalmente.

Conforme Ghallab, Nau e Traverso (2004), muitas de nossas ações cotidianas não requerem planejamento e isso decorre do fato de que quando o propósito da ação é imediato ou quando reproduzimos comportamentos bem treinados ou quando o curso da ação pode ser livremente adaptado conforme a ação acontece, então geralmente agimos e adaptamos sem explicitamente planejar-las. Por outro lado, quando uma ação demanda um planejamento, ela é geralmente restrita a um ambiente crítico e envolve alto risco ou alto custo. Acontece que o processo de planejar pode ser uma tarefa complicada que demanda tempo e dinheiro e nesse sentido pode não ser passível de aplicação constante.

A fim de permitir o acesso aos recursos de planejamento acessíveis e, principalmente, pagáveis é que surgem ferramentas de processamento de informação visando à automação do planejamento (GHALLAB; NAU; TRAVERSO, 2004). Assim surgiram representações de ações como a linguagem STRIPS, a *Action Description Language* (ADL) que relaxa algumas das restrições da linguagem STRIPS tornado possível codificar problemas mais realistas e por fim a PDDL que por sua vez é desde 1998 a linguagem padrão para competidores na conferência AIPS (*Artificial Intelligence Planning Systems*) porque é uma sintaxe padronizada e analisável por computador para representar STRIPS, ADL e outras linguagens (RUSSEL; NORVIG, 2004).

3.2.1 A linguagem PDDL

Originalmente desenvolvida pelo comitê da competição do AIPS-98 para ser usada na definição de problemas de planejamento (GHALLAB et al., 1998), a linguagem PDDL (*Planning Domain Definition Language*) é hoje a codificação padrão para tarefas de planejamento clássico (RUSSEL; NORVIG, 2004). Isso significa que ela pode atuar sobre

ambiente completamente observável, determinístico, finito, estático (quando uma mudança só ocorre face à ação de um agente) e discreto, ou seja, com a existência de tempo, ação, objetos e efeitos.

A descrição de um problema de planejamento a partir da linguagem PDDL acontece a partir de duas entradas ilustradas conforme a figura 7: a definição do domínio e a definição do problema. Esses recursos respeitam a neutralidade característica da linguagem que permite a ela não adaptar-se melhor a algum planejador em particular o que torna possível a realização de comparações justas entre diferentes planejadores. Em outras palavras, ela expressa à física de um domínio definindo predicados, ações, estrutura que compõem as ações e os efeitos delas (GHALLAB et al., 1998) tornando viável aos planejadores encontrar um determinado objetivo sem a necessidade da existência de dicas de como fazê-lo, algo muito comum na maioria dos planejadores da época.

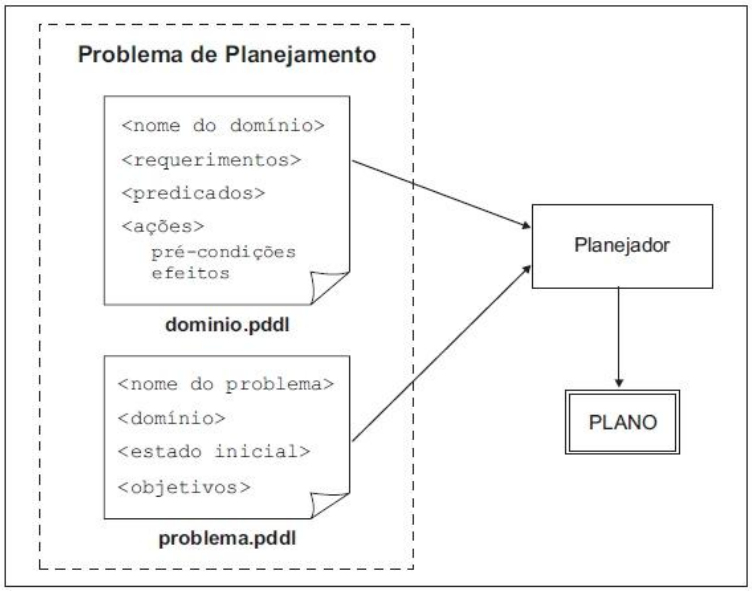


Figura 7 – Estrutura de um problema de planejamento PDDL (BENACCHIO, 2008)

Um domínio em linguagem PDDL é composto de requerimentos (*requirements*), tipos (*types*), constantes (*constants*) e predicados (*predicates*) conforme se observa diante da figura 8. Os requerimentos são os subconjuntos de funcionalidades que um domínio demanda de suporte por parte dos planejadores. A importância dos requerimentos são, de acordo com Ghallab et al. (1998), uma forma de permitir com que um planejador descarte rapidamente um domínio que ele não seja capaz de atender.

```
(define (domain briefcase-world)
  (:requirements :strips :equality :typing :conditional-effects)
  (:types location physob)
  (:constants (B - physob))
  (:predicates (at ?x - physob ?l - location)
               (in ?x ?y - physob))
  ...
```

Figura 8 – Exemplo de um domínio PDDL (GHALLAB et al., 1998)

Um domínio em linguagem PDDL é também composto de ações (*action*) que respeitam parâmetros, pré-condições e efeitos. Tomando como base a representação ilustrada na figura 9, observa-se a descrição da ação de movimentar um objeto de uma localização (?m) até outra (?l) e entende-se também que a posição final não pode ser a posição inicial ainda que o efeito dela é posicionar um objeto em uma nova posição.

```
(:action mov-b
   :parameters (?m ?l - location)
   :precondition (and (at B ?m) (not (= ?m ?l)))
   :effect (and (at b ?l) (not (at B ?m))
                (forall (?z)
                     (when (and (in ?z) (not (= ?z B)))
                           (and (at ?z ?l) (not (at ?z ?m)))))) )
```

Figura 9 - Exemplo de ação de domínio (GHALLAB et al., 1998)

A definição do objetivo a ser atingido por um planejador é descrito no contexto da linguagem PDDL através do recurso problema (Figrua 10). O problema é a definição, baseada de acordo com um domínio, do que o planejador deve resolver. Nele há a especificação, dada por condições verdadeiras estabelecidas na seção "*init*", de como se encontra o ambiente e o objetivo do qual se espera alcançar (na seção "*goal*").

```
(define (problem get-paid)
    (:domain briefcase-world)
    (:init (place home) (place office)
           (object p) (object d) (object b)
           (at B home) (at P home) (at D home) (in P))
    (:goal (and (at B office) (at D office) (at P home))))
```

Figura 10 – Exemplo de um problema PDDL (GHALLAB et al. 1998)

3.3 Compiladores

Os sistemas de computador que são capazes de traduzir um programa escrito em uma linguagem-fonte para uma linguagem-alvo equivalente são chamados de compiladores (AHO et al., 2007; COOPER; TORCZON, 2004; LOUDEN, 2004). Esses sistemas são programas

geralmente complexos e grandes, chegando a somar uma quantidade significativa de linhas de código (COOPER; TORCZON, 2004; LOUDEN, 2004). Isso torna a tarefa de escrever um sistema com tais características algo não trivial e, por isso, a maioria dos cientistas e profissionais de computação jamais escreverão um compilador completo (LOUDEN, 2004).

Figura 11 – Esquema do processo de compilação (LOUDEN, 2004)

A construção de um compilador é um trabalho que pode ser dividido levando em consideração as diferentes fases, conforme se observa com a figura 12, que demandam esse tipo de programa entre elas a análise léxica, a analise sintática, a análise semântica, geração de código e, por fim, a otimização do código gerado (AHO et al., 2007). A análise léxica, também conhecida por sistema de varredura, acontece conforme a sequência de caracteres do programa fonte é lida. Durante a varredura, as sequências de caracteres são organizadas como unidades significativas denominadas *tokens* que são como uma linguagem natural como, por exemplo, no inglês (LOUDEN, 2004). O analisador sintático é o ciclo, geralmente representado como uma árvore sintática, que recebe do sistema de varredura o código fonte na forma de *tokens* e determina a estrutura do programa determinando os elementos estruturais e os relacionamentos entre eles (LOUDEN, 2004). O analisador semântico verifica o significado do código-fonte contrastando com a sintaxe dele (AHO et al., 2007). O otimizador de código fonte é o processo de melhoria do código fonte. O módulo gerador de código é o responsável por gerar a partir do código fonte já melhorado o código alvo e por fim o otimizador do código alvo tenta melhorar o código alvo gerado (AHO et al., 2007).

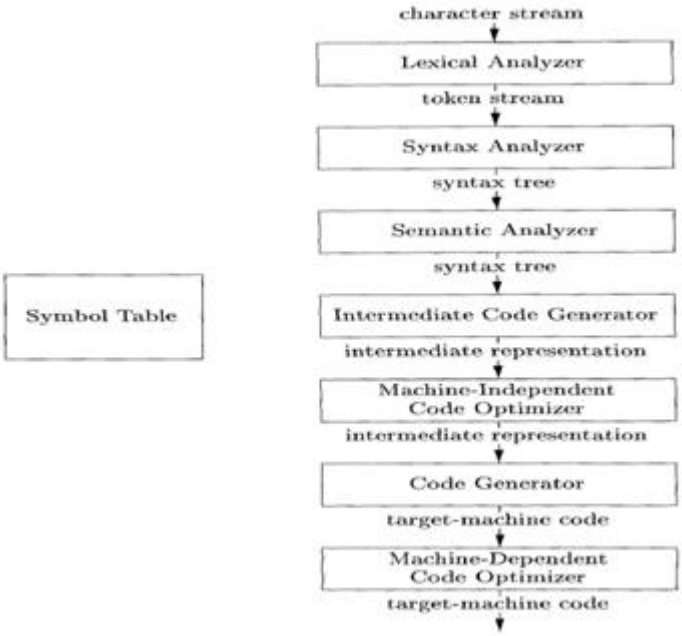


Figura 12 – Fases da compilação (AHO et al., 2007)

A crescente necessidade do desenvolvimento de compiladores incentivou a pesquisa na automatização de algumas das fases da compilação (SAFONOV, 2010). O estudo dos autômatos finitos auxiliou na criação de geradores de sistemas de varredura dos quais o LEX[2] é o mais conhecido (LOUDEN, 2004). O estudo de programas que automatizam apenas a fase da análise sintática, chamados de geradores de analisadores sintáticos, contempla o YACC (*Yet Another Compiler Compiler*) como ferramenta mais conhecida (LOUDEN, 2004). Em geral as pesquisas tinham como objetivo comum o desenvolvimento de um compilador de compiladores.

Um compilador de compiladores é uma ferramenta que usa uma definição formal de sintaxe e semântica de uma linguagem e gera um compilador pronto para uso daquela linguagem (SAFONOV, 2010). O modelo teórico de compilador de compiladores é baseado no formalismo inventado por Knuth chamado de gramática atribuída. Nele combina-se uma definição formal de uma sintaxe de uma linguagem de programação com semântica, ou seja, ações com significados atribuídas a cada regra de sintaxe para avaliar as propriedades semânticas ligadas cada símbolo participando da regra sintática (SAFONOV, 2010). Algumas

[2] LABORATORIES, A.; LESK, M. **LEX**: A Lexical Analyzer Generator, 1975, 35 p.

ferramentas que suportam essa característica são o JavaCC, o CoCo/Re SableCC e o ANTLR (SAFONOV, 2010).

3.3.1 O compilador de compiladores ANTLR

O Antlr é um conjunto de ferramentas amplamente utilizado na indústria voltado para o desenvolvimento de compiladores modernos que contem geradores léxicos e sintáticos (SAFONOV, 2010). É considerado ótimo para a automatização da construção dos mais simples aos mais complicados problemas de reconhecimento e tradução (PARR, 2007) e algumas das aplicações que fazem o uso dele constituem: o desenvolvimento em escala mundial do ambiente de desenvolvimento NetBeans e da ferramenta de persistência em banco de dados Hibernate (SAFONOV, 2010).

O compilador de compiladores ANTLR é versátil com relação à geração de código fonte. Ele é capaz de gerar código em linguagens largamente adotadas como são o Java, o C#, o Action Script e o Java Script (SAFONOV, 2010). Além do mais, é uma ferramenta orientada a objeto e portanto, todo o código gerado através dela é também um código orientado a objetos (SAFONOV, 2010).

A especificação da análise léxica e sintática no Antlr se dá a partir da gramática, um arquivo de entrada de extensão *grammar* (.g). A gramática contém a descrição de uma linguagem formal e permite ao compilador de compiladores a capacidade de gerar um programa que determina sentenças que obedeçam àquela linguagem sendo que na medida em que são adicionados trechos de códigos a essa gramática inicial, o reconhecedor se torna um tradutor (PARR, 2007).

Segundo Parr (2007), o tradutor do Antlr é um programa capaz de mapear cada sentença de entrada da linguagem em uma sentença de saída incorporando a propriedade de realizar diferentes ações para múltiplas sentenças. Essa característica é atingida operando-se sobre a cadeia de palavras que entram (análise léxica), realizando o *parsing* (análise sintática) sobre a cadeia de símbolos vocabulários, chamados *tokens*, emanados do analisador léxico e, por fim, criando ações sobre a gramática a partir da introdução de trechos de códigos únicos para os vários fragmentos da sentença conforme a (PARR, 2007) conforme a figura 13.

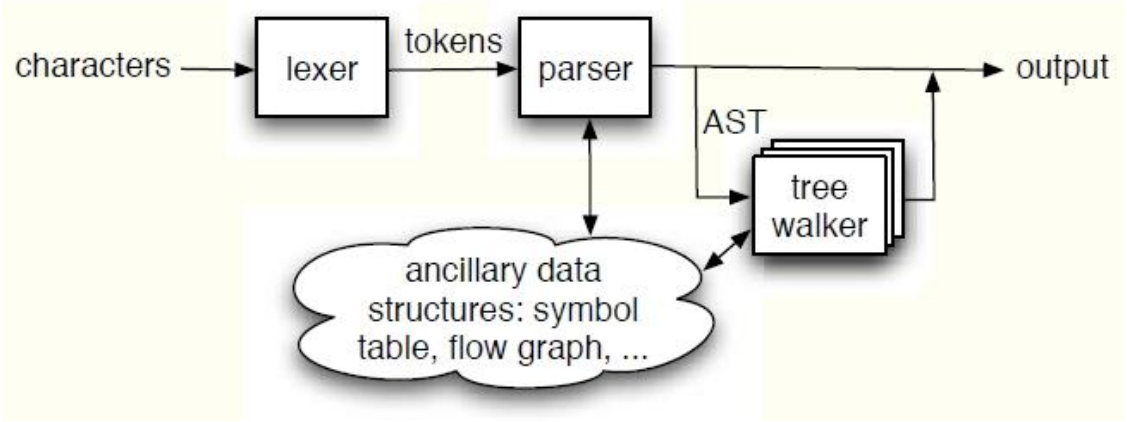


Figura 13 – Fluxo de dados de uma tradução com ANTLR (PARR, 2007)

O processo de reconhecimento do fluxo de dados no Antlr é otimizado conforme ilustra a figura 14. Conforme acontece a análise léxica, um objeto do tipo *Charstream* é alimentado com caracteres até que todos os caracteres sejam armazenados em memória. Nesse momento, os símbolos, ou *tokens*, pré-definidos vão apontando os caracteres do fluxo armazenado ao invés de criar novos objetos. De forma similar, as árvores sintáticas abstratas, ou *abstract syntax tree* (AST), vão sendo criadas apontando tokens. O *CommonTree* é um exemplo de objeto que armazena a posição de um símbolo na memória.

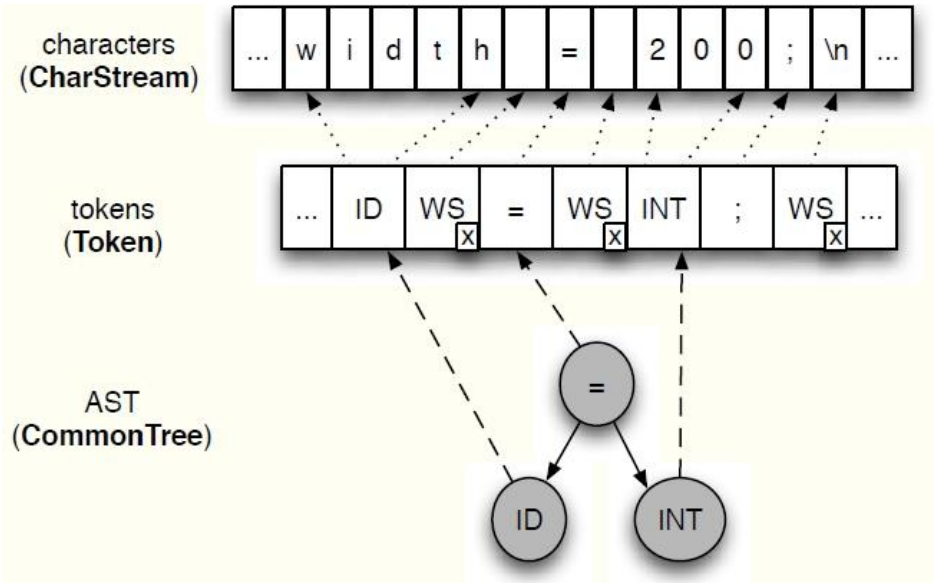


Figura 14 – Reconhecimento do fluxo de dados de entrada (PARR, 2007)

O relacionamento elucidado na imagem anterior ainda ilustra símbolos marcados que representam um mecanismo elegante do Antlr, os canais de *tokens*. Os canais de *tokens* são uma forma de ignorar e ao mesmo tempo não se desfazer de espaços em brancos ou comentários. Como o analisador sintático sintoniza apenas um canal ignorando os outros, aqueles símbolos marcados acabam armazenados em um canal escondido (*Hidden Channel*). No entanto, a ordem relativa dos caracteres de entrada são armazenados independentemente de canais existentes.

3.4 Padrões de projeto

Os padrões de projeto, ou *design patterns*, são técnicas consideradas boas práticas de programação que auxiliam na resolução de problemas de arquitetura do paradigma de orientação a objetos. A aplicação desses padrões em projetos estimula a acessibilidade e entendimento de novos desenvolvedores sobre eles tornado-o mais fácil de reutilizar projetos e arquiteturas bem sucedidas uma vez que são expressões de técnicas testadas e aprovadas (GAMMA et al., 2004). Os padrões de projeto ainda podem melhorar a documentação e manutenção de sistemas ao fornecer uma especificação explicita de interações de classes e objetos e o seu objetivo subjacente.

Um padrão de projeto descreve um problema no nosso ambiente e o cerne de sua solução (GAMMA et al., 2004). Ele nomeia, abstrai e identifica aspectos-chaves de uma estrutura de projeto comum para torná-la útil para criação de um projeto orientado a objetos reutilizável. É normalmente composto de nome, problema, solução e conseqüências de maneira a descrever em que situação pode ser aplicada, se ele pode ser aplicado em função de outras restrições de projeto e as conseqüências, custos e benefícios de sua utilização.

3.4.1 O padrão *Interpreter*

O padrão de projetos *Interpreter* é uma técnica bastante utilizada quando se há uma linguagem para interpretar e é possível representar sentenças dela como árvores sintáticas abstratas (GAMMA et al., 2004). Não por outro motivo, são amplamente utilizados em

linguagens orientadas a objetos, como são os compiladores Smalltalk (GAMMA et al., 2004). Isso decorre, pois nele, dada uma linguagem, é possível definir uma representação para a sua gramática juntamente com um interpretador que usa a representação para interpretar sentenças daquela linguagem.

A forma de definição de uma gramática para linguagens simples, representação na linguagem e interpretação dessas sentenças é descrita no *pattern Interpreter* e pode ser interpretada a partir da arquitetura dele mostrada na figura 15. As regras da gramática são representadas por classes o que torna possível usar herança para mudar ou estender-las. As classes definem os nós na árvore sintática abstrata e tem construções similares. Juntas, as características do padrão *Interpreter* facilitam o desenvolvimento permitindo a modificação incremental e a inclusão de novas expressões que podem ser definidas a partir de variações de velhas expressões.

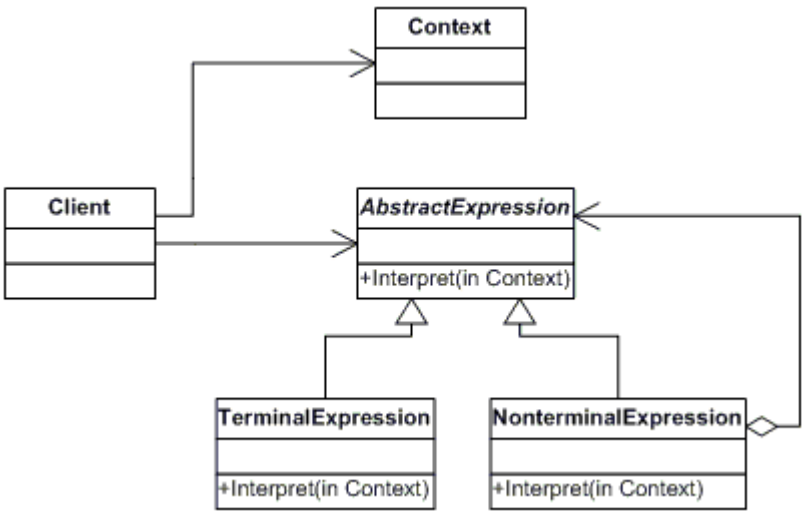


Figura 15 – Arquitetura do padrão de projeto *Interpreter* (GAMMA et al., 2004)

4 Metodologia

O desenvolvimento do compilador responsável pela tradução da linguagem WSML para PDDL foi elaborado respeitando, como observado na figura 16, quatro fases principais. Os ciclos observados para o projeto foram: a definição do escopo, a definição das ferramentas para o desenvolvimento do sistema, o desenvolvimento do sistema propriamente dito e a validação do resultado.

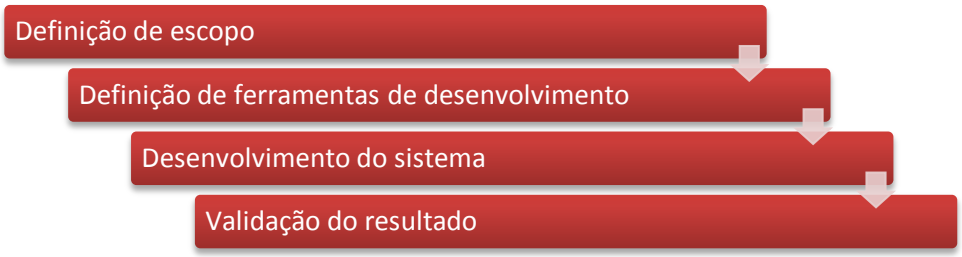


Figura 16 – Fases da elaboração do sistema de tradução

A definição do escopo constituiu o ciclo no qual foram decididas a abrangência da tradução da linguagem WSML e os recursos a serem traduzidos levando em consideração o contexto do sistema de composição automática de webservices do projeto descrito por Pérez-Alcázar (2008). Nesse momento, em face da complexidade da construção de um compilador e do tempo limitante para conclusão desta monografia, o escopo do sistema foi restringido à tradução das ontologias e *goals* descritos em WSML. Os modelos de ontologias e objetivos do usuário, respectivamente o anexo A e o anexo B deste trabalho, foram escolhidos por serem exemplos propostos por Fensel (2011) e que não contemplam o uso de mediadores ou múltiplas extensões de ontologias que é justamente o interesse deste trabalho.

A fase de definição de ferramentas de desenvolvimento foi responsável pela escolha dos instrumentos para a elaboração do sistema de forma a estimular a continuação do projeto por outros indivíduos interessados. Nesse sentido, optou-se pela utilização do Java por ser uma linguagem de programação amplamente conhecida e de fácil acesso, a adoção do Eclipse como ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) em virtude da existência de uma extensão que facilita a manipulação do compilador de compiladores Antlr, o ANTLR IDE e o Antlr como compilador de compiladores devido à existência de documentação, a capacidade de abranger várias fases de um compilador e facilidade de geração de códigos orientados a objetos alem da adaptabilidade a linguagem Java. Ainda nesse contexto, conforme os códigos

fontes foram desenvolvidos, eles tiveram a versão controlada a partir do uso do gerenciador de versões GIT e disponibilizados para visualização ou participação colaborativa através do portal Github[3].

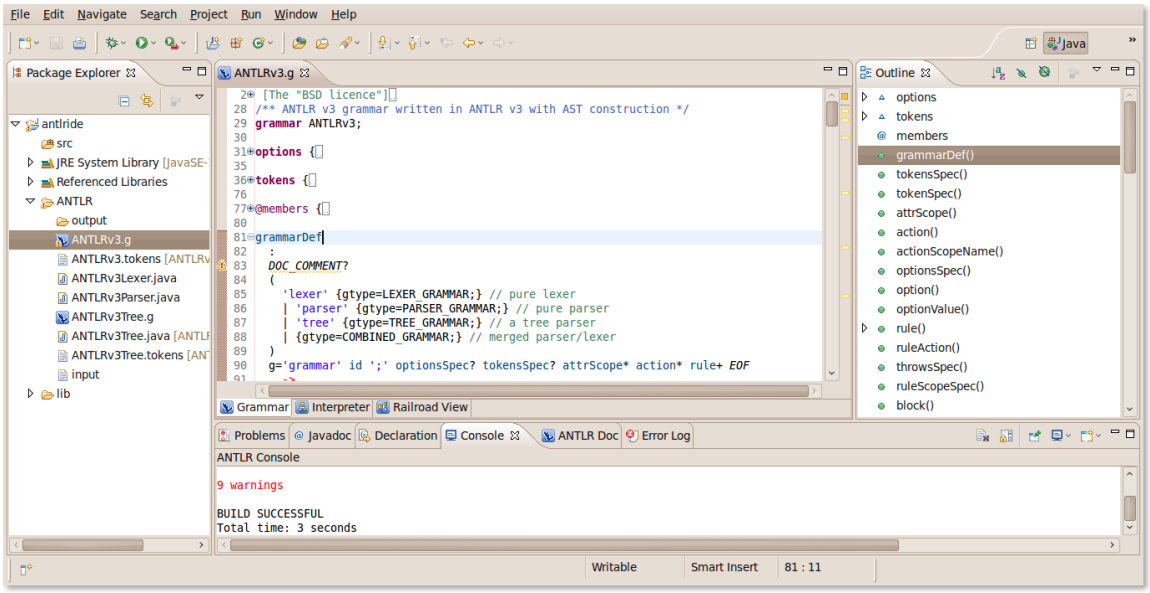


Figura 17 – Integração do Eclipse com o Antlr IDE (ANTLR IDE)

O desenvolvimento do programa capaz de traduzir as linguagens previamente definidas no escopo do projeto foi baseado no modelo de sistema apresentado na figura 18. Nesse momento, foram construídas as gramáticas de análise léxica e análise sintática do WSML para a interpretação do Antlr e conseqüente geração de analisadores léxicos e sintáticos. Ao passo em que os analisadores léxicos e semânticos foram construídos, foi possível desenvolver a gramática que agrega a informação de como realizar a tradução da linguagem de entrada na linguagem alvo. Nesta última linguagem, fez-se o uso do padrão de projetos *Interpreter* para lidar com as diferentes regras da gramática do WSML e a forma pela qual elas deveriam ser traduzidas.

[3] Acessível em: https://github.com/fpierin/wsml2pddl/

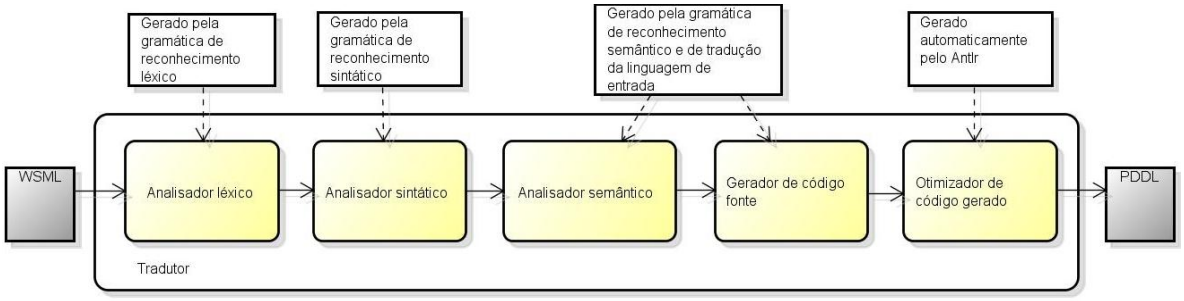


Figura 18 – Modelo do sistema de tradução de linguagens

Após a conclusão do desenvolvimento do sistema, a linguagem obtida da tradução dos exemplos WSML propostos foi validada a partir do reconhecimento do Antlr sobre a gramática PDDL, desenvolvida com base na sintaxe de PDDL proposta por Ghallab et al. (2008), do apêndice E deste trabalho.

5 Resultados

O desenvolvimento do sistema de tradução de ontologias e objetivos resultou na criação de um compilador com capacidade de análise léxica, sintática e semântica além de geração de código em linguagem PDDL. A capacidade de análise léxica foi atingida a partir da interpretação do Antlr sobre a gramática, do apêndice A, desenvolvida no decorrer deste trabalho e pode ser observada na figura 19 conforme a interpretação gráfica do Antrl IDE destacando as palavras chaves.

Figura 19 - Interpretação do Antlr IDE sobre a gramática com definição de análise léxica de uma ontologia e de um *goal*

A capacidade de análise sintática, assim como a da análise léxica, foi atingida em virtude da interpretação do Antlr sobre a gramática de reconhecimento do WSML do apêndice A deste trabalho. Essa capacidade pode ser demonstrada a partir da interpretação gráfica do Antlr IDE sobre os exemplos de WSML propostos gerando uma árvore sintática conforme mostra a figura abaixo. Ás árvores sintáticas completas geradas pela interpretação da ontologia e pela interpretação do *goal* são respectivamente os apêndices C e D deste trabalho.

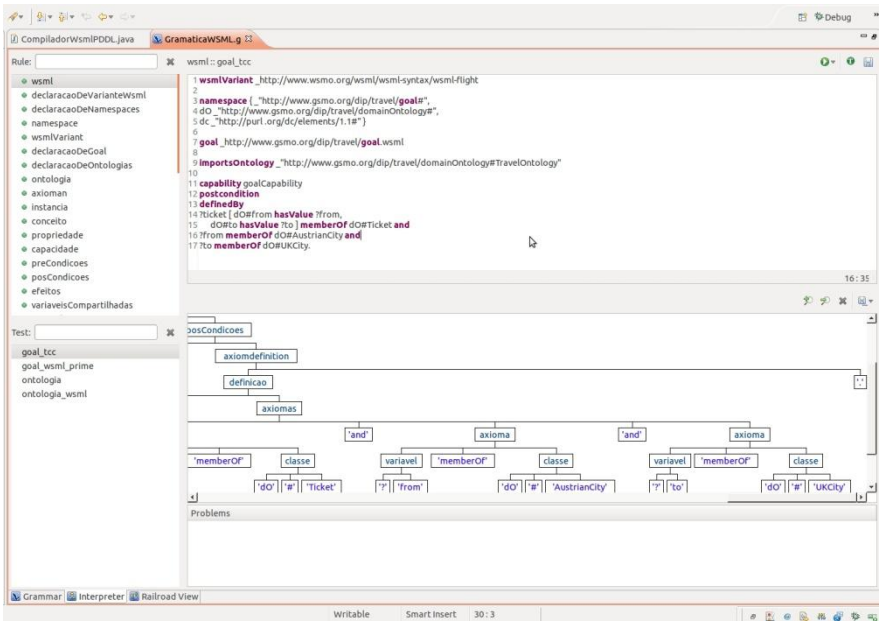


Figura 20 – Árvore sintática produzida pela interpretação do Antlr sobre o *goal*

O processo de tradução do WSML para um PDDL provocou a criação da gramática exposta no apêndice B deste trabalho. É dela a responsabilidade de interpretação do WSML e a conseqüente tradução em linguagem PDDL. O resultado da tradução ocasionada por essa gramática interpretada pelo ANTLR gerou a tradução de uma ontologia para um domínio PDDL como mostra a figura 22 e a tradução para um objetivo para um problema conforme mostra a figura 21.

```
Console  Package Explorer
<terminated> Exemplo [Java Application] /usr/lib/jvm/java-6-openjdk/bin/java (28/10/2011 00:00:17)


Realizando tradução de um goal WSML para um problema PDDL


(define (problem http://www.gsmo.org/dip/travel/goal.wsml)
    (:requirements :adl :typing)
    (:domain http://www.gsmo.org/dip/travel/domainOntology#TravelOntology)
    (:init (clear))
    (:goal (and (exists (?ticket Ticket)
(and (from ?ticket AustrianCity)
     (to ?ticket UKCity)))
     (and (exists (?austriancity AustrianCity))
          (exists (?ukcity UKCity)))))
)
```

Figura 21 – Tradução de um objetivo WSML para um problema PDDL

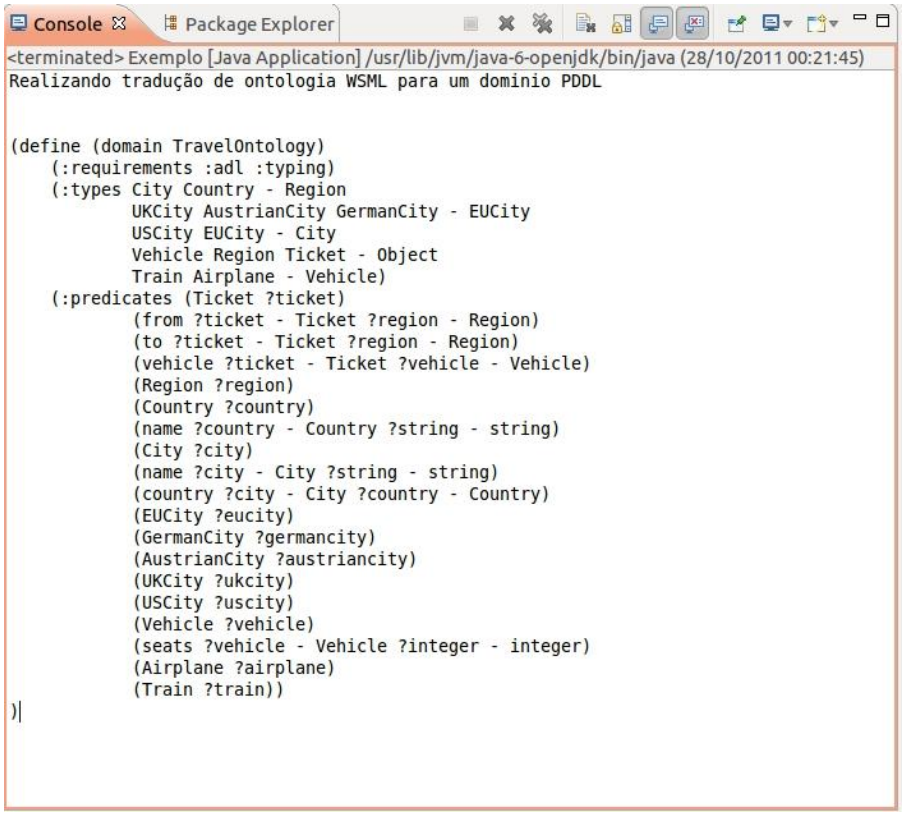


Figura 22 – Tradução de uma ontologia WSML para um domínio PDDL

O resultado da tradução passou então por uma análise que determinou a validade do documento PDDL obtido. Esse processo consistiu no reconhecimento do resultado pela gramática do PDDL no Antlr IDE assim como indicam as figuras 23 e 24.

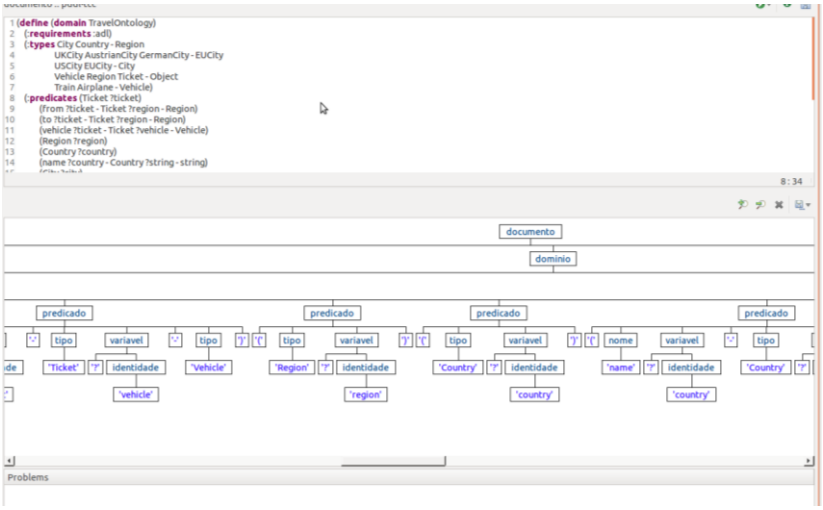


Figura 23 – Reconhecimento do Antlr sobre o PDDL gerado para uma ontologia

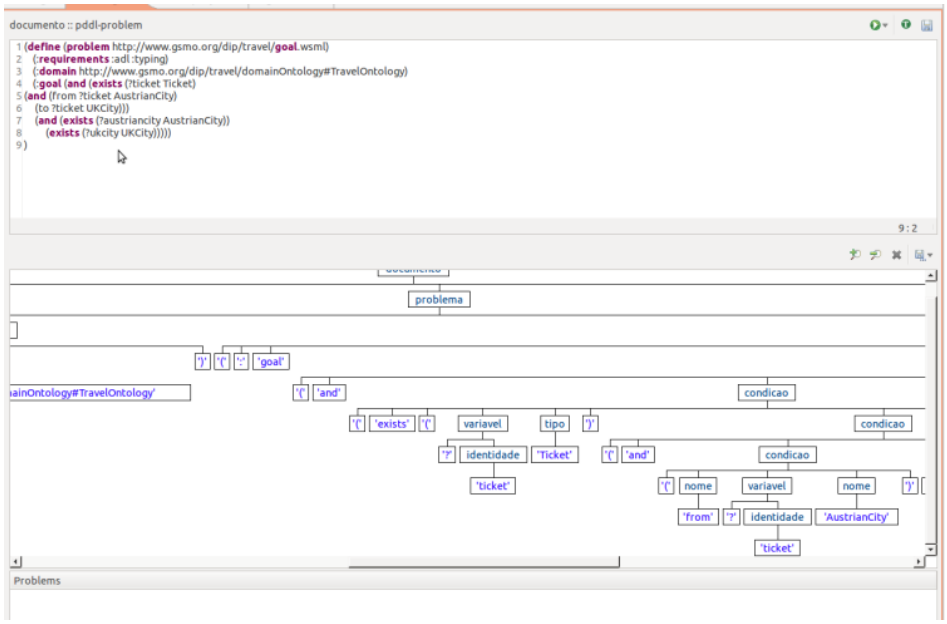


Figura 24 – Reconhecimento do Antlr sobre o PDDL gerado para um *goal*

O sistema desenvolvido está projetado como um módulo e, portanto, pode ser baixado e acessado através da *internet*. A existência dessa característica permitiu o desenvolvimento de um sistema de tradução *online*[4] que incorpora o projeto desenvolvido neste trabalho e permite a tradução de documentos WSML a partir da internet.

[4] Acessível em: http://wsml2pddl.appspot.com

6 Discussão

O processo de desenvolvimento de software frequentemente envolve um balanceamento eficiente do escopo em relação ao tempo disponível para elaboração dele. Nesse contexto, a amplitude deste trabalho acabou não abrangendo camadas mais complexas tanto da linguagem de entrada WSML como da linguagem-alvo PDDL como o caso de tradução de *webservices* e mediadores a fim de permitir o aprendizado, por parte do escritor desta monografia, do funcionamento de programas de compilação, do Antlr, de boas práticas de programação e até mesmo da linguagem Java, áreas estas que até então não eram conhecidas em sua plenitude.

A elaboração de um compilador não é algo trivial e exige grande habilidade e criatividade por parte do seu criador. Ela é geralmente grandiosa e demanda conhecimento técnico especifico para cada fase da tradução de uma linguagem para outra. Por outro lado, essa dificuldade pode ser reduzida pelo uso dos chamados compilador de compiladores, como o caso do Antlr, que foram desenvolvidos justamente com a intenção de automatizar parte dos ciclos de uma tradução, seja a analise léxica, sintática ou até pela otimização do código fonte gerado.

O reuso de software estimula a inovação. À medida que uma ferramenta bem sucedida tem sua funcionalidade agregada dentro de um sistema maior passamos então a pesquisar a novidade em detrimento de reinventar o existente. Em outras palavras, o uso do Antlr permitiu que muitas fases do compilador fossem facilitadas e o Antlr IDE facilitou a construção de gramáticas para o Antlr e a identificação de árvores sintáticas, pois à medida que as gramáticas eram introduzidas, era gerada uma árvore gráfica. Esse sentimento de reuso levou o sistema desenvolvido por este trabalho a ser disponibilizado como um arquivo que pode ser agregado a outros sistemas construídos em Java.

A opção pela pesquisa e implementação de práticas consideradas como exemplos de programação foi mais um ponto de sucesso do sistema de tradução produzido. O padrão de projeto *Interpreter* permitiu com que o programa crescesse de forma mais organizada e de fácil entendimento ao tratar regras da gramática em classes de programação. Nesse sentido, é de se esperar que outra pessoa que decida por aprimorar o sistema aqui construído tenha uma adaptação mais tranquila. Por outro lado, o uso desse padrão resultou na criação de um

elevado número de classes de tratamento de regras e no caso de o PDDL vir a tornar-se uma linguagem mais detalhada maior será a quantidade de classes geradas para satisfazer o processo de tradução.

Os trabalhos voltados ao desenvolvimento de ferramentas para a *web* semântica ainda estão em processo de criação e amadurecimento e, portanto, ainda carecem de pesquisas em especial com o uso da linguagem WSML. Nesse sentido, o trabalho aqui desenvolvido é inovador porque incentiva o uso da linguagem WSML para a próxima geração de serviços ao contrário de outros tradutores que incentivam a tradução de OWL, RDF Schema ou DAML para PDDL. Por outro lado, a linguagem WSML, ao contrário dos outros modelos, talvez por ser a mais recente, requer uma maior quantidade de exemplos concretos e completos. Essa falta de exemplos é um dos obstáculos que a prejudicam de ser uma abordagem mais utilizada.

Por fim, a colaboração é extremamente importante em trabalhos principalmente em áreas de pesquisas pioneiras. Essa preocupação aliada ao objetivo de tornar-se um trabalho de referência incentivou com que todo o desenvolvimento do sistema fosse sistematicamente controlado em um repositório de código fontes aberto e colaborativo chamado Github onde as mudanças poderão ser consultadas através da *internet* e o sistema continuado a baixo custo. Ainda visando facilitar o processo de desenvolvimento de trabalhos futuros, foi disponibilizado um sistema *web* que utiliza em seu coração o sistema produzido neste trabalho para realizar traduções de ontologias e objetivos pela *web*.

7 Conclusão e diretrizes para trabalhos futuros

Este trabalho descreveu e desenvolveu um sistema, que apesar de ainda apresentar algumas limitações, é capaz de conectar o conceito de *web service* semântico com o de um problema planejamento. Nesse sentido, este trabalho estimula não somente o prosseguimento da pesquisa sobre *web services* semânticos como também excita trabalhos sobre a composição de serviços com agregação de significado a partir da aplicação de técnicas de inteligência artificial.

A construção de um compilador demonstrou que é possível realizar a tradução de uma linguagem *web* semântica para uma linguagem de planejamento por uma abordagem diferente a utilizada por outros trabalhos que utilizam tabelas de equivalências. Nesse contexto, este trabalhou ainda iluminou a possibilidade de traduzir não somente OWL para PDDL como é o foco de alguns trabalhos já existentes, mas também WMSL para PDDL e isso incentiva uma nova área de pesquisas na *web* semântica, pois WSML é uma linguagem mais rica que OWL.

A opção pelo uso de ferramentas já existentes foi um fator decisivo no sucesso desta monografia. A escolha pelo Eclipse e pela extensão Antlr IDE facilitou muito a interação com a linguagem Java com a ferramenta do ANTLR desenvolvida por Terence Parr. Já a ferramenta de Parr tornou mais simples a criação de analisadores léxicos, sintáticos, semânticos e a geração de código fonte. Em outras palavras, o reuso de sistemas auxilia o foco no novo, naquilo que ainda não existe, e leva a obtenção de resultados finais mais expressivos.

Ao passo em que o reaproveitamento de código fonte é importante, a colaboração entre indivíduos trabalhando para um mesmo fim também o é. Espera-se que com a adoção de linguagem de programação acessível, orientação a objetos, *design patterns* e a viabilização de um controlador de versão aberto estimulem simpatizantes a participarem do aperfeiçoamento do sistema proposto nesse trabalho.

Por fim, o objetivo principal deste trabalho foi atingido e o mecanismo tradutor de metas WSML em PDDL foi construído. Deseja-se que novas pesquisas possam ser realizadas utilizando esta monografia como parte da referência. Algumas sugestões de trabalhos futuros que poderiam usar como referência esta monografia são: o estudo de técnicas mais eficientes

da tradução de domínios, maneiras de tradução de WSML para PDDL usando mediadores, a tradução de um *webservice* WSML para PDDL entre outros trabalhos que envolvem tradução de linguagens, *web* semântica e tarefas de planejamento.

8 Referências Bibliográficas

ANTLR IDE. Disponível em: <http://antlrv3ide.sourceforge.net/>. Acesso em: 18 Out. 2011.

AHO, A.; LAM, M.; SETHI, R.; ULLMAN, J. **Compilers**: Principles, Techniques, & Tools, Ed. Addison Wesley, 2007, 2nd edition, 1008 p.

ALESSO, H.; SMITH C. **Developing Semantic Web Services**, Ed. A K Peters Ltd., 2005, 445 p.

ALONSO, G.; CASATI, F.; KUNO, H.; MACHIRAJU, V. **Web Services**: Concepts, Architectures and Applications, Ed. Springer, 2004, 354 p.

BENACCHIO, J. H. Q. **Planejamento em inteligência artificial utilizando rede de perti cíclicas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008. 97 p.

BRUIJN, J.; FENSEL, D.; KERRIGAN, M.; KELLER, U.; LAUSEN, H.; SCICLUNA, J. **Modeling Semantic Web Services**: The Web Service Modeling Language, Ed. Springer, 2008, 192 p.

COOPER, K.; TORCZON, L. **Engineering a compiler**, Ed. Morgan & Kaufmann, 2004, 801 p.

DIGIAMPIETRI, L. A. **Gerenciamento de workflows científicos em bioinformática**. 2007. 88 f. Tese (Doutorado em ciência da computação) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

DIGIAMPIETRI, L. A.; PÉREZ-ALCÁZAR, J.J.; MEDEIROS, C. B. AI Planning in *Web* Services Composition: a review of current approaches and a new solution. In: VI Encontro Nacional de Inteligência Artificial – ENIA, 2007, Rio de Janeiro. **ANAIS DO XXVII CONGRESSO DA SBC**, Rio de Janeiro, 2007.

FENSEL, D.; KERRIGAN, M.; ZAREMBA, M. **Implementing Semantic Web Services**: The SESA Framework, Ed. Springer, 2007, 322 p.

FENSEL, D.; LAUSEN, H.; POLLERES, A.; BRUIJN, J.; STOLLBERG, M.; ROMAN, D., DOMINGUE, J. **Enabling Semantic Web Services**: The Web Service Modeling Language, Ed. Springer, 2007, 188 p.

FENSEL, D.; FACCA, F.; SIMPERL, E.; TOMA, I. **Semantic Web Services**, Ed. Springer, 2011, 368p.

GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R.; VLISSIDES, J. **Padrões de Projeto**: Soluções reutilizáveis de software orientado a objetos, Ed. Artmed, 2005, 364 p.

GHALLAB, M.; HOWE, A.; KNOBLOCK, C.; MCDERMOTT, D.; RAM, A.; VELOSO, M.; WELD, D.; WILKINS, D. PDDL the planning domain definition language. In Proceeding of AIPS-98 Planning Committee, 1998.

GHALLAB, M.; NAU, D.; TRAVERSO, P.; **Automated Planning**: Theory and practice, Ed. Morgan Kaufmann, 2nd Edition 2004, 635 p.

HEBELER, J.; FISHER M.; BLACE, R.; PEREZ-LOPEZ, A. **Semantic Web Programming**, Ed. Wiley; 1st Edition, 2009, 648 p.

KASHYAP V.; BUSSLER, C.; MORAN M. **The Semantic Web Services**: Semantics for Data and Services on the *Web*, Ed. Springer, 2008, 414 p.

LOUDEN, K. **Compiladores**: Princípios e práticas, Ed. Thomson, 2004, 569 p.

PARR, T.; **The Definitive ANTLR Reference:** Building Domain-Specific Languages, 2007, 376 p.

PÉREZ-ALCÁZAR, J. J. **Projeto: O uso de Planejamento em Inteligência Artificial para a Composição Automática de Serviços Web**, São Paulo: EACH-USP, 2007. 25 p. Relatório cientifico apresentado à FAPESP, São Paulo.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**, Ed. Campus, 2004, 1021 p.

SAFONOV, V. **Trustworthy Compilers**, Ed. John Wiley and Sons, 2010, 295 p.

9 APÊNDICE A – Gramática da linguagem WSML

```
grammar GramaticaWSML;

options {
  language = Java;
  output=AST;
  ASTLabelType=CommonTree;
}

tokens {
        WsmlVariant;
}

@header {
  package br.usp.each.wsml2pddl.gramaticas;
}

@lexer::header {
  package br.usp.each.wsml2pddl.gramaticas;
}

wsml
        : declaracaoDeVarianteWsml?
                declaracaoDeNamespaces?
                ( declaracaoDeOntologias |        declaracaoDeGoal )
        ;

declaracaoDeVarianteWsml
        : wsmlVariant fullIri
        ;

declaracaoDeNamespaces
        :       'namespace' ( namespace | '{' namespace (',' namespace)* '}')
        ;

namespace
        : Identificador? fullIri
        ;


wsmlVariant
        : 'wsmlVariant' -> WsmlVariant
        ;

declaracaoDeGoal
        : 'goal' fullIri?
                anotacoes?
                ontologiaImportada?
                capacidade
        ;

declaracaoDeOntologias
        :       ontologia*
        ;

ontologia
        : 'ontology' Identificador
                        conceito+
        ;

conceito
        :       'concept' Identificador ('subConceptOf' Identificador)?
```

```
                        anotacoes?
                        (Identificador 'ofType' Identificador )*
        ;

capacidade
        : 'capability' fullIri?
                variaveisCompartilhadas?
                ( preCondicoes | posCondicoes | efeitos )*
        ;

preCondicoes
        :       'precondition'
                axiomdefinition
        ;

posCondicoes
        :       'postcondition'
                axiomdefinition
        ;

efeitos
        :       'effect'
                axiomdefinition
        ;

variaveisCompartilhadas
        : 'sharedVariables' '{' variavel (',' variavel)* '}'
        ;

axiomdefinition
        :       anotacoes?
                definicao '.'
        ;

definicao
        : 'definedBy'
                        axiomas*
        ;

axiomas
        : axioma ('and' axioma)*
        ;

axioma
        : variavel ('[' propriedades ']')? 'memberOf' classe
        ;

propriedades
        : atributo (',' atributo)*
        ;

classe
        : (Identificador '#')? Identificador
        ;

variavel
        : '?' Identificador
        ;

anotacoes
        :       'annotations'
                        atributo*
                'endAnnotations'
        ;
```

```
ontologiaImportada
        : 'importsOntology'
                                        ( fullIri
                                        | '{' fullIri (',' fullIri)*      '}' )
        ;

atributo
        : classe 'hasValue' (variavel | StringLiteral )
        ;

fullIri
        : '_' StringLiteral
        | Identificador
        ;

prefixo
        : Identificador fullIri
        ;

fragment AlfaNumerico             : Digito | Letra;
fragment Digito                                   : '0'..'9';
fragment Espacamento              : ' ';
fragment Letra                                    : 'a'..'z' | 'A'..'Z';
fragment QuebraDeLinha    : '\n' | '\r';
fragment Tabulacao                        : '\t';

Inteiro : Digito+;

Identificador: (Letra)(AlfaNumerico | '-')*;

StringLiteral
        : '"'
                { StringBuilder b = new StringBuilder(); }
                ( '\\' '"'
                { b.appendCodePoint('"'); }
                | c = ~('"') { b.appendCodePoint(c); }
                )*
                '"'
                { setText(b.toString()); }
        ;

CaracteresIgnorados: (Espacamento | Tabulacao | QuebraDeLinha | '\f')+ {$channel =
HIDDEN;};
ComentarioDeLinhaUnica: '//' .* (QuebraDeLinha) {$channel = HIDDEN;};
ComentarioDeMultiplasLinhas: '/*' .* '*/' {$channel = HIDDEN;};
```

10 APÊNDICE B – Gramática do tradutor PDDL

```
tree grammar TradutorWSML2PDDL;

options {
  language = Java;
  tokenVocab = GramaticaWSML;
  ASTLabelType = CommonTree;
}

@header {
  package br.usp.each.wsml2pddl.gramaticas;
        import br.usp.each.wsml2pddl.modelo.avaliadores.Avaliador;
        import java.util.HashMap;
        import java.util.Map;
        import java.util.List;
        import java.util.ArrayList;
        import br.usp.each.wsml2pddl.avaliadores.*;
        import org.antlr.stringtemplate.StringTemplate;
}

@members{

                Map<String, String> propriedades = new HashMap<String, String>();
                Map<String, List<String>> superclasses = new HashMap<String,
List<String>>();
                List<Avaliador> predicados = new ArrayList<Avaliador>();

}

avaliador returns [Avaliador e]
        :       documento EOF { $e = new AvaliadorDeDocumentoPDDL($documento.e); }
        ;

documento returns [Avaliador e]
        : varianteWsml?
                prefixosImportados?
                (declaracaoDeOntologias { $e = $declaracaoDeOntologias.e; })?
                (declaracaoDoGoal { $e = $declaracaoDoGoal.e; })?
        ;

declaracaoDeOntologias returns [Avaliador e]
        : 'ontology' string
                        conceito*
                {
                        final Avaliador dominio = $string.e;
                        final Avaliador requerimentos = new
AvaliadorDeRequerimentos();
                        final Avaliador tipos = new
AvaliadorDeTipos(superclasses);
                        final Avaliador predicado = new
AvaliadorDePredicados(predicados);
                        $e = new AvaliadorDeDominio(dominio, requerimentos, tipos,
predicado);
                }
        ;

conceito
        : 'concept' c1 = Identificador
                        ('subConceptOf' c2 = Identificador )?
                        {
                                predicados.add(new AvaliadorDePredicado(new
AvaliadorDeString($c1.text)));
```

```
                                final String superClasse = ($c2 != null)? $c2.text
: "Object";
                                final List<String> objetosDaClasseC2 =
superclasses.get(superClasse);
                                if (objetosDaClasseC2 == null){
                                                superclasses.put(superClasse, new
ArrayList<String>());

        superclasses.get(superClasse).add($c1.text);
                                } else {
                                        objetosDaClasseC2.add($c1.text);
                                }
                        }
                        anotacoes?
                        ( p = Identificador 'ofType' c = Identificador
                                {       predicados.add(new
AvaliadorDePredicado(new AvaliadorDeString($c1.text),
                                        new AvaliadorDeString($p.text),
                                        new AvaliadorDeString($c.text))); }
                        )*
        ;

propriedade  returns [Avaliador e]
        : classe 'hasValue' variavel
                {
                        e = new AvaliadorDePropriedade($classe.e);
                }
        ;

anotacoes
        :       'annotations'
                        propriedade+
                'endAnnotations'
        ;

declaracaoDoGoal returns [Avaliador e]
        :       'goal' fullIri
                        importsOntology?
                        condicoesDoProblema
                {
                        Avaliador avaliadorDeProblema = new
AvaliadorDeString($fullIri.e.avalia());
                        Avaliador avaliadorDeDominio = new
AvaliadorDeDeclaracaoDeDominio($fullIri.e);
                        Avaliador avaliadorDeObjetos = new
AvaliadorDeObjetos(null);
                        Avaliador avaliadorDeEstadoInicial = new
AvaliadorDeEstadoInicial(null);
                        Avaliador avaliadorDeRequerimentos = new
AvaliadorDeRequerimentos();
                        $e = new AvaliadorDeProblema(avaliadorDeProblema,
        avaliadorDeRequerimentos, avaliadorDeDominio,
                                avaliadorDeObjetos,
        avaliadorDeEstadoInicial, $condicoesDoProblema.e);
                }
        ;

prefixosImportados
        :       'namespace' ( namespace | '{' namespace (',' namespace)* '}'        )
        ;

varianteWsml
        : WsmlVariant fullIri
        ;
```

```
importsOntology
        : 'importsOntology'
                        ( fullIri | '{' fullIri (',' fullIri)* '}' )
        ;

condicoesDoProblema returns [Avaliador e]
        : 'capability'
                        (posCondicoes = postconditions)
                { $e = new AvaliadorDeGoal($posCondicoes.e); }
        ;

postconditions returns [Avaliador e]
        : 'postcondition'
                        'definedBy'
                                axioma
                                {
                                        $e = new
AvaliadorDePosCondicoes($axioma.e);
                                for(final String propriedade:
propriedades.keySet()){
                                        $e = new AvaliadorDeCondicao($e,
propriedade, propriedades.get(propriedade));
                                }
                                }
                        '.'
        ;

axioma returns [Avaliador e]
        : c1 = condicao { $e = $c1.e; }
          ( 'and' c2 = axioma     {       $e = new AvaliadorAnd($c1.e, $c2.e); } )?
        ;

condicao returns [Avaliador e]
        : variavel ('[' propriedades ']')? 'memberOf' classe
                {
                        propriedades.put($variavel.e.avalia(),
$classe.e.avalia());
                        e = new AvaliadorExists(new AvaliadorDeClasse($classe.e,
$propriedades.e));
                }
        ;

propriedades returns [Avaliador e]
        : p1 = propriedade { e = $p1.e; }
                (',' p2 = propriedade { e = new AvaliadorAnd($p1.e, $p2.e); } )*
        ;

classe returns [Avaliador e]
        : v1 = Identificador '#' v2 = Identificador { e = new
AvaliadorDeString($v2.text); }
        ;

variavel returns [Avaliador e]
        : '?'? string { e = new AvaliadorDeVariavel($string.e); }
        ;

atributo returns [Avaliador e]
        : Identificador { e = new AvaliadorDeString($Identificador.text); }
        ;

fullIri returns [Avaliador e]
        : '_'? valor { $e = $valor.e; }
        ;
```

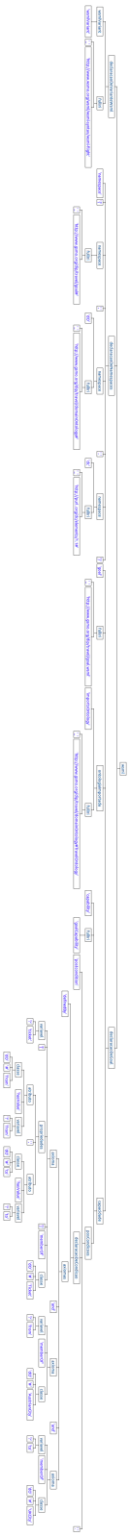
```
valor returns [Avaliador e]
        : string { e = $string.e; }
        ;

string returns [Avaliador e]
        : StringLiteral { e = new AvaliadorDeString($StringLiteral.text); }
        | Identificador { e = new AvaliadorDeString($Identificador.text); }
        ;

namespace
        : Identificador? fullIri
        ;
```

11 APÊNDICE C– Árvore sintática de uma ontologia

12 APÊNDICE D – Árvore sintática de um *goal*



13 APÊNDICE E – Gramática de verificação do PDDL

```
grammar PDDL;

options {
  language = Java;
  output=AST;
  ASTLabelType=CommonTree;
  //backtrack=true;
}

tokens {
         DOMAIN;
}

@header {
  package br.usp.each.wsml2pddl.gramaticas;
}

@lexer::header {
  package br.usp.each.wsml2pddl.gramaticas;
}

documento
          : '(' 'define'
                              ( dominio | problema )
                    ')'
          ;

dominio
          : declaracaoDeDominio
                    requerimentos?
                    tipos?
                    predicados?
                    acao*
          ;

declaracaoDeDominio
          : '(' ':'? 'domain' (nome | url) ')'
          ;

declaracaoDeProblema
          : '(' 'problem' (nome | url) ')'
          ;

problema
          : declaracaoDeProblema
                    requerimentos?
                    declaracaoDeDominio
                    objetos?
                    estadoInicial?
                    objetivo?
          ;

requerimentos
          : '(' ':' 'requirements' requerimento+ ')'
          ;

objetos
          : '(' ':' 'objects' nome+ ')'
          ;

tipos
          : '(' ':' 'types'
                                    tipo+
                    ')'
          ;

tipo
          : Identidade '-'?
          ;
```

```
estadoInicial
          : '(' ':' 'init' estado+ ')'
          ;

objetivo
          : '(' ':' 'goal' condicao ')'
          ;

requerimento
          : ':adl'
          | ':strips'
          | ':typing'
          | ':conditional-effects'
          | ':existential-preconditions'
          ;

predicados
          : '('     ':' 'predicates' predicado+ ')'
          ;

predicado
          : '(' tipo variavel+ ')'
          | '(' nome variavel '-' tipo variavel '-' tipo ')'
          ;

acao
          : '(' ':' 'action' nome
                             parametros
                             precondicoes?
                             efeitos
                    ')'
          ;

parametros
          : ':' 'parameters' '(' variavel+ ('-' tipo)? ')'
          ;

precondicoes
          : ':' 'precondition'         condicao
          ;

efeitos
          : ':' 'effect' condicao
          ;

estado
          : '(' nome nome nome? ')'
          ;

condicao
          : '(' 'and' condicao+ ')'
          | '(' 'not' condicao+ ')'
          | '(' 'forall' '(' variavel '-' tipo ')' condicao+ ')'
          | '(' 'when' condicao condicao ')'
          | '(' 'exists' '(' variavel tipo ')' condicao* ')'
          | '(' nome (variavel | nome)+ ')'
          ;

variavel
          : '?' identidade
          ;

identidade
          : Identidade
          ;

nome
          : Identidade
          ;

url
```

```
          : Url
          ;

fragment AlfaNumerico                 : Digito | Letra;
fragment Digito                                          : '0'..'9';
fragment Espacamento                  : ' ';
fragment Letra                                           : 'a'..'z' | 'A'..'Z';
fragment QuebraDeLinha       : '\n' | '\r' | '\r\n' | '\n\r';
fragment Tabulacao                    : '\t';

Inteiro : Digito+;

Identidade: (Letra)(AlfaNumerico | '-' | '_')*;

Url: ('http://') (AlfaNumerico) (AlfaNumerico | '-' | '/' | ';' | '#' | '.')*;

StringLiteral
          : '"'
                    { StringBuilder b = new StringBuilder(); }
                    ( '\\' '"'          { b.appendCodePoint('"'); }
                    | c = ~('"') { b.appendCodePoint(c); }
                    )*
                    '"'
                    { setText(b.toString()); }
          ;

CaracteresIgnorados: (Espacamento | Tabulacao | QuebraDeLinha | '\f')+ {$channel = HIDDEN;};
ComentarioDeLinhaUnica: ';;' .* (QuebraDeLinha) {$channel = HIDDEN;};
```

14 ANEXO A – Exemplo de ontologia em WSML

```
wsmlVariant _http://www.wsmo.org/wsml/wsml−syntax/wsml−flight

namespace { _"http://www.gsmo.org/dip/travel/domainOntology#",
            dc _"http://purl .org/dc/elements/1.1#",
            wsml _http://www.wsmo.org/wsml/wsml−syntax# }

ontology TravelOntology
    concept Ticket
        annotations
            dc#description hasValue "concept of a ticket "
        endAnnotations
        from ofType Region
        to ofType Region
        vehicle ofType Vehicle

    concept Region

    concept Country subConceptOf Region
        name ofType _string

    concept City subConceptOf Region
        name ofType _string
        country ofType Country

    concept EUCity subConceptOf City

    concept GermanCity subConceptOf EUCity

    concept AustrianCity subConceptOf EUCity

    concept UKCity subConceptOf EUCity

    concept USCity subConceptOf City

    concept Vehicle
        seats ofType _integer

    concept Airplane subConceptOf Vehicle

    concept Train subConceptOf Vehicle

    axiom GermanCityDef
        definedBy
            ?city memberOf GermanCity implies ?city[country hasValue Germany].

    axiom AustrianCityDef
        definedBy
            ?city memberOf AustrianCity impliedBy ?city[name hasValue "Austria"] memberOf country.

    axiom UKCityDef
        definedBy
            ?city memberOf UKCity implies ?city[country hasValue UK].

    instance Innsbruck memberOf AustrianCity

    instance Germany memberOf Country
        name hasValue "Germany"

    instance UK memberOf Country
        name hasValue "United Kingdom"

    instance Austria memberOf Country
         name hasValue ""Austria"
```

15 ANEXO B – Exemplo de *goal* descrito em WMSL

```
wsmlVariant _http://www.wsmo.org/wsml/wsml−syntax/wsml−flight

namespace { _"http://www.gsmo.org/dip/travel/goal#",
            dO _"http://www.gsmo.org/dip/travel/domainOntology#",
            dc _http://purl .org/dc/elements/1.1# }

goal _"http://www.gsmo.org/dip/travel/goal.wsml"

    importsOntology _"http://www.gsmo.org/dip/travel/domainOntology#TravelOntology"

    capability goalCapability
        postcondition
            definedBy
                ?ticket [ dO#from hasValue ?from,
                          dO#to hasValue ?to ] memberOf dO#Ticket and
                ?from memberOf dO#AustrianCity and
                ?to memberOf dO#UKCity.
```