

# Uma Ontologia Baseada em um Meta-Modelo Orientado a Objetos para Descrição de Domínios e Problemas de Planejamento da Área Espacial

## An Ontology Based on a Meta-Model for Object Oriented Description Domains and Problems of Space Area Planning

Rodrigo Rocha Silva<sup>1</sup>, Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira<sup>2</sup>, Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada / <sup>2</sup>Centro de Controle de Satélites – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos – SP – Brasil  
rrochas@gmail.com, mauricio@ccs.inpe.br, [vijay@lac.inpe.br](mailto:vijay@lac.inpe.br)

**Resumo.** Dentre os vários desafios que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais tem encontrado para a realização de suas operações espaciais, está o elevado custo de operação, pois as mesmas são executadas manualmente. Uma técnica que está sendo utilizada cada vez mais é a de Planejamento e Escalonamento, da área de Inteligência Artificial, para se realizar o planejamento das atividades dos satélites. Este artigo descreve a construção de um meta-modelo orientado a objetos como ontologia, suficiente para a descrição de qualquer domínio relacionado a missões espaciais e ser uma alternativa às atuais linguagens utilizadas em representação de problemas de planejamento.

**Palavras chaves:** Ontologia, Inteligência Artificial, Planejamento, Orientação a Objetos e Satélite.

**Abstract.** One of the major difficulties in development of planners using Artificial Intelligence Planning and Scheduling's technique (AIPS) is the correct description of domains and problems. Use of AIPS has been increasing for planning the activities of satellites. The objective of this paper is to define a Meta-Model for Object Oriented like Ontology for Description of Domains and Planning Problems. This paper discusses the use of ontologies and knowledge management to support the modeling domain area to control satellites. A tool will be developed to support the description of domain and problems within space applications. Axiom will be the basis to both support and define concepts and relationships using graphs as well as allowing generation of framework objects from ontologies.

### 1. Introdução

O Centro de Controle de Satélites (CCS) é o responsável, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelas tarefas de monitoramento e controle em órbita de satélites. Uma tarefa estratégica na área de controle de solo de satélites artificiais é o planejamento das atividades operacionais envolvidas, de forma a usar o mínimo de recursos e gerar o máximo de retorno da missão espacial (dados científicos, dados tecnológicos, imagens e telecomunicação) sem comprometer a segurança do satélite. Neste contexto, as técnicas de planejamento e escalonamento provenientes da área de inteligência artificial (AIPS, do inglês para Artificial Intelligence Planning and Scheduling) se apresentam como uma solução em potencial a ser explorada, visando à automatização do controle e operação de satélites [1].

Com a grande utilização da AIPS, a Engenharia de Conhecimento passou a ter uma grande importância na concepção dos problemas da área espacial. Com isso, para o melhor entendimento e classificação dos domínios e problemas de planejamento a especificação, modelagem e análise dos domínios se tornam essenciais. Os três maiores obstáculos para a área de planejamento e escalonamento da área de inteligência artificial (AIPS) em problemas reais são: (i) especificação dos requisitos, (ii) modelagem (geralmente na modelagem de ações) e (iii) análise de domínios, já que estes processos são considerados um grande “gargalo” no desenvolvimento de aplicações reais [2].

Devido aos fatos colocados e a grande necessidade de ferramentas que dêem auxílio durante o ciclo de vida de projeto de domínios de planejamento o presente trabalho investiga os problemas envolvidos na interação de informação pertinente à gestão do conhecimento do planejamento e escalonamento de atividades, principalmente no âmbito da área espacial, oferecendo subsídios para a modelagem de domínios e problemas de planejamento definindo uma ontologia baseada em um meta-modelo orientado a objetos para a descrição de domínios e problemas de AIPS dispondo também de um vocabulário base para a descrição de problemas e domínios desta área, visando auxiliar o mapeamento do conhecimento necessário. Isso é proposto considerando que a falta de uma padronização na representação do conhecimento sobre planejamento de atividades para o controle de satélites dificulta a compreensão por parte de todos os atores envolvidos no processo.

## **2. AIPS, Modelagens e Ontologia no INPE**

O CCS já vem a certo tempo trabalhando em busca da automatização do controle de satélites, tendo como resultados programas que geram automaticamente o POV(Plano de Operação de Vôo) de um dado satélite a partir de um arquivo de predição de passagens gerado pelo software de dinâmica orbital. Além disso, o departamento vem participando de vários trabalhos de mestrado e doutorado: como em [1], onde foi utilizada a técnica de AIPS, para permitir o replanejamento embarcado de operações quando da detecção de fenômenos de curta duração. E na proposta de Cardoso[3], que aborda uma arquitetura de um sistema de Planejamento Inteligente de Planos de Operação de Vôo (PlanIPOV), focada na geração automática de POVs para a fase operacional de rotina de satélites. Dentre outros, [4] [5] e [6].

Assim, visando a automatização do processo de geração dos POVs os vários trabalhos correlatos vêm utilizando a técnica de planejamento e escalonamento da área de inteligência artificial, porém um ponto importante no desenvolvimento destas técnicas foi, por muito tempo, negligenciado – embora fosse um dos aspectos fundamentais para o progresso do planejamento automático como pode ser concluir através da observação de Vaquero[7]: “Não importa o quão eficientes ou poderosas são as técnicas e mecanismos de planejamento, elas são tão boas quanto o conhecimento do domínio que é fornecido a elas. Se o modelo do domínio fornecido é falho, o resultado da aplicação das técnicas será também falho”.

Devido a complexidade de sistemas reais de planejamento, tornam-se de alta relevância os estudos sobre métodos, técnicas, ambientes e ferramentas de suporte ao processo de especificação e design dos domínios de planejamento. Pode-se observar no trabalho de Guttoski[8], que ainda há uma grande dificuldade em descrever os domínios e objetivos, através da PDDL(Planning Domain Definition Language) que é uma linguagem de descrição de domínios em planejamento automático criada por Drew McDermott em 1998 [9], que atualmente é tida como padrão para a descrição de domínios e problemas de planejamento. Pode se observar também que em [1], foi

gerado um pseudo-script chamado de RASSO\_ml para estas definições dada as restrições do que se tem hoje, no âmbito da modelagem de conhecimento para a área de planejamento.

A abordagem aqui descrita junto com outros trabalhos, faz parte da iniciativa do CCS de automatizar as operações de seus satélites, baseando-se na premissa que todo o processo de controle de satélites se inicia com uma descrição de domínio e problema. Segundo *Thomas R. Gruber* [10], uma ontologia é uma explícita especificação de uma "conceitualização", Zlot [11] vai além e define que uma ontologia consiste de uma especificação de objetos, conceitos e outras entidades que são assumidas como existentes, além de relações entre conceitos e restrições expressas através de axiomas.

Uma vez que o uso de ontologias para representar os conceitos do domínio permite que estes possam ser reutilizados em várias aplicações, propomos o desenvolvimento de uma ontologia para descrição de domínios e problemas de planejamento. O resultado deste trabalho visa ser uma alternativa às atuais linguagens utilizadas em representação de problemas de planejamento, como, por exemplo, a linguagem PDDL.

A ontologia desenvolvida foi nomeada como KPlanOO (Knowledge of Planning Oriented Objects) apesar de ter sua motivação maior no domínio da área espacial, mais precisamente no que se refere ao controle de atividades de satélites, baseou-se nos tipos de ontologia, apresentado em [12], chegando a um meta-modelo genérico capaz de modelar todo o conhecimento para o processo de planejamento, de diversos domínios e problemas. Os tipos de ontologias que o KplanOO baseou-se foi:

- Meta-ontologias, também chamadas de Ontologias Genéricas ou Ontologias Fundamentais, que são reutilizáveis (ou aplicáveis) em diferentes domínios.
- Ontologias de domínio são reutilizáveis em um dado domínio provendo vocabulários sobre os conceitos dentro de um domínio e seus relacionamentos, sobre as atividades que envolvem este domínio e sobre as teorias e princípios elementares que governam aquele domínio.
- Ontologias de aplicações que contêm o conhecimento necessário para modelar situações específicas de uma tarefa em um domínio particular.

Um projeto de ontologia tem abordagens baseadas em projetos de orientação a objetos [13] [14]. Porém, o desenvolvimento de ontologias se difere da modelagem de classes e relacionamentos numa modelagem orientada a objetos (representada em UML). Noy & McGuinness [15] esclarecem que a modelagem orientada a objetos se foca principalmente sobre métodos em classes - um analista toma decisões baseado em propriedades operacionais de uma classe, enquanto um engenheiro de ontologias toma decisões baseado em propriedades estruturais de uma classe, explicitando suas relações e formalizando os conceitos. Como resultado, uma estrutura de classe e relações em uma ontologia pode ser diferente de uma estrutura em uma modelagem orientada a objetos para um domínio similar [14].

Seguindo esta afirmação, o KPlanOO utilizado a OO como metodologia, foi desenvolvido baseando-se na generalização das propriedades estruturais do domínio da AIPS, chegando assim um modelo estruturado de classes que se relacionam de forma que estabeleçam conceitos e métricas fortes para a modelagem do domínio em questão.

A estrutura estática do KPlanOO, encontra-se no diagrama de classes apresentado na Figura 1. A descrição de cada classe foi apresentada em [12], estas

descrições e suas atualizações podem ser consultas também em <http://www.rochas.com.br/kplanoo/doc/>.

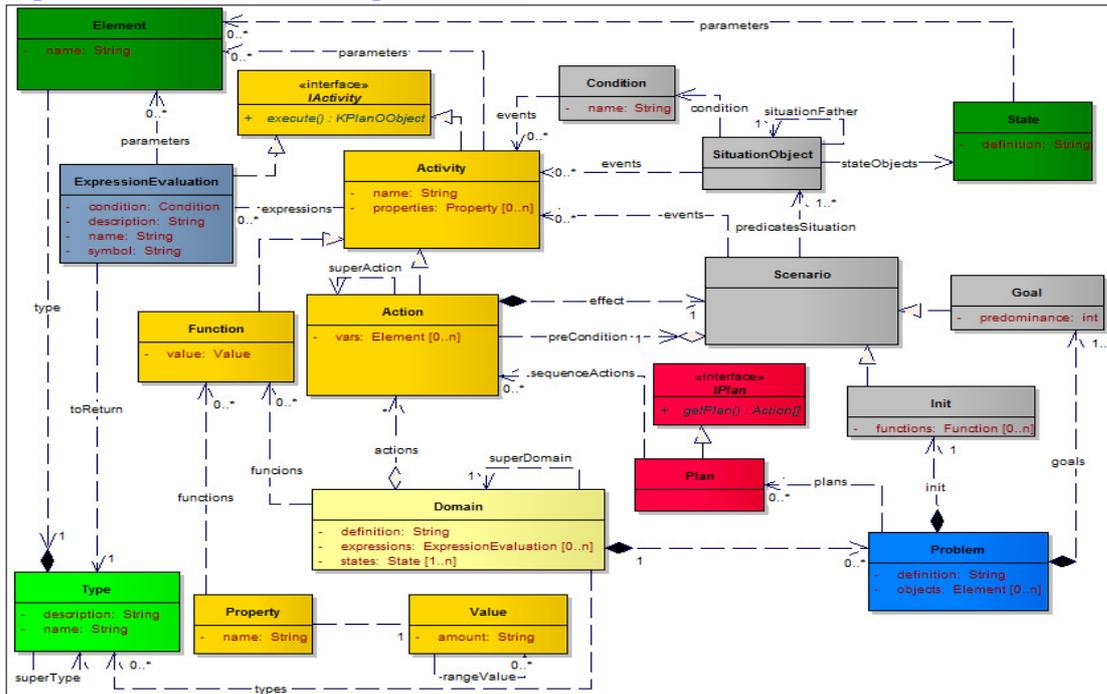


Figura 1: Estrutura estática do KplanOO

A Figura 2 apresenta um trecho de um exemplo real de um domínio em PDDL representando estados e ações relativas à operação de um satélite.

```
(define (domain satellite)
  (:requirements :strips :equality :typing :fluents :durative-actions)
  (:types satellite direction instrument mode)
  (:predicates
    (on_board ?i - instrument ?s - satellite)
    (supports ?i - instrument ?m - mode)
    (pointing ?s - satellite ?d - direction)
    (power_avail ?s - satellite)
    (power_on ?i - instrument)
    (have_image ?d - direction ?m - mode) )
  (:functions (slew_time ?a ?b - direction))

  (:durative-action turn_to
    :parameters (?s - satellite ?d_new - direction ?d_prev - direction)
    :duration (= ?duration (slew_time ?d_prev ?d_new))
    :condition (and (at start (pointing ?s ?d_prev)) )
    :effect (and (at end (pointing ?s ?d_new))
      (at start (not (pointing ?s ?d_prev))))))
```

Figura 2. Trecho de uma Descrição de um Domínio de um Satélite em PDDL  
 FONTE: adaptada de [3] L. S. Cardoso (2006), pág. 65

Na Figura 3 observa-se parte do diagrama de objetos representando a mesma descrição de domínio apresentada pela Figura 2, utilizando o KPlanOO.

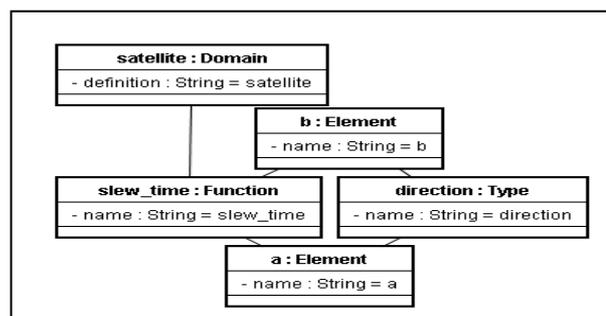


Figura 3. Parte do diagrama de objetos representando a Descrição de um Domínio de um Satélite

### 3. Contribuições Esperadas

O diagrama apresentado na Figura 3 demonstra as possibilidades que o KPlanOO permite quanto a liberdade de definição de objetos, tipos, predicados, atividades expressões de avaliação e ainda possíveis implementações através de sub-classes dos conceitos propostos. Outra possibilidade interessante oferecida é a construção uma vasta gama de interfaces tanto para usuário humano quanto para a integração de sistemas e também a possibilidade da construção de diversas aplicações, que visem tanto o planejamento como a descrição de domínios e problemas como conversão para as diversas linguagens existentes, possibilitando assim o uso de planejadores já implementados.

Além de auxiliar a geração de planos para operações espaciais, também contribuirá na representação do conhecimento do domínio de planejamento, facilitando assim o correto mapeamento dos dados de entrada necessários para a geração da definição do domínio. Esta abordagem abre outras possibilidades no desenvolvimento de aplicações de planejadores facilitando também o reuso e uma maior adesão ao AIPS e a Orientação a Objetos como ferramenta de ontologia e planejamento em missões espaciais, tanto no INPE quanto em outras agências espaciais.

### 4. Grupo de Pesquisa

O grupo formado para as pesquisas que envolve a automatização de operação de satélites, utilizando ontologias para a representação de conhecimento desta área, é coordenada pelo Prof<sup>o</sup>. Dr. Mauricio G. V. Ferreira os alunos de mestrado: Rodrigo Rocha Silva, Jun Tominaga e Chares-Edouard Winandy, os alunos de doutorado: Primavera Botelho de Souza e Fabrício de Novaes Kucinskis, e finalmente pelos alunos de iniciação científica: Francisco Edson G. S. Junior e Leonardo Machado Pereira. Contando também com a colaboração do Prof<sup>o</sup> Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar.

#### **Abaixo segue perfil e histórico de cada um:**

**Mauricio G. V. Ferreira** é pesquisador do centro de Controle de Satélites do INPE. Graduado em Tecnologia Em Processamento de Dados pela Faculdade de Administração e informática (1987), graduação em Administração de Empresas pela Faculdade Maria Augusta (1993), mestrado em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1996) e doutorado em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2001). Professor da Pós-Graduação do INPE no curso de Engenharia de Sistemas. Membro do comitê Internacional para padronização de software na área espacial (CCSDS). Membro do comitê organizador do congresso internacional na área espacial SPACEOPS. Produziu mais de 80 artigos, orientou 6 doutores e 8 mestres. Atualmente orienta 4 doutorandos e 5 mestrandos. Atua na área de pesquisa e desenvolvimento de software para controle de satélites.

**N. L. Vijaykumar** é pesquisador do centro de Controle de Satélites do INPE. Graduado em Tecnologia de Computação no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1978), mestrado em Computação Aplicada a pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1984) e doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1999). Professor da Pós-Graduação do INPE no curso de Computação Membro do Laboratório de Computação Aplicada do INPE. Produziu mais de 70 artigos, orientou 4 doutores e 7 mestres. Atualmente orienta 2 doutorandos e 4 mestrandos.

**Rodrigo Rocha Silva** atua como arquiteto de sistemas da Zilics Sistemas de Informação. Graduado em Ciência da Computação pela Universidade de Mogi das Cruzes (2004), é mestrando no programa de pós-graduação em Computação Aplicada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com a área de pesquisa focada em Modelagem de Ontologias e Meta-dados OO aplicados à planejamento de atividades de satélites. Já trabalhou com Ontologias e Meta-Dados no Projeto HARPIA - Análise de Risco e Inteligência Computacional Aplicada – da Receita Federal durante três anos.

**Fabício de Novaes Kucinskis** é tecnologista da área de Engenharia e Tecnologia Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É graduado em Engenharia de Computação pela Universidade de Mogi das Cruzes (2003) e mestre em Computação Aplicada pelo INPE (2007). No INPE, atua no Grupo de Supervisão de Bordo, grupo responsável pelo desenvolvimento de computadores de bordo (HW e SW) para satélites. É atualmente doutorando do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais do INPE, e seu tema de pesquisa é a representação e operação de conhecimento embarcado em satélites, visando o aumento de sua autonomia.

**Jun Tominaga** é tecnologista no Centro de Controle de Satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Graduado em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1999). Atualmente é aluno de mestrado em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atua na área de controle de satélites, com ênfase em planejamento e execução de operação. Áreas de interesse incluem também automação de sistemas, dinâmica de voo e engenharia de satélites.

**Primavera Botelho de Souza** trabalha com pesquisa no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Graduada em Física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1986) e mestre em Computação Aplicada pelo INPE (2002). Áreas de pesquisa é de softwares embarcado em satélites e análise de impactos.

**Chares-Edouard Winandy** é analista programador da Stefanini IT Solutions. Graduado em Ciência da Computação na Universidade do Vale do Paraíba (2004), está cursando Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, como mestrado no INPE, com a área de pesquisa focada em processos de desenvolvimento de sistemas.

**Francisco Edson G. S. Junior** é bolsista no Centro de Controle de Satélites do INPE por meio do CNPQ. Técnico de Informática pela ETEP (2007), Graduando Análise e Desenvolvimento de Sistema pela Veris Faculdades. Atua na área de análise e desenvolvimento para planejamento e automação no centro de controle de satélites do INPE.

**Leonardo Machado Pereira** é bolsista do CNPQ no INPE. Graduando em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Veris Faculdades. Atua na área de análise e desenvolvimento para planejamento e automação no centro de controle de satélites do INPE.

## **5. Pesquisas Futuras**

O grupo tem como meta continuar as pesquisas e integração de trabalhos no âmbito da automatização de operações de satélites, utilizando ontologias na representação e manutenção de conhecimento para operações, análise, simulação e planejamento de atividades de missões espaciais.

## 6. Bibliografia

- [1] F. N. Kucinski. Alocação de Recursos para Experimentos Científicos com Replanejamento Automatizado a Bordo de Satélites. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. INPE, São José dos Campos, Março, 2007.
- [2] GÓMEZ-SANZ, J.J.. (2001) "*Meta-modelos para el desarrollo de sistemas multi-agente,*" Caepia disponível no site [<http://grasia.fdi.ucm.es/SP/publicaciones/index.html>] acessado em 05/2004.
- [3] L. S. Cardoso. Aplicação da Tecnologia de Agentes de Planejamento em Operações de Satélites. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. INPE, 2006.
- [4] A. Carniello. Uma Arquitetura Multi-Agente de Planejamento de Controle de Satélites. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada. INPE, São José dos Campos, Novembro, 2008.
- [5] P. E. Cardoso. Uma Abordagem para Configuração das Regras de Negócio em Modelos de Objetos Dinâmicos. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. INPE, São José dos Campos, Novembro, 2004.
- [6] J. Tominaga. Proposta de Verificação de Planos de Operação em Vôo por Meio de Simulador de Satélite. Proposta de Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. INPE, São José dos Campos, Setembro, 2008.
- [7] T. S. Vaquero. itSIMPLE: Ambiente integrado de Modelagem e Análise de Domínios de Planejamento Automático. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [8] P. B. Guttoski. Otimização de Consultas no Postgresql Utilizando o Algoritmo de Kruskal. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Junho, 2006.
- [9] D. McDermott. The PDDL Planning Domain Definition Language. The AIPS-98 Planning Competition Committee. 1998.
- [10] Gruber, T.R. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. International Journal of Human-Computer Studies (IJHCS),43(5/6),907 928,1995.
- [11] Zlot, F., Oliveira, K.M., Rocha., A.R. Modeling Task Knowledge to Support Software Development. SEKE'02, Itália, 2002.
- [12] Silva, R. R.; Ferreira, M. G. V.; Vijaykumar, N. L. *Descrevendo domínios e problemas de planejamento através de um modelo orientado a objetos.* In: IV Fórum de Inteligência Artificial da Região Sul 2008, Canoas, RS, Brasil.
- [13] RUMBAUGH, J.R., BLAHA, M.R., LORENSEN, W., *et al.* Object-oriented modeling and design. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1991.
- [14] BOOCH, G., RUMBAUGH, J., JACOBSON, I. The unified modeling language user guide. Addison-Wesley, 199.
- [15] Noy, N.F., MCGuinness, D.L. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology, Relatório Técnico KSL-01-05, 2001, Stanford Knowledge Systems Laboratory, Stanford.