

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9821

**Uma Biblioteca de Métodos de
Resolução de Problemas de
Planejamento para Fornecer Apoio
à Aquisição de Conhecimento**

**Leliane Nunes de Barros
Marcio Rillo**

São Paulo - 1998

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Leliane Nunes de Barros, sob orientação do Prof. Dr. Márcio Rillo.: "Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para Fornecer Apoio à Aquisição de Conhecimento", defendida 19/03/98, na Escola Politécnica.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Barros, Leliane Nunes de

Uma biblioteca de métodos de resolução de problemas de planejamento para fornecer apoio à aquisição de conhecimento / L.N. de Barros, M. Rillo. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

19 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9821)

1. Inteligência artificial 2. Aquisição de conhecimento 3. Sistemas de planejamento I. Rillo, Marcio II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDD 006.3
153.15
153.2

Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para fornecer apoio à Aquisição de Conhecimento

Leliane Nunes de Barros

Márcio Rillo

Divisão de Automação e Inteligência Artificial - Laboratório de Sistemas Integráveis
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, 158. 05508-900 São Paulo - SP - Brasil
leliane@lsi.usp.br e rillo@lsi.usp.br

Abstract: Este trabalho apresenta uma abordagem de apoio à engenharia de sistemas de planejamento, através da construção de uma biblioteca de métodos de resolução de problemas para planejamento extraídos da literatura. A biblioteca descreve métodos no **nível do conhecimento**, ou seja, focalizando o conhecimento empregado na resolução de problemas de planejamento em oposição ao enfoque dado à representação no nível simbólico (implementação). O trabalho mostra como planejadores podem ser descritos em termos dessa abordagem e como eles podem ser gerados pelos componentes da biblioteca. Apresenta-se, ainda, uma implementação que permite a exploração da biblioteca de métodos permitindo o reuso do conhecimento de planejamento pelos engenheiros de software na construção de novos planejadores.

1. Introdução

A capacidade de planejar suas ações para atingir um determinado objetivo é um componente essencial na inteligência humana e possui uma vasta aplicação em diversas áreas. O tamanho e complexidade das aplicações de planejamento podem crescer rapidamente além das capacidades das pessoas que planejam em um dado domínio de aplicação. Existe um grande interesse em automatizar esse processo para reduzir o custo do esforço de planejamento e para melhorar a qualidade dos planos produzidos [7].

Na maioria dos problemas de planejamento, o número de possíveis sequências de ações ou o tempo que requer para se gerar uma dada sequência de ações é muito grande. Apesar destes problemas possuírem complexidade NP-hard, para os quais os algoritmos exatos conhecidos levam muito tempo, o fato de existir um número de possíveis sequências de ações que cresce exponencialmente, não significa que um planejador deva gerar todas elas para encontrar uma solução. A complexidade computacional de problemas de planejamento é frequentemente tratada através de aproximações, de compromissos entre tempo de computação e qualidade da solução, ou ainda, através de métodos heurísticos [6]. Tal tratamento flexível só é possível através de um profundo conhecimento de **como** os métodos de planejamento resolvem problemas.

Atualmente, existe muito pouco suporte para o engenheiro de *software* construir novos sistemas de planejamento. Ainda que a literatura da área de planejamento da Inteligência Artificial (IA) esteja repleta de métodos de resolução de problema, não é claro como analisá-los, sintetizá-los ou selecioná-los para serem reusados.

Recentemente, vários tipos de análises foram feitas sobre os sistemas existentes, incluindo análises formais [5]; planejamento como processo de busca [18]; análise de complexidade e análises comparativas de desempenho [10] [11] [14] [17]. Entretanto, falta um estudo de como esses sistemas representam e usam o conhecimento disponível,

ou seja, como os métodos de resolução de problemas (*PSMs - Problem Solving Methods*) podem ser descritos ao nível do conhecimento [12].

O objetivo deste trabalho é o de propor uma biblioteca de planeamento com componentes reusáveis para dar suporte à engenharia de sistemas de planeamentos quando aplicados a domínios específicos. Para isso investigou-se (i) a natureza dos métodos de planeamento mais representativos da literatura, e (ii) como eles contribuem para modelar o raciocínio de planeamento, através de uma metodologia moderna de modelagem de Sistemas Baseados em Conhecimento, CommonKADS [13]. A metodologia empregada segue tendências modernas da área de aquisição de conhecimento e têm como princípio básico identificar certos componentes do conhecimento da tarefa, nesse caso, planeamento. O produto dessa modelagem é uma biblioteca contendo componentes reusáveis do conhecimento de planeamento.

Partes desse trabalho foram apresentadas em publicações anteriores. Em [1] descreveu-se os métodos básicos e estruturas de tarefa de planeamento e apresentou-se uma classificação de planejadores através dos tipos de conhecimento usados pelos sistemas; do tipo de modelos de domínio que eles requerem e pelas tarefas de planeamento básicas que eles realizam. Em [3], estendeu-se a abrangência da biblioteca, e focalizou-se os benefícios da aquisição de conhecimento da biblioteca, estabelecendo assim meios de como usar a biblioteca para responder as seguintes perguntas:

- Dado um método, podemos usá-lo para resolver problemas em um determinado domínio de aplicação?
- Que tipo de conhecimento do domínio é requerido para se usar um dado método e como modelá-lo?
- Quais os métodos que podemos usar para resolver problemas em um determinado domínio?

Em [2] apresentou-se uma implementação da biblioteca e em [16] uma revisão mais detalhada da biblioteca e de suas partes.

2. Ingredientes de uma metodologia de modelagem para representar Métodos de Resolução de Problemas

A biblioteca de planeamento especifica componentes reusáveis para configurar métodos de resolução de problemas em oposição a construí-los do zero. Esses componentes reusáveis são definidos com base no *framework* do CommonKADS [13] e na ideia de *estruturas de tarefa* como foi proposta por [4]. Assim, um método de resolução de problemas é descrito em termos de: *tarefas*, *estruturas de tarefas*, *estruturas de controle*, *modelos de domínio* e *de suposições*, bem como por outros *PSMs*.

Tarefas são especificadas por uma relação de entrada e saída e um objetivo. As entradas e saídas das tarefas são representadas através dos **papéis do conhecimento**: papéis que o conhecimento desempenha no processo de resolução de problemas. Por exemplo, na tarefa de diagnóstico, o papel de entrada ou saída do tipo *hipótese*, indica que alguma estrutura ou elemento do domínio desempenha o papel de hipótese. **Papéis estáticos** são aqueles cujo conteúdo não muda durante o processo de resolução de problemas (base de conhecimento); **papéis dinâmicos** são aqueles cujo conteúdo pode mudar. Dá-se o nome de **ontologia do domínio** ao conjunto formado pelos papéis do conhecimento. **Modelos do domínio** são estruturas construídas usando elementos do domínio e que desempenham os papéis do conhecimento. Tarefa é executada por um *PSM*.

Métodos de Resolução de Problemas (PSM) descrevem *como* os objetivos de uma tarefa podem ser realizados. Um método decompõe uma tarefa em sub-tarefas (método composto) ou é um método primitivo. Um método primitivo pode ser implementado por

um método geral (bem conhecido) ou um método simples (facilmente compreendido). PSMs possuem conhecimento de controle imposto sobre as tarefas dos métodos compostos que pode ser: **controle total** ou **controle parcial**.

Estruturas de tarefa especificam uma hierarquia de decomposição de tarefas em sub-tarefas. Uma tarefa pode ser decomposta de várias maneiras e cada decomposição determina um método diferente de resolução de problemas. Esta maneira recursiva de definir métodos a partir de tarefas pode ser visualizada através de uma estrutura de decomposição tarefas/métodos como a estrutura de tarefa de planejamento na Figura 2.

Estrutura de controle é o conhecimento que especifica a maneira como serão executadas as sub-tarefas de um método. Ela é constituída, basicamente, por um grupo de comandos de controle envolvendo as tarefas de um método, ou seja, uma definição da ordem e as condições em que as tarefas deverão ser executadas para resolver um problema de planejamento. A estrutura de controle impõe um regime de controle sob uma estrutura de tarefa. Neste trabalho, definiu-se dois tipos de estruturas de controle: **estrutura de controle total** e de **controle parcial** que serão detalhadas na seção 3.3.

Modelos do domínio são estruturas construídas usando elementos do domínio para serem usadas pelos PSMs. Um exemplo típico são os modelos que especificam relações de dependências causais, como é o caso do modelo de ações usado em STRIPS [8], onde cada ação, quando executada, especifica uma relação causal entre pré-condições e efeitos. Outro exemplo, são modelos que especificam estruturas hierárquicas para as ações de um domínio, como as HTN (*Hierarchical Task Networks*) [7].

Suposições: descrevem as condições de aplicabilidade de um método com relação às restrições impostas pelo domínio, ou vice-versa, descrevem um conjunto de restrições sobre como modelar o domínio para que seja possível aplicar o método desejado. Neste trabalho considera-se dois tipos de suposições: **suposições de disponibilidade** que especificam que um certo conhecimento deve ser disponível para preencher um certo papel de conhecimento, para que um determinado PSM possa ser aplicado e **suposições do modelo** especificam requerimentos sobre específicos modelos do domínio que preenchem os papéis estáticos do conhecimento (p. ex., certos métodos de planejamento assumem que conhecimento podem ser estruturados em redes hierárquicas (HTN)).

3. A biblioteca de Planejamento

O problema básico resolvido em tarefas de planejamento é o de gerar uma sequência de ações (um plano) cuja execução realiza um dado objetivo. Um problema de planejamento é caracterizado por duas entradas: uma descrição de um **estado inicial** do mundo e uma descrição do **goal**.

3.1 Papéis do conhecimento

Um dos elementos críticos na análise de um método de planejamento é o de especificar que tipo de conhecimento ele emprega, ou seja, que papéis o conhecimento pode desempenhar. Na tabela 1 são descritos quatro papéis dinâmicos empregados na tarefa de planejamento. A figura 1 mostra uma hierarquia de papéis estáticos. Esses dois conjuntos fornecem um alto nível de visão sobre quais tipos de conhecimento são usados em planejamento.

Estado atual	descreve condições sobre mundo que devem ser verdadeiras nos diferentes pontos de um plano. Inicialmente, o papel estado atual, é preenchido com o estado inicial.
Goal	descreve as mudanças desejadas no mundo que devem ser realizadas pelo plano. Inicialmente esse papel é preenchido pelo <i>goal</i> original do problema.
Plano E S T R U T U R A C O M P O S T A	Passos de plano: que correspondem às ações no domínio; Restrições de ordem: sobre os passos do plano: uma ação precede ou é paralela a outra; Restrições de instanciações de variáveis: descrevem como as variáveis dos passos de plano são instanciadas com o conhecimento do domínio (<i>i.e.</i> , objetos, recursos e agentes); Restrições auxiliares: descrevem conhecimento sobre plano que serve para auxiliar (ou alertar) o planejador no seu raciocínio. Entre as informações contidas nesse papel, estão: <i>causal-links</i> : causa pela qual um passo foi introduzido no plano; intervalo de proteção : alerta sobre a verdade de uma condição num intervalo do plano; ponto de verdade : alerta sobre a verdade de uma condição em um ponto do plano.
Conflito	descreve inconsistências em um plano. p. ex: interação de passos de plano ou de recursos

Table 1: Papéis dinâmicos de planejamento

A organização *part-of* dos papéis estáticos [15] é mostrada na figura 1. Algumas das definições da versão original de Valente foram extendidas para a biblioteca. A organização *part-of* significa que: (i) todos os métodos de planejamento usam uma certa configuração desses papéis; (ii) diferentes ramos representam papéis independentes, representando partes da descrição de um todo.

A figura 1, define que planejamento usa um único papel estático chamado de **modelo de plano** o qual descreve o que é um plano e de que ele é constituído. Este conhecimento é composto por: (i) uma descrição do mundo no qual se deseja planejar, chamada de **Descrição de Mundo** e (ii) uma descrição da estrutura e característica do plano a ser gerado, chamada de **Descrição de Plano**.

O papel **Descrição de Mundo** compreende de dois sub-papéis: **Descrição de Estado e Mudanças de Estado** (ações). A maioria dos planejadores usam representações para estados, ações e eventos, baseadas na representação de STRIPS [8] (ADL).

O papel **Descrição de Estado** descreve o conhecimento necessário para representar ou descrever o estado do mundo. Normalmente é usado um conjunto de relações ou funções nos quais se pode expressar as coisas que são válidas em um certo momento de tempo. Exemplos de modelos de domínio para desempenhar este papel são: conjunto de predicados de primeira ordem da lógica ou conjunto de fluentes do cálculo de situações.



Figure 1: Hierarquia de papéis estáticos em planejamento (*part-of tree*).

O papel **Mudanças de Estado** compreende todas as informações conectadas à especificação de mudanças no estado do mundo, e corresponde à especificação de *quais* elementos que compõem um plano (mas não de *como* são compostos). Em geral, esse papel é expresso como um conjunto de eventos ou ações. Outras vezes, pode incluir sub-planos e/ou *skeletal plan*, que são especificações de um plano completo que deve ser ainda detalhado ou refinado. Exemplos de modelos de domínio que desempenham esse papel são: operadores ADL do STRIPS, HTN, ou *skeletal plan* do Molgen [19]. **Dados de Mudança de Estado** são dados incorporados à descrição de mudança de estado, como por exemplo: variáveis e seus intervalos de instâncias; um ou mais agentes; recursos, restrições temporais, etc.

O papel **Descrição de Plano** é constituído de dois sub-papéis: **Estrutura de Plano** e **Validação de Plano**. O papel **Estrutura de Plano** especifica como as partes de um plano (ações ou sub-planos) são conectadas. Ele também indica indiretamente como o plano será executado. Esse papel é constituído por dois sub-papéis:

- **Composição de Plano:** descrição de como as mudanças de estado estão dispostas no plano. Isto inclui se o plano é totalmente ou parcialmente ordenado, ou ainda partes do plano que são interações ou condicionais. A composição pode ainda ser hierárquica.
- **Elementos de Plano:** correspondem aos passos do plano que devem ser mapeados às mudanças de estado. A distinção que se faz desses dois elementos de plano é análoga a de um registrador e seu conteúdo.
- **Dados de Plano:** Esta informação se refere diretamente aos passos do plano (**elementos de plano**) e é manipulada durante o planejamento. **Dados do plano** podem ter origem a partir dos **dados de mudança de estado** (restrições que são propagadas ao longo do planejamento e que combina as restrições de cada uma das mudanças de estado do plano), bem como a partir da própria especificação do *goal* do problema. Além disso, esses dados podem incluir informações auxiliares (anotações), criadas pelo próprio planejador para auxiliá-lo na geração do plano como, por exemplo, *causal-links* ou *truth points*.

O papel **Validação de Plano** descreve o tipo de conhecimento que determina quando um plano é melhor que outro, ou ainda se um plano é válido. Baseado neste conhecimento, um plano pode ser criticado ou modificado. Vários tipos de modelos de domínio podem desempenhar esse papel:

- **CrITÉrio de verdade:** conhecimento usado para determinar se uma condição é verdadeiro em um certo passo do plano. Ele pode também ser usado para encontrar maneiras de modificar o plano tal que uma condição sempre verdadeira em um determinado passo do plano. Um exemplo é o modal truth criterion [5] que é um critério formal baseado em lógica modal.
- **Proteção de causal-links:** usado para determinar quando um passo do plano interage com um causal-link. Se isso ocorrer, alguma medida deve ser tomada para proteger o causal-link. Esse conhecimento pode também ser usado para modificar um plano garantindo a proteção de um causal-link, SNLP [11] é um exemplo de planejador que usa esse papel.

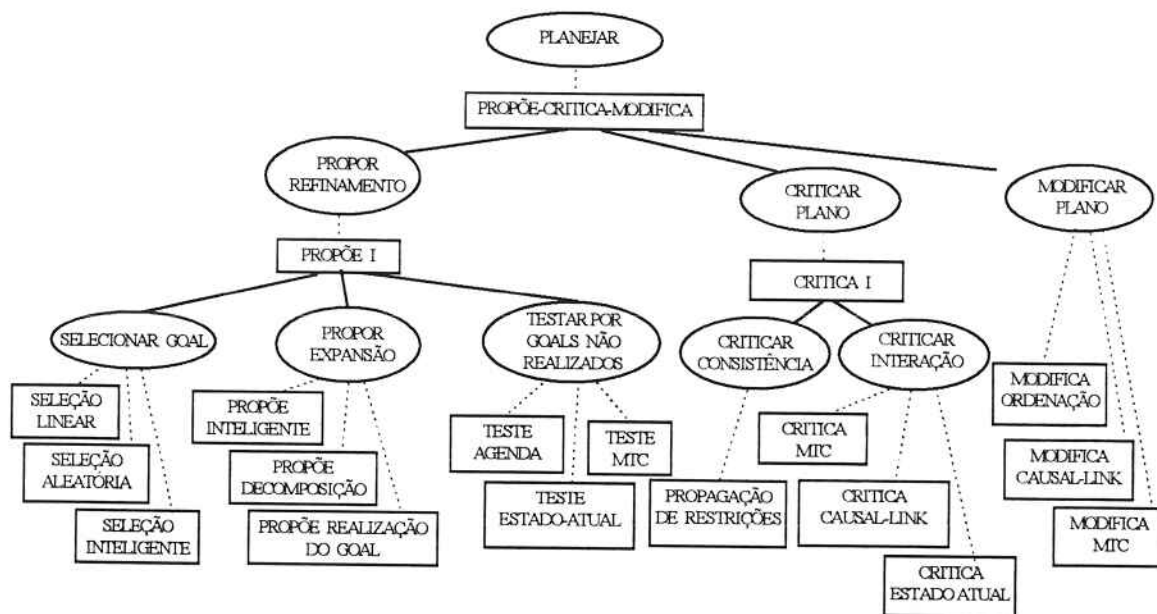


Figure 2: Uma estrutura de decomposição tarefa-método para planejamento.

3.2 Tarefas de planejamento

Baseado em trabalhos de análises de planejadores clássicos, foram identificadas as tarefas essenciais e métodos de problemas correspondentes. Essas tarefas podem ser organizadas em uma estrutura de decomposição de tarefa-método (Figura 2), onde um método pode ser decomposto em sub-tarefas (linhas contínuas) e uma sub-tarefa pode ser realizada por métodos alternativos (linhas tracejadas). Elipses representam tarefas e retângulos métodos. Note que um PSM tem associado a ele, dois tipos adicionais de conhecimento não mostrados na Figura 1: **conhecimento de controle** e **suposições**. Neste trabalho, planejamento é tratado por um método geral, um PSM de alto nível chamado **propõe-critica-modifica** [4]. O método **propõe I** consiste das três sub-tarefas: **selecionar goal**, **propor expansão** e **testar por goals não realizados**. A tarefa de propor expansão pode, por sua vez, ser realizada por três métodos diferentes: **propõe inteligente**, **propõe realização de goal** e **propõe decomposição**. Para uma descrição completa das tarefas de planejamento veja [16].

3.3 Estruturas de Controle para a tarefa de Planejamento

ESTRUTURA DE CONTROLE TOTALMENTE-ESPECIFICADA

Através da especificação de estruturas de controle pode-se relacionar as tarefas e métodos de planejamento descritos anteriormente à planejadores específicos da literatura. Isto é, estruturas de controle podem corresponder aos algoritmos de planejamento conhecidos na literatura, tais como: STRIPS, SNLP, TWEAK, NONLIN e o PRODIGY. Em tais algoritmos, a ordem de execução de seus passos é totalmente especificada, em especial em algoritmos cuja prova de completude e correção dependem de uma especificação de controle bem definida.

A seguir é dado um exemplo de uma estrutura de controle totalmente-especificada que representa o planejador SNLP [11] e que é parte da biblioteca de planejamento.

ESTRUTURA DE CONTROLE: *controle-SNLP*

1. **testar por goals não realizados** (método: teste agenda)
 2. se (**goal** = vazio) então saia
 3. **se não selecionar goals** (método: seleção aleatória)
 4. **propor expansão** (método: **propõe realização do goal**) [ponto de backtracking]
 5. **criticar interação** (método: **critica causal-link**)
 6. **criticar consistência** (método: **propagação de restrições**)
 7. se (**conflito** $\neq$ vazio) então
 8. **modificar plano** (método: **modifica causal-link**) [ponto de backtracking]
 9. **se não controle-SNLP** [chamada recursiva]
-

A estrutura de controle acima, especifica que o método SNLP executa as seguintes tarefas: **testar por-goals não realizados**, **selecionar goal**, **propor expansão**, **criticar interação**, **criticar consistência** e **modificar plano**. Os métodos que SNLP usa para realizar essas tarefas são respectivamente: **teste agenda**, **seleção aleatória**, **propõe realização de goal**, **critica causal-link** e **propagação de restrições**. Os passos de 1 a 9 devem ser executados nessa ordem, a menos que a execução do sistema falhe ou faça backtracking. São definidos dois pontos de backtracking: passo 4 e passo 8. Passo 2 é uma condição de saída e passo 9 uma chamada recursiva.

Do mesmo modo que os métodos de planejamento fazem suas suposições sobre o domínio, diferentes **estruturas de controle totalmente especificadas** podem também fazer suposições sobre o domínio de aplicação. Essas suposições estão em geral associadas ao custo e desempenho dos planejadores mostrados na literatura. Por exemplo, a característica do domínio quanto a *razão entre conflitos negativos em relação aos conflitos positivos*, determina diferenças de desempenho entre os diferentes planejadores. [22]. No caso do planejador SNLP, o seu desempenho cresce em domínios a medida em que a razão negativa/positiva entre conflitos também cresce [22].

Assim, para dar suporte ao engenheiro de conhecimento na seleção de um regime de controle, bem conhecido da área de planejamento, que se aplique a uma estratégia (gerada através da estrutura de decomposição tarefa/método), duas condições devem ser satisfeitas:

1. a estratégia sugerida através da estrutura de decomposição tarefa/método deve envolver as mesmas tarefas e métodos que as realize, presentes na estrutura de controle totalmente especificado;
2. as suposições feitas para a aplicabilidade das estruturas de controle devem ser satisfeitas.

ESTRUTURA DE CONTROLE PARCIALMENTE-ESPECIFICADA

Tais estruturas de controle correspondem aos padrões identificados de conhecimento de controle presentes em muitos algoritmos de planejamento. Esses padrões de controle foram capturados, a partir da literatura, para cada método não primitivo especificado na estrutura de decomposição tarefa/método (Figura 2), a saber: **propõe-critica-modifica**; **propõe-I** e **critica-I**. Por exemplo, no método **propõe-critica-modifica**, a tarefa **testar por goals não realizados** é sempre usada como um ponto de saída, enquanto que a tarefa **propor expansão**, é um ponto de backtracking e a tarefa **selecionar goal** é sempre executada antes da tarefa **propor expansão**.

Além disso, alguns planejadores do tipo total-ordem, como por exemplo o PRODIGY, resolvem o problema da não-linearidade considerando a tarefa **selecionar goal** como um ponto de backtracking, uma outra maneira seria considerar a tarefa **modificar plano**, quando realizada pelo método **modifica ordenação**, como um ponto de backtracking, como no caso do algoritmo conhecido por TO (Total Order) [14].

Estruturas de controle parcialmente-especificadas podem ser incluídas em uma ferramenta de aquisição de conhecimento afim de fornecer suporte na especificação de controle quando nenhuma estrutura totalmente-especificada se aplica ao domínio em questão.

A seguir mostramos a descrição de duas estruturas de controle parcialmente-especificadas para os métodos: **propõe-critica-modifica** e **propõe-I**. A descrição a seguir esta de acordo com a sua representação na ferramenta baseada em frames Par-KAP (veja seção 6.2).

ESTRUTURA DE CONTROLE: controle-Propõe-Critica-Modifica

Loop:

(envolve STEP-1) *and* (envolve STEP-2) *and* (envolve STEP-3)
and *has-a* condição de saída: (**goal** = vazio)

Tarefas:

STEP-1. **Propor refinamento**; *isa* ponto de backtracking and ponto de saída

STEP-2. **Criticar plano**; *isa* ponto de falha

STEP-3. **Modificar plano**; *isa* ponto de backtracking

has-a condição de execução: (**conflito** ≠ vazio)

Ordenação parcial de controle: (STEP-2 *is-before* STEP-3)

A estrutura de controle **controle-Propõe-Critica-Modifica** descreve que o método **propõe-critica-modifica** executa três tarefas indexadas pelos passos: STEP-1, STEP-2 e STEP-3 que correspondem aos passos do *loop* da tarefa. A condição de saída do *loop*

é dada por (**goal** =vazio). STEP-1 e STEP-2 correspondem a pontos de backtracking. STEP-2 é um ponto de falha e STEP-3 é executado somente se for detectado algum conflito.

A ordenação parcial de controle indica que STEP-2 deve ser executado antes do STEP-3, ou seja, o planejador só poderá modificar o plano depois de tê-lo criticado. Os algoritmos de planejamento variam quanto a ordem de execução do STEP-1 com relação aos outros dois:

1. cada vez que for executada a tarefa **propor refinamento** deve-se criticar e modificar o plano (SNLP [11]).
2. propor todos os refinamentos de um mesmo nível de abstração (no caso de modelo do mundo do tipo HTN) e só depois criticar e modificar o plano para resolver todos os conflitos gerados pelos vários refinamentos, até não existir mais nenhum conflito (NONLIN [TATE, 1977]).

Diante dessas duas possibilidades, a estrutura de controle-parcial descrita acima não faz nenhum compromisso de ordem com relação ao STEP-1.

Um outro exemplo é a estrutura de controle para o método **Propõe-I**, mostrada a seguir. Este método possui três tarefas: **selecionar goal**, **propor expansão** e **testar por goals não realizados**, que correspondem, respectivamente, aos passos: STEP-1, STEP-2 e STEP-3.

ESTRUTURA DE CONTROLE: controle-Propõe I

Tarefas:

STEP-1. **Selecionar goal**; *isa* ponto de backtracking

STEP-2. **Propor expansão**; *isa* ponto de backtracking

STEP-3. **Testar por goals não realizados**; *has-a* condição de saída: (**goal** =vazio)

Ordenação parcial de controle: (STEP-1 *is-before* STEP-2)

Na estrutura de controle parcialmente-especificada acima, STEP-1 e STEP-2 são pontos de backtracking e STEP-3 é um ponto de saída. A ordenação parcial de controle, (STEP-1 *is-before* STEP-2), reflete que um *goal* deve ser selecionado antes de se propor uma expansão. Algoritmos de planejamento variam quanto a ordem em que eles executam o STEP-3. Desta forma, nenhum compromisso de ordem é estabelecido com relação a STEP-3.

Estruturas de controle parcialmente-especificadas podem também fazer suposições de aplicabilidade. Em geral, tais suposições estão ligadas às propriedades de completeza e corretude dos algoritmos. Por exemplo, planejadores de **ordem-total** podem usar a estrutura de controle acima para resolver o problema da não-linearidade através de STEP-1 como um ponto de backtracking [CARBONELL, 1992]. Por outro lado, planejadores de **ordem-parcial**, em geral, não usam STEP-1 como um ponto de backtracking. Isso sugere dois tipos diferentes de estrutura de controle para o mesmo método, que devem ser selecionadas de acordo com características do domínio de aplicação.

MÉTODOS BEM CONHECIDOS DA ÁREA DE PLANEJAMENTO

A Figura 3 sintetiza, para alguns métodos de planejamento bem conhecidos da literatura de planejamento, quais os métodos primitivos que eles executam. Para cada um dos métodos, portanto, existe uma **estrutura de controle totalmente-especificada** como, por exemplo, a estrutura de controle do SNLP, mostrada acima. O armazenamento de PSMs bem conhecidos, com suas respectivas estruturas de controle, possibilitam o suporte à aquisição de conhecimento.

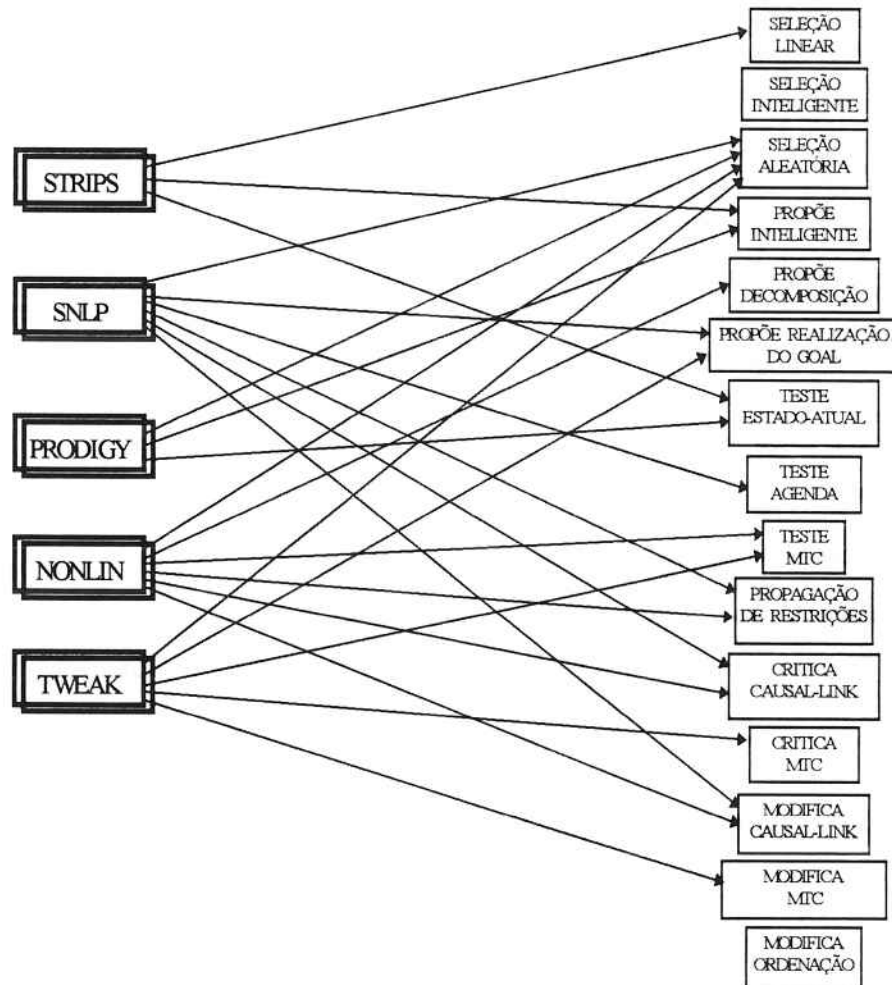


Figura 3 Uma compilação de alguns dos métodos de planejamento clássico, bem conhecidos na literatura. Setas indicam quais são os métodos primitivos executados pelos sistemas.

4. Aquisição de conhecimento através das suposições dos PSMs

Planejadores diferem em como eles realizam as tarefas descritas acima. Essas diferenças também refletem suas escolhas em termos de como o conhecimento do domínio é representado. A relação identificada entre papéis do conhecimento de um PSM e o conhecimento de domínio usado para desempenhá-los são, na verdade, as suposições do

PSM: eles caracterizam os requisitos do domínio para justificar a aplicabilidade do método. Assim, suposições são modelados como restrições entre papéis estáticos e conhecimento do domínio. Por exemplo: o método **propõe decomposição** requer que o papel estático **descrição do mundo** seja preenchido (ou desempenhado) pelo modelo de domínio HTN; o método **propõe inteligente** requer que dois papéis sejam preenchidos: **composição do plano = ordem-total** e **descrição do mundo = ADL**.

4.1 Par-KAP: uso de frames para representar a biblioteca de planejamento

Esta seção apresenta em detalhes como Par-KAP representa o conhecimento da biblioteca de métodos e mostra como a implementação operacionaliza o seu uso. Par-KAP pode ser vista como uma extensão de TinA, uma vez que, a primeira é capaz de fornecer o mesmo tipo de suporte que a segunda fornece. Durante esta seção, serão focalizadas as partes não cobertas por TinA descritas na seção anterior, em especial quanto ao conhecimento de controle.

Par-KAP é uma ferramenta eficiente, baseada em frames, desenvolvida para dar suporte à aquisição de conhecimento. Par-KAP usa **Parka Knowledge Representation System** desenvolvida na Universidade de Maryland [21]. Parka é uma linguagem de representação de conhecimento baseada em *frames*, que pode ser usada para representar uma ontologia consistida de classes, sub-classes, indivíduos e suas propriedades. Parka é implementada em C, usando bancos de dados relacionais permitindo a construção e manutenção de grandes bases de conhecimento. **Par-KAP** é implementado em LISP, mas usa a interface de aplicação de Parka, API (*Application Programming Interface*). O uso de Parka para representar a biblioteca de planejamento permite fácil inspeção e extensão do conhecimento de planejamento. A seguir, será mostrado como Parka, uma linguagem geral baseada em frames, é usada para representar a biblioteca.

ESTRUTURA DE DECOMPOSIÇÃO TAREFA/MÉTODO

A estrutura de decomposição tarefa/método é representada, em Par-KAP, por uma classe (com hierarquia do tipo **isa**) de métodos e outra de tarefas, ligadas por dois tipos de relação: **executa** e **é-desempenhada-por**. Uma tarefa **é-desempenhada-por** um método (possivelmente por mais do que um), e um método **executa** uma tarefa. Um método possui a propriedade **controla** cujo valor é a especificação de um regime de controle sobre as tarefas executadas pelo método. Isso é ilustrado pela Figura 4: criticar-plano **isa** tarefa que **é-desempenhada-por** critica-I que por sua vez **isa** método. Critica-I executa as tarefas: criticar-interação e criticar-consistência que são controladas pela estrutura de controle critica-I-controle. Suposições são ligadas aos métodos através da propriedade **requer** (veja Figura 6).

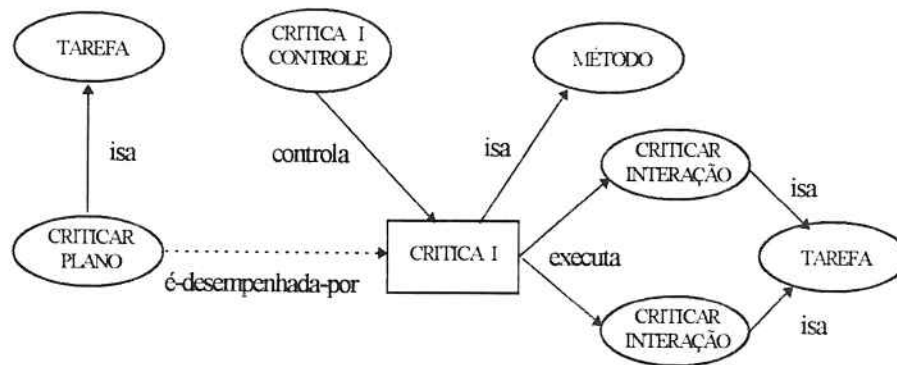


Figura 4 Representação de uma estrutura de decomposição tarefa-método em Par-KAP.

PLANEJADORES BEM-CONHECIDOS

Em Par-KAP define-se um número de métodos de planejamento correspondendo aos planejadores bem conhecidos da literatura de planejamento (como por exemplo, STRIPS, NONLIN, TWEAK, SNLP, PRODIGY, etc.) os quais correspondem à sub-árvores específicas (estratégias) extraídas da estrutura de decomposição tarefa/método (Figura 2).

A Figura 5 mostra como Par-KAP representa o planejador SNLP [11], o qual executa os seguintes métodos primitivos: **seleção aleatória**, **propõe realização de goal**, **teste agenda**, **propagação de restrições**, **critica causal-link** e **modifica causal-link**. Esse método possui uma estrutura de controle totalmente-especificada, chamada de **controle-SNLP**, que corresponde à estrutura de controle.

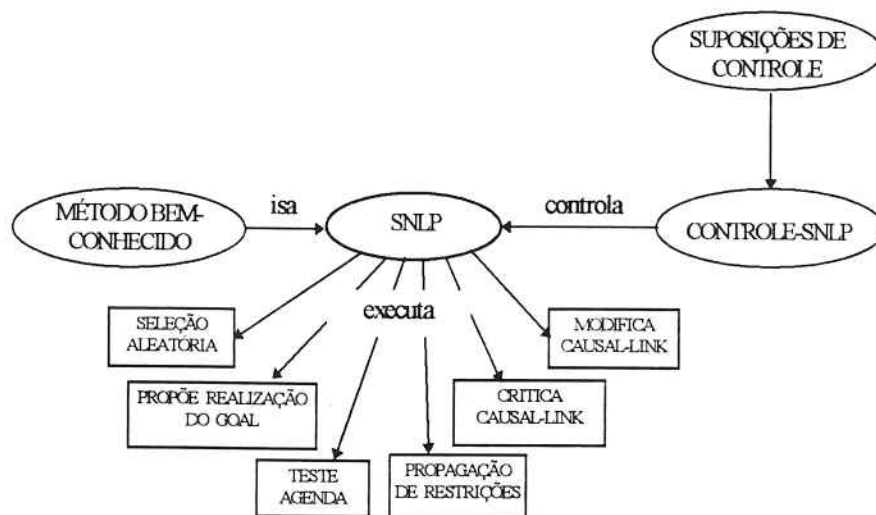


Figura 5 Um exemplo de PSM que corresponde a um planejador bem-conhecido: o SNLP.

PAPÉIS DE CONHECIMENTO E SUPOSIÇÕES

Em Par-KAP, os papéis de conhecimento são representados como uma árvore do tipo *part-of*. Um modelo de domínio particular é representado como um valor da propriedade **desempenha** relativa às folhas da árvore *part-of* de papéis. Uma suposição que um método faz quanto a sua aplicabilidade é representada pela propriedade **requer**, cujo valor é um modelo de domínio. A Figura 6 ilustra como Par-KAP representa a árvore *part-of* de papéis de conhecimento e suas ligações com modelos de domínio e suposições de métodos. Como um exemplo, o método propõe-decomposição o requer o modelo de domínio HTN para desempenhar o papel do conhecimento mudanças de estado.

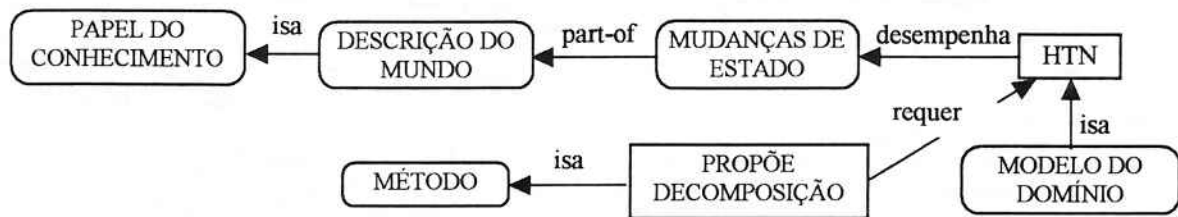


Figura 6 Representação da árvore *part-of* de papéis de conhecimento e suas ligações com modelos de domínio e suposições de métodos para o método propõe-decomposição.

ESTRUTURAS DE CONTROLE

Em Par-KAP a estrutura de controle é um valor para a propriedade **controla** associada a cada um dos métodos não primitivos e aos bem-conhecidos (Figura 7). Par-KAP utiliza nomes de passos que são (ligados) às sub-tarefas a serem executadas pelo método, ou seja, passos de um método **executam** tarefas. Assim, a estrutura de controle impõe seu regime sobre os passos e não diretamente às sub-tarefas do método, permitindo assim, que mais do que um regime de controle possa ser associado ao mesmo método. Exemplos de comandos de controle são: pontos de backtracking, chamadas recursivas, pontos de saída ou de execução, etc. A Figura 7 ilustra a representação em Par-KAP do conhecimento de controle para o método propõe-critica-modifica.

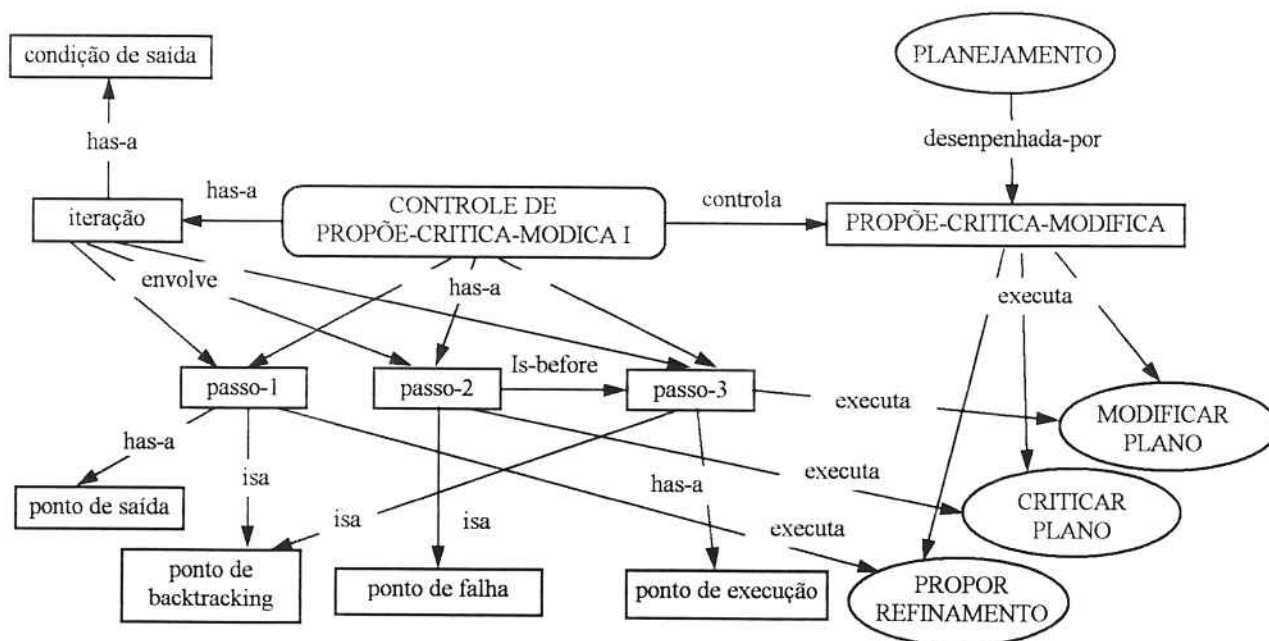


Figura 7 Representação em Par-KAP de uma estrutura de controle para executar o método propõe-critica-modifica.

4.1.1 Usando Par-KAP para encontrar tarefas e estruturas de controle aplicáveis a um dado domínio

Par-KAP é capaz de encontrar um PSM na biblioteca adequado a um domínio de aplicação especificado sendo dadas certas características daquele domínio. Par-KAP usa sua representação interna da estrutura de decomposição tarefa/método (Figura 4) para gerar todas as estruturas de tarefa aplicáveis a um dado domínio de aplicação. Depois de gerar uma lista de tarefas e correspondentes métodos primitivos, Par-KAP seleciona uma estrutura de controle adequada ao domínio. Em termos de conhecimento de controle, Par-KAP pode sugerir: (i) uma estrutura de controle totalmente-especificada de um planejador bem-conhecido ou (ii) um PSM com uma estrutura de controle parcialmente-especificada, a ser totalmente especificada pelo engenheiro de conhecimento.

Como um exemplo, considere o domínio especificado na Tabela 2.

Papéis estáticos de conhecimento	Modelos de domínio
mudança de estado	HTN
conhecimento de validação de plano	proteção de causal-link
dados de mudança de estado	recursos
composição de plano	ordem-parcial
descrição de estado	wff

Tabela 2 Um exemplo de especificação de domínio através de papéis e modelos de domínio.

```

(tarefa planejamento
  ((metodo propoe-critica-modifica
    ((tarefa propor-refinamento
      ((metodo propoe-I
        (tarefa selecionar-goal ((metodo selecao-aleatoria)))
        (tarefa propor-expansao ((metodo propoe-decomposicao)))
        (tarefa testar-por-goals-nao-realizados
          ((metodo teste-agenda))))))
    (tarefa criticar-plano
      ((metodo critica-I
        ((tarefa criticar-consistencia ((metodo propagacao-de-restricoes)))
        (tarefa criticar-interacoes ((metodo critica-causal-link))))))
      (tarefa modificar-plano ((metodo modifica-causal-link))))))

```

ESTRUTURA DE CONTROLE ** Parcialmente-especificado **

Loop:

(envolve STEP-1), (envolve STEP-2), (envolve STEP-3)

(has-a condição de saída): (goal =vazio)

Tarefas:

STEP-1. Propor refinamento

STEP-1.1. selecionar goal **isa** ponto de backtracking

STEP-1.2. propor expansão **isa** ponto de backtracking

STEP-1.3. testar por goals não realizados **has-a** condição de saída: (goal = vazio)

STEP-2. Criticar plano

STEP-2.1. criticar consistência **isa** fail-point

STEP-2.2. criticar interação

STEP-3. Modificar plano **isa** backtracking-point and **has-a** condição de execução :
(conflito ≠ vazio)

Ordenação parcial de controle: (STEP-2 is-before STEP-3) and (STEP-1.1 is-before
STEP-1.2) and (STEP-1.2 is-before STEP-1.3)

Figura 8 Exemplo de um PSM gerado por Par-KAP: a decomposição da tarefa de planejamento em sub-tarefas e métodos primitivos e uma estrutura de controle parcialmente especificada.

A Figura 8 mostra uma estrutura do tipo Lisp, gerada por Par-KAP, que corresponde a um caminho da árvore de decomposição tarefa/método (Figura 2). O sistema retorna uma lista de como as tarefas de alto nível (tarefas compostas) podem ser decompostas em tarefas primitivas. O regime de controle sugerido, combina três estruturas de controle parcialmente-especificadas de métodos compostos: propõe-critica-modifica, propõe-I e critica-I (Figura 2). Fica a critério do engenheiro de conhecimento especificar com mais detalhes o PSM sugerido por Par-KAP.

5. Considerações finais

Ainda que a tecnologia de Sistemas Baseados em Conhecimento ofereça facilidades quanto a construção de novos sistemas, a tarefa de se construir um sistema a partir do zero é difícil e desencorajadora. Além disso, existe uma tendência para o

desenvolvimento de aplicações de SBC cada vez mais complexas tornando assim, a tarefa de engenharia de conhecimento cada vez mais difícil. Se espera que no futuro, SBCs (e sistemas de informação em geral) serão configurados a partir de partes reusáveis. Por essa razão, “reuso” é uma questão importante, tanto na comunidade de engenharia de conhecimento quanto na de engenharia de software. Os componentes que são candidatos para reuso são os PSMs (representações abstratas do processo de raciocínio) e o conhecimento do domínio [20]. Dentro desse prisma, é fundamental a escolha de um *framework* adequado de representação que facilite a organização, indexação, seleção e adaptação desses componentes reusáveis.

Neste trabalho foi adotada uma abordagem de reuso orientada à tarefa aplicada à planejamento. Desta forma, foi apresentado um *framework* descrito no nível do conhecimento para representar métodos de resolução de problemas (PSMs) empregados em sistemas de planejamento. O conjunto de componentes caracterizados neste *framework* compõem uma biblioteca de PSMs de planejamento, contendo ingredientes essenciais necessários para dar apoio à construção de planejadores. Nesta biblioteca, métodos de resolução de problemas são organizados em estruturas de decomposição tarefa-método, e referem ao modelos de domínio através de suposições. O resultado é importante para a atividade de Aquisição de Conhecimento porque os componentes identificados podem ser reusados, em oposição à construção de sistemas de planejamento a partir do zero.

O trabalho mostra como planejadores podem ser descritos e gerados pelos componentes dessa biblioteca. Além de uma ferramenta para aquisição de conhecimento, a biblioteca de planejamento possui outro papel importante: sua linguagem de representação ao nível do conhecimento pode ser usada como um ambiente para representar e analisar métodos de planejamento. A biblioteca define um número de componentes (entre eles, papéis do conhecimento e métodos de resolução de problemas) usados para descrever métodos de planejamento fornecendo assim uma linguagem comum que permite mapear, classificar e comparar os diferentes planejadores ao nível do conhecimento.

Foram apresentadas duas implementações protótipo da biblioteca de planejamento com a intenção de operacionalizar o seu uso da biblioteca para atividades de aquisição de conhecimento. A primeira, **TinA**, foi usada para experimentos iniciais em dois tipos de tarefas de aquisição de conhecimento. A segunda, **Par-KAP**, estende a primeira para tratar conhecimento de controle, utilizando uma linguagem eficiente de Inteligência Artificial baseada em frames. Foram apresentados dois tipos de suporte que podem ser fornecidos através dessas implementações:

1. O primeiro diz respeito à configuração de um planejador usando os métodos da biblioteca, para ser aplicado a um determinado domínio. Neste caso, a especificação do domínio é comparada às suposições dos PSMs, até que uma configuração adequada é encontrada para resolver problemas no domínio. Todas as configurações de PSMs possíveis são encontradas que satisfazem um dado domínio, o que resulta em muitos casos, em novos planejadores;
2. O segundo tipo de KA suporte é o de geração das suposições de domínio feitas por um determinado planejador. Neste caso, o planejador é decomposto em seus PSMs constituintes, e então suas suposições sobre o domínio são fornecidas, para a construção da Base de Conhecimento.

É importante notar que o uso da biblioteca através de uma ferramenta implementada é basicamente um apoio de modelagem. A questão de como operacionalizar métodos de resolução de problemas é uma tarefa complexa e está fora do escopo dessa proposta. Em trabalhos futuros essa questão poderá ser tratada, permitindo que um programa executável seja gerado a partir da especificação de um PSM.

Em futuras versões de Par-KAP, pretende-se introduzir uma interface para a biblioteca, com o objetivo de permitir o refinamento e atualização do conhecimento de planejamento. Uma vez que Parka, já está disponível na Internet, pretende-se também permitir que Par-KAP seja acessada e usada remotamente. Oferecer facilidades de extensão da biblioteca vai de acordo com uma tendência atual da área de Inteligência Artificial: através da avaliação empírica de sistemas que resolvem problemas no mundo real, pode ser identificado novos conhecimentos sobre planejamento, isto é, novos papéis de conhecimento, tarefas e métodos, bem como modelos de domínio. Em particular, cada vez que um engenheiro de conhecimento usar a biblioteca para desenvolver um novo sistema de planejamento, ele poderá adicionar novos conhecimentos à biblioteca.

Em termos de análise dos sistemas de planejamento existentes, o *framework* apresentado neste trabalho possui as seguintes vantagens, quando comparado às análises tradicionais da literatura: (i) detalhes de algoritmos e de implementação são ignorados, e (ii) o enfoque é dado a como o conhecimento é usado pelos diferentes métodos, ao invés de focalizar eficiência. Tais vantagens podem trazer informações importantes à comunidade de planejamento de IA, uma vez que, por se tratar de uma área de pesquisa relativamente nova, ela ainda não é considerada madura o suficiente para se esperar a existência de uma fundação sólida na qual se possa construir uma teoria completa de planejamento. Portanto, espera-se que este trabalho possa ajudar a esclarecer alguns conceitos fundamentais para a melhor compreensão dos diversos métodos de planejamento existentes na literatura, ou ainda que, a partir da análise realizada neste trabalho, possam surgir novas idéias sobre o processo de resolução de problemas em domínio de planejamento.

Dentre os principais aspectos salientados a partir da análise realizada neste trabalho, estão:

QUANTO ÀS SUPOSIÇÕES DOS PSMs

A abordagem proposta neste trabalho oferece à questão de **suposições** de aplicabilidade de métodos, um *framework* que possibilita a discussão no nível do conhecimento. Porém, a resposta a essa questão está além do escopo desse trabalho, uma vez que não se pretende introduzir na biblioteca nada além do que se encontra disponível na literatura de planejamento, onde esta questão permanece em aberto. Uma das dificuldades encontradas para se responder a questão acima é que, somente através da análise de um número de aplicações de planejamento no mundo real, pode-se apresentar alguma solução a essa questão, sendo que, a grande maioria dos sistemas de planejamento estudados na literatura são construídos para domínios artificiais.

A noção de suposição para os métodos da biblioteca tem que ser aprofundada. Neste trabalho, suposições foram descritas como restrições entre papéis estáticos e os modelos de domínio que os desempenham (por exemplo, **mudanças de mundo** = HTN). No entanto, precisa ser estabelecida a relação entre as características desses modelos de

domínio e o domínio de aplicação. Por exemplo, precisa ser verificado se um modelo do domínio do tipo **HTN** é uma característica do domínio (conhecimento disponível ou não no domínio de aplicação) ou se é simplesmente uma escolha de modelagem usada para estruturar o domínio. Pode-se afirmar que para determinados domínios de aplicação pode ser difícil encontrar hierarquias de ações e a única maneira de se modelar o domínio é através de ações do tipo ADL.

QUANTO AO CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE VALIDAÇÃO DE PLANO

Este trabalho propõe a criação do uso de conhecimento especializado para o papel de conhecimento **validação de plano**. Como foi descrito na seção 3.1, o papel estático]. **Dados de Plano** define que um plano pode conter um número de restrições herdadas do domínio de aplicação, a saber: restrições de ordem, de codesignação, de tempo, de recursos, de agentes, de verdade, de qualidade do plano e restrições auxiliares. Desta forma, o conhecimento de **validação de plano** deve conter conhecimento que será usado para raciocinar sobre os diferentes tipos de restrições do domínio, contidas no plano, que muitas vezes são muito dependentes da aplicação como, por exemplo, o consumo de recursos bem como as capacitações de agentes que podem, inclusive, envolver heurísticas do domínio. Assim, através da análise realizada nesse trabalho, evidenciou-se a necessidade do uso de conhecimento especializado sobre os diferentes tipos de restrições do plano que necessitam de tratamento dedicado, ou seja, cada tipo de restrições de um domínio deve possuir sua própria teoria de interação.

No caso da não existência de conhecimento especializado, métodos gerais de tratamento de restrições, como os algoritmos de propagação de restrições, podem ser utilizados. Isto explica porque alguns planejadores executam a tarefa **criticar consistência**: o objetivo dessa tarefa é o de tratar de uma maneira genérica (não especializada) as inconsistências entre as restrições do plano. Ainda que essa tarefa possa resolver problemas de interações, um planejador que só execute métodos gerais pode apresentar limitações quanto ao tratamento de interações em domínios complexos, onde o conhecimento especializado se faz necessário.

Uma das contribuições desse trabalho é a de propor à comunidade de planejamento o uso de teorias de validação de plano especializadas em um mesmo sistema de planejamento.

6. Agradecimentos

Leliane Nunes de Barros agradece ao Prof. Dr. James Hendler pela sua co-orientação durante o seu doutorado Sanduiche e por permitir que parte da pesquisa fosse realizada em seu laboratório. Sinceros agradecimentos aos Doutores Richard Benjamins e André Valente pela sua valiosa colaboração. Essa pesquisa teve o suporte do CNPq e CAPS.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Leliane Nunes de Barros, Andre Valente and V. Richard Benjamins. Modeling Planning Tasks. In *Conference on Artificial Intelligence Planning Systems - AIPS'96*, 1996.
- [2] Leliane Nunes de Barros, James Hendler and V. Richard Benjamins. Par-KAP: a Knowledge Acquisition Tool for Building Practical Planning Systems. In *IJCAI*, 1997.

- [3] V. Richard Benjamins, Leliane Nunes de Barros e Andre Valente. Constructing planners through problem-solving methods. In *Knowledge Acquisition Workshop - KAW'96 (Banff)*
- [4] B.Chandrasekaran. Design Problem Solving: A task analysis. *AI magazine*, 1990.
- [5] D. Chapman. Planning for conjunctive goals. *Artificial Intelligence*, 32:333-377, 1987.
- [6] T.Dean and S.Kambhampati.Planning and Scheduling.*CRC Handbook of CS and Engineering*1995.
- [7] K. Erol, J. Hendler, and D. S. Nau. UMCP: a sound and complete procedure for hierarchical task-network planning. In *Conference on Artificial Intelligence Planning Systems - AIPS'94*, 1994.
- [8] R.E. Fikes and N. J. Nilsson. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving for problem solving. *Artificial Intelligence*, 2, 1971.
- [10] S. Kambhampati. Refinement search as a unifying framework for analyzing planning algorithms. In Proc. of *Knowledge Representations and Reasoning (KRR)*, May 1994.
- [11] D. McAllester and D. Roseblitt. Systematic nonlinear planning. In *Proc. Of AAAI-91*, CA, 1991.
- [12] A. Newell and H. A. Simon. GPS: A program that simulates human thought. In E. A. Feigenbaum and J. Feldman, editors, *Computers and Thought*, pages 279-293. McGraw-Hill, NY, 1963.
- [13] A. Th. Schreiber, B. J. Wielinga, R. de Hoog, J. M. Akkermans, and W. Van de Velde. CommonKADS: A comprehensive methodology for KBS development. *IEEE Expert*, 1994.
- [14] S. Minton, J. Bresina and M. Drummond. "Commitments Strategies in Planning: A Comparative Analysis". *International joint Conference on Artificial Intelligence - IJCAI*, 1991.
- [15] A. Valente. Knowledge level analysis of planning. *SIGART Bulletin*, 1995.
- [16] André Valente, V. Richard Benjamins and Leliane Nunes de Barros. "A Library of System-Derived Problem-Solving Methods for Planning". To appear in: *International Journal of Human-Computer Studies, IJHCS*. Special Edition on *Knowledge Acquisition for Planning*, 1997.
- [17] A. Barret and D. S. Weld. "Partial-order planning: evaluating possible efficiency gains". *AI*, 1994.
- [18] Korf, R. "Planning as Search: A Quantitative Approach" *Artificial Intelligence - AI*, 33(1), 1987.
- [19] P.E. Friedland and Y. Iwasaki. The concept and implementation of skeletal plans. *JAR*, 1, 1995.
- [20] Beys, P.; Benjamins, V. R.; Heijst, G. Remedying the Reusability - Usability Tradeoff for Problem-Solving Methods. In: *Knowledge Acquisition Workshop - KAW'96 (Banff)*, 1996.
- [21] Andersen, W.; Hendler, J.; Evett, M.; Ketter, B. Massive parallel matching of knowledge structures. In: Kitano, H.; Hendler, J., eds. *Massive Parallel Artificial Intelligence*. AAAI/MIT Press, 1994.
- [22] Knoblock, C.; Yang, Q. Relating the performance of partial-order planning algorithms to domain features. *SIGART Bulletin*, 6(1):33-41.

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Conductoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e "Notch" para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - "Ray Tracing" Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para "Gate-Arrays" Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERA-FILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais "IIR" (da especificação em alto nível ao leiaute do "ASIC") - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de *Clustering* para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON
- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System" - SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.

- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção *SANNI group* Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9607 - Coleção *SANNI group* Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confecção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES
- BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO
- BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUÍS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO
- BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA
- BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÊS PEREYRA
- BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI
- BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCH, LAÉRCIO LUCCHESI
- BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões *Multicast* para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9713 - Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura - Metal - CECÍLIA WETTERLE RODRIGUES, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9714 - Tensões Induzidas em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Indiretas - Modelagem e Aplicação ao Cálculo de Interrupções - ALEXANDRE PIANTINI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEE/9715 - RECMAP - Uma Ferramenta para Otimização em Síntese de Alto Nível Baseada em Reconhecimento Funcional e Mapeamento de Componentes - ANDRÉ GERHARD, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9716 - Estudo da Sinterização de Contatos Al/Ti por Recozimento Térmico Rápido Visando a Aplicação em Circuitos Integrados - ANGELO EDUARDO BATTISTINI MARQUES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PEE/9717 - Mixed H₂/H- Control of Discrete-Time Markovian Jump Linear Systems - OSWALDO L. V. COSTA, RICARDO P. MARQUES
- BT/PEE/9718 - Aluminium Etching with CCl₄-N₂ Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litrografia por Feixe de Elétrons - ANTONIO C. SEABRA, PATRICK B. VERDONCK
- BT/PEE/9720 - Implementação de um Simulador de um Circuito Neuro-Medular que Atua no Controle da Força Motora - LUIZ JURANDIR SIMÕES DE ARAÚJO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9721 - Avaliação das Características Físico-Químicas e Elétricas de Filmes de SiO₂ Depositados por PECVD a Partir da Reação entre O₂ e TEOS - ALVARO ROMANELLI CARDOSO E CLAUS MARTIN HASENACK
- BT/PEE/9722 - Controle e Simulação Dinâmica de Colunas de Destilação: Aplicação Prática em uma Coluna com Refluxo por Gravidade
- BT/PEE/9723 - Circuitos de Portas Lógicas Primitivas Implementados a Partir de uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas - JOÃO INÁCIO DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ

- BT/PEE/9724 - Lattice Heating and Energy Balance Consideration on the I-V Characteristics of Submicrometer Thin-Film Fully Depleted SOI NMOS Devices - CLAUDIA BRUNETTI, NELSON L. A. BRAGA, LUIZ S. ZASNICOFF
- BT/PEE/9725 - Identificação de um Processo de Neutralização de pH via Redes Neurais - SILVIO FLABOREA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9726 - Uma Estratégia de Migração de Sistemas de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA - RONALD LUIS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9727 - Controle de pH Usando Conceitos de Invariantes de Reações e Geometria Diferencial - OSCAR A. ZANABARIA S., CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9728 - Estudo da Influência dos Parâmetros de Recozimento Térmico Rápido na Morfologia dos Filmes de TiSi_2 Formados e sua Correlação com a Tensão Mecânica - SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9729 - Analysis of Silicon Surface Microirregularities by LASER Light Scattering - JOSÉ CÂNDIDO DE SOUSA FILHO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9730 - Wavelets in Music Analysis and Synthesis: Timbres Analysis and Perspectives - REGIS ROSSI ALVES FARIA, RUGGERO ANDREA RUSCHIONI, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9731 - Estudo de Efeitos Mútuos da Distribuição de Corrente em Condutores - AUGUSTO CARLOS PAVÃO, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9801 - Equivalência entre a Semântica da Lógica de Transações e a Semântica de sua Implementação Prolog - PAULO E. SANTOS, FLÁVIO S. C. DA SILVA
- BT/PEE/9802 - Nash Game in Mixed H_2/H_∞ Control Theory a Convex Optimization Approach- HELENICE OLIVEIRA FLORENTINO, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9803 - Text-Independent Speaker Recognition Using Vector Quantization and Gaussian Mixture Models - THOMAS E. FILGUEIRAS F., RONALDO O. MESSINA E EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9804 - Elementos Piezoresistivos para Sensores de Pressão com Tecnologia CMOS - LUIZ ANTONIO RASIA, E. C. RODRIGUEZ
- BT/PEE/9805 - Automação do Processo de Casamento de Impedância em Sistemas de Aquecimento por Microondas - J. C. DE SOUZA, J. T. SENISE, V. C. PARRO, F. M. PAIT
- BT/PEE/9806 - Considerações para o Projeto de Células de Memória SI com Transistores HEMT - JAIME H. LASSO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PEE/9807 - Covariance Controller with Structure Constraint and Closed Loop H_∞ Bound - ANTÔNIO CARLOS DE LIMA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9808 - Controle Unidimensional de Objetos: Uma Aplicação Prática em Fresadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicadas ao Reconhecimento Automático do Locutor - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9810 - Topological Computation and Voluntary Control - HENRIQUE SCHÜTZER DEL NERO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA, ALFREDO PORTINARI MARANCA
- BT/PEE/9811 - Casamento de Impedância em Guia de Onda Retangular Utilizando como Variável Medida a Potência Refletida - J. C. DE SOUZA JR., J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL
- BT/PEE/9813 - Contribuição ao Estudo da Morfologia da Superfície e da Interface do Siliceto de Titânio Formado sobre Si (100) Empregando a Técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM) - N. M. HASAN, A. A. M. LAGANÁ, S. G. SANTOS FILHO
- BT/PEE/9814 - Estudo Experimental da Tensão Mecânica em Filmes Finos de Cobre Obtidos por Evaporação ou Deposição Eletroquímica Espontânea - A. I. HASHIMOTO, S. G. FILHO
- BT/PEE/9815 - Controle Híbrido de Manipuladores Robóticos - WEBER ALLEGRI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9816 - Entropia Informacional e Cronobiologia - ANA AMÉLIA BENEDITO SILVA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9817 - Estabilidade de Lyapunov e Controle de Atitude - FERNANDO SOUSA, FREITAS JÚNIOR, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PEE/9818 - Projeto de um Conversor de Frequências Resistivo em Tecnologia MMIC - CLÁUDIA C. A. APARÍCIO, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9819 - Estudo de Sensibilidade de um Sistema de Modulação Digital via Simulação - RONALDO DI MAURO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PEE/9820 - Engenharia do Conhecimento Aplicada ao Conhecimento Aplicado ao Domínio de Gerenciamento de Falhas em Redes de Comunicação: Uma Abordagem Baseada em Modelo - MARILZA ANTUNES DE LEMOS, MARCIO RILLO

