



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

ERNANDES AZEVEDO JUNIOR

UTILIZANDO PREFERÊNCIAS NA MUDANÇA DA META DE PLANEJAMENTO

QUIXADÁ

2018

ERNANDES AZEVEDO JUNIOR

UTILIZANDO PREFERÊNCIAS NA MUDANÇA DA META DE PLANEJAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software do Campus de Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Software.

Orientadora: Prof. Dr. Maria Viviane de Menezes

QUIXADÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Azevedo Junior, Ernandes.

Utilizando preferências na mudança da meta de planejamento / Ernandes Azevedo Junior. – 2018.
32 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Maria Viviane de Menezes.

1. Revisão de crenças. 2. Planejamento. 3. Inteligência Artificial. I. Título.

CDD 005.1

ERNANDES AZEVEDO JUNIOR

UTILIZANDO PREFERÊNCIAS NA MUDANÇA DA META DE PLANEJAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software do Campus de Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maria Viviane de Menezes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Davi Romero de Vasconcelos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Arthur Rodrigues Araruna
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por tudo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui minha gratidão a todos que de alguma forma me auxiliaram na conclusão deste trabalho e fizeram parte na minha caminhada durante a graduação.

Primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de chegar ao final do meu curso e estar concluindo este trabalho.

Quero agradecer também aos professores Arthur Araruna e Davi Romero por terem integrado a banca examinadora e também às professoras Diana Braga e Carla Ilane que coordenaram divinamente o curso.

Agradeço a esses professores por todas as suas contribuições, e em especial à professora Viviane Menezes, por ter sido minha orientadora e pacientemente ter prestado toda assistência durante a execução deste trabalho.

Quero agradecer também à minha família, por todo auxílio que tive deles em todos os sentidos. Por sempre estarem me incentivando a continuar buscando meus objetivos e por nunca ter medido esforços para estarem ao meu lado sempre que precisei. Ao meu pai Ernandes Azevedo, à minha mãe Maria Holanda e às minhas irmãs Nayara Holanda e Isabelle Aryanne.

Quero fazer um agradecimento especial também aos meus grandes amigos Áurea Fonseca, Thales Candido, Davi Cedraz, Samuel Alves, Rodrigo Almeida, Matheus Silva e mais especial ainda à Fabiany Sousa. Por terem me dado o maior incentivo e apoio para concluir este trabalho e o curso, por sempre estarem ao meu lado e serem os melhores amigos que já tive.

“Você tem que ter uma atitude positiva e tirar o melhor da situação na qual se encontra”

(Stephen Hawking)

RESUMO

Planejamento é a subárea da Inteligência Artificial que se preocupa em propor uma sequência de ações de modo que um agente possa alcançar suas metas. A solução para um problema de planejamento é uma sequência de ações, denominada *plano*, que possibilita ao agente alcançar o objetivo. No entanto, em alguns casos, não é possível obter um plano de ações. Nestes casos, dizemos que o *problema de planejamento não possui solução*. As causas para que um problema de planejamento não possua solução são: (i) especificação incorreta do estado inicial; (ii) metas super-especificadas ou (iii) especificação incorreta do conjunto de ações.

Este trabalho aborda os casos em que um problema de planejamento não possui solução devido à super especificação de metas, isto é, os casos em que a imposição de muitos objetivos ao agente pode tornar impossível a elaboração de um plano de ações. Por exemplo, considere a seguinte tarefa dada a um agente de logística: entregar três pacotes *A*, *B* e *C*, contendo um coração para transplante, um passaporte e um celular, respectivamente. Suponha ainda que não é possível realizar a entrega destes três pacotes, devido a, por exemplo, restrições de tempo ou combustível. A abordagem de mudança da meta, baseada em revisão de crenças, considera modificar o problema de planejamento com a elaboração de uma nova meta que possua *modificação minimal* em relação à meta original. Assim, esta abordagem irá sugerir que a meta seja modificada para entregar apenas dois pacotes, não levando em consideração quais deles o usuário *prefere* receber. Este trabalho propõe a incorporação de preferências no processo de mudança da meta de planejamento. Para isso, é proposto o uso de rede de preferências CP-Nets para captar uma ordenação entre as preferências do usuário e a utilização destas ordenações para escolha da nova meta de planejamento que torne o problema sem solução em um problema solucionável.

Palavras-chave: Revisão de Crenças. Planejamento com Preferências. Problemas sem solução. Mudança da Meta. Planejamento Automatizado. Inteligência Artificial.

ABSTRACT

Planning is the subarea of Artificial Intelligence that is concerned with proposing a sequence of actions so that an agent can achieve its goals. The solution to a planning problem is a sequence of actions, called *plane*, which enables the agent to reach the goal. However, in some cases, it is not possible to obtain an action plan. In these cases, we say that the *planning problem has no solution*. The causes for which a planning problem has no solution are: (i) incorrect specification of the initial state; (ii) super-specified targets or (ii) incorrect specification of the set of actions. This paper deals with the cases in which a planning problem has no solution due to over specification of goals, that is, cases in which imposing many objectives on the agent may make it impossible to elaborate a plan of actions. For example, consider the following task given to a logistics agent: deliver three packages *A*, *B*, and *C*, containing a transplant heart, a passport, and a cell phone, respectively. Suppose further that it is not possible to deliver these three packages, due to, for example, time or fuel restrictions. The goal change approach, based on belief review, considers modifying the planning problem with the elaboration of a new goal that has *minimal modification* in relation to the original goal. Thus, this approach will suggest that the goal be modified to deliver only two packets, not taking into account which ones the user *prefers* to receive.

This paper proposes the incorporation of preferences in the process of changing the planning goal. To do this, it is proposed to use a CP-Nets preference network to capture an ordering between user preferences and the use of these ordinations to choose the new planning goal that makes the problem unsolvable into a solvable problem.

Keywords: Review of Beliefs. Planning with Preferences. Planning with Preferences. Planning with Preferences. Automated Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Domínio de Logística em PDDL.	16
Figura 2 – Problema de Logística em <i>PDDL</i>	17
Figura 3 – Representação de um planejador.	18
Figura 4 – Conjunto R de todos os estados alcançáveis a partir do s_0	19
Figura 5 – Problema não possui solução	20
Figura 6 – $\psi * \mu = I$ (revisão)	21
Figura 7 – Rede CP para um problema com três variáveis proposicionais A, B, C	24
Figura 8 – Um grafo de preferência induzido	25
Figura 9 – <i>Rankings</i> dado um grafo induzido	26
Figura 10 – <i>Rankings</i> enumerados	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Planejamento Automatizado	11
1.2	Problemas de Planejamento sem Solução	12
1.3	Planejamento com Preferências	12
1.4	Trabalhos Correlatos	13
1.5	Motivação	13
1.6	Objetivo	14
1.7	Organização	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Planejamento Clássico	15
2.2	Mudanças de problema de planejamento sem solução	20
2.2.1	<i>Caracterização de Problema de Planejamento sem Solução</i>	20
2.2.2	<i>Modificando a meta em problemas sem solução</i>	20
2.3	Planejamento com Preferências	22
3	MUDANÇA DA META DE PLANEJAMENTO COM PREFERÊNCIAS	27
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Planejar é algo que fazemos no nosso dia a dia quando pretendemos alcançar alguma meta. Por exemplo, quando queremos ser bem sucedidos em uma avaliação na universidade, nós planejamos estudar por livros ou por materiais na *Internet* e realizar algumas anotações, para que assim possamos alcançar o objetivo estabelecido. Em outras palavras, planejamento baseia-se no ato de traçar, antecipadamente, uma sequência de ações, desenvolvendo assim, estratégias programadas para alcançar um determinado objetivo (RUSSELL; NORVIG, 2016).

1.1 Planejamento Automatizado

Planejamento Automatizado é uma subárea da Inteligência Artificial (IA) que estuda o processo deliberativo de construção de um *plano* de ações para que um agente inteligente alcance seus objetivos. A área de planejamento propõe-se a construir planos para as mais diversas tarefas, incluindo robótica, planejamento de processos, coleta de informações baseadas na web, navegação de robôs, agentes autônomos e controle de missão de espaçonaves (GÖBELBECKER *et al.*, 2010)(DIMOPOULOS *et al.*, 2006).

O ambiente em que o agente irá atuar é denominado *domínio de planejamento*, o qual é dado por um conjunto de *predicados* que descrevem as características do ambiente e por um conjunto de *ações* que um agente pode executar. As ações são definidas em termos de *pré-condições* e *efeitos*.

Um dos domínios mais conhecidos e utilizados na área de planejamento é o *Domínio de Logística* (KAUTZ; SELMAN, 1996) que consiste na tarefa de entrega de um determinado número de pacotes. Tais pacotes são transportados dentro da mesma cidade por caminhões e entre as cidades por aviões. Em um mesmo domínio, podemos definir vários *problemas de planejamento*. As diversas instâncias desse domínio variam o número de objetos entregues, o número de cidades, número de caminhões e aviões.

Um problema de planejamento é dado por um *estado inicial* e uma *meta* que o agente deve alcançar. No domínio de logística, um exemplo de estado inicial pode ser definido pela situação em que há três pacotes *A*, *B*, *C* localizados em um depósito em Fortaleza, um caminhão no mesmo lugar, um aeroporto em Fortaleza e um avião localizado no aeroporto em Lisboa. A meta é entregar os pacotes no aeroporto de São Paulo.

Um *plano* é uma sequência de ações que leva o agente do estado inicial para o estado

meta. Um plano para o problema de planejamento descrito acima pode ser a sequência de ações: carregar o caminhão com os três pacotes, mover o caminhão para o aeroporto em Fortaleza, mover o avião de São Paulo para Fortaleza, descarregar o caminhão no aeroporto e em seguida carregar o avião, mover o avião para São Paulo.

Um planejador é um algoritmo que recebe a descrição do domínio e do problema. Esse retornará um plano caso encontre uma solução para o problema ou uma falha caso contrário.

1.2 Problemas de Planejamento sem Solução

Em alguns casos, não é possível gerar um plano que alcance a meta especificada. Ou seja, o *problema de planejamento não possui solução*. As possíveis causas para que um problema de planejamento não possua solução são: (i) erros na definição do estado inicial, tal que é impossível a partir dele alcançar a meta; (ii) super especificação da meta de planejamento, i.e., imposição de muitos objetivos ao agente que torna impossível o alcance de todos eles; (iii) erros na especificação das ações (MENEZES, 2014).

Quando um problema de planejamento não possui solução, podemos torná-lo solucionável realizando modificações na *meta*. O trabalho de (MENEZES, 2014) caracterizou a mudança da meta como um problema de revisão de crenças (HERZIG *et al.*, 2014). Nessa abordagem, uma métrica para ordenação das mudanças é utilizada com o intuito de escolher, dentre as mudanças possíveis que tornam o problema solucionável, aquelas que alterem minimamente a definição da meta original. A métrica utilizada por (MENEZES, 2014) para ordenação das mudanças na meta é baseada em distância proposicional entre conjuntos (conhecida como *distância de Hamming* (FORBUS, 1988)).

Por exemplo, no problema dos Correios a meta é entregar três pacotes. Então, não sendo possível a entrega dos três pacotes, verifica-se se é possível entregar dois deles: (i) entregar pacote A e B ; (ii) entregar pacote A e C; (iii) entregar pacote B e C.

1.3 Planejamento com Preferências

No nosso cotidiano nos deparamos com situações em que não conseguimos cumprir todas as metas estabelecidas. De certa forma, resolvemos esse problema dando preferências ao que realmente queremos, ou seja, intuitivamente mensuramos a importância dos nossos objetivos

classificando-os entre quais são preferíveis a outros.

Dessa forma, nota-se que as preferências desempenham um papel importante na tomada de decisões, particularmente, quando relacionam-se com a decisão de como agir e atingir seus objetivos. Em planejamento é possível que o usuário defina preferências entre as submetas de um problema de planejamento (BAIER; MCILRAITH, 2008; BOUTILIER *et al.*, 2004). Sendo assim, para o agente que não consegue traçar um plano que entregue todos os três pacotes, o planejador pode determinar um novo plano baseado nas preferências do usuário usando as redes de preferências CP-Net.

1.4 Trabalhos Correlatos

Os trabalhos da área de planejamento automatizado são em sua maioria destinados à construção de algoritmos para obtenção de planos. Poucos trabalhos preocupam-se com o que fazer quando nos deparamos com um problema de planejamento sem solução.

A UIPC (*Unsolvability International Planning Competition*)¹ foi realizada com o objetivo de estimular a construção de algoritmos especializados na tarefa de *detectar* se um problema de planejamento possui solução. No entanto, os algoritmos participantes desta competição não são capazes de sugerir mudanças para que o problema torne-se solucionável.

Os trabalhos de (GÖBELBECKER *et al.*, 2010; MENEZES *et al.*, 2012) são abordagens que tratam da *mudança do estado inicial* para que um problema de planejamento sem solução torne-se solucionável. (HERZIG *et al.*, 2014) trata dos aspectos formais da *mudança da meta de planejamento* como um problema de revisão de crenças e (MENEZES *et al.*, 2012) realiza análises experimentais da mudança da meta em domínios da IPC.

1.5 Motivação

Considere o problema de planejamento sem solução no domínio de logística em que a meta é entregar os pacotes *A*, *B* e *C*. A abordagem de MENEZES (2014), baseada na métrica da *distância de Hamming*, sugere como possíveis mudanças minimais da meta: *entregar A e C*, *entregar A e B* ou *entregar B e C*. Perceba que não é possível distinguir a importância de cada um dos pacotes a serem entregues. Considere que o pacote *A* contém um coração a ser transplantado, o pacote *B* contém um passaporte de um viajante do dia e o pacote *C* contém um

¹ <https://unsolve-ipc.eng.unimelb.edu.au/>

celular de procedência duvidosa. Com a métrica baseada em *distância de Hamming* todas as soluções: *entregar A e C*, *entregar A e B* ou *entregar B e C* possuem a mesma importância.

Se fosse possível expressar que a entrega do pacote *A* possui uma maior preferência do que a entrega do pacote *B* e a entrega deste tem maior preferência em relação à entrega do *C*, poderíamos ter uma mudança que escolhe modificar a meta para entregar *A* e *B*.

1.6 Objetivo

Elaboração de métrica baseada em preferências para realizar mudanças da meta de planejamento em problemas de planejamento sem solução.

1.7 Organização

Na Seção 2, são explicadas algumas das definições e uso do planejamento automatizado, logo em seguida é explicado sobre mudança da meta de um problema de planejamento sem solução em planejamento automatizado e são apresentadas quais formas são usadas para tornar o problema solucionável. Além disso, nessa mesma seção é explicado sobre planejamento com preferências e explicações de como são utilizadas atualmente. A Seção 3 expõe como solicitamos que seja mudança da meta de planejamento usando preferências. A Seção 4 esclarece as considerações finais sobre este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Planejamento Clássico

Há diversos fatores que dificultam o processo de automatização do planejamento de tarefas (GHALLAB *et al.*, 2004). Visando simplificar esse processo, a abordagem clássica de planejamento (FIKES; NILSSON, 1971) supõe que o ambiente de planejamento evolui de forma determinística; ou seja: (i) que não há incerteza sobre os efeitos das ações do agente; (ii) que o estado corrente do ambiente muda apenas como consequência das ações executadas pelo agente; e (iii) que o agente executa ações que conduzem a evolução do ambiente, de modo que um determinado estado final desejado seja alcançado (PEREIRA; BARROS, 2007).

A comunidade de pesquisa da área de planejamento automatizado desenvolveu uma linguagem para a descrição de domínios e problemas de planejamento denominada *Planning Domain Definition Language* (PDDL) (MCDERMOTT *et al.*, 1998). Uma das características principais da linguagem PDDL é o fato dela ser independente de domínio. Sendo assim, ela pode ser utilizada para resolver os mais diversos tipos de problemas, desde o tradicional mundo dos blocos (RUSSELL; NORVIG, 2016) a desafios mais complexos como os problemas de logística onde tempo e recursos são críticos.

Com essa linguagem, é possível especificar um *domínio de planejamento* que descreve as características do agente e do ambiente, por meio de predicados e ações que o agente irá executar. É possível também definir um problema específico em um domínio, denominado *problema de planejamento*, por meio da descrição do estado *inicial* e da *meta* do agente.

Em PDDL primeiramente são definidos os predicados na lista (:predicates). Após o nome de cada predicado, utiliza-se o símbolo ? e o nome de uma variável que posteriormente será substituída por um objeto concreto em uma versão instanciada do domínio (*grounded version*). A versão com variáveis é denominada *lift version*. Observe a descrição do domínio de logística em PDDL na Figura 1.

As **ações** são definidas em termos de seus parâmetros, suas pré-condições e seus efeitos. Os **parâmetros** definem que objetos estarão envolvidos na ação. As **pré-condições** indicam o que deve ser verdadeiro antes que a ação possa ser aplicada e nos **efeitos** é descrito como o estado atual do mundo se altera se a ação for aplicada. No Domínio de Logística as ações são: *load-truck*, *load-airplane*, *unload-truck*, *unload-airplane*, *drive-truck* e *fly-airplane*. Na Figura 1 há a descrição da ação *load-truck*, responsável por carregar um objeto ?obj em um

Figura 1 – Domínio de Logística em PDDL.

```

(define (domain logistics)
  (:predicates (package ?obj)
               (truck ?truck)
               (airplane ?airplane)
               (location ?loc)
               (city ?city)

  ...

  (:action load-truck
    :parameters (?obj ?truck ?loc)
    :precondition (and (package ?obj) (truck ?truck)
                       (location ?loc) (at ?truck ?loc) (at ?obj ?loc))
    :effect (and (not (at ?obj ?loc)) (in ?obj ?truck)))

  ...

```

Fonte: (HELMERT, 2006)

caminhão ?truck em uma dada localização ?loc. As pré-condições (lista (:precondition)) dessa ação são: que ?obj seja um pacote; que ?truck seja um caminhão; que ?loc seja uma localização; que o caminhão e o pacote estejam na mesma localização ?loc. O uso do and na lista é para indicar que todas as pré-condições devem ser atendidas para que a ação possa ser aplicada em um estado. Os efeitos dessa ação são: que o pacote ?obj não esteja mais na localização ?loc (not (at ?obj ?loc)); e que o pacote esteja dentro do caminhão ?truck (in (?obj ?truck)).

No entanto, o domínio pode ser representado formalmente como um sistema de transição de estados em que cada estado é rotulado pelas proposições que são verdadeiras no estado e as arestas são rotuladas pelas ações. Esta representação como sistema de transição de estado é denominada *representação explícita* do domínio em oposição à *representação implícita* por meio de ações em PDDL.

Formalmente, um *domínio de planejamento* é mostrado na Definição 1, no qual as variáveis dos predicados foram instanciadas por objetos para obter um conjunto de átomos proposicionais \mathbb{P} (*grounded version*).

Definição 1 (*Domínio de Planejamento*) Dado um conjunto de proposições \mathbb{P} e um conjunto de ações \mathbb{A} , um domínio de planejamento (GHALLAB et al., 2004) é definido por uma tupla de três elementos $\mathbb{D} = \langle S, L, T \rangle$ em que:

- $S \neq \emptyset$ é um conjunto finito de estados possíveis do ambiente;

- $L: S \rightarrow 2^{\mathbb{P}}$ é a função de rotulação dos estados, que descreve quais proposições atômicas são verdadeiras em um estado e ;
- $T: S \times \mathbb{A} \rightarrow S$ é uma função de transição de estados.

Dado um domínio de planejamento, um *problema de planejamento* é definido em termos: (i) do estado inicial e ; (ii) da meta de planejamento. A Figura 2 mostra a descrição de um problema de planejamento em *PDDL* no domínio de Logística com: um avião (apn1); duas cidades (cit1 e cit2); 2 aeroportos (apt1 e apt2); duas localizações (pos1 e pos2); dois caminhões (tru1 e tru2); e três pacotes (A, B e C). No estado inicial (indicado pela lista (:init)): o caminhão 1 está na localização 1 (at tru1 pos1); o caminhão 2 está na localização 2 (at tru2 pos2), o avião 1 está no aeroporto 2 (at apn1 apt2), o objeto A está na localização 1 (at A pos1), o objeto B está na posição 1 (at B pos1) e o objeto C está na posição 1 (at C pos1), a localização 1 fica na cidade 1 (in-city pos1 cit1), o aeroporto 1 fica na cidade 1 (in-city apt1 cit1), a localização 2 fica na cidade 2 (in-city pos2 cit2) e; o aeroporto 2 fica na cidade 2 ((in-city apt2 cit2)). Além disso, o objetivo (indicado pela lista (:goal)) é que o objeto A seja entregue na localização 2 (at A pos2), o objeto B seja entregue na localização 2 (at B pos2) e que o objeto C também seja entregue na localização 2 (at C pos2).

Figura 2 – Problema de Logística em *PDDL*.

```
(define (problem logistics)
  (:domain logistics)
  (:objects A B C
            pos1 pos2 cit1 cit2
            tru1 tru2 apn1 apt1 apt2)

  (:init (package A) (package B) (package C)
         (truck tru1) (airplane apn1)
         (city cit1) (city cit2)
         ...
         (at A pos1) (at B pos1) (at C pos1)
         (in-city pos1 cit1) (in-city pos2 cit2)
         ...
  (:goal (and (at A pos2) (at B pos2) (at C pos2))))
```

Fonte: (HELMERT, 2006)

Formalmente, um problema de planejamento é dado como mostrado na Definição 2.

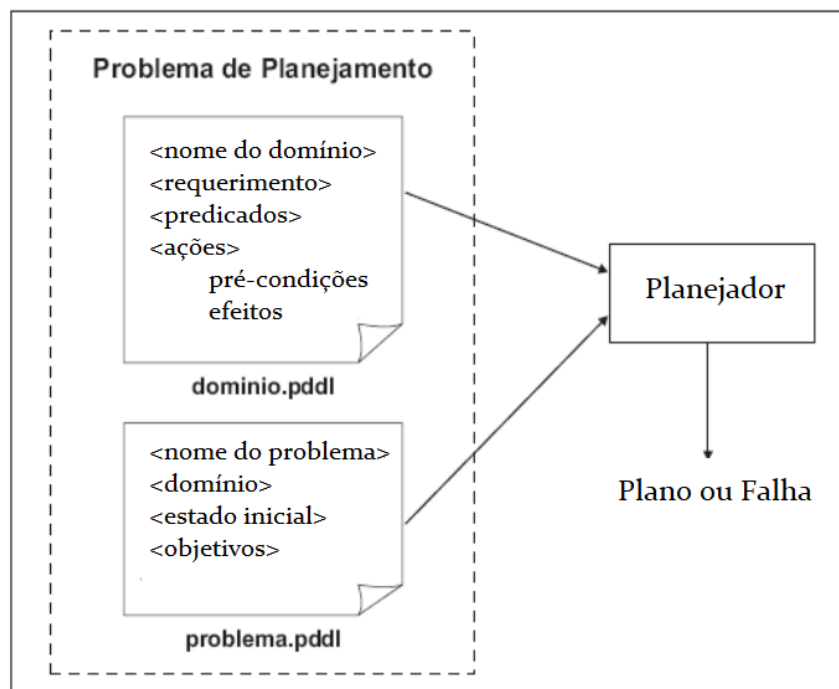
Definição 2 (*Problema de Planejamento*) Dado um domínio de planejamento D , um problema de planejamento é definido por uma tupla $\Pi = \langle \mathbb{D}, s_0, \varphi \rangle$ onde:

- \mathbb{D} é um domínio de planejamento (com assinatura \mathbb{P} e \mathbb{A});
- s_0 é o estado inicial do problema, e;
- φ é uma fórmula da lógica proposicional que representa a meta de planejamento. O conjunto de estados que satisfaz a meta φ é denominado conjunto meta G .

A solução para um problema de planejamento é denominada *plano*: uma sequência de ações que quando executadas no estado inicial permitem o agente alcançar algum estado meta.

Um planejador (Figura 3) é um algoritmo que recebe como entrada um problema de planejamento e devolve como saída um *plano*, se é possível a partir do estado inicial encontrar um estado que satisfaz a meta de planejamento, ou *falha*, se não é possível encontrar um plano.

Figura 3 – Representação de um planejador.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na tentativa de encontrar uma solução, pode-se realizar uma busca progressiva no espaço de estados a partir do estado inicial, s_0 , aplicando-se, em cada passo, as ações do domínio PDDL e gerando estados sucessores.

A busca progressiva tem como operação básica o cálculo da progressão de um estado por uma ação, denotado como, $prog^a(s)$. Esta operação permite que a partir de um estado s com

a aplicação de uma ação a seja obtido um estado sucessor s' , de forma que aplicação de uma ação gera apenas um estado sucessor. Antes de realizar a progressão de um estado s verifique-se se a ação a pode ser aplicada no estado. Para isso, deve-se analisar se as pré-condições da ação a é satisfeita no estado s , isto é, $precond(a) \subseteq L(s)$ (MENEZES, 2014). Se uma ação a pode ser aplicada em um estado s , um estado sucessor é gerado por meio da aplicação da fórmula, onde são adicionados os efeitos positivos da ação, $add(a)$, e retirados os negativos, $del(a)$:

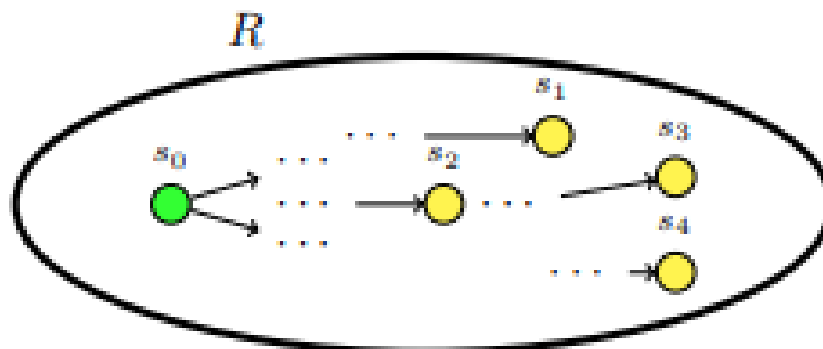
$$prog^a(s) = s \cup add(a) \setminus del(a)$$

Dado o domínio de logística da Figura 1 e um estado qualquer s_i definido por $\{at A pos1, at tru1 pos1\}$, verifica-se que é possível aplicar a ação de carregar o caminhão com o pacote A ($load-truck(A-tru1-pos1)$), pois o estado s_i atende as pré-condições dessa ação. Assim obtemos o estado sucessor s_{i+1} utilizando a fórmula:

$$\begin{aligned} prog^{load-truck(A-tru1-pos1)}(s_i) &= \{at A pos1, at tru1 pos1\} \\ &= \{at A pos1, at tru1 pos1, in A tru1\} \\ &= \{at tru1 pos1, in A tru1\} \end{aligned}$$

Logo, o estado sucessor s_{i+1} é definido por $\{at tru1 pos1, in A tru1\}$. Dessa forma, é aplicado a próxima ação possível e assim sucessivamente até que: (i) algum estado que satisfaz a meta é encontrado ou (ii) nenhum novo estado é gerado. Dessa maneira, podemos obter um conjunto, que denominamos de R , (Figura 4 de todos os estados alcançáveis a partir do s_0).

Figura 4 – Conjunto R de todos os estados alcançáveis a partir do s_0



Fonte: (MENEZES, 2014)

2.2 Mudanças de problema de planejamento sem solução

2.2.1 Caracterização de Problema de Planejamento sem Solução

Um problema de planejamento é sem solução quando não é possível encontrar um plano que a partir do estado inicial seja capaz de chegar à meta. Para modificar um problema de planejamento sem solução a fim de torná-lo solucionável, é possível realizar (MENEZES, 2014; GÖBELBECKER *et al.*, 2010; HERZIG *et al.*, 2014):

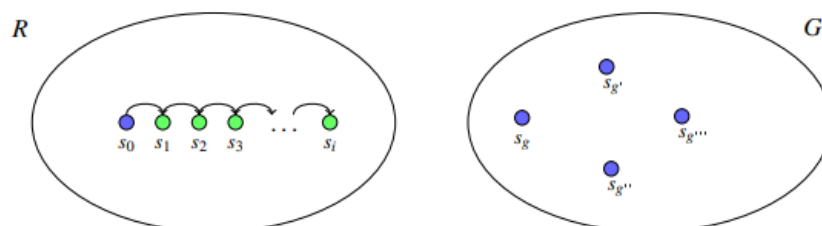
- Mudança no estado inicial
- Mudança na meta de planejamento
- Mudança no conjunto de ações.

Neste trabalho, focamos na abordagem da mudança na meta de planejamento.

Formalmente, dado o conjunto R de todos os estados alcançáveis a partir de s_0 encontrados pela busca progressiva, e um conjunto G de estados meta, um problema é sem solução quando não há nenhum estado em R que pertença a G , conforme mostrado na Figura 5.

Definição 3 (*Problemas de Planejamento sem Solução*) Um problema de planejamento $\Pi = \langle D, s_0, G \rangle$ é sem solução quando $R \cap G = \emptyset$.

Figura 5 – Problema não possui solução



Fonte: (MENEZES, 2014)

2.2.2 Modificando a meta em problemas sem solução

A tarefa de modificar a meta de um problema de planejamento sem solução para que ele torne-se solucionável é um problema de modificação de uma base de conhecimento, o qual pode ocorrer pelo processo de **revisão de crenças** (HERZIG *et al.*, 2014).

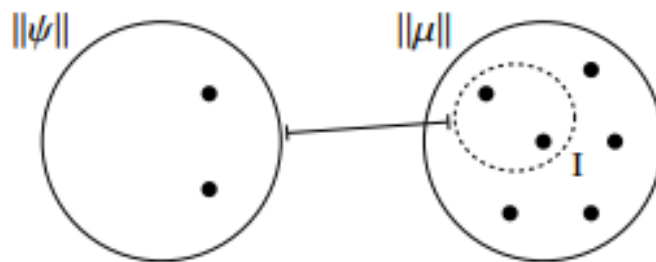
Mudança de crenças (WINSLETT, 2005; GÄRDENFORS, 1988) é área que estuda o processo de mudanças em uma base de conhecimento quando novos fatos são descobertos

sobre o mundo. Considere que a base de conhecimento é representada por uma teoria ψ e que o novo fato μ a ser incorporado é inconsistente com ψ . Para que μ possa ser incorporada a base de conhecimento, devemos modificá-la a fim de eliminar a inconsistência. A mudança em uma base de conhecimento deve seguir o princípio da mudança minimal, isto é, a base de conhecimento deve ser minimamente modificada para incorporar o novo fato. Uma das maneiras de mudar a base de conhecimento é utilizando revisão de crenças (MENEZES, 2014).

Dessa forma, a revisão de uma base de conhecimento ψ por um fato μ é denotada por $\psi * \mu$, sendo fundamentada nos postulados AGM propostos por (ALCHOURRÓN *et al.*, 1985) que são regras de racionalidade que todo operador de revisão deve satisfazer. O operador de revisão escolhe os modelos de μ mais próximos ao conjunto de modelos de ψ , minimizando a distância com relação a todos os estados do conjunto. Ou seja, a revisão $\psi * \mu$ é o conjunto de modelos do novo fato μ que estão mais próximos aos modelos da base.

A Figura 6 ilustra como ocorre o processo de revisão de ψ por μ , indicando a distância mínima entre conjuntos de modelos. De forma que do lado esquerdo temos um conjunto de estados que satisfazem a base de conhecimento ψ e do outro lado um conjunto com todos os estados que satisfazem o novo fato μ . Durante o procedimento de revisão de crenças o operador escolhe um subconjunto dos estados que satisfazem μ e são mais próximos do modelo ψ , a qual na imagem está representado pelo conjunto I.

Figura 6 – $\psi * \mu = I$ (revisão)



Fonte: (MENEZES, 2014)

Para que essa mudança seja minimal é necessário definir métricas para que possa selecionar quais modelos (ψ) da base são mais próximos aos modelos do fato (μ). A *distância de Hamming* (FORBUS, 1988) é uma métrica comumente utilizada para este fim. A distância de Hamming entre dois estados s_1 e s_2 é calculada a partir da distância proposicional entre os

estados, conforme mostrado na Definição 5.

Definição 4 (*Distância de Hamming entre estados*) Sejam s_1 e s_2 estados do domínio de planejamento, a distância de Hamming entre s_1 e s_2 é dada por: $h(s_1, s_2) = |L(s_1) - L(s_2)|$, em que $L(s_1)$ e $L(s_2)$ são, respectivamente, os rótulos dos estados s_1 e s_2 . (FORBUS, 1988)

(MENEZES *et al.*, 2012) mostrou que a mudança da meta pode ser obtida pela revisão do conjunto R pelo conjunto G , isto é, $G * R$. Assim, usando o exemplo do problema de logística representado na Figura 2 o qual a meta é dada pela fórmula $(at\ A\ pos2) \wedge (at\ B\ pos2) \wedge (at\ C\ pos2)$, o método de (MENEZES *et al.*, 2012) escolhe os estados de R que são mais próximos de G considerando as proposições envolvidas na meta. Assim, garante-se que um estado alcançável a partir de s_0 satisfaz a nova meta φ' e que esta tem distância minimal em relação a φ .

Definição 5 (*Revisão de G por R*) Sejam $\mathbb{D} = \langle S, L, T \rangle$ um sistema de transição de estados sobre o conjunto de proposições \mathbb{P} , $\mathcal{Q} \subseteq \mathbb{P}$, $\mathbf{G} \subseteq S$. Essa revisão de \mathbf{G} por \mathbf{R} considerando \mathcal{Q} é o conjunto dos estados $s_R \in \mathbf{R}$ que são mais próximos dos estados $s_G \in \mathbf{G}$, com relação aos elementos de \mathcal{Q} (DALAL, 1988), isto é:

$$G *_{\mathcal{Q}} R = \{s_R \in R : L(s_R) - L(s_G) \subseteq \mathcal{Q} \exists s_G \in G | h(s_G, s_R) \leq h(s'_G, s'_R) \forall s'_R \in R, s'_G \in G\}.$$

Então, com o método de revisão de crenças usando a distância de *Hamming* verifica-se que os estados que satisfazem as fórmulas: $\varphi'_1 = (at\ A\ pos2) \wedge (at\ C\ pos2)$, $\varphi'_2 = (at\ A\ pos2) \wedge (at\ B\ pos2)$ ou $\varphi'_3 = (at\ B\ pos2) \wedge (at\ C\ pos2)$, são com mudança minimal do conjunto meta G . Dessa forma, uma nova meta φ' pode ser escolhida dentre essas para tornar o problema de planejamento solucionável pela Definição 5.

Logo, o resultado da revisão obtém um conjunto G' cujo possui distância minimal em relação ao conjunto original G .

2.3 Planejamento com Preferências

Planejamento com Preferências é uma extensão do planejamento clássico em que é possível especificar: (i) preferências do usuário em relação à meta de planejamento (BRAFMAN; CHERNYAVSKY, 2005; MENEZES, 2014); (ii) preferências sobre planos soluções (BAIER; MCILRAITH, 2008; BENTON, 2006; GEREVINI; LONG, 2006).

Nas abordagens em que as preferências são especificadas sobre as metas, temos que, por exemplo, na impossibilidade de entregar os três pacotes A, B e C do problema de logística, o usuário poderia especificar que pacote ele *prefere* receber. Cada parte da meta é tratada como uma *submeta*. Desta forma, o planejador pode retornar um *plano que satisfaça as preferências do usuário sobre as submetas* a serem alcançadas.

As redes de preferências condicionais CP-net (*CP: Conditional Preference*) (BOUTILIER *et al.*, 2004) tem sido utilizada para especificar relações de preferências em problemas de planejamento. A rede de preferências CP-net é um grafo em que os vértices são variáveis e as arestas estabelecem as relações de preferência, onde os vértices p_1, \dots, p_n são variáveis e as arestas indicam preferência entre vértices. Esse grafo é acompanhado de uma tabela de preferência condicionais que associa uma ordem de preferência entre os valores que as variáveis podem assumir. Por exemplo, dado duas variáveis proposicionais p e p' podemos estabelecer $p \succeq p'$ para expressar que p é pelo menos tão preferível quanto p' e $p \succ p'$ para quando p for estritamente preferível que p' .

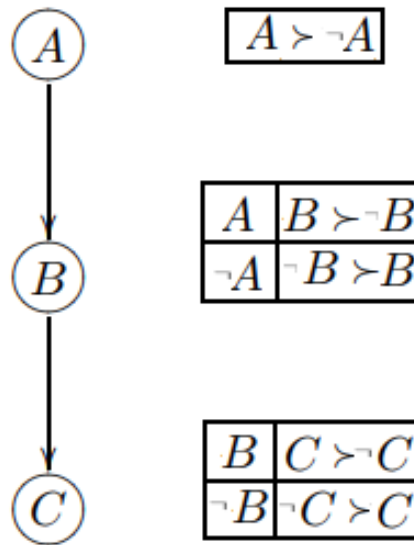
Formalmente, a CP-Net é dado como na Definição 6.

Definição 6 (*Rede de Preferências Condicionais CP-net*) Uma CP-net sobre o conjunto de proposições $\mathbb{P} = \{p_1, \dots, p_n\}$ do domínio de planejamento é um grafo direcionado em que uma aresta (p_i, p_j) indica que p_i prefere p_j , os vértices são as variáveis p_1, \dots, p_n os quais são acompanhados de uma tabela de preferências condicionais CPT para cada $p_i \in \mathbb{P}$. Cada tabela CPT(p_i) associa uma ordem total sobre \succ_u^i para cada valor $u = \{\perp, \top\}$ do antecessor¹ de p_i no grafo (BOUTILIER *et al.*, 2004).

A Figura 7 ilustra uma Rede CP para três variáveis proposicionais $\varphi = \{A, B, C\}$. O grafo mostra que as preferências sobre os valores de C dependem do valor de B e o valor de B depende do valor de A , uma vez que há uma aresta de A para B e de B para C . A natureza dessa dependência é especificada na tabela de preferência condicional (CPT) associada a cada vértice. Quanto ao vértice A , é preferível que A seja verdadeiro à falso, como mostrado na tabela de forma: $A \succ \neg A$. Ao vértice B , também, é preferível que B seja verdadeiro, caso o valor de A seja verdadeiro ($B \succ \neg B$). No entanto, se o valor de A for falso é preferível que o valor de B seja falso ($\neg B \succ B$). Já quanto ao vértice C , é preferível que C seja verdadeiro se o valor de B for verdade ($C \succ \neg C$). Caso contrário, é preferível que C seja falso ($\neg C \succ C$). A partir da CP-net e da CPT é possível induzir o grau de preferência (BOUTILIER *et al.*, 2004).

¹ Dado dois vértices u e u' , u é antecessor de u' se existe uma aresta que liga u a u'

Figura 7 – Rede CP para um problema com três variáveis proposicionais A, B, C



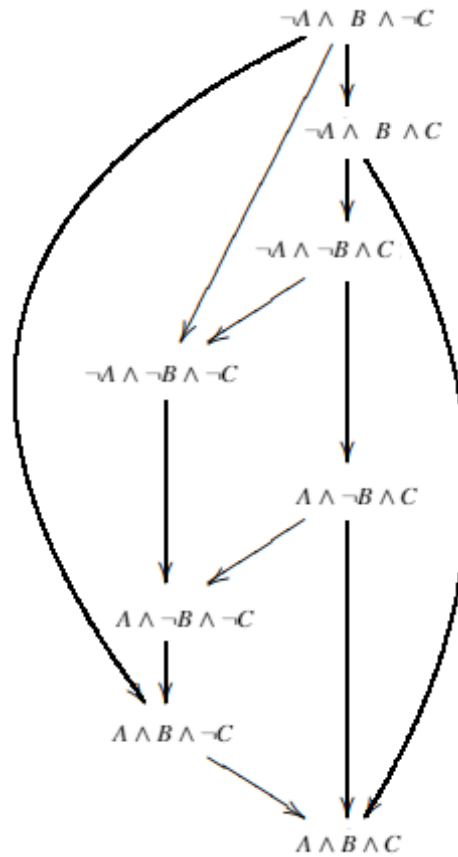
Fonte: (BOUTILIER *et al.*, 2004)

A Figura 8 mostra o grafo de preferência induzidos pela rede CP e pela tabela de preferência condicional (CPT) mostrado na Figura 7. Os vértices são fórmulas conjuntivas da lógica proposicional e uma aresta neste grafo do vértice o para o' indica que o' é mais preferível que o . Por exemplo, o fato de $\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C$ ser preferível a $\neg A \wedge B \wedge \neg C$ (como indicado pela aresta entre eles) é uma consequência direta CPT (B). O vértice $A \wedge B \wedge C$ é preferível a todos os outros, já com o vértice $\neg A \wedge B \wedge \neg C$ é preferível quaisquer um dos outros nós. Nota-se então que os vértices que estão mais embaixo no grafo de preferência induzido possui maior preferência.

(BOUTILIER *et al.*, 2004) também mostrou que a partir do grafo de preferências é possível estabelecer um conjunto de ordenações dos vértices do grafo de acordo com as preferências. Este conjunto de ordenações é chamado de *rankings* \mathcal{L} . Cada $l_i \in \mathcal{L}$ é uma ordenação total de nós do grafo de preferência. De forma, que $o \succ o'$ indica que o é mais preferível que o' .

Esses *rankings* $\mathcal{L} = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ são construídos da seguinte forma. Resumindo, realiza-se uma busca no grafo a partir do vértice que não possui antecessor, usando o grafo da

Figura 8 – Um grafo de preferência induzido



Fonte: (BOUTILIER *et al.*, 2004)

Figura 8, $(\neg A \wedge B \wedge \neg C)$, até um vértice que não possui sucessor² ($A \wedge B \wedge C$). Posteriormente, exclui-se esse vértice e adiciona-o em l_1 e depois é refeito a busca no grafo atualizado, isto é, sem o vértice encontrado anteriormente. Assim, o próximo vértice que a busca encontra, adiciona em l_1 e remove é $A \wedge B \wedge \neg C$. Caso encontre mais de um vértice sem sucessor escolhe-se um deles, arbitrariamente, e continua o processo. Quando isso acontece é repetido todo o processo até que todos esses vértices tenham sido escolhidos, cada vez que o processo se repete os vértices excluídos do grafo são adicionado em uma l_i diferente. Essa busca é feita até que não reste nenhum vértice no grafo e todos os caminhos possíveis tenham sido percorridos. Por exemplo, quando é retirado o vértice $A \wedge \neg B \wedge \neg C$ do grafo da Figura 8 a próxima busca encontra dois vértices sem sucessores: (i) $\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C$ e (ii) $A \wedge \neg B \wedge C$. Essa escolhe $A \wedge \neg B \wedge C$ e adiciona a l_1 , presente na Figura 9, em seguida adiciona $\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C$. Como foi encontrado outro caminho é repetido o processo e adicionado primeiro o vértice $\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C$ e em seguida $A \wedge \neg B \wedge C$, em l_2 . Nota-se, então que o vértice v tal que não há (v, v') no grafo de

² Dado dois vértices v e v' é sucessor de v se existe uma aresta que liga v a v'

preferência induzido original é preferível a todos os outros. O vértice v tal que não há (v', v) no grafo é o de menor preferência.

Na Figura 9 mostra os *rankings* (\mathcal{L}) obtidos por meio do grafo de preferências da Figura 8. Observe que temos dois *rankings* l_1 e l_2 . Em cada *rankings*, há uma ordenação total dos nós do grafo.

Figura 9 – *Rankings* dado um grafo induzido

$$l_1 : A \wedge B \wedge C \succ A \wedge B \wedge \neg C \succ A \wedge \neg B \wedge \neg C \succ A \wedge \neg B \wedge C \succ \neg A \wedge \neg B \wedge \neg C \succ \neg A \wedge \neg B \wedge C \succ \neg A \wedge B \wedge C \succ \neg A \wedge B \wedge \neg C$$

$$l_2 : A \wedge B \wedge C \succ A \wedge B \wedge \neg C \succ A \wedge \neg B \wedge \neg C \succ \neg A \wedge \neg B \wedge \neg C \succ A \wedge \neg B \wedge C \succ \neg A \wedge \neg B \wedge C \succ \neg A \wedge B \wedge C \succ \neg A \wedge B \wedge \neg C$$

Fonte: (BOUTILIER *et al.*, 2004)

O objetivo deste trabalho é a utilização dos *rankings* de (BOUTILIER *et al.*, 2004) para a construção de uma métrica baseada em preferência para a mudança da meta de planejamento de um problema sem solução.

3 MUDANÇA DA META DE PLANEJAMENTO COM PREFERÊNCIAS

Neste trabalho propomos uma nova métrica para o processo de mudança da meta de problemas de planejamento sem solução. Assim, dado um problema de planejamento sem solução $\Pi = \langle D, s_0, \varphi \rangle$, o processo de mudança da meta om revisão de crenças de G (conjunto de estados meta) por R (conjunto de estados alcançáveis a partir do estado inicial) seleciona os estados de R que são mais próximos ais estados de G . Isso é feito para o novo problema $\Pi' = \langle D, s_0, \varphi' \rangle$ seja solucionável.

O processo de revisão de crenças, como definido por (MENEZES, 2014), utiliza a métrica distância de *Hamming* para obter os estados mais próximos ao conjunto meta G . No entanto, esta métrica pode classificar com o mesmo grau de importância todas as submetas que não puderam ser alcançadas em sua totalidade. Por exemplo, quando não é possível entregar o coração, o celular e o passaporte, essa métrica ele sugere trocar a meta G por quaisquer G 's: (i) celular e passaporte; (ii) entregar coração e celular e (iii) entregar o coração e passaporte. Quando sabemos que nem todos esses G 's possui realmente o mesmo grau de importância, pois entregar um coração tende a ser mais importante que um celular ou um passaporte.

Neste trabalho propomos a utilização dos conceitos da área de Planejamento com Preferências na construção de uma nova métrica para o processo de revisão da meta. Em particular, usaremos as redes de preferências condicionais propostas por (BOUTILIER *et al.*, 2004).

Como explicado no Capítulo 2, a partir da CP-Net e das tabelas de preferências condicionais, é possível induzir um grafo de preferência. Assim, deste grafo (BOUTILIER *et al.*, 2004) é possível estabelecer um conjunto de ordenações de ordem total sobre as preferências existentes no grafo, chamados de *rankings* ($\mathcal{L} = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$).

Considere o Exemplo 1 no qual, na impossibilidade de cumprir a meta de entrega de três pacotes, o usuário define as preferências entres os pacotes a serem entregues. A partir do conjunto *rankings* $\mathcal{L} = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ obtidos do grafo induzido de preferências. O método, intuitivamente, funciona como descrito a seguir. Consideramos cada ranking $l_i \in \mathcal{L}$, obtido por meio da análise do grafo induzido de preferências. Depois, atribuímos um valor inteiro para cada $o \in l_i$. Cada elemento do *ranking* é uma fórmula contida no vértice do grafo induzido de preferência. Iniciando com o valor $j = 1$ para o elemento que está no topo da ordenação, $j = 2$ para o elemento seguinte, e assim sucessivamente.

Dessa forma iremos percorrer cada elemento de todos os *rankings* \mathcal{L} em que cada

$l_i \in \mathcal{L}$. Assim, será atribuído um valor de preferência $\mathcal{P}(o, l_i)$ para cada elemento o no *ranking* l_i . Como o *ranking* está ordenado, o elemento o com maior preferência receberá valor $\mathcal{P}(o, l_i) = 1$, valor do seguinte $\mathcal{P}(o', l_i) = 2$ e assim, sucessivamente.

A Figura 10 ilustra como os *rankings* modificados com seus valores de preferência. Nesta figura temos que o $\mathcal{P}(A \wedge B \wedge \neg C, l_1) = 2$ e $\mathcal{P}(\neg A \wedge B \wedge C, l_1) = 7$

Figura 10 – *Rankings* enumerados

$$l_1: \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ A \wedge B \wedge C & A \wedge B \wedge \neg C & A \wedge \neg B \wedge \neg C & A \wedge \neg B \wedge C & \neg A \wedge \neg B \wedge \neg C & \neg A \wedge \neg B \wedge C & \neg A \wedge B \wedge C & \neg A \wedge B \wedge \neg C \end{array}$$

$$l_2: \begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ A \wedge B \wedge C & A \wedge B \wedge \neg C & A \wedge \neg B \wedge \neg C & \neg A \wedge \neg B \wedge \neg C & A \wedge \neg B \wedge C & \neg A \wedge \neg B \wedge C & \neg A \wedge B \wedge C & \neg A \wedge B \wedge \neg C \end{array}$$

Fonte: Adaptado pelo autor

A partir da definição de preferência nos *rankings*, definimos os valores de preferência para cada estado s do domínio de planejamento.

Definição 7 (*Preferência de um Estado*) Dados um problema de planejamento $\Pi = \langle D, s_0, \Phi \rangle$, em que $D = \langle S, L, T \rangle$ é um domínio explícito; uma CP-net para Π com seu respectivo conjunto de *rankings* $\mathcal{L} = \{l_1, \dots, l_n\}$ ($1 \geq i \geq n$) e; um estado $s \in S$, definimos o valor de preferência de s como:

$$\mathcal{P}(s) = \min_{l_i \in \mathcal{L}} (\mathcal{P}(s, l_i)).$$

Utilizaremos então o valor $\mathcal{P}(s)$ para determinar dentre os estados s' devolvidos pelo processo de revisão da meta de planejamento com métrica de *distância de Hamming* (FORBUS, 1988) aqueles que possuem menor valor de preferência. A métrica tem o objetivo de selecionar os estados que são minimais em relação às preferência do usuário.

Definição 8 (*Métrica baseada em Preferência*) Dado um conjunto de estados parciais $G' = \langle s_1, \dots, s_n \rangle$ provenientes do processo de revisão de $\mathcal{G} * R$ selecionamos para compor o novo conjunto meta G'' os estados tal que:

$$\min_{s_i \in G'} \mathcal{P}(s_i).$$

A seguir mostraremos como usar a nova métrica baseada em preferências no processo de revisão da meta de planejamento para o problema sem solução do Exemplo 1.

No problema sem solução do Exemplo 1, temos a meta $\varphi = A \wedge B \wedge C$. Realizando-se o processo de revisão de G por R com a métrica de *distância Hamming*, temos as seguintes opções de modificações minimais para G : $\langle A \wedge B \wedge \neg C \rangle$, $\langle A \wedge \neg B \wedge C \rangle$ e $\langle \neg A \wedge B \wedge C \rangle$. Qualquer uma destas novas metas torna o problema solucionável e possui distância minimal em relação a meta original. No entanto, sabemos que o usuário estabeleceu preferências em relação as variáveis. Aplicando a nova métrica baseada em preferências, temos:

- $\mathcal{P}(A \wedge B \wedge \neg C) = 2$,
- $\mathcal{P}(A \wedge \neg B \wedge C) = 4$ e
- $\mathcal{P}(\neg A \wedge B \wedge C) = 7$.

A nova métrica baseada em preferências escolhe $\langle A \wedge B \wedge \neg C \rangle$ como nova meta de planejamento, uma vez que possui o menor valor de preferência. Logo, o problema de planejamento $\Pi = \langle D, s_0, A \wedge B \wedge \neg C \rangle$ é um problema solucionável e atende as preferências estabelecidas pelo usuário.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um meta super especificada é um dos motivos para que um problema de planejamento não possua solução. Dessa forma, pode-se realizar a mudança da meta para que o problema torne-se solucionável. Como vimos neste trabalho, essa abordagem é caracterizada como um problema de revisão de crenças (ALCHOURRÓN *et al.*, 1985). Este processo escolhe como nova meta de planejamento uma que torne o problema solucionável e que modifique minimamente a meta original do problema. No entanto, a métrica para ordenação das mudanças é baseada na distância proposicional entre conjuntos, conhecida como distância de Hamming (FORBUS, 1988).

Por outro lado, as redes de preferências condicionais têm sido utilizadas em planejamento para levar em consideração as preferências dos usuários no caso de metas super-especificadas. A partir destas redes é possível extrair um conjunto de ordenações totais das preferências do usuário (rankings).

Esse trabalho utilizou os rankings de (BOUTILIER *et al.*, 2004) para definição de uma nova métrica para o processo de revisão da meta de planejamento. Esta nova métrica faz uso de preferências, escolhendo para compor o novo conjunto meta, as submetas que:

- tornem o problema solucionável;
- sejam minimais em relação à distância de Hamming e;
- tenha um menor valor de preferência.

Assim, o novo estado meta escolhido para tornar um problema de planejamento sem solução solucionável considerará, além da menor distância do estado meta original, as preferências do usuário.

Como trabalhos futuros podemos citar: implementar a métrica no arcabouço de mudanças de problema sem solução e testar a métrica nos domínios *benchmarks* da UIPC (Unsolvability International Planning Competition).

REFERÊNCIAS

- ALCHOURRÓN, C. E.; GÄRDENFORS, P.; MAKINSON, D. On the logic of theory change: Partial meet contraction and revision functions. **The journal of symbolic logic**, Cambridge University Press, v. 50, n. 2, p. 510–530, 1985.
- BAIER, J. A.; MCILRAITH, S. A. Planning with preferences. **AI Magazine**, American Association for Artificial Intelligence, v. 29, n. 4, p. 25–37, 2008.
- BENTON, J. Solving goal utility dependencies and simple preferences in partial satisfaction planning. **ICAPS 2006**, p. 16, 2006.
- BOUTILIER, C.; BRAFMAN, R. I.; DOMSHLAK, C.; HOOS, H. H.; POOLE, D. Cp-nets: A tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus preference statements. **Journal of artificial intelligence research**, v. 21, p. 135–191, 2004.
- BRAFMAN, R. I.; CHERNYAVSKY, Y. Planning with goal preferences and constraints. In: **ICAPS**. [S.l.: s.n.], 2005. p. 182–191.
- DALAL, M. Investigations into a theory of knowledge base revision: preliminary report. In: **Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence**. [S.l.: s.n.], 1988. v. 2, p. 475–479.
- DIMOPOULOS, Y.; GEREVINI, A.; HASLUM, P.; SAETTI, A. The benchmark domains of the deterministic part of ipc-5. **Abstract Booklet of the competing planners of ICAPS-06**, p. 14–19, 2006.
- FIKES, R. E.; NILSSON, N. J. Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. **Artificial intelligence**, Elsevier, v. 2, n. 3-4, p. 189–208, 1971.
- FORBUS, K. D. **Introducing actions into qualitative simulation**. [S.l.], 1988.
- GÄRDENFORS, P. **Knowledge in flux: Modeling the dynamics of epistemic states**. [S.l.]: The MIT press, 1988.
- GEREVINI, A.; LONG, D. Preferences and soft constraints in pddl3. In: **ICAPS workshop on planning with preferences and soft constraints**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 46–53.
- GHALLAB, M.; NAU, D.; TRAVERSO, P. **Automated Planning**. [S.l.]: Elsevier, 2004.
- GÖBELBECKER, M.; KELLER, T.; EYERICH, P.; BRENNER, M.; NEBEL, B. Coming up with good excuses: What to do when no plan can be found. **Cognitive Robotics**, v. 10081, 2010.
- HELMERT, M. The fast downward planning system. **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 26, p. 191–246, 2006.
- HERZIG, A.; MENEZES, M. V. de; BARROS, L. N. de; WASSERMANN, R. On the revision of planning tasks. In: **ECAI**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 435–440.
- KAUTZ, H.; SELMAN, B. Pushing the envelope: Planning, propositional logic, and stochastic search. In: **Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence**. [S.l.: s.n.], 1996. p. 1194–1201.

MCDERMOTT, D.; GHALLAB, M.; HOWE, A.; KNOBLOCK, C.; RAM, A.; VELOSO, M.; WELD, D.; WILKINS, D. **PDDL-the planning domain definition language**. [S.l.: s.n.], 1998.

MENEZES, M. V.; BARROS, L. N. de; PEREIRA, S. do L. Planning task validation. In: **Proc. of the ICAPS Workshop on Scheduling and Planning Applications**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 48–55.

MENEZES, M. V. de. **Mudanças em Problemas de Planejamento sem Solução**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE Sao PAULO, 2014.

PEREIRA, S. do L.; BARROS, L. N. de. **Planejamento sob incerteza para metas de alcançabilidade estendidas**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado, Universidade de Sao Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, 2007.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. [S.l.]: Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.

WINSLETT, M. **Updating logical databases**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2005. v. 9.