

INTEGRAÇÃO DE SOLUÇÕES DE PLANEJAMENTO AUTOMÁTICO EM PROCESSOS DE MANUFATURA

WESLEY DA SILVA ALVES¹, JOÃO PAULO DA SILVA FONSECA²

¹Eng. Mecânico; Discente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Goiás (PPGMEC/UFG), Goiânia-GO, wesleyalves@discente.ufg.br;

²Dr. em Engenharia Mecânica; Prof. Titular PPGMEC/UFG, Goiânia-GO, jpsfonseca@ufg.br.

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo analisar os dados da integração de soluções de planejamento automático em sistemas reais e descrever um exemplo prático baseado em uma planta didática. A metodologia usada é um estudo descritivo, caráter quantitativo, em que é apresentada uma proposta de ambiente integrado de modelagem aplicado a uma planta didática de manufatura robótica. Essa planta simula uma linha de produção em uma fábrica que pode ser constituída por células de produção individuais. Espera-se com este trabalho apresentar um método de modelagem do domínio de manufatura, proposta por planejadores automáticos e sua implementação prática que resultem em melhoria dos requisitos do projeto, que podem ser tempo de processamento, tempo de uma operação, custo de uma operação, dentre outros, quando comparados a sistemas reais, que fazem uso de técnicas tradicionais de automação, como a aplicação de controladores lógicos programáveis para execução das tarefas programadas. Por fim, espera-se também que este trabalho contribua servindo como referência na literatura nacional para utilização do planejamento automático em aplicações de manufatura.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento automático, manufatura, robótica.

INTEGRATION OF AUTOMATED PLANNING SOLUTIONS IN MANUFACTURING PROCESSES

ABSTRACT: This work aims to analyze data from the integration of automated planning solutions in real systems and to describe a practical example based on a didactic plant. The methodology used is a descriptive study, quantitative character, in which a proposal for an integrated modeling environment applied to a robotic manufacturing didactic plant is presented. This plant simulates a production line in a factory that can consist of individual production cells. It is expected with this work to present a modeling method of the manufacturing domain, proposed by automated planners and its practical implementation that results in improved project requirements, which can be processing time, time of an operation, cost of an operation, among others, when compared to real systems that make use of traditional automation techniques, such as the application of programmable logic controllers for the execution of programmed tasks. Finally, it is also expected that this work contributes serving as a reference in the national literature for the use of automated planning in manufacturing applications.

KEYWORDS: Automated planning, manufacturing, robotics.

INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 está evoluindo em um ritmo acelerado sem precedentes com múltiplas tecnologias integradas. É um modelo de produção caracterizado por uma intensa digitalização e interconexão de produtos, serviços e sistemas de manufatura inteligentes, e é frequentemente usada como um termo abrangente para uma variedade de tecnologias digitais: Veículos autônomos, impressão 3D, robôs inteligentes, nano materiais avançados, como grafeno, internet das coisas (IoT), *blockchain* e biologia sintética são exemplos de inovações na quarta revolução industrial (Yoo *et al.*, 2021).

Wally *et al.* (2019) ressaltam que os sistemas de manufatura do futuro devem ser cada vez mais flexíveis, tanto em relação aos produtos que são fabricados, quanto aos próprios sistemas de produção. De acordo com os princípios da fabricação inteligente, os produtos e suas receitas não precisam ser conhecidos no momento do projeto, as variantes do produto podem ser editadas na hora

da execução e o planejamento e programação da produção devem ser aplicados em tempo real, quando surgir uma nova ordem de produção.

Para a realização desses cenários de aplicação da indústria 4.0 em sistemas automatizados de manufatura, características como conectividade, orientação a serviços e autonomia desempenham um papel crucial. Em particular, para alcançar um comportamento inteligente, é inevitável implementar técnicas automatizadas de resolução de problemas, a fim de facilitar a tomada de decisões autônomas. Dentre as metodologias possíveis de aplicar no processo de automatização dos sistemas de manufatura, está o planejamento automático.

O planejamento automático (Ghallab *et al.*, 2016) é um subcampo da inteligência artificial (IA) dedicado a fornecer comportamento deliberativo orientado a objetivos para agentes físicos e virtuais, por exemplo, robôs ou controladores lógicos programáveis. Um planejador automático toma como entrada um domínio de planejamento, um estado inicial e um objetivo e realiza um processo de busca, que retorna um plano (sequência de ações), que orienta o comportamento do agente, a fim de atingir o objetivo dado a partir do estado inicial. O planejamento automático tem sido tradicionalmente uma das técnicas mais utilizadas em IA e tem sido aplicado com sucesso em aplicações do mundo real (Fdez-Olivares *et al.*, 2019). No entanto, para integrá-lo em sistemas de execução online, ou seja, sistemas que utilizam cenários de tempo real que intercalam planejamento e atuação, existem várias questões que devem ser abordadas. Um exemplo dessas questões é que o planejamento geralmente é lento para aplicações em tempo real.

Usualmente, é utilizada uma linguagem padrão para descrição do domínio de planejamento, a linguagem denominada *Planning Domain Definition Language* (PDDL) (Ghallab *et al.*, 2016). A partir dessa linguagem, é possível especificar o domínio, formado pelos tipos de objetos, predicados, funções e ações, além da instância do problema a ser resolvido, constituída pela descrição dos estados inicial e final do sistema. A PDDL é o resultado da junção de diversas linguagens da área de planejamento, especialmente o STRIPS e ADL, e por se tratar de uma linguagem padronizada, a representação de um domínio em PDDL possibilita que planejadores diferentes possam tratar o mesmo problema de planejamento. Uma das vantagens dessa linguagem é o fato dela ser independente de domínio, podendo, então, ser aplicada a uma gama de problemas de naturezas distintas, desde problemas simples como o domínio das chaves, exemplificado anteriormente, a problemas mais complexos que envolvam as dimensões tempo e recursos.

Com a introdução de modelos industriais trazidos dos conceitos da indústria 4.0 e o surgimento de aplicações de inteligência artificial no cotidiano, há uma reflexão de como essas tecnologias poderiam ser utilizadas na indústria. Um dos principais dispositivos utilizados no processo de automação são os controladores lógicos programáveis (CLPs), que sugiram com o objetivo de substituir os painéis de controle com relés, diminuindo assim o alto consumo de energia, a difícil manutenção e modificação de comandos. A grande vantagem dos CLPs é a possibilidade de reprogramação, permitindo substituir as modificações necessárias de hardware para modificações de software. Devido a essa característica, um mesmo CLP pode ser utilizado no controle de diversos sistemas, modificando sua programação de um sistema para outro.

Em contraste aos métodos já consolidados na utilização dos CLPs, a proposta deste trabalho compreende um estudo descritivo da integração de soluções de planejamento automático em sistemas reais com uso de controladores lógicos programáveis.

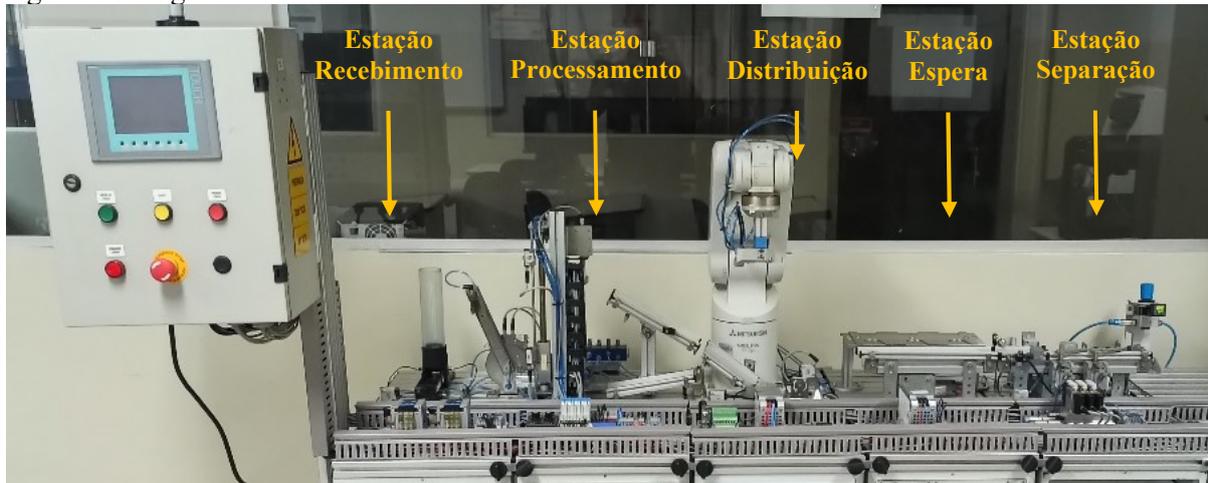
MATERIAL E MÉTODOS

Para a aplicação do planejamento automático em sistemas práticos baseados em CLPs foi utilizada uma bancada didática de manufatura robótica que simula uma linha de produção composta por células individuais utilizando atuadores e válvulas pneumáticas controladas por CLP e um manipulador robótico de cinco graus de liberdade, responsável por movimentar peças cilíndricas entre as células. Cada célula tem uma função específica no processo (Recebimento, processamento, distribuição, espera e separação).

A bancada está equipada com dois CLPs Siemens S7- 1200 (CPU 1214C DC/DC/DC) com 14 entradas/10 saídas digitais e 2 entradas analógicas cada, e uma Human Machine Interface (HMI) Siemens modelo KTP600 *Basic Color*. Os CLPs e a HMI estão conectados entre si via rede industrial Profinet e protocolo TCP/IP. A configuração dos dispositivos e programação das operações são executadas com o software *Totally Integrated Automation* (TIA Portal V13). O processo de montagem

da bancada foi dividido em cinco etapas sequenciais, executadas respectivamente por cinco estações de trabalho (Figura 1).

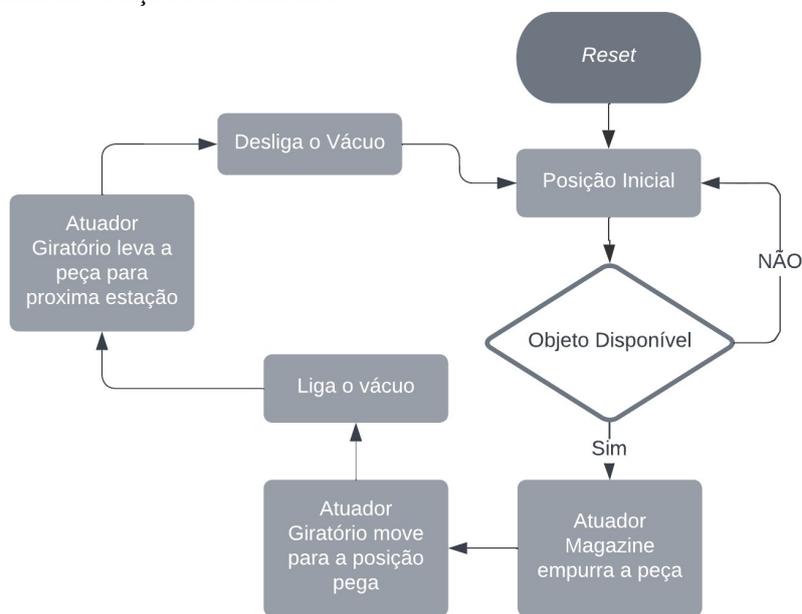
Figura 1. Fotografia da bancada de manufatura robótica construída.



Neste trabalho a modelagem do domínio foi separada por estações, como evidenciado na figura 1, para facilitar a solução do problema proposto para cada estação, sendo detalhada neste artigo somente a estação Recebimento. Foi utilizado como ferramenta de edição dos arquivos o “PDDL Editor” - software online gratuito que apresenta ampla variedade de ferramentas e recursos para escrever e testar domínios de planejamento e arquivos de problemas.

Antes da modelagem dos domínios das estações, elaborou-se um fluxograma do processo de manipulação das peças de trabalho para cada estação (figura 2). Referidos fluxogramas descrevem o funcionamento, de maneira facilitada, a realização das sequencias e transições dessa estação.

Figura 2. Fluxograma da estação Recebimento.



A linguagem PDDL, para o correto funcionamento dos algoritmos de planejamento, aplica o conceito de requerimentos ou *requirements*. Os requerimentos traduzem os requisitos que são necessários para avaliação do domínio de planejamento. O PDDL utiliza uma notação baseada em lógica de predicados com variáveis que em seguida serão instanciadas com objetos do problema. A Figura 3 apresenta parte da descrição em PDDL do domínio estação Recebimento dado pelo conjunto de predicados e pelo conjunto de ações.

Figura 3. Descrição do domínio da estação Recebimento.

```

1 (define ((domain changeover)
2   (:requirements :strips :typing :negative-preconditions)
3
4   (:types
5     location atua_gir part - object
6     storage input output - location
7   )
8
9   (:predicates
10    (in ?p - part ?l - location)
11    (at ?a - atua_gir ?l - location)
12    (landing ?a - atua_gir ?p - part)
13  )
14
15  (:action push
16    :parameters (?p - part ?e - estorage ?i - input)
17    :precondition (and
18      (at ?p ?e)
19    )
20    :effect (and
21      (not (at ?p ?e))
22      (at ?p ?i)
23    )
24  )
25
26  (:action move
27    :parameters (?a - atua_gir ?from ?to - location)
28    :precondition (and
29      (at ?a ?from)
30    )
31    :effect (and
32      (not (at ?a ?from))
33      (at ?a ?to)
34    )
35  )
36
37  (:action catch
38    :parameters (?a - atua_gir ?p - part ?i - input)
39    :precondition (and
40      (at ?a ?i)
41      (in ?p ?i)
42    )
43    :effect (and
44      (not (in ?p ?i))
45      (landing ?a ?p)
46    )
47  )
48
49  (:action release
50    :parameters (?a - atua_gir ?p - part ?o - output)
51    :precondition (and
52      (landing ?a ?p)
53      (at ?a ?o)
54    )
55    :effect (and
56      (not (landing ?a ?p))
57      (in ?p ?o)
58    )
59  )

```

Os predicados que detalham as características do ambiente são especificados em (*:predicates*), e cada ação do domínio é dada por meio de parâmetros, condições e efeitos. Após o detalhamento das ações, são descritos os seus respectivos efeitos, ou proposições que serão modificadas após a aplicação da ação. Esses efeitos podem ser positivos, quando a proposição terá um valor verdadeiro no estado anterior à aplicação da ação, ou negativos, quando a proposição terá um valor falso no estado anterior à aplicação da ação.

Elaborado o modelo do domínio, é feita a descrição do problema de planejamento (Figura 4). Este é definido como uma instância a ser resolvida por dois estados, o estado inicial do problema e o estado final ou objetivo.

Figura 4. Descrição do problema no Domínio da estação Recebimento.

```

1 (define ((problem problem_recebimento)
2   (:domain recebimento)
3   (:requirements :strips :typing)
4
5   (:objects
6     magazine - input
7     next_station - output
8     Ag1 - atua_gir
9     pack1 - part
10  )
11
12  (:init
13    (at Ag1 next_station)
14    (in pack1 magazine)
15  )
16
17  (:goal (and
18    (in pack1 next_station)
19    (at Ag1 magazine)
20  ))
21 )

```

Foi utilizado o termo (*:objects*) para identificar os objetos que são instanciados no problema, o termo (*:init*) são proposições verdadeiras e os tipos de objetos no estado inicial, e o termo (*:goal*) são proposições para definir a meta do planejamento. Segundo Ghallab *et al.* (2016), um plano é uma sequência de ações $\pi = (a_1, \dots, a_j)$, onde $j \geq 0$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No problema de planejamento do domínio da estação Recebimento, após inserir os dois arquivos, o arquivo domínio e o problema, o editor online encontrou um plano solução (figura 5), que é uma sequência de cinco ações.

Figura 5. Plano solução do domínio da estação Recebimento.

1	
2	(move ag1 next_station magazine)
3	(catch ag1 pack1 magazine)
4	(move ag1 magazine next_station)
5	(release ag1 pack1 next_station)
6	(move ag1 next_station magazine)

O planejador que encontrou um plano solução é o *Solver*. O componente *Solver* do “PDDL Editor” é um planejador e validador automatizado na nuvem. Nele é possível invocar o software enviando links para os arquivos PDDL ou enviando conteúdo PDDL bruto no formato JSON diretamente para recuperar ou validar um plano. Atualmente o planejador está limitado a aproximadamente 500Mb de RAM e tem um limite de tempo de 10 segundos. A linguagem e os algoritmos que atuam sobre o modelo serão utilizados posteriormente para gerar sequências de ações que os atuadores pneumáticos e o manipulador robótico deverão seguir para cumprir determinada missão.

CONCLUSÃO

Foi apresentada uma possibilidade de aplicação da linguagem de planejamento automático PDDL no auxílio ao problema de planejamento de manipulação. O exemplo prático neste trabalho mostra o potencial da linguagem, e principalmente do ambiente, no processo de modelagem e análise dos modelos de domínios de planejamento. Dessa maneira o uso do PDDL dentro do planejamento de manipulação se mostrou satisfatório pois um mesmo problema pode ser resolvido de diferentes formas dependendo da técnica de planejamento (planejador) utilizada durante os testes. Assim é recomendado que o projetista utilize diferentes técnicas de planejamento para testar, refinar e posteriormente verificar novamente seu modelo.

A fim de trazer o conceito proposto para aplicações industriais reais, é necessário mais estudo sobre a aplicação de sistemas de planejamento automático. Esse é um trabalho inicial, onde foi exposto a descrição do domínio de uma única estação da célula de manufatura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFG (PPGMEC/UFG), à faculdade SENAI Ítalo Bologna.

REFERÊNCIAS

- Fdez-Olivares J., Onaindia E., Castillo L.A., Jordán J., Cózar J.A., 2019. Personalized conciation of clinical guidelines for comorbid patients through multi-agent planning Artificial Intelligence in Medicine, pp. 167-186.
- Ghallab, M., Nau, D. S., Traverso, P., 2016. Automated planning and acting. Cambridge University Press.
- Wally, B., Vyskočil, J., Novák, P., Huemer, C., Šindelar, R., Kadera, P., Mazak, A., Wimmer, M., 2019. “Flexible Production Systems: Automated Generation of Operations Plans Based on ISA-95 and PDDL”. In IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 4, pp. 4062-4069, doi: 10.1109/LRA.2019.2929991.
- Yoo, John J., Elif E. Günay, Kijung Park, Siavash Tahamtan, Gül E. Okudan Kremer., 2021. "An Intelligent Learning Framework for Industry 4.0 through Automated Planning." Computer Applications in Engineering Education 29.3, 624-40.