

## Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

---

# Uma heurística para o problema sequenciamento de tarefas com restrições adicionais em um centro de distribuição

Anibal Tavares de Azevedo<sup>1</sup>

Centro de Pesquisa Operacional, Faculdade de Ciências Aplicadas, UNICAMP, Limeira, SP

Gustavo Casarini Landgraf<sup>2</sup>

Centro de Pesquisa Operacional, Faculdade de Ciências Aplicadas, UNICAMP, Limeira, SP

Marcos Schroeder<sup>3</sup>

Centro de Pesquisa Operacional, Faculdade de Ciências Aplicadas, UNICAMP, Limeira, SP

**Resumo.** Este trabalho tem por objetivo a resolução do problema de sequenciamento de tarefas para empilhadeiras em um centro de distribuição. Embora esse problema possa ser modelado como um problema de alocação de tarefas em máquinas paralelas, existem restrições adicionais que tornam sua modelagem e a proposição de soluções factíveis mais difícil. Essas restrições tratam de limitações quanto à área de atuação seja em relação ao número máximo de equipamentos, seja o tipo de equipamento permitido na área. Além disso, dependendo de qual área na qual a tarefa deve ser executada existe diferença de velocidade do processamento de acordo com o tipo de empilhadeira. Outra restrição é que as tarefas possuem uma relação de precedência. Por último, cada vez que uma empilhadeira se deslocar de uma área para outra deverá gastar um tempo para percorrer uma distância e no qual não executará nenhuma tarefa. Uma heurística baseada em diferentes regras de ordenação é proposta e os impactos acerca da consideração de cada restrição na alocação de tarefas em cada empilhadeira é analisado em problemas testes baseados em dados reais de uma empresa.

**Palavras-chave.** Sequenciamento de tarefas, Centro de Distribuição, Algoritmo Alocação Empilhadeiras, Heurística, Regras de ordenação

## 1 Introdução

O problema a ser estudado consiste na determinação de quais tarefas devem ser alocadas para as empilhadeiras de um centro de distribuição.

Na literatura existem duas grandes vertentes de pesquisa encontradas e que estudam algum aspecto do problema a ser estudado. São elas:

- (1) **Crossdocking:** De acordo com [7], é um espaço que serve para a consolidação de carga com pequeno tempo para redespacho da carga. A Fig. 1 ilustra a estrutura e o funcionamento desse espaço. O objetivo operacional é completar o processamento de cada caminhão tão próximo quanto possível da sua data de entrega (*just-in-time*).

---

<sup>1</sup>anibal.azevedo@fca.unicamp.br

<sup>2</sup>gustavolandgraf@grupoengenh.com.br

<sup>3</sup>marcos@grupoengenh.com.br

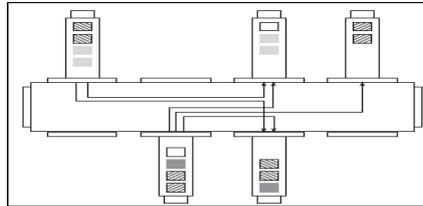


Figura 1: Estrutura e funcionamento de um *Crossdocking*. Fonte: [7].

A abordagem proposta por [4] lida com o problema de agendamento de recursos internos com um problema alocação de tarefas em máquinas paralelas de duas fases com penalidades no atraso e no avanço das tarefas e formula o problema com um modelo de programação inteira. O problema resultante é NP-hard de modo que duas heurísticas são propostas. As duas abordagens empregam um algoritmo genético.

Em [1] foi empregado um GRASP para construir uma solução inicial que é melhorada por uma busca Tabu. Experimentos numéricos sugerem que o método tem desempenho similar ou melhor do que o das heurísticas propostas por [4], mas podem ser computacionalmente intensivos para instâncias de grande porte.

Com [6] não só o problema de agendamento de recursos internos é tratado, mas também o roteamento de veículos aparece para lidar com a questão da coleta e entrega de produtos em conjunto com o agendamento dos caminhões de entrada e saída. O problema é formulado como um modelo de programação inteira mista. Novamente devido à complexidade do mesmo, apenas instâncias de pequeno porte podem ser resolvidas por meio da aplicação de um branch-and-bound (com o CPLEX).

Por fim, em [8] é dito que os principais objetivos das operações de *cross-docking* são a redução dos custos operacionais (primeiramente o custo da força de trabalho), a minimização do makespan e a otimização do processo de manejo envolvido para a movimentação de cargas entre os veículos de entrada e saída. Estes objetivos podem ser traduzidos em minimização da distância percorrida pelos trabalhadores, empilhadeiras e caminhões de fretamento.

Mais recentemente, [2] produziu uma metodologia de várias etapas. Uma etapa de especial interesse deste artigo é o problema agendamento do fluxo de trabalho que considera: a minimização do makespan, restrições que garantem que cada tarefa é assinalada para ser executada uma única vez, restrições de precedência, tempo de processamento das tarefas dependente do método de processamento. Tudo visa assegurar o máximo número de recursos simultaneamente assinalado para trabalhar em tarefas no mesmo contêiner, mas observando limitações de espaço, segurança e requisitos.

- (2) **Warehouse:** De acordo com [3], este espaço possibilita uma maior número de operações entre a chegada dos caminhões de entrada e a partida dos caminhões de saída. Isso se deve ao fato de que ao ser possível armazenar a carga, torna o problema sub-

jacente mais complexo ao introduzir algumas restrições como número máximo de equipamentos de um tipo para certas áreas. A Fig. 2 ilustra a estrutura desse espaço.

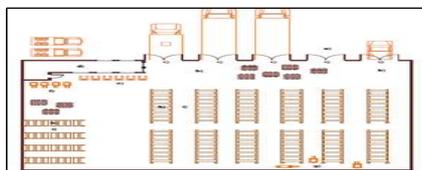


Figura 2: Estrutura e funcionamento de uma *Warehouse*. Fonte: [3].

Ainda que a estrutura da Fig. 2 seja a mais próxima do problema a ser abordado, como destacado por [5], a literatura sobre questões operacionais para um *Warehouse* é notavelmente menor que aquela existente para os problemas táticos e estratégicos. Destaque para o fato de que nenhum artigo, até então, discutiu o problema de alocação de recursos que podem ser empregados em diversas operações de uma *Warehouse* ou centro de distribuição.

O problema de alocação de tarefas para empilhadeiras não pode empregar uma abordagem com ênfase apenas na modelagem do roteamento de veículos ou alocação de tarefas em máquinas paralelas. Na verdade, como observado por [2]: “Nosso trabalho busca cobrir um espaço deixado pela literatura: a necessidade de simultaneamente atender as questões de fluxo de material e a programação de horário da carga.”

Neste artigo serão tratados de outros tipos de restrições que não foram considerados no trabalho de [2] e que tornam a tarefa de encontrar uma solução factível difícil.

## 2 Considerações do Modelo

A lógica operacional do centro de distribuição estudado depende de três características principais. A primeira é a existência de empilhadeiras de diferentes tipos. A segunda é que o espaço do centro de distribuição é dividido em áreas não contíguas. A terceira é o fato de que cada tarefa possui cinco informações: área a que pertence, instante de início, data de término, tempo de processamento e precedência em relação a outras tarefas. A partir destas três características são derivadas as considerações que descrevem a lógica operacional:

1. Alguns tipos de empilhadeiras são mais rápidas que outras na realização de tarefas pertencentes a certas áreas. Assim, a produtividade de uma empilhadeira depende do seu tipo e qual é área da tarefa a ser realizada.
2. O total de empilhadeiras operando em certas áreas não pode ultrapassar um certo limite máximo devido a questões de segurança operacional.

3. Certos tipos de empilhadeiras não têm permissão para entrar em determinadas áreas do centro de distribuição. Assim, algumas tarefas, pertencentes a certas áreas, só podem ser executadas por empilhadeiras de um determinado tipo.
4. Existe uma distância entre as diferentes áreas do centro de distribuição. Assim, caso a empilhadeira termine uma tarefa e queira iniciar o processamento de outra tarefa, localizada em uma área diferente, será necessário aguardar o término do deslocamento para começar a próxima tarefa. O tempo gasto com o deslocamento pode ser visto como um tempo de preparação a ser gasto entre duas tarefas sucessivas.
5. Algumas tarefas só podem ser iniciadas quando outras forem finalizadas. Desse modo algumas tarefas possuem uma relação de precedência com outras.

### 3 Heurística Proposta

---

**Algorithm 1** Heurística Proposta

---

```

1: procedure ALOCTAREFASMAQ(ListaTarefas, ListaMaquinas)
2:   notplanall = NúmeroTarefasSemFinalizacao;
3:   while (notplanall > 0) do
4:     [ListaTarefas, ListaMaquinas] = AplicarRegraPriorização(NomeRegra, Dados);
5:     for tarefa ∈ ListaTarefas do
6:       for maq ∈ ListaMaquinas do
7:         if (Area(maq) permitida) e (tarefa sem maq) e (maq disponivel) e (Precedencia(tarefa) realizada) e (LimiteArea ≥ Total(Area(maq))) then
8:           tarefa ∈ maq;

```

---

Onde: a função *AplicarRegraPriorização* estabelece a ordem de prioridade das tarefas a serem alocadas e a ordem de prioridade das empilhadeiras que deverão executar essas tarefas de acordo com alguma regra. Foram implementadas várias regras e duas apresentaram resultados interessantes: Regra 1: ordena as tarefas em ordem crescente de vencimento menos o tempo de processamento; Regra 2: usa Regra 1 e coloca as empilhadeiras em ordem decrescente de eficiência e de mais restritas para menos restritas.

### 4 Resultados Computacionais

As Figs. 3(a) e 3(b) ilustram o impacto das considerações (1) e (2) para um ambiente com três empilhadeiras e cinco tarefas. O comprimento dos retângulos numerados indicam a duração das tarefas. A posição vertical de cada retângulo indica qual a empilhadeira responsável por aquela tarefa. A posição no topo indica que a empilhadeira 1 é a responsável ao passo que a posição mais próxima do zero indica que a empilhadeira 3 foi empregada. Apesar das duas figuras empregarem o mesmo número de empilhadeiras no horizonte de planejamento considerado, a alocação da Fig. 3(a) viola o número máximo de empilhadeiras em uso ao mesmo tempo que é de 2. Essa violação ocorre no intervalo

de tempo [7, 11]. Para a Fig. 3(b) não ocorre essa violação, pois é possível alocar a tarefa 1 na máquina 3 de modo que a execução dessa tarefa é mais rápida e não é necessário utilizar a máquina 2 no intervalo de tempo [7, 11].

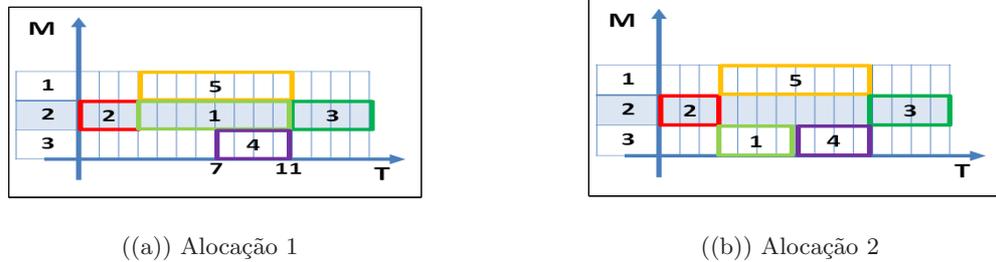


Figura 3: Duas alocações de 5 tarefas em 3 empilhadeiras.

As Figs. 4(a) e 4(b) ilustram o impacto da consideração (4) para um ambiente com três empilhadeiras e cinco tarefas. Na Alocação 1 todas as tarefas pertencem a mesma área. Já a Alocação 2 é tal que as tarefas 2 e 5 pertencem a áreas distintas das tarefas 1, 3 e 4. Desse modo, é necessário aguardar um tempo para começar o processamento das tarefas 3 e 1 devido ao deslocamento das empilhadeiras.

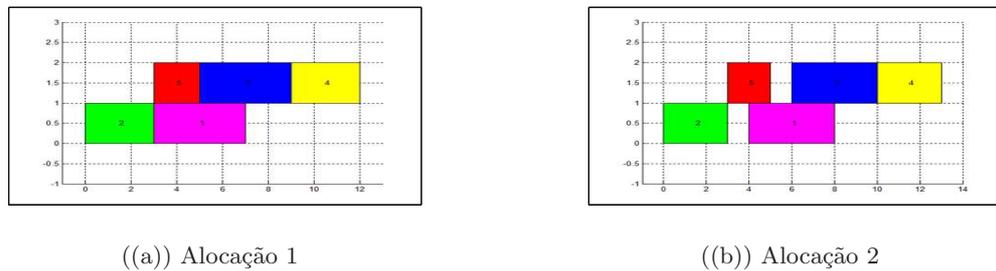
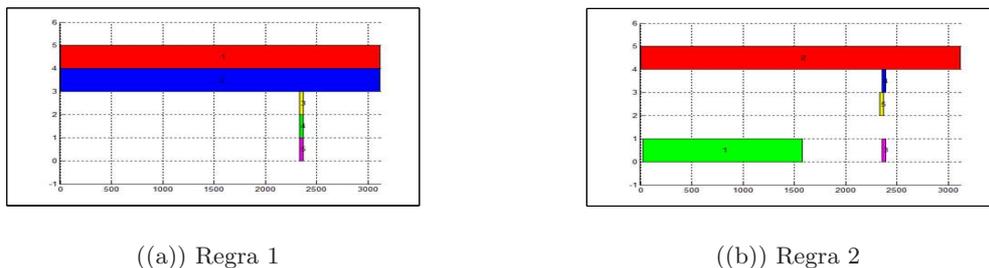


Figura 4: Duas alocações de 5 tarefas em 3 empilhadeiras.

Por último, as Figs. 5(a) e 5(b) ilustram o impacto da aplicação de diferentes regras de ordenação no alocação das tarefas. Com a Regra 2 usa-se apenas 4 empilhadeiras.

## 5 Conclusões

Essa trabalho apresentou uma heurística para a alocação de tarefas em empilhadeiras em um centro de distribuição de modo a considerar várias restrições que não são tratadas na literatura. Os efeitos de algumas restrições na alocação de tarefas foi demonstrado, bem como os impactos de diferentes regras de ordenação das tarefas e das empilhadeiras na solução fornecida pela heurística proposta. Os resultados mostram que é possível, inclusive, com uma alocação eficiente, reduzir o número de empilhadeiras necessárias.



((a)) Regra 1

((b)) Regra 2

Figura 5: Duas alocações de 5 tarefas em 5 empilhadeiras.

## Referências

- [1] G. A. Álvarez-Pérez and J. L. González-Velarde and J. W. Fowler, Crossdocking just in time scheduling: an alternative solution approach, *Journal of the Operational Research Society*, Volume 60, 4:554-564, 2009.
- [2] D. Hermel and H. Hasheminia and N. Adler and M. J. Fry, A solution framework for the multi- mode resource-constrained cross-dock scheduling problem, *Omega*, Volume 59, Part B, 157-170, 2016.
- [3] J. Karasek, An overview of warehouse optimization, *Journal of Advances in Telecommunications, Electrotechnics, Signals and Systems*, Volume 2, 3:111-117, 2013.
- [4] Y. Li and A. Lim and B. Rodrigues, Crossdockingjit scheduling with time windows, *Journal of the Operational Research Society*, Volume 55, 12:1342-1351, 2004.
- [5] M. SteadieSeifi and N. Dellaert and W. Nuijten and T. V. Woensel and R. Raoufi, Multimodal freight transportation planning: A literature review, *European Journal of Operational Research*, Volume 233, 1:1-15, 2014.
- [6] M. Stickel and K. Furmans, An optimal control policy for crossdocking terminals, *Operations Research Proceedings 2005: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR)*, Volume 1, 79-84, 2005.
- [7] J. V. Belle and P. Valckenaers and D. Cattrysse, Cross-docking: State of the art, *Omega*, Volume 40, 6:827-846, 2012.
- [8] T. Zhang and G. K. D. Saharidis and S. Theofanis and M. Boile, Scheduling of inbound and out bound trucks at cross-docks modeling and analysis, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* Volume 2162, 9-16, 2010.