

# Uma Heurística Aplicada à Uniformidade das Características Físicas de Produtos

Luis Henrique Leão do Nascimento  
Marco Antonio M. Carvalho

Departamento de Computação  
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas  
Universidade Federal de Ouro Preto

30 de agosto de 2017



XLIX Simpósio Brasileiro  
de Pesquisa Operacional  
Blumenau, SC - 27 a 30 de Agosto



- 1 Introdução
- 2 Contribuições
- 3 Experimentos Computacionais
- 4 Conclusões

## Contexto Industrial

- ▶ Transformação de unidades maiores de matéria prima em produtos menores com diferentes formas e tamanhos;
- ▶ Uma única máquina corta diferentes **peças** com demandas pré-definidas;
- ▶ **Padrões de corte** são caracterizados pela a disposição de peças dentro de uma chapa de matéria prima, semelhante a um gabarito;
- ▶ A produção é dividida em estágios – a cada estágio um tipo de padrão é cortado.

# Introdução



## Descontinuidade

Uma **descontinuidade** surge quando uma determinada peça é cortada em um determinado estágio, e em nos estágios posteriores a referida peça não é produzida, porém, volta a sê-lo em algum estágio posterior.

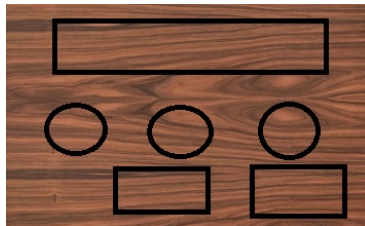
## Consequências

- ▶ Pode haver variações nas características físicas da matéria prima;
- ▶ Peças de um mesmo tipo com padronagem ou tonalidade diferentes;
- ▶ Menor preço de revenda.

## Otimização

O **Problema de Minimização de Descontinuidades** (*Minimization of Discontinuities Problem*, MDP) visa minimizar o número de descontinuidades total por meio do sequenciamento da produção.

# Introdução



## Prática

Trata-se de um problema de aplicação prática no contexto industrial, tornando-se essencial para o planejamento e execução do processo produtivo de diversas indústrias.

## Teórica

- ▶ Trata-se de um problema NP-Difícil;
- ▶ Problema estudado na literatura sob diferentes denominações: *Consecutive Blocks Minimization* (CBM) e *Consecutive Ones Blocks* (COB);
- ▶ Problema relacionado a vários outros: Minimização de Pilhas Abertas, Minimização de Espalhamento de Ordens, *Gap-zero Minimization*, etc.

## Instância

É representada por uma matriz  $M$  binária que relaciona os padrões de corte ( $P$ ) e as peças ( $S$ ).

Cada elemento  $m_{ij}$  ( $i \in P, j \in S$ ) da matriz  $M$  é definido da seguinte forma:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o padrão } p_j \text{ possui a peça } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$
1	1	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	0	1	0
6	0	0	1	0	0	1



## Solução

Uma solução para o MDP é dada por uma permutação  $\pi$  das colunas da matriz  $M$ , dando origem à uma Matriz  $Q^\pi$ .

Esta representação indica qual padrão de corte será processado em cada estágio da produção.

	$p_5$	$p_2$	$p_4$	$p_6$	$p_3$	$p_1$
1	0	1	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1	1
3	1	0	1	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0
5	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	1	0

(a)

	$p_1$	$p_6$	$p_5$	$p_4$	$p_3$	$p_2$
1	1	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0
4	0	1	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0	1
6	0	1	0	0	1	0

(b)

## Visão Geral

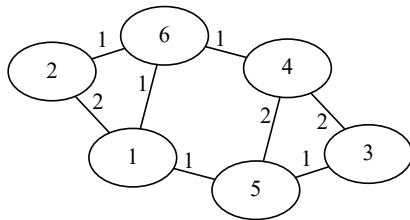
A proposta deste trabalho é a implementação de um método heurístico para solução do MORP:

- ▶ Nova representação em grafos;
- ▶ Solução inicial por meio de uma heurística gulosa;
- ▶ Metaheurística Busca Local Iterada (*Iterated Local Search*, ILS).

## Nova representação em grafos

- ▶ Os vértices representam as peças;
- ▶ Há ligação entre dois vértices quaisquer se as peças estão presentes em um mesmo padrão;
- ▶ A cada coincidência, o peso da aresta correspondente é aumentado em uma unidade.

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$
1	1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	1	1
5	0	1	0	0	1	1
6	0	0	1	0	0	1



## Solução Inicial

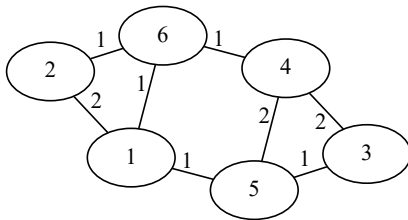
Propõe-se a utilização de um método guloso de percurso em grafos para obter uma sequência de peças, utilizada posteriormente para gerar informações importantes sobre como os padrões devem ser sequenciados.

Esta estratégia tem sido utilizada com sucesso a diferentes problemas de sequenciamento de tarefas e outros correlatos.

Neste trabalho, utiliza-se a Busca em Largura (ou *Breadth-First Search*, BFS) como algoritmo de percurso em grafos.

Posteriormente, uma heurística gulosa (Yanasse, 1997) é utilizada para obter a sequência de padrões a partir da sequência de peças.

# Busca em Largura Aplicada ao MDP



$$\phi = [2,1,6,5,4,3]$$

## Sequenciamento dos Padrões (Yanasse, 1997)

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$
1	1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	1	1
5	0	1	0	0	1	1
6	0	0	1	0	0	1

$\phi$	$\pi$
2	
2,1	$p_1$
2,1,6	$p_1, p_3$
2,1,6,5	$p_1, p_3, p_2$
2,1,6,5,4	$p_1, p_3, p_2, p_6$
2,1,6,5,4,3	$p_1, p_3, p_2, p_6, p_4, p_5$

# Busca Local Iterada

## Descrição

- ▶ Proposta por Lourenço et al. (2003);
- ▶ Parte de uma solução inicial viável;
- ▶ Alterna iterativamente etapas de intensificação e diversificação da busca no espaço de soluções;
- ▶ Tende a não ficar presa em ótimos locais;

## ILS Aplicada ao MORP

- ▶ Solução inicial heurística;
- ▶ Buscas locais (20%-80%): 2-opt e agrupamento de 1-*blocks* (Paiva e Carvalho, 2017);
- ▶ Perturbação (10%): 2-*swap*;
- ▶ Critério de parada: 30 a 150 iterações;
- ▶ Aceleração via  $\Delta$ -avaliação.

# Busca local: 2-opt

## Princípio

Inverter os elementos dentro de um intervalo definido aleatoriamente, mantendo as inversões que aprimorem a solução. A cada melhoria, o método é reiniciado.

## Exemplo

	<i>p</i> <sub>2</sub>	<i>p</i> <sub>3</sub>	<i>p</i> <sub>1</sub>	<i>p</i> <sub>4</sub>	<i>p</i> <sub>5</sub>	<i>p</i> <sub>6</sub>
1	1	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	1	0
3	1	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	0	1
5	1	0	1	1	0	1
6	0	1	0	0	0	1

(a)

	<i>p</i> <sub>4</sub>	<i>p</i> <sub>1</sub>	<i>p</i> <sub>3</sub>	<i>p</i> <sub>2</sub>	<i>p</i> <sub>5</sub>	<i>p</i> <sub>6</sub>
<i>i</i> <sub>1</sub>	0	1	0	1	1	0
<i>i</i> <sub>2</sub>	0	1	1	0	1	0
<i>i</i> <sub>3</sub>	1	0	0	1	1	0
<i>i</i> <sub>4</sub>	1	0	0	0	0	1
<i>i</i> <sub>5</sub>	1	1	0	1	0	1
<i>i</i> <sub>6</sub>	0	0	1	0	0	1

(b)



# Busca Local: Agrupamento de 1-blocks

## Princípio

Movimentar as colunas de uma matriz binária de maneira a agrupar os elementos não nulos em uma linha específica.

	<i>p</i> <sub>1</sub>	<i>p</i> <sub>6</sub>	<i>p</i> <sub>5</sub>	<i>p</i> <sub>4</sub>	<i>p</i> <sub>3</sub>	<i>p</i> <sub>2</sub>
1	1	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0
4	0	1	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0	1
6	0	1	0	0	1	0

(b)

	<i>p</i> <sub>6</sub>	<i>p</i> <sub>5</sub>	<i>p</i> <sub>4</sub>	<i>p</i> <sub>1</sub>	<i>p</i> <sub>3</sub>	<i>p</i> <sub>2</sub>
1	0	0	0	1	0	1
2	0	0	0	1	1	0
3	0	1	1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1
6	1	0	0	0	1	0

(a)

# Perturbação: 2-swap

## Princípio

Trocar uma quantidade pré-determinada de pares aleatórios de elementos de posição, independente da solução gerada.

	$p_6$	$p_5$	$p_4$	$p_3$	$p_1$	$p_2$
1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	1	1	0
3	0	1	1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1
6	1	0	0	1	0	0

(b)

	$p_6$	$p_5$	$p_4$	$p_1$	$p_3$	$p_2$
1	0	0	0	1	0	1
2	0	0	0	1	1	0
3	0	1	1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1
6	1	0	0	0	1	0

(a)

## Instâncias de Haddadi et al. (2015)

Conjunto de quarenta e cinco instâncias artificiais para o CBM, dividido em nove grupos ( $A-I$ ), com cinco instâncias cada, geradas aleatoriamente.

## Setup

- ▶ Métodos implementados utilizando a linguagem C++ e compilados utilizando g++ 4.4.1 e a opção de otimização -O3;
- ▶ Computador Intel i5 Quad Core de 3.2GHz, 8 GB de RAM, e sistema operacional Ubuntu 15.10.

# Experimentos Computacionais

Grupo	P	S	Haddadi et al. (2015)	$T$ (s)	ILS	$T(s)$	$\sigma$	gap(%)
A	100	200	253,00	0,45	262,00	74,190	2,95	3,56
B	100	200	695,80	0,62	671,60	451,50	2,28	-3,48
C	100	200	1358,60	0,79	1307,20	769,34	2,44	-3,78
D	100	500	552,00	3,32	601,20	1015,27	3,73	8,91
E	100	500	1616,00	4,59	1576,20	4220,57	5,40	-2,46
F	100	500	3308,40	5,52	3162,20	8761,34	4,35	-4,42
G	100	1000	1072,40	14,03	1178,20	4772,54	4,50	9,87
H	100	1000	3125,40	22,20	3067,20	7612,72	7,09	-1,86
I	100	1000	6375,40	27,12	6109,60	16631,09	8,01	-4,17

- ▶ O MDP é um importante problema no contexto industrial, que pode auxiliar na uniformização das características físicas dos produtos;
- ▶ Existem poucas propostas na literatura para a resolução do MDP no contexto industrial;
- ▶ O ILS proposto gerou novos melhores resultados para seis dos nove grupos de benchmark;
- ▶ Trabalhos futuros se concentrarão em aprimorar o algoritmo proposto a fim de se obter melhores resultados para instâncias esparsas.

## Apoio

- ▶ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);
- ▶ Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); e
- ▶ Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

# Perguntas?

