

# MAC0461 Escalonamento e Aplicações

J.P. Kerr Catunda (Yoshi)

BCC 2007

01 de dezembro de 2009



# Apresentando o problema

Existem vários tipos de linhas de produção

Iremos olhar aqui para uma fábrica cuja linha de produção possui uma esteira e sua produção possui fortes restrições de logística

O objetivo final deste estudo é maximizar a produção de nossa fábrica respeitando as restrições do processo



# Onde ele aparece

Este arranjo de linha de produção com esteira é muito comum em fábricas com forno, onde as peças devem ser preparadas de alguma forma e, depois disso, inseridas nele. Exemplo disso são:

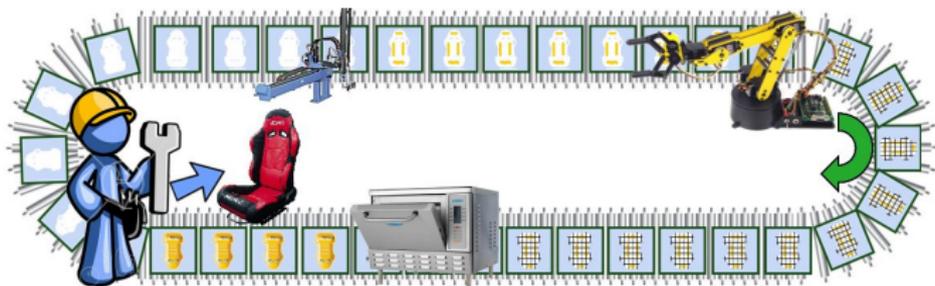
- Fábrica de espuma injetada
- Fábrica de peças de vidro



# Descrevendo a linha de produção

## A esteira

- Moldes são afixados na esteira, que circula passando pelos setores da linha de produção
- Pessoas e máquinas interagem com os moldes quando estes passam em seu setor
- Com tudo a postos, o molde vai ao forno
- Ao sair do forno as peças são removidas de seus moldes



# Descrivendo a linha de produção

## Componentes da esteira

Um item por molde é produzido a cada volta da esteira. Com isso vemos que as coisas relevantes para a produção são:

- Velocidade da esteira
- Comprimento da esteira
- Tempo que a esteira funciona por dia

Todos os itens acima são pré-determinados e não podemos alterá-los



# Descrivendo a linha de produção

## Moldes

Cada molde possui:

- Tamanho
- Demanda diária

Possuímos mais de um molde de cada peça

Podemos produzir mais de uma peça ao mesmo tempo

Não cabem todos os moldes na linha ao mesmo tempo

Seremos obrigados a trocar moldes entre turnos para atender a demanda



# Descrivendo a linha de produção

## Moldes

Cada molde possui:

- Tamanho
- Demanda diária

Possuímos mais de um molde de cada peça

Podemos produzir mais de uma peça ao mesmo tempo

Não cabem todos os moldes na linha ao mesmo tempo

Seremos obrigados a trocar moldes entre turnos para atender a demanda



# Descrivendo a linha de produção

## Moldes

Cada molde possui:

- Tamanho
- Demanda diária

Possuímos mais de um molde de cada peça

Podemos produzir mais de uma peça ao mesmo tempo

Não cabem todos os moldes na linha ao mesmo tempo

Seremos obrigados a trocar moldes entre turnos para atender a demanda



# Descrevendo a linha de produção

## Trocas

- Trocar um molde na linha é caro pois toda a linha tem que parar para isso. Devemos portanto fazer o menor número de trocas possível
- Podemos trocar moldes ao mesmo tempo gastando pouco tempo a mais uma vez que a linha já está parada
- A linha não pode parar a qualquer hora. Ela funciona em turnos de mesma duração, e as trocas são feitas no começo de cada turno
- Não é interessante rearranjar toda a linha a cada troca pois isso toma muito tempo



# Descrivendo a linha de produção

## Trocas

- Trocar um molde na linha é caro pois toda a linha tem que parar para isso. Devemos portanto fazer o menor número de trocas possível
- Podemos trocar moldes ao mesmo tempo gastando pouco tempo a mais uma vez que a linha já está parada
- A linha não pode parar a qualquer hora. Ela funciona em turnos de mesma duração, e as trocas são feitas no começo de cada turno
- Não é interessante rearranjar toda a linha a cada troca pois isso toma muito tempo



# Descrevendo a linha de produção

## Trocas

- Trocar um molde na linha é caro pois toda a linha tem que parar para isso. Devemos portanto fazer o menor número de trocas possível
- Podemos trocar moldes ao mesmo tempo gastando pouco tempo a mais uma vez que a linha já está parada
- A linha não pode parar a qualquer hora. Ela funciona em turnos de mesma duração, e as trocas são feitas no começo de cada turno
- Não é interessante rearranjar toda a linha a cada troca pois isso toma muito tempo



# Descrivendo a linha de produção

## Trocas

- Trocar um molde na linha é caro pois toda a linha tem que parar para isso. Devemos portanto fazer o menor número de trocas possível
- Podemos trocar moldes ao mesmo tempo gastando pouco tempo a mais uma vez que a linha já está parada
- A linha não pode parar a qualquer hora. Ela funciona em turnos de mesma duração, e as trocas são feitas no começo de cada turno
- Não é interessante rearranjar toda a linha a cada troca pois isso toma muito tempo



# Descrivendo a linha de produção

## Estoque

Temos a nossa disposição um pequeno estoque, capaz de armazenar não mais do que três dias de produção

O estoque é usado como *buffer* pois a demanda é diária mas nem todas as peças são produzidas ao mesmo tempo



# Aquecendo os motores

## Capacidade máxima

Pelo que já foi dito, podemos prever a capacidade máxima de nossa fábrica. Sendo:

- $V$  a velocidade da esteira
- $T$  o tempo total de funcionamento da linha
- $L_j$  o comprimento do molde  $i$

Temos então:

## Limite superior

$$L_{max} = V \cdot T$$

$$L_{tot} = \sum_j L_j \leq L_{max}, j \in \text{Moldes}$$

Onde  $L_{max}$  é a distância percorrida pela esteira e  $L_{tot}$  a soma do comprimento dos moldes que serão produzidos



# Aquecendo os motores

## Disposição de moldes na linha

Queremos colocar o máximo de moldes na linha ao mesmo tempo, o que nos remete ao *Bin Packing* em 2D (NP-Difícil).

Não contentes com isso, precisamos fazê-lo de forma a facilitar a troca de moldes entre turnos.

Olhem pelo lado bom: pelo menos a complexidade não tem como ficar NP-Mais difícil! :)



# Aquecendo os motores

## Disposição de moldes na linha

Queremos colocar o máximo de moldes na linha ao mesmo tempo, o que nos remete ao *Bin Packing* em 2D (NP-Difícil).

Não contentes com isso, precisamos fazê-lo de forma a facilitar a troca de moldes entre turnos.

Olhem pelo lado bom: pelo menos a complexidade não tem como ficar NP-Mais difícil! :)



# Aquecendo os motores

## Voltas por turno, Estoque e Buffer

- A linha funciona em turnos. Em cada turno a linha dá diversas voltas
- Uma peça com demanda pequena, ao entrar na linha, será produzida em excesso. Devemos aproveitar este excesso de forma a minimizar o número de trocas
- Uma peça com demanda grande terá sempre alguns moldes fixos na linha
- As peças precisam estar prontas com um dia de antecedência



# Aquecendo os motores

## Voltas por turno, Estoque e Buffer

- A linha funciona em turnos. Em cada turno a linha dá diversas voltas
- Uma peça com demanda pequena, ao entrar na linha, será produzida em excesso. Devemos aproveitar este excesso de forma a minimizar o número de trocas
- Uma peça com demanda grande terá sempre alguns moldes fixos na linha
- As peças precisam estar prontas com um dia de antecedência



# Aquecendo os motores

## Voltas por turno, Estoque e Buffer

- A linha funciona em turnos. Em cada turno a linha dá diversas voltas
- Uma peça com demanda pequena, ao entrar na linha, será produzida em excesso. Devemos aproveitar este excesso de forma a minimizar o número de trocas
- Uma peça com demanda grande terá sempre alguns moldes fixos na linha
- As peças precisam estar prontas com um dia de antecedência



# Aquecendo os motores

## Voltas por turno, Estoque e Buffer

- A linha funciona em turnos. Em cada turno a linha dá diversas voltas
- Uma peça com demanda pequena, ao entrar na linha, será produzida em excesso. Devemos aproveitar este excesso de forma a minimizar o número de trocas
- Uma peça com demanda grande terá sempre alguns moldes fixos na linha
- As peças precisam estar prontas com um dia de antecedência



# Estoque infinito

A solução mais ingênua é obtida colocando, em qualquer ordem, os moldes na linha. Para isso:

- 1 Calculamos o total que deve ser produzido por semana
- 2 Colocamos tudo na linha de qualquer forma
- 3 Ligamos a linha com uma semana de antecedência
- 4 Estocamos tudo
- 5 Fornecemos diretamente do estoque durante a semana seguinte

Esta solução seria boa se tivéssemos um estoque. . . Grande ( $\infty$ ).

Abordando o problema dessa forma, devemos apenas nos preocupar em preencher a linha da melhor forma possível

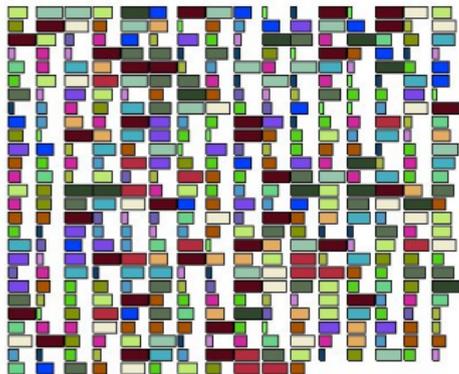
# Estoque infinito

Sem critério - *first come first serve basis*

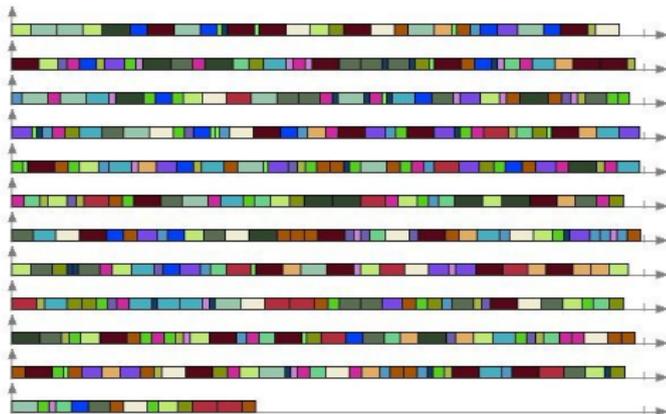
Primeira heurística:

alocar moldes na linha na ordem de chegada sem qualquer critério

demanda



turnos



Turnos obtidos preenchendo a linha por ordem de chegada até acomodar a demanda



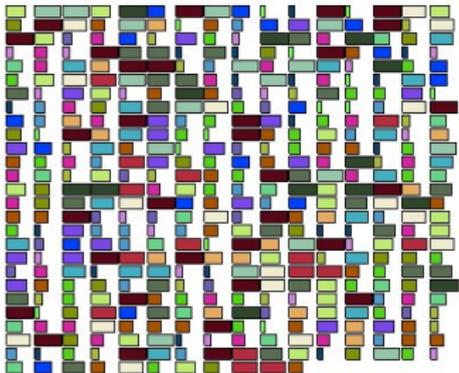
# Estoque infinito

## Bin packing

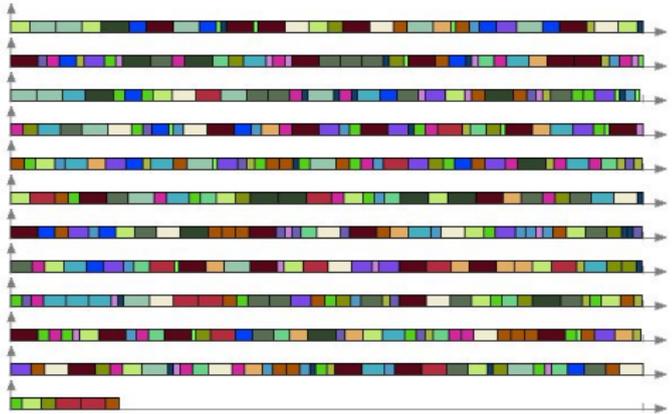
Segunda heurística:

alocar moldes na linha minimizando o desperdício de espaço

demanda



turnos



Turnos obtidos preenchendo a linha com *Bin packing*



# Estoque infinito

## Minimizando trocas

É importante lembrar que não queremos reorganizar toda a linha a cada trocade moldes

As soluções apresentadas até agora não se preocuparam com a disposição dos moldes na linha

Podemos melhorar isso olhando para o problema de outra forma...



# Estoque infinito

## Minimizando trocas - Paralealizando

Ao invés de olhar para nossa fábrica como uma máquina resolvendo um problema em série, podemos colocar os turnos em paralelo

Olhando o problema desta forma, como existem muitas tarefas repetidas a serem feitas, conseguimos criar turnos com pouca alteração na ordem dos moldes

Podemos fazer isso da seguinte forma:

- 1 Com os dados em mãos, estimamos quantos turnos precisaremos para cumprir as tarefas
- 2 Preenchemos os turnos paralelamente, aproveitando esta estrutura para minimizar trocas na linha



# Estoque infinito

## Minimizando trocas - Paralelizando

Ao invés de olhar para nossa fábrica como uma máquina resolvendo um problema em série, podemos colocar os turnos em paralelo

Olhando o problema desta forma, como existem muitas tarefas repetidas a serem feitas, conseguimos criar turnos com pouca alteração na ordem dos moldes

Podemos fazer isso da seguinte forma:

- Com os dados em mãos, estimamos quantos turnos precisaremos para cumprir as tarefas
- Preenchemos os turnos paralelamente, aproveitando esta estrutura para minimizar trocas na linha



# Estoque infinito

## Minimizando trocas - Paralelizando

Ao invés de olhar para nossa fábrica como uma máquina resolvendo um problema em série, podemos colocar os turnos em paralelo

Olhando o problema desta forma, como existem muitas tarefas repetidas a serem feitas, conseguimos criar turnos com pouca alteração na ordem dos moldes

Podemos fazer isso da seguinte forma:

- 1 Com os dados em mãos, estimamos quantos turnos precisaremos para cumprir as tarefas
- 2 Preenchemos os turnos paralelamente, aproveitando esta estrutura para minimizar trocas na linha



# Estoque infinito

## Minimizando trocas - Paralelizando

Ao invés de olhar para nossa fábrica como uma máquina resolvendo um problema em série, podemos colocar os turnos em paralelo

Olhando o problema desta forma, como existem muitas tarefas repetidas a serem feitas, conseguimos criar turnos com pouca alteração na ordem dos moldes

Podemos fazer isso da seguinte forma:

- 1 Com os dados em mãos, estimamos quantos turnos precisaremos para cumprir as tarefas
- 2 Preenchemos os turnos paralelamente, aproveitando esta estrutura para minimizar trocas na linha



# Estoque infinito

## Minimizando trocas - Paralelizando

Ao invés de olhar para nossa fábrica como uma máquina resolvendo um problema em série, podemos colocar os turnos em paralelo

Olhando o problema desta forma, como existem muitas tarefas repetidas a serem feitas, conseguimos criar turnos com pouca alteração na ordem dos moldes

Podemos fazer isso da seguinte forma:

- 1 Com os dados em mãos, estimamos quantos turnos precisaremos para cumprir as tarefas
- 2 Preenchemos os turnos paralelamente, aproveitando esta estrutura para minimizar trocas na linha



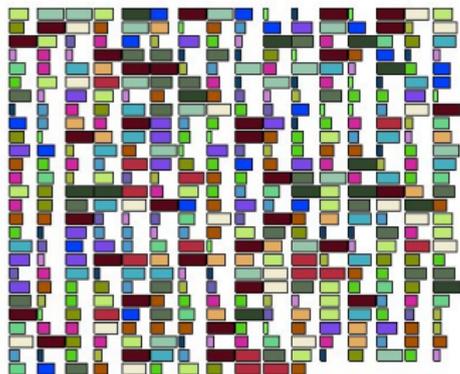
# Estoque infinito

Minimizando trocas - *Round Robin*

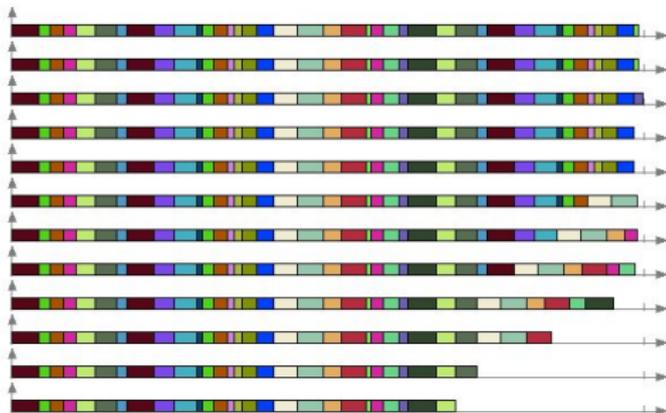
Fazendo uma pequena alteração no *Round Robin*, conseguimos um resultado bastante interessante

*Meta Round Robin*

demanda



turnos



Turnos obtidos com *Round Robin* em paralelo



# Estoque infinito

Minimizando trocas - *Round Robin*

*Round Robin* modificado:

```
1 MetaRoundRobin() {
2     enquanto houver demanda
3         organiza moldes por demanda
4         coloca um molde em cada turno
5         subtrai demanda utilizada
6 }
```



# Minimizando o estoque

## Estoque e produção

Até agora vimos como o estoque depende da produção.  
Veremos agora como a produção depende do estoque.

Ao organizarmos os moldes por ordem de demanda, não olhamos em momento algum para o estoque

Entretanto, se uma peça está disponível em estoque em quantidade suficiente para suprir a demanda, ela não deveria ser produzida



# Minimizando o estoque

## Estoque e produção

Considerações sobre produção e estoque:

- Ao colocarmos um molde na linha acabamos por produzir peças em excesso
- Eventualmente peças saem defeituosas

Entretanto. . .

- Não devemos continuar produzindo peças que temos em estoque
- Não devemos deixar peças faltarem em estoque

Devemos olhar para o estoque antes de decidir como será nossa produção. Podemos fazer isso organizando os moldes por *Demanda menos estoque*.



# Minimizando o estoque

## Demanda

Até agora olhamos a demanda como diária. Isso não era problema enquanto tínhamos a produção adiantada em uma semana. Entretanto nosso estoque é limitado. Precisamos olhar para ela com um pouco mais de critério.



# Minimizando o estoque

## Demanda

A demanda de uma peça tem a seguinte forma:

### Exemplo de demanda

peça a: 120 unidades para terça feira

peça a: 120 unidades para quinta feira

Precisamos garantir, de alguma forma, que as todas as peças estejam disponíveis na data de entrega.

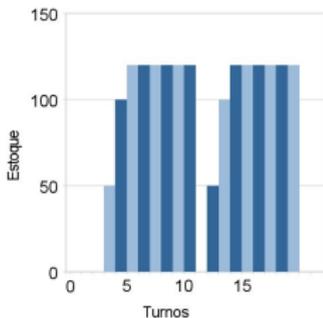


# Minimizando o estoque

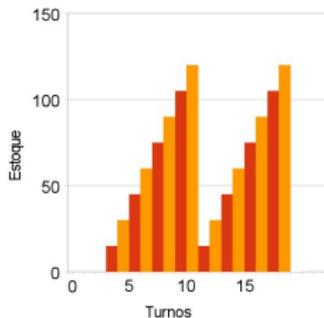
## Demanda

Note como, para o exemplo dado, o mesmo número de peças produzidas por três diferentes métodos ocupam o estoque de distintas formas:

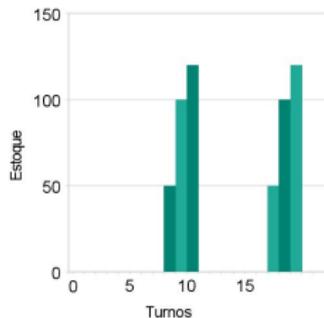
### Espaço ocupado no estoque



produção precoce



produção homogênea



produção boa



# Minimizando o estoque

## Estratégias de minimização de estoque

Salta aos olhos como antecipar a produção compromete o resultado. Uma vez cheio o estoque, teremos que parar a linha pois não teremos onde colocar as novas peças produzidas.

Tomaremos então duas providências:

- Respeitando as restrições geométricas, tentamos concentrar a produção de peças iguais dentro de um turno
- Trocamos os turnos de ordem de forma a produzir a demanda o mais em cima da hora possível

O resultado disso é um escalonamento de *turnos* que minimize o tempo de peças no estoque



# Minimizando o estoque

## Estratégias de minimização de estoque

Salta aos olhos como antecipar a produção compromete o resultado. Uma vez cheio o estoque, teremos que parar a linha pois não teremos onde colocar as novas peças produzidas.

Tomaremos então duas providências:

- Respeitando as restrições geométricas, tentamos concentrar a produção de peças iguais dentro de um turno
- Trocamos os turnos de ordem de forma a produzir a demanda o mais em cima da hora possível

O resultado disso é um escalonamento de *turnos* que minimize o tempo de peças no estoque



# Minimizando o estoque

## Estratégias de minimização de estoque

Salta aos olhos como antecipar a produção compromete o resultado. Uma vez cheio o estoque, teremos que parar a linha pois não teremos onde colocar as novas peças produzidas.

Tomaremos então duas providências:

- Respeitando as restrições geométricas, tentamos concentrar a produção de peças iguais dentro de um turno
- Trocamos os turnos de ordem de forma a produzir a demanda o mais em cima da hora possível

O resultado disso é um escalonamento de *turnos* que minimize o tempo de peças no estoque

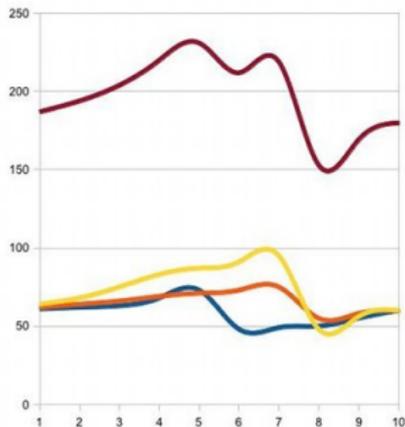


# Minimizando o estoque

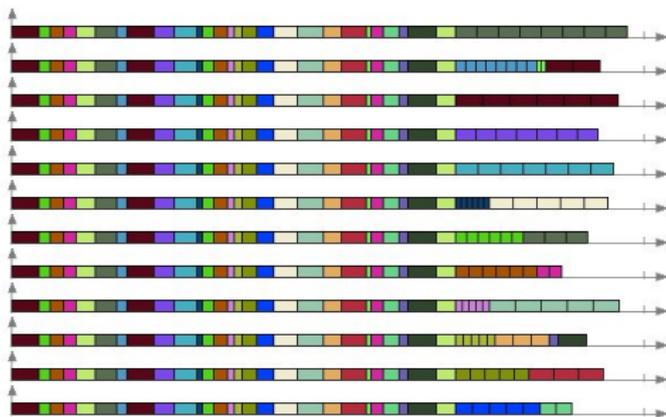
## Estratégias de minimização de estoque

Concentrando moldes iguais depois do *Round Robin*

estoque por molde e total



turnos

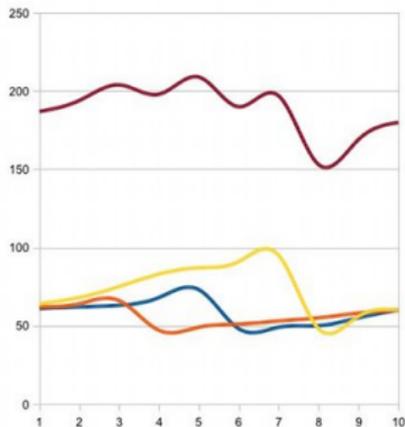


# Minimizando o estoque

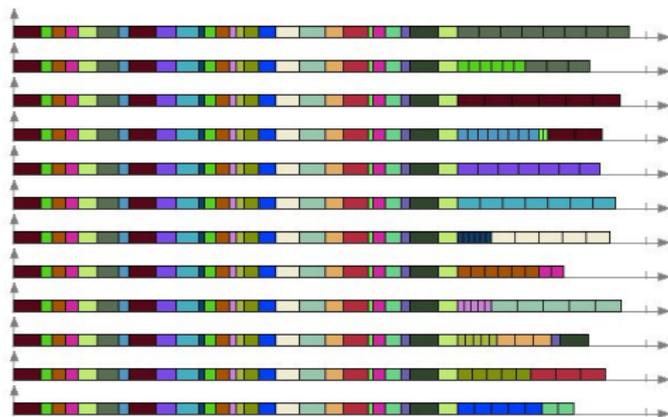
## Estratégias de minimização de estoque

Escalonando turnos da solução anterior

estoque por molde e total



turnos



# Conclusão

## O que foi feito

Atacamos um problema dinâmico e complexo com ferramentas de modelagem vistas durante o curso. Com esta modelagem torcemos o tempo e *paralelizamos* o processo.

Isto possibilitou a criação de um escalonamento de tarefas ótimo em termos geométricos.

Para atender a restrições de logística (tempo), adotamos uma estratégia que minimiza o tempo que peças ficam paradas no estoque.

Por fim aproveitamos o paralelismo (geométrico) para criar um escalonamento (temporal) dos turnos montados visando a produção de peças em momento conveniente.



# Conclusão

## Considerações sobre eficiência

A parte geométrica do problema pode ser resolvida da melhor forma possível (*bin packing*) por conta do número restrito de peças.

Caso o número de peças se torne grande a ponto de não podermos encontrar uma solução ótima (o que não é difícil), um algoritmo guloso pode ser colocado em seu lugar.

Note que a solução geométrica ótima não garante que a solução do problema é ótima. A parte temporal é complexa por si só e não existem garantias que o resultado encontrado é ótimo.



# Conclusão

## Solução

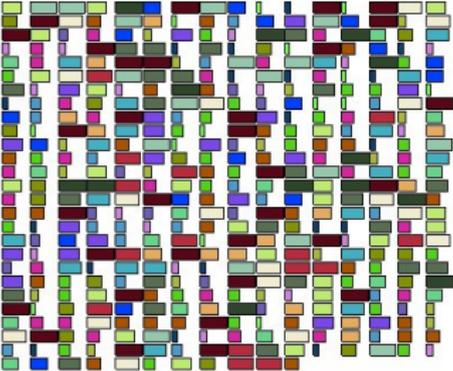
Este estudo é uma releitura (com simplificações) de uma consultoria real prestada em 2006/2007 para uma multinacional que produz peças de automóveis para diversas montadoras. A separação da parte espacial da parte temporal no problema foi motivada pelo método de separação de variáveis, onde reescrevemos uma função  $f(x, t)$  como  $g(x) \cdot h(t)$ . O resultado obtido vem de uma heurística e não nos dá garantias de eficiência. Entretanto, em termos práticos, obtivemos um aumento de 20% na produção real da planta, sendo que destes 8% estão diretamente relacionados aos assuntos aqui tratados.



# Conclusão

## Solução

demanda



turnos

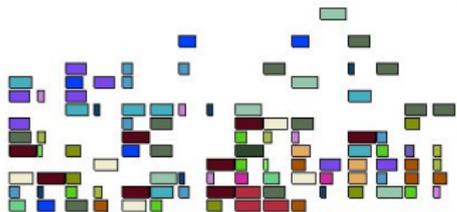


-jpkc

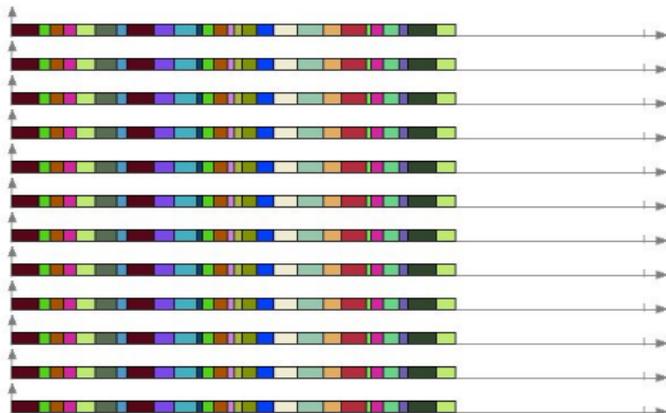
# Conclusão

## Solução

demanda



turnos



-jpkc

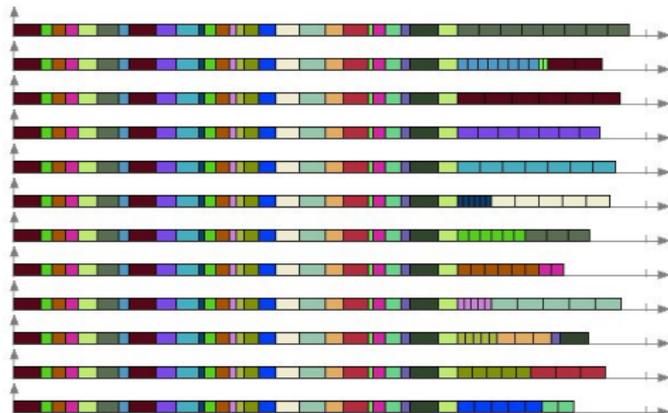


# Conclusão

## Solução

demanda

turnos



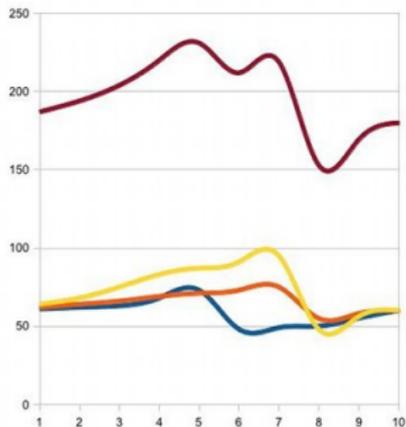
-jpkc



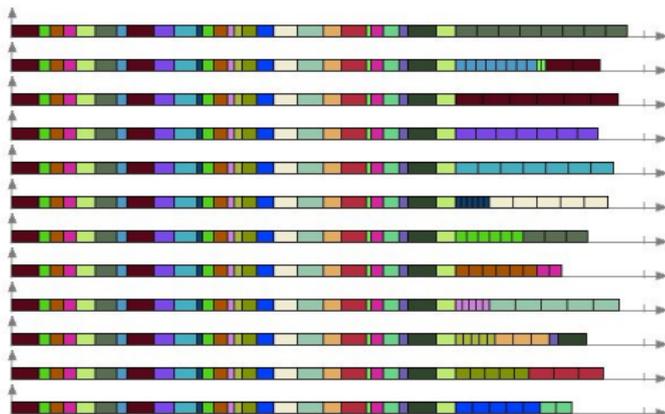
# Conclusão

## Solução

estoque



turnos



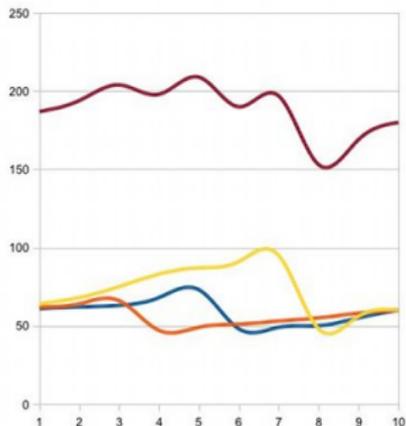
-jpkc



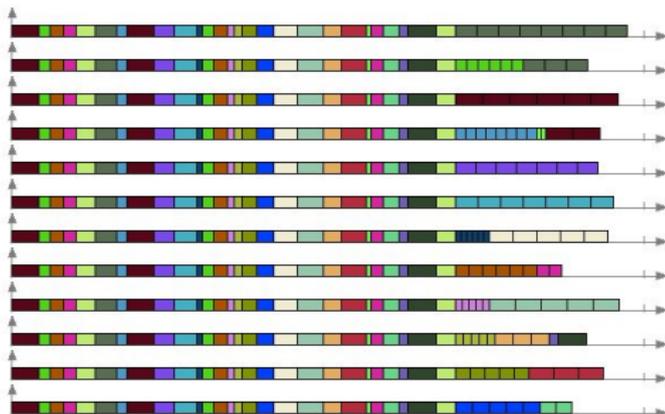
# Conclusão

## Solução

estoque



turnos



-jpkc

