

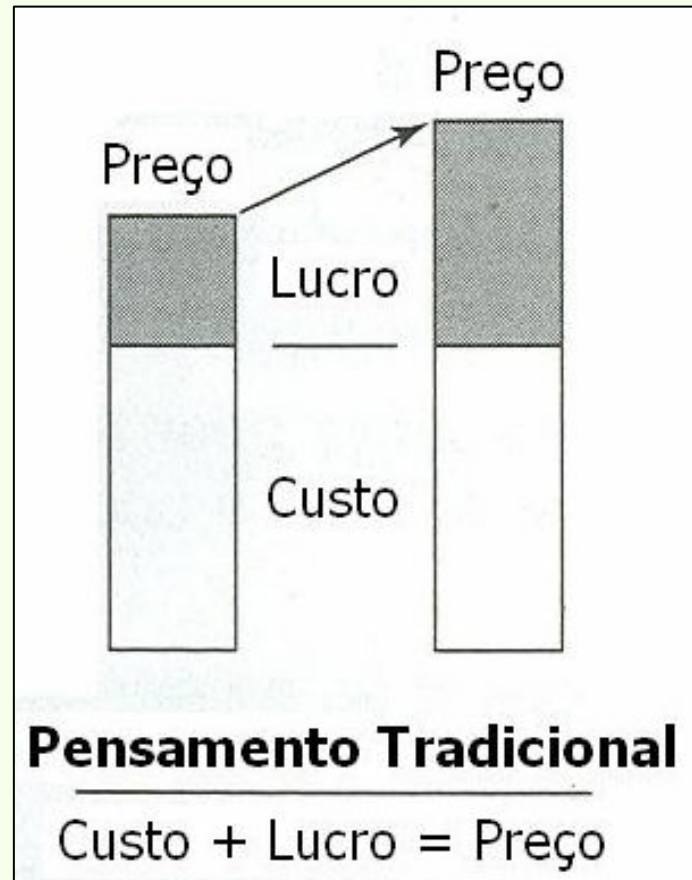
*Passos para a Implementação da  
Manufatura Enxuta – Lean  
Manufacturing  
Sistema Integrado de Manufatura*

# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

*“O consumidor externo decide o preço. O consumidor interno decide o custo. Os gerentes se concentram na diferença (o lucro)”*

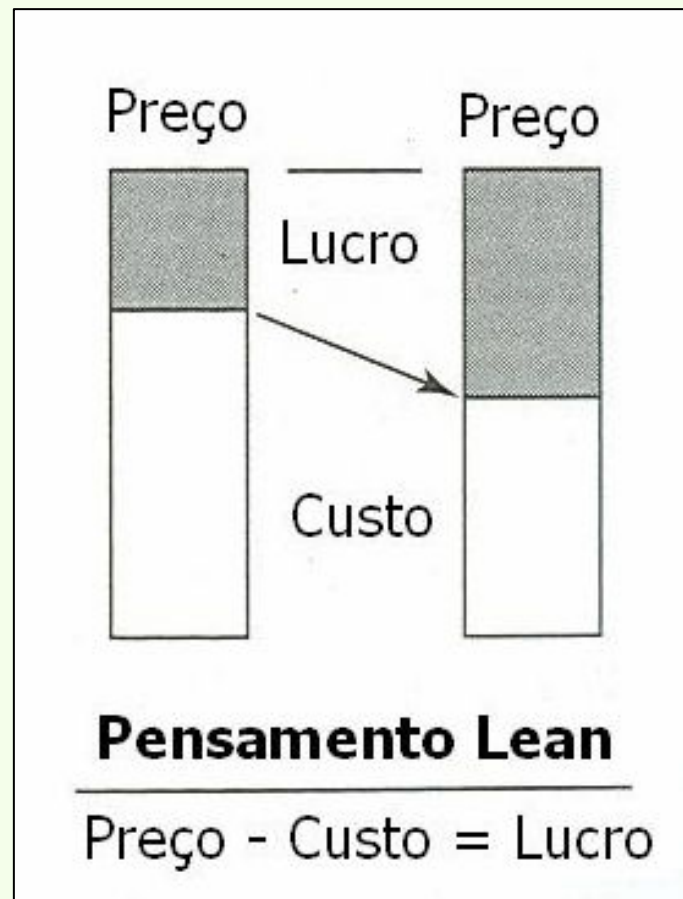
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Preço = Custo + Lucro ?



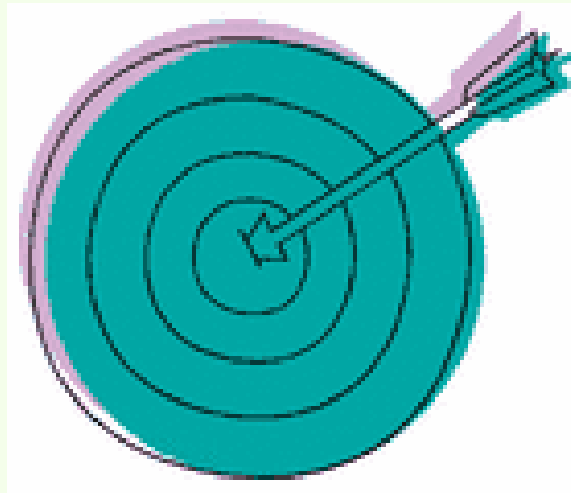
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Lucro = Preço – Custo ?



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

*Custo que não agrega valor = Desperdício*



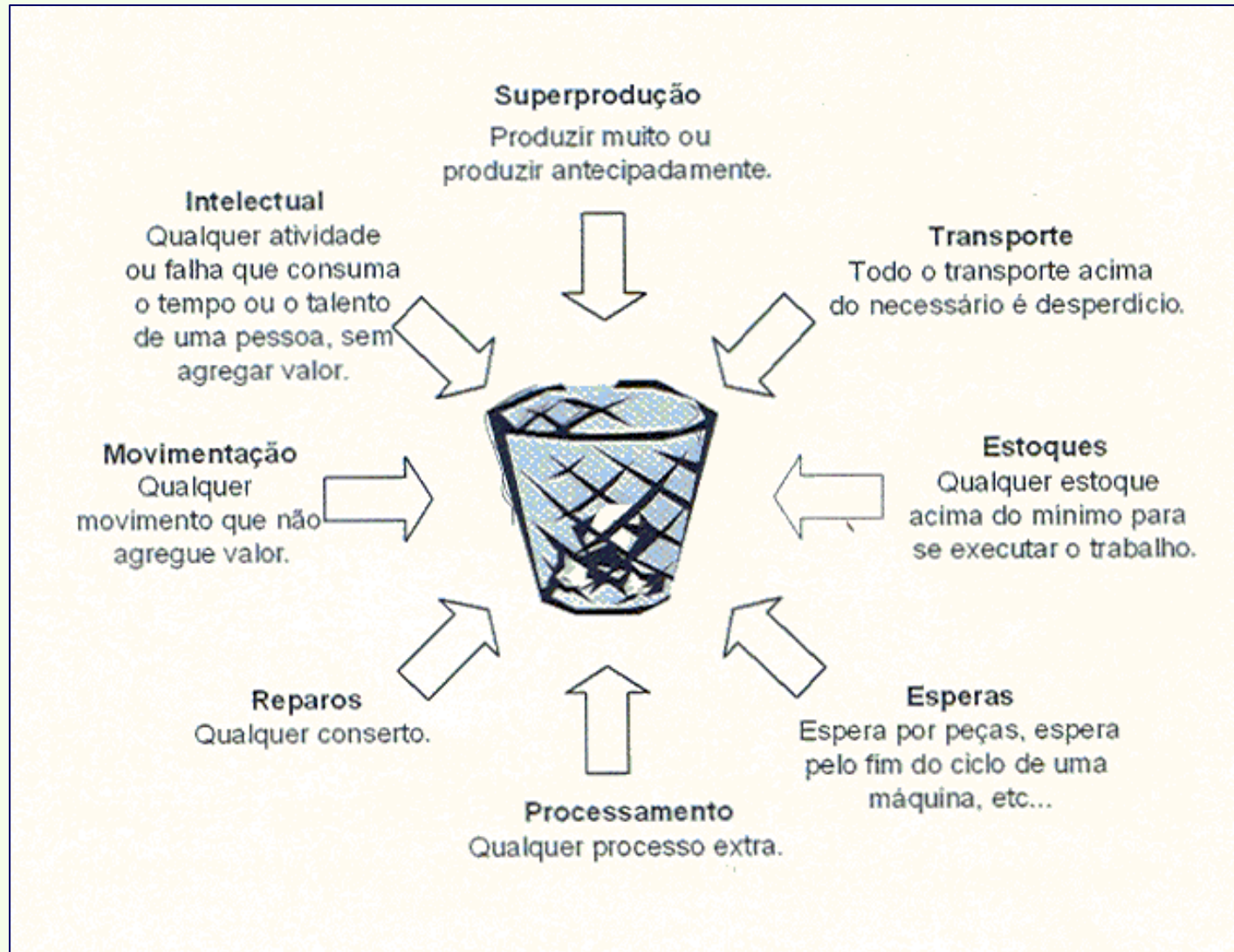
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Essas táticas basearam-se em dois conceitos fundamentais:
  - Eliminar o desperdício;
  - Grande respeito pelas pessoas.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Desperdício → qualquer coisa que não corresponda à mínima quantidade de **equipamentos, materiais, peças e trabalhadores** (tempo) que seja essencial para a produção.
  - Estoques ↓
  - Se algo (p.ex. matéria-prima) não puder ser utilizado agora, não deve ser fabricado agora.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

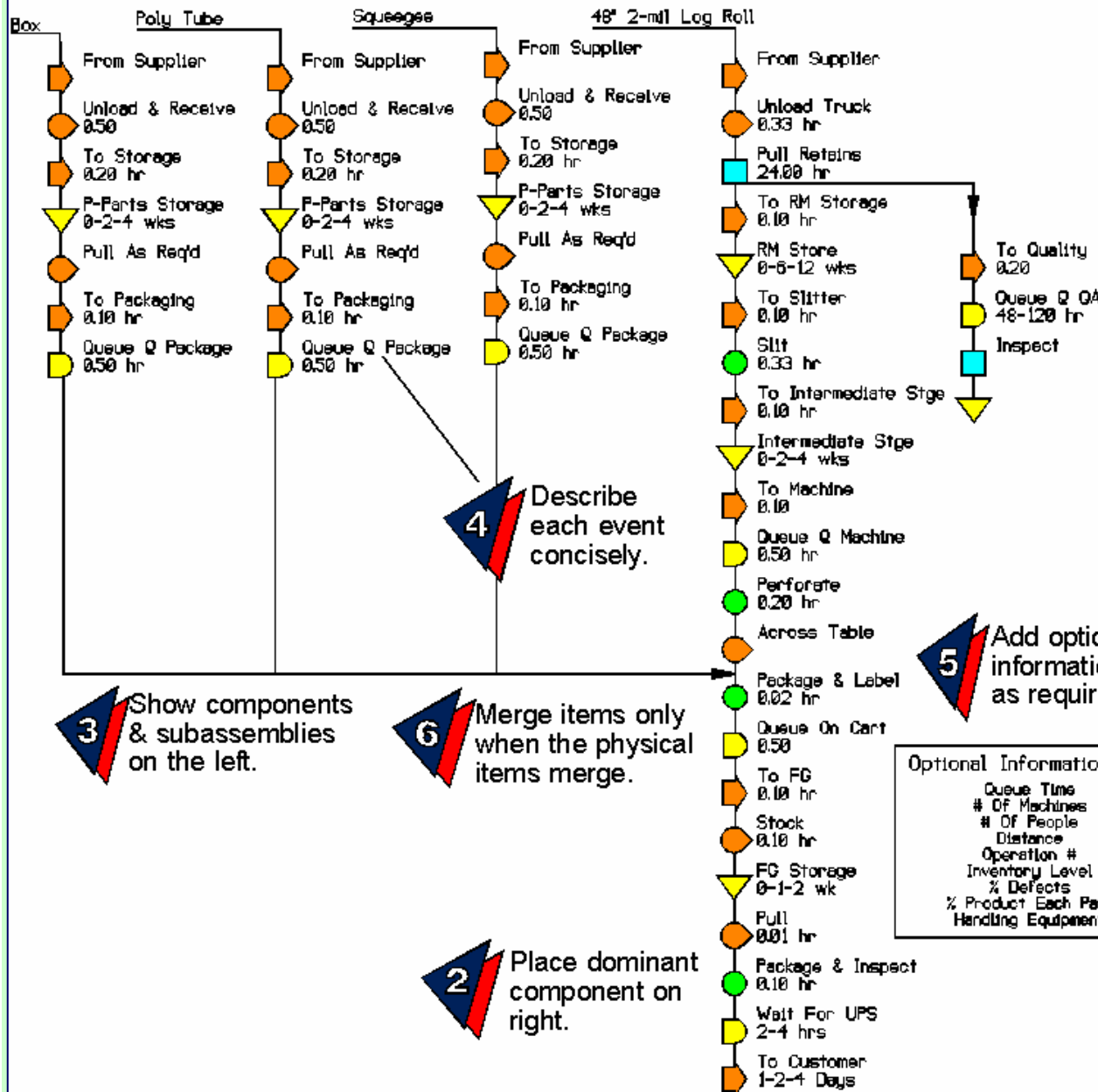


Os 8  
Desperdícios



# Cosmos Products 15" Perforated Stock

**1** Follow one product or a narrow product group.



Sym	Name	Action	Examples
	Operation	Adds Value	Saw, Cut, Paint, Solder, Package
	Transport	Moves Some Distance	Convey, Fork Truck, OTR Truck
	Inspect	Check For Defects	Visual Inspect, Dimension Inspect
	Delay	Temporary Delay/Hold	WIP Hold, Queue
	Storage	Formal Warehousing	Warehouse, Track Storage Location
	Handle	Transfer Or Sort	Re-Package, Transfer To Conveyor
	Decide	Make A Decision	Approve/Deny Purchase

**3** Show components & subassemblies on the left.

**6** Merge items only when the physical items merge.

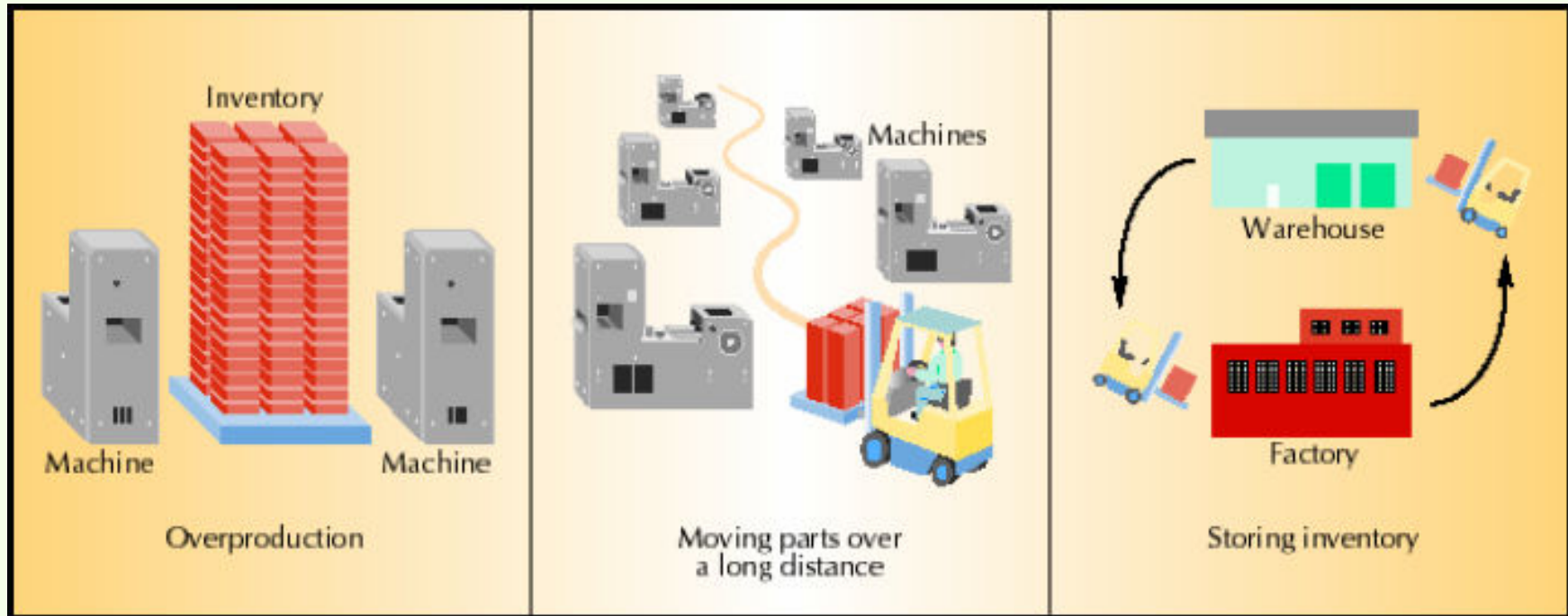
**2** Place dominant component on right.

**4** Describe each event concisely.

**5** Add optional information as required.

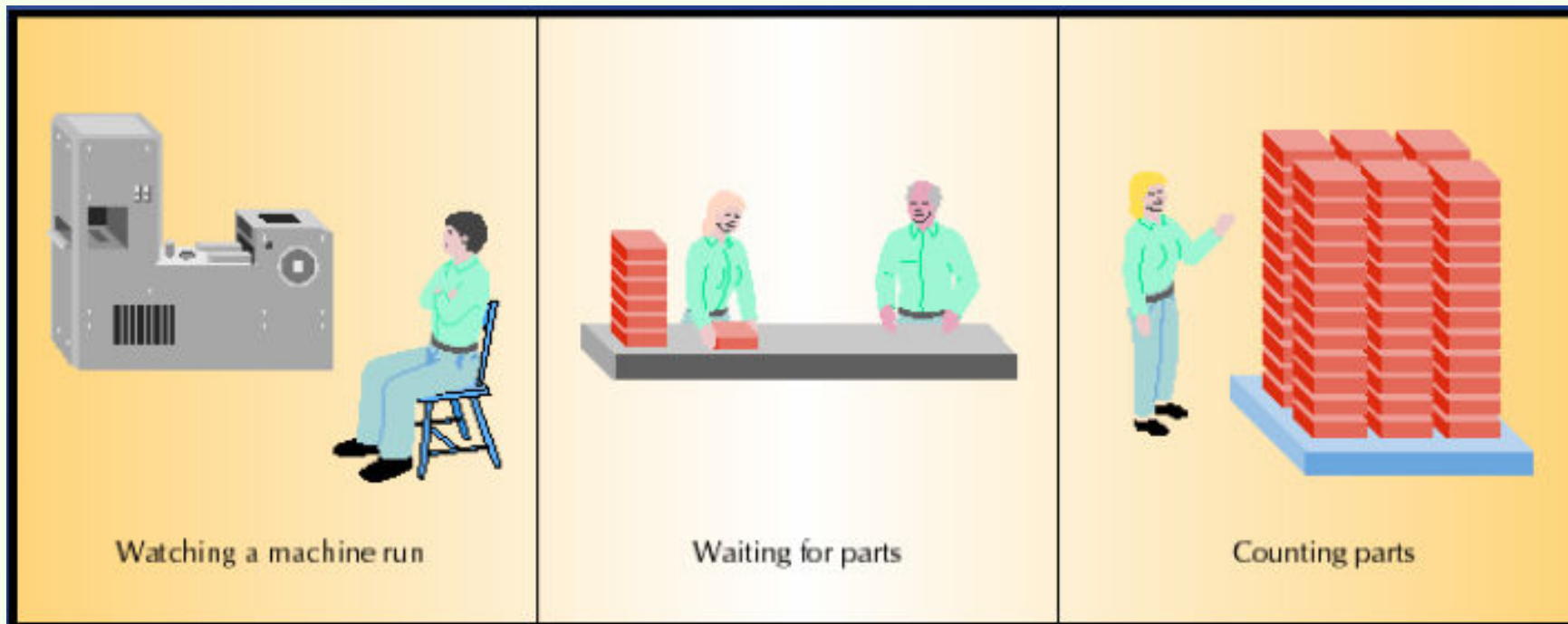
- Optional Information:
- Queue Time
  - # Of Machines
  - # Of People
  - Distance
  - Operation #
  - Inventory Level
  - % Defects
  - % Product Each Path
  - Handling Equipment

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



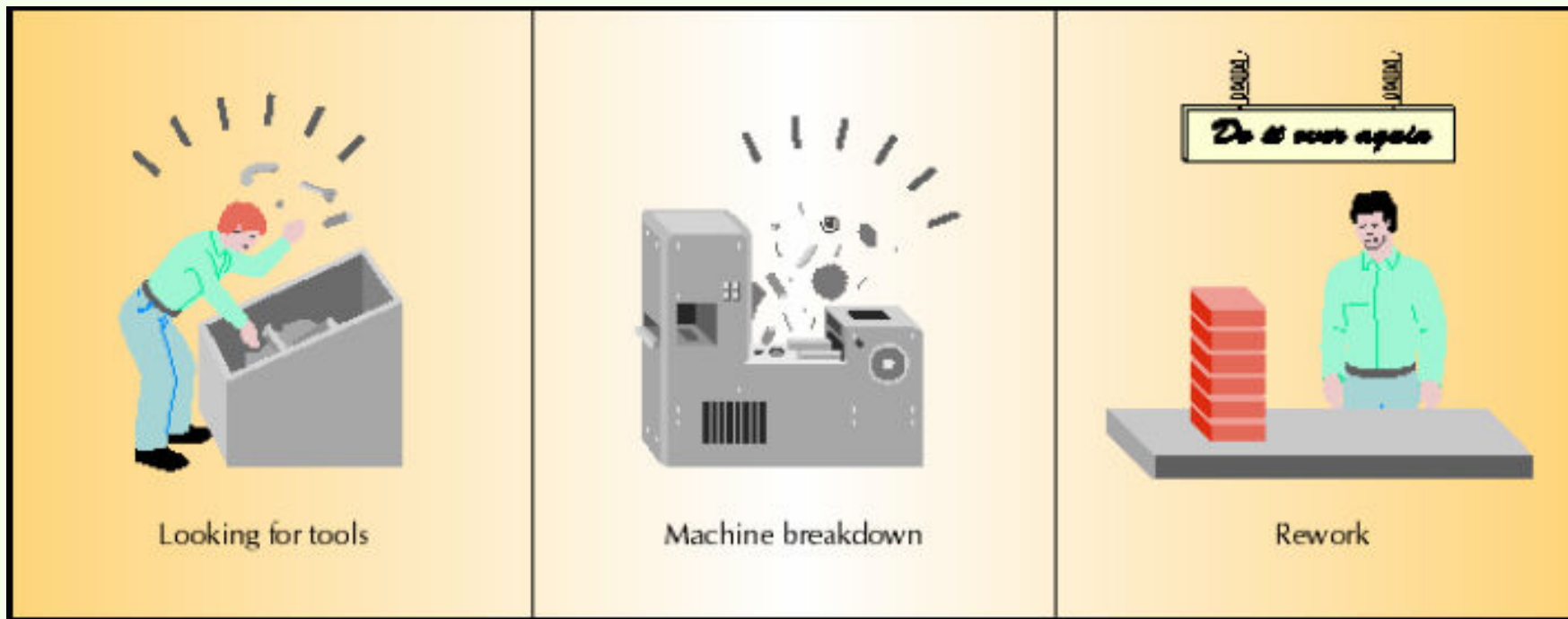
*Exemplos de Desperdício*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Exemplos de Desperdício*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Exemplos de Desperdício*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- *Tipos de Desperdício:*
  - **Muda**: trabalho que não agrega valor.
  - **Muri**: sobrecarregar uma pessoa ou máquina além dos seus limites naturais ⇒ todo trabalho sem sentido que a administração impõe aos empregados devido à má organização. Por exemplo:
    - Carregar pacotes pesados;
    - Mover coisas de lá para cá;
    - Fazer tarefas perigosas;
    - etc.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- *Tipos de Desperdício:*

- **Mura**: irregularidade ⇒ variação imposta ao processo por flutuações na programação da produção (isto é, não se relaciona ao trabalho em si) ⇒ para absorver os picos de demanda, precisa-se sempre de capacidade extra, que é desperdiçada quando se está em um momento de baixa produção ⇒ há uma discrepância entre o que poderia ser numa situação ideal, e o que de fato acontece ⇒ há um número muito maior de causas de variação em um processo do que se consegue enxergar. Consequências:

- Muitas vezes não se identifica o gargalo;
- A falta de balanceamento na linha gera acúmulo de estoque em processo.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- **CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA:**

Eliminação do desperdício (elementos que não agregam valor):

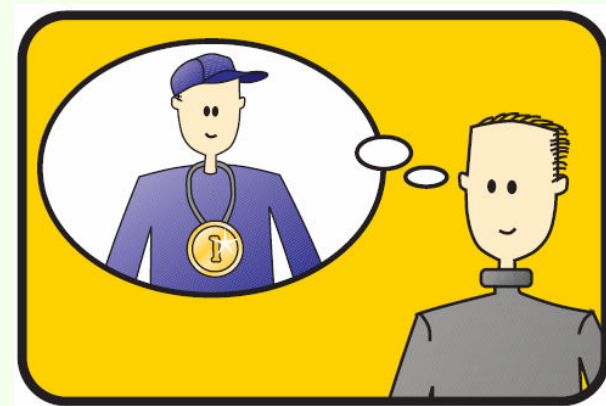
- fábricas dentro da fábrica (formação de células)
- fluxo contínuo da manufatura
- redução/eliminação do tempo de preparação (“*setup*”)
- controle da qualidade integrado (eliminação de defeitos)
- controle de estoque integrado (*kanban*)
- *just-in-time*
- manufatura/montagem de modelos variados (“*mixed*”)

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- **CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA:**

## Respeito pelas pessoas:

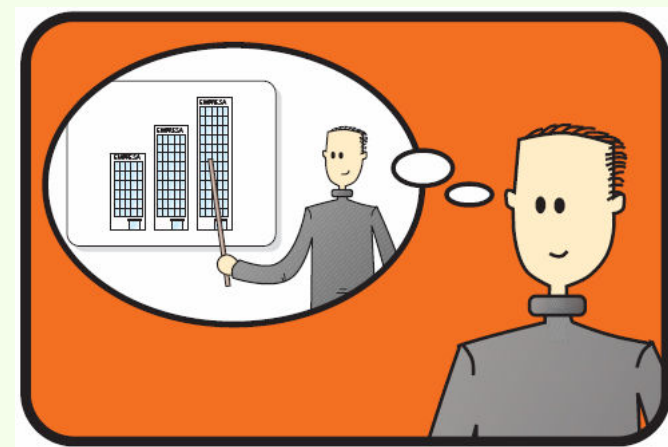
- atitude da gerência em favor dos colaboradores
- automação/robótica para resolver problemas
- gerenciamento consensual
- inclusão de fornecedores
- métodos de compensação





# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Envolvimento do colaborador + trabalho em equipe  
← nenhum colaborador é melhor do que outro (são “**associados**”); não deve haver escritórios privados; não deve haver restaurante executivo; não deve haver estacionamentos preferenciais (exceto para o associado do mês).
- A gerência dizer unilateralmente o que colaboradores devem fazer e como fazer não é uma abordagem adequada.



# Organização e Cultura: Iceberg da Transformação LEAN



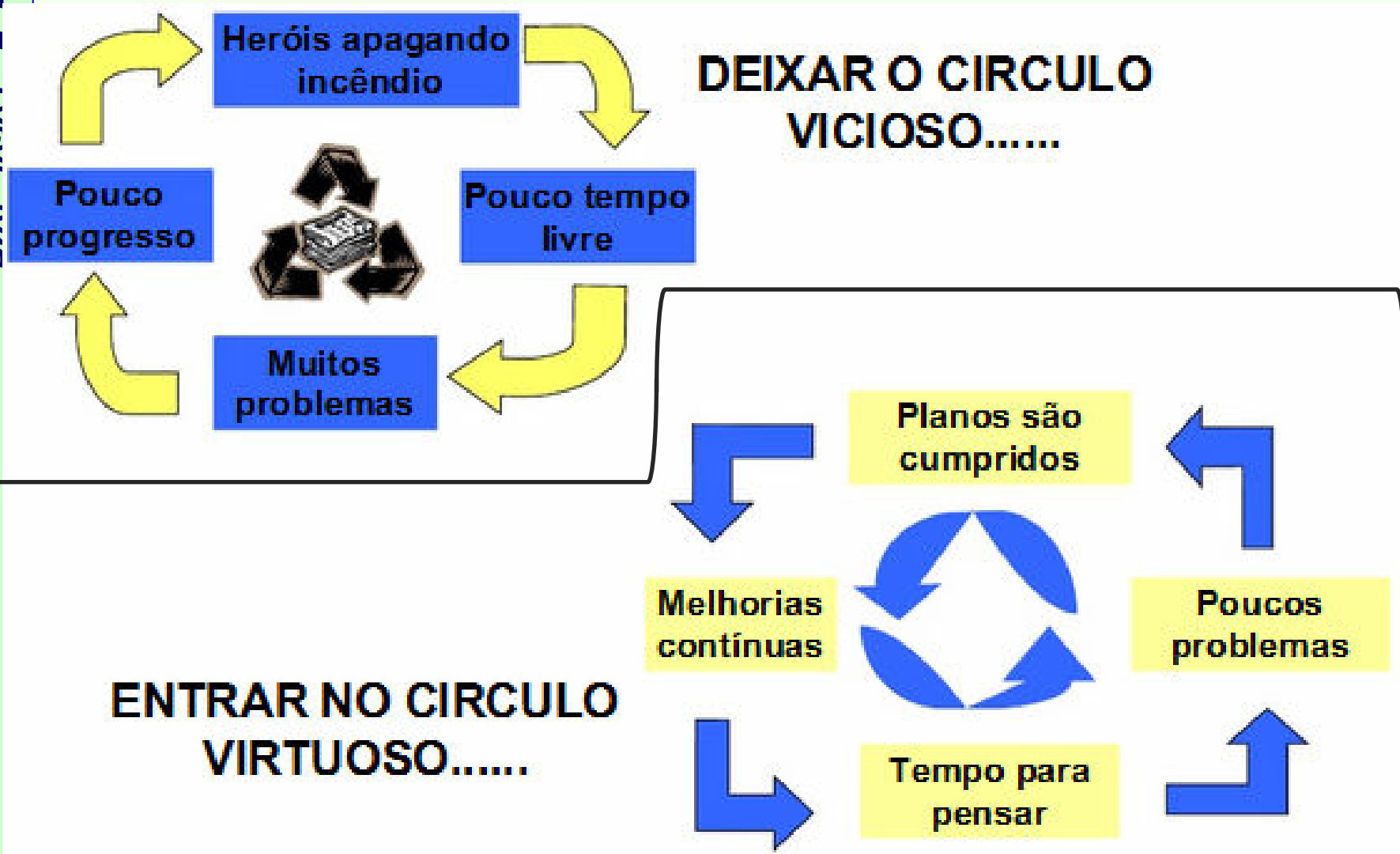
**Ferramentas Lean  
20% da Mudança**

**Princípios Lean  
80% da Mudança**

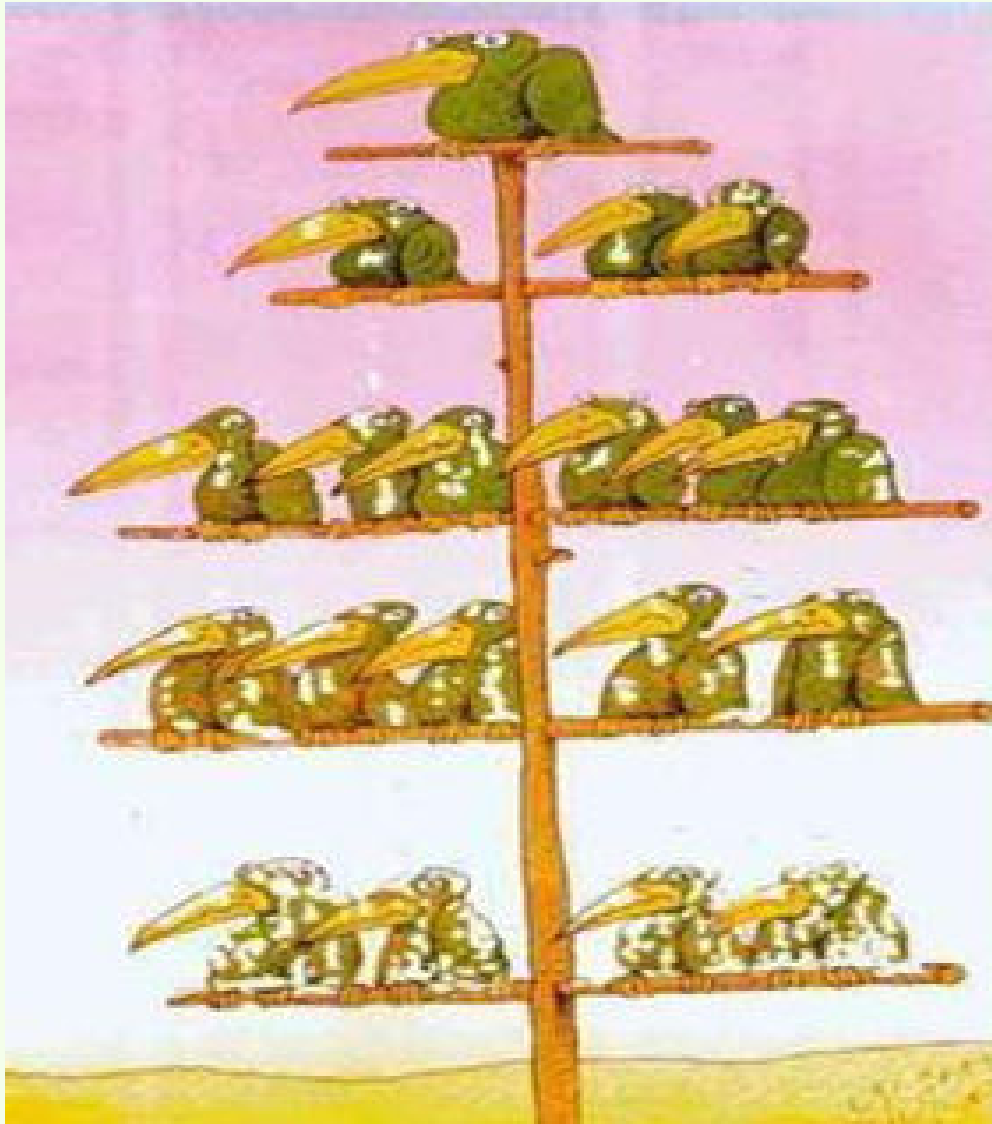
Líder LEAN:

- Conhecimento
- Crença
- Comportamento/Atitude

# Por que Melhorar o Processo?



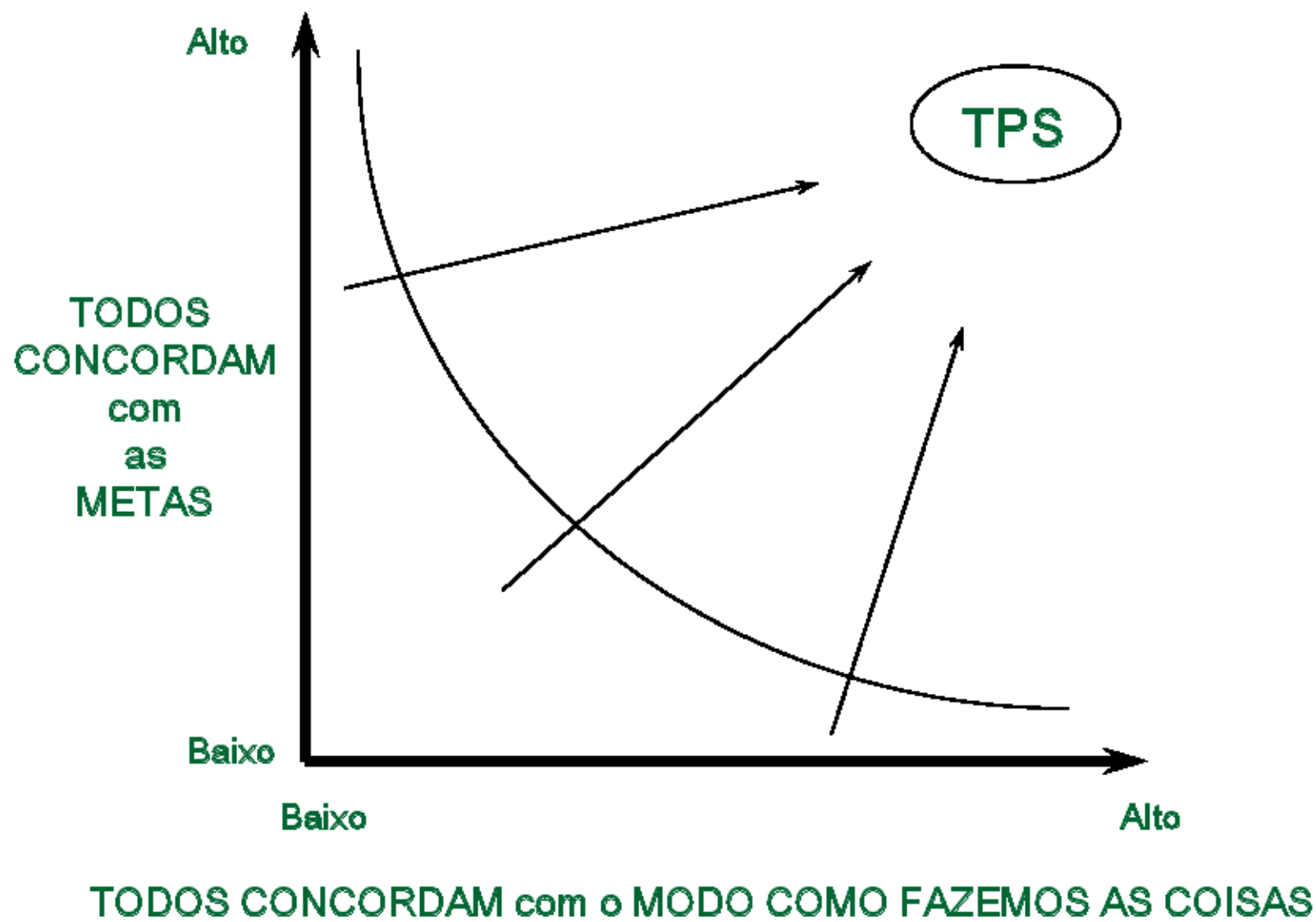
# Hierarquia no Sistema de Produção Convencional



Vídeo Tempos Modernos

Diferenças e Semelhanças  
com os procedimentos atuais  
na sua empresa ?

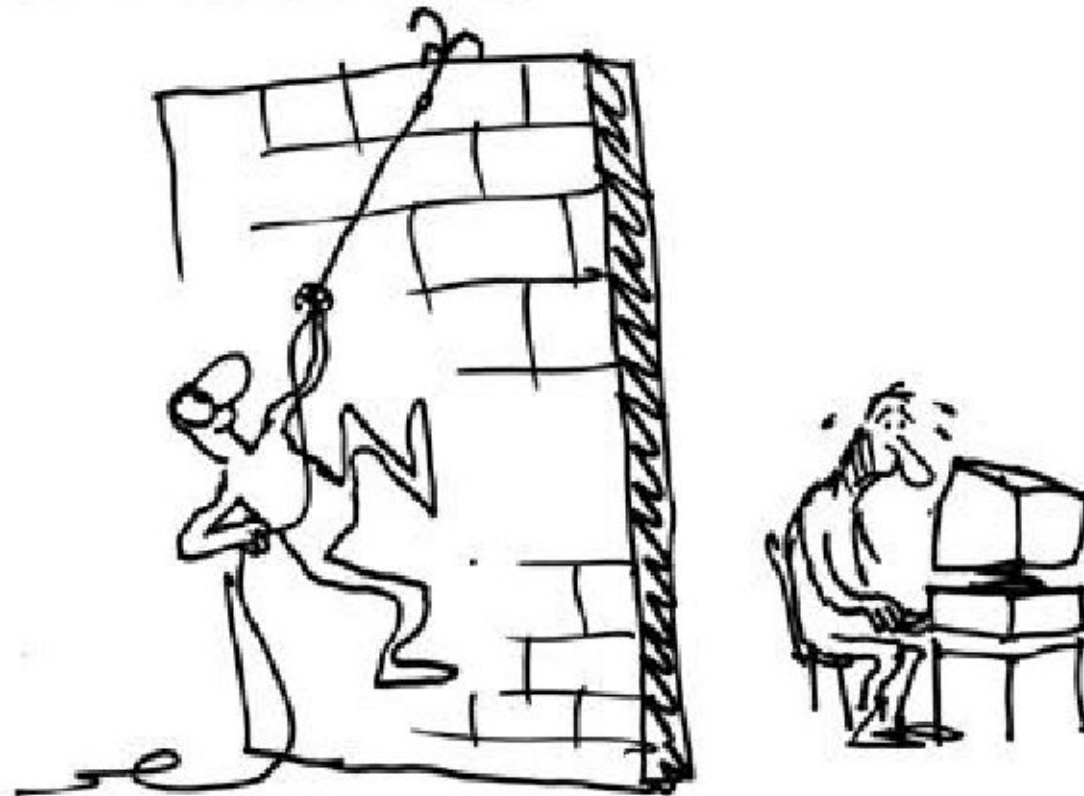
# Consenso no Sistema de Produção Lean



# Atitudes do Líder Lean: Buscar o melhor para toda a organização

Derrubar as barreiras da organização pela atitude de cooperação entre os departamentos (job rotation)

#9 BREAK DOWN BARRIERS



# Atitudes do Líder Lean: Desenvolver Equipes de Trabalho

- Vídeo orquestra



- Por que uma orquestra é um bom exemplo de liderança em equipes?

# Atitudes do Líder Lean: Reconhecimento público do grupo, críticas em particular



[Video pinguins](#)



# Atitudes do Líder Lean: lidera influenciando

O Líder Lean lidera construindo processos estáveis e auto-gerenciáveis (visual) que permitem delegar responsabilidade para a operação

- Pelo exemplo

- Entendendo os detalhes

vá lá ver

- Questionando 5 Porquês

não “5 Quem” = identificar problemas e causa raiz

- Orientando e ensinando a fazer

trabalho padronizado



## Atitude do Líder LEAN: Cria ambiente de confiança e segurança para expor problemas

Confiança se constrói pelas atitudes e não pelas palavras. O líder lean estabelece um ambiente onde não há medo de expor a verdade dos fatos pela gestão visual

#8 DRIVE OUT FEAR



Atitude do Líder LEAN: Desdobra as metas do negócio em metas dos departamentos e metas individuais (gerenciamento diário)

*Imagine como seria se....*

...**TODOS** conhecessem a estratégia do negócio e

## ESTRATÉGIA DO NEGÓCIO



...soubessem exatamente o que fazer para atingir a estratégia

# Atitudes do Líder Lean



# Modelos Mentais

MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL



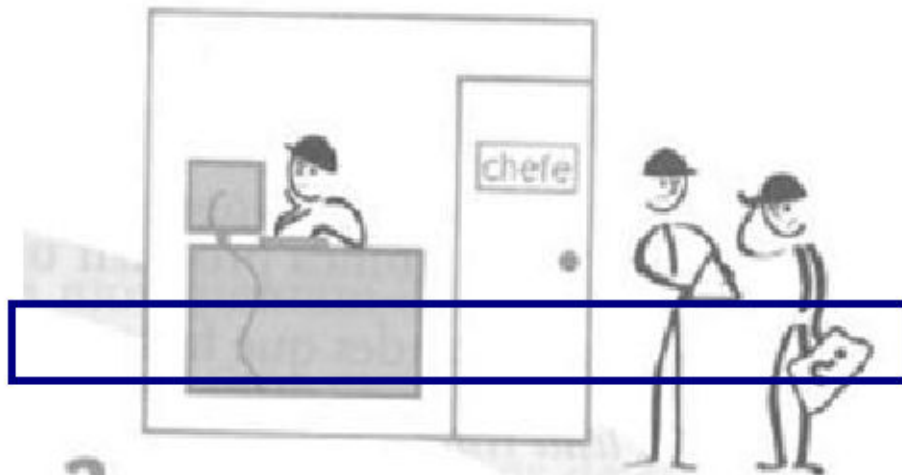
MODELOS MENTAIS LEAN



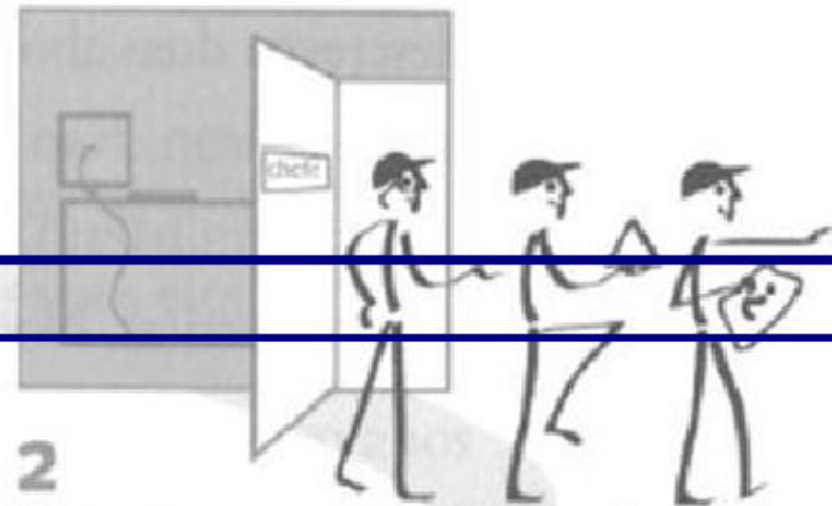
# Modelos Mentais

MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL

MODELOS MENTAIS LEAN



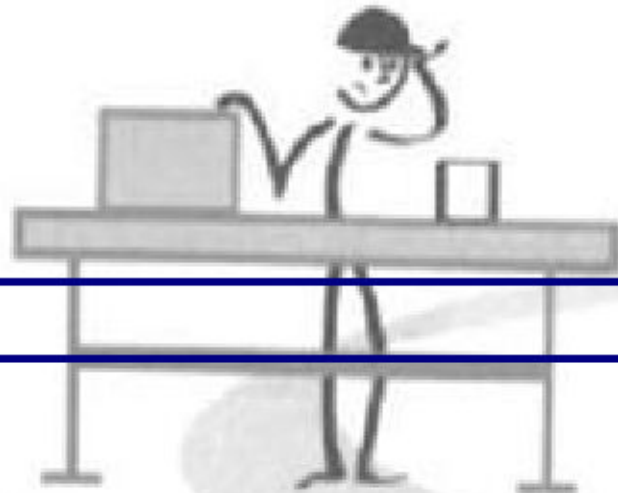
**2**  
Somente "peões" vão ao chão de fábrica



**2**  
Vá ver com seus próprios olhos.

# Modelos Mentais

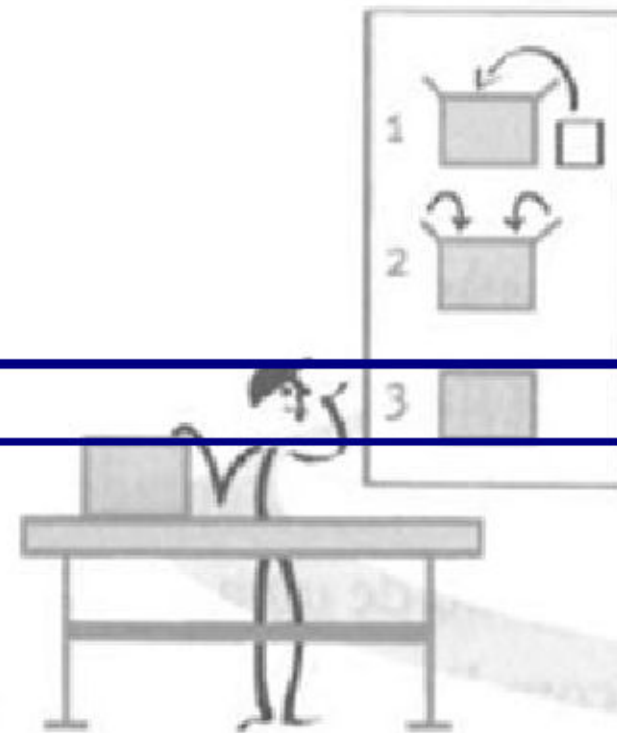
## MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL



3

Nós temos alguns padrões - não temos certeza onde estão ou se são seguidos.

## MODELOS MENTAIS LEAN

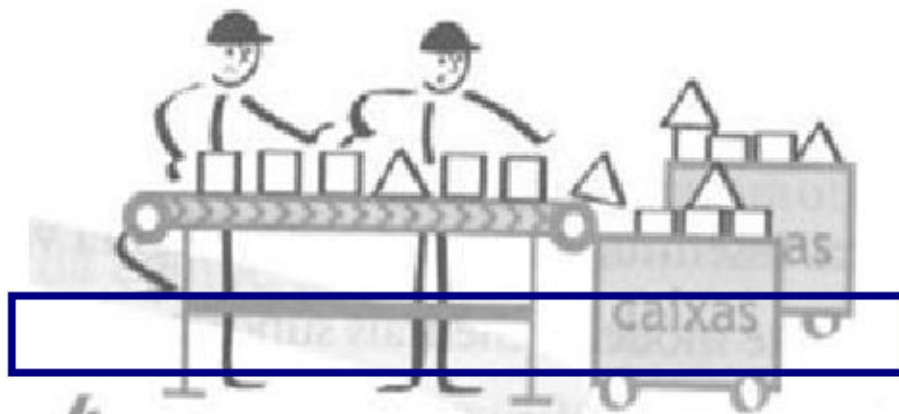


3

Temos padrões simples e visuais para todas as coisas importantes.

# Modelos Mentais

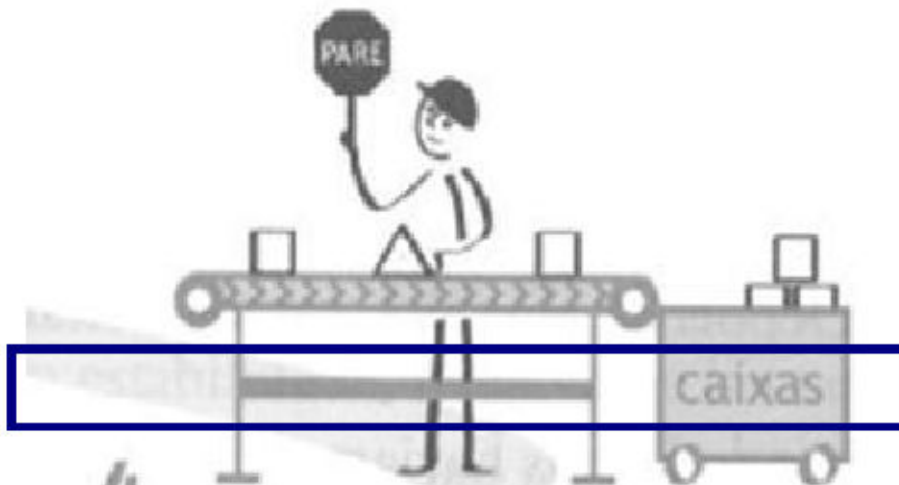
## MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL



4

Mova a produção.  
Faça os números.

## MODELOS MENTAIS LEAN



4

Pare a produção para que a  
produção não tenha de parar.  
*Não despache lixo.*



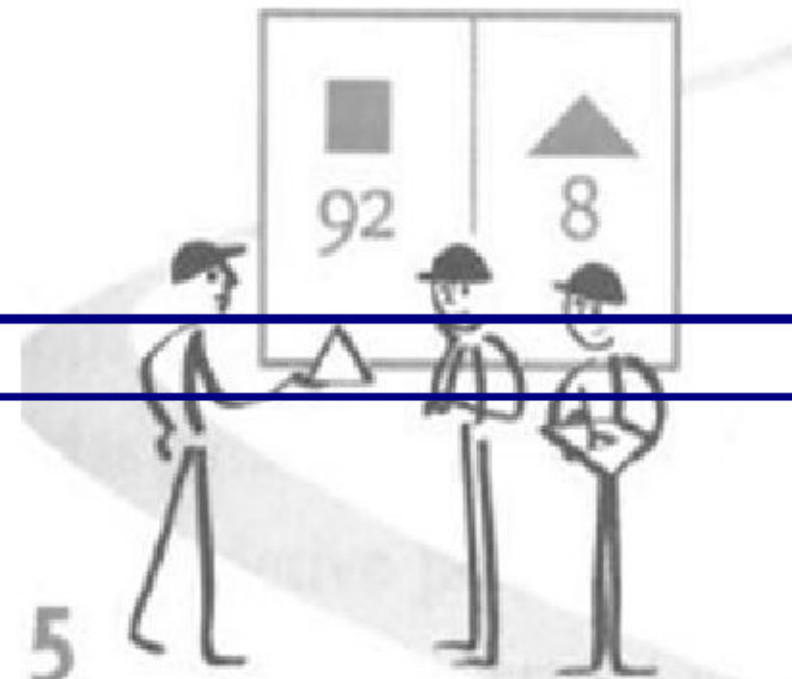
# Modelos Mentais

MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL



5  
Não seja pego com o problema em suas mãos.

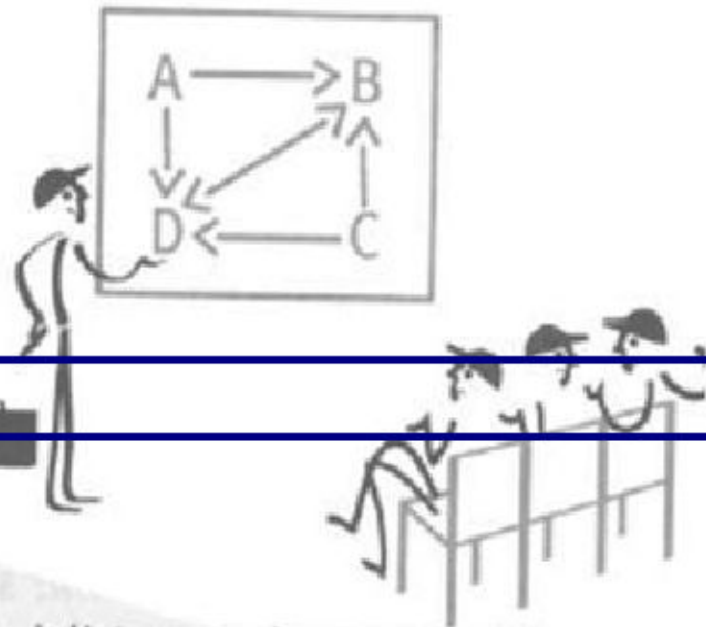
MODELOS MENTAIS LEAN



5  
Torne os problemas visíveis.

# Modelos Mentais

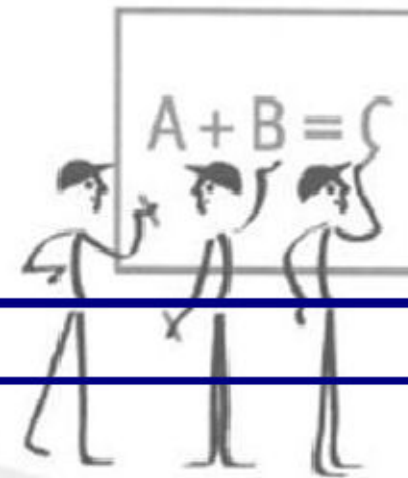
## MODELOS MENTAIS DO PLANEJAMENTO CONVENCIONAL



6 Especialistas resolvem os problemas usando métodos complexos.

Indo rápido a lugar nenhum

## MODELOS MENTAIS LEAN



6 Todos solucionam os problemas usando métodos simples.

Fazendo acontecer a coisa certa.

# Modelos Mentais

**Modelos mentais do planejamento convencional**

- 1 **Faça assim! Líder = ditador**
- 2 **Somente "peças" vão ao chão de fábrica**
- 3 **Nós temos alguns padrões - não temos certeza onde estão ou se são seguidos.**
- 4 **Mova a produção. Faça os números.**
- 5 **Boa sorte! Não seja pego com o problema em suas mãos.**
- 6 **Especialistas resolvem os problemas usando métodos complexos.**

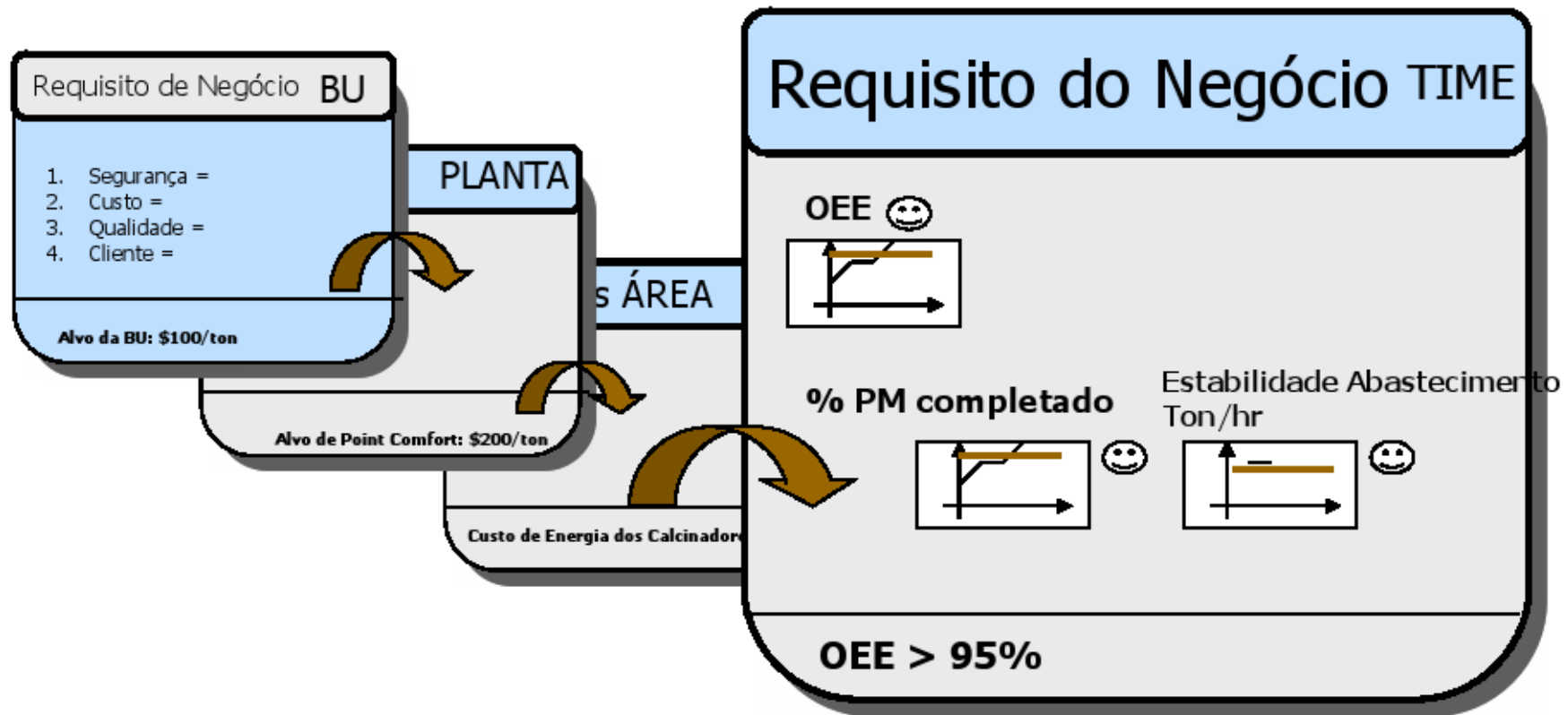
**Indo rápido a lugar nenhum**

**Modelos mentais Lean**

- 1 **O que você acha? Líder = mestre**
- 2 **Vá ver com seus próprios olhos.**
- 3 **Temos padrões simples e visuais para todas as coisas importantes.**
- 4 **Pare a produção para que a produção não tenha de parar. Não despache lixo.**
- 5 **Torne os problemas visíveis.**
- 6 **Todos solucionam os problemas usando métodos simples.**

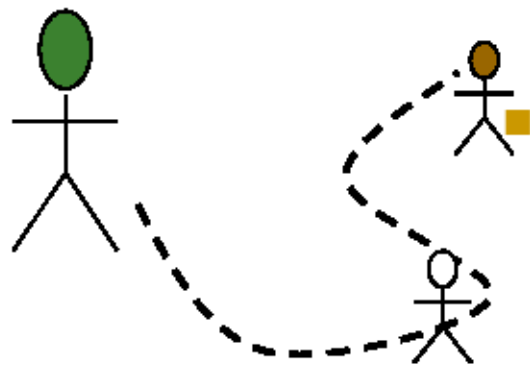
**Fazendo acontecer a coisa certa.**

# Estabelecendo Indicadores de Desempenho



Cada grupo define indicadores para garantir que as práticas implantadas vão levar a performance alinhada com a Estratégia e seus fatores de sucesso.

# Atitude do Líder LEAN: Estabelecer, desdobrar e comunicar a estratégia



- Estabelecer e comunicar a estratégia
  - Caminhar no chão de fábrica, conversar sobre a estratégia e checar a compreensão)
  - Comunicar a estratégia através de controles visuais, ações e feedback verbal
- Estabelecer indicadores de performance e metas alinhados com a estratégia e direcionados para a obtenção de resultados
  - Caminhar no chão de fábrica para checar como os indicadores estão sendo utilizados e fazer perguntas para checar o entendimento
  - Fornecer feedback sobre como alcançar os indicadores

# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

- Dinâmica dos aviões.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Grande Mudança → **coragem** de transferir uma grande parte do poder de **tomada de decisões** para as pessoas no chão de fábrica.
- Maior mudança é psicológica → convencer os trabalhadores na fábrica que nada é mais importante do que o que eles pensam e como eles se sentem sobre o sistema de manufatura → **realizações** devem ser descobertas e recompensadas → pessoas não vão suar a camisa a menos que haja um forte **sistema de recompensas**.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Implementação de um S.I.M. → mudança em nível dos sistemas → impacta **todos os segmentos da empresa**, desde a contabilidade até o envio do produto para o cliente.
- **10 passos** delineiam a metodologia do S.I.M.
- Antes da empresa aplicar esses **10 passos** → todos os níveis (desde os trabalhadores na produção até a gerência) devem ser educados na filosofia e conceitos do S.I.M.



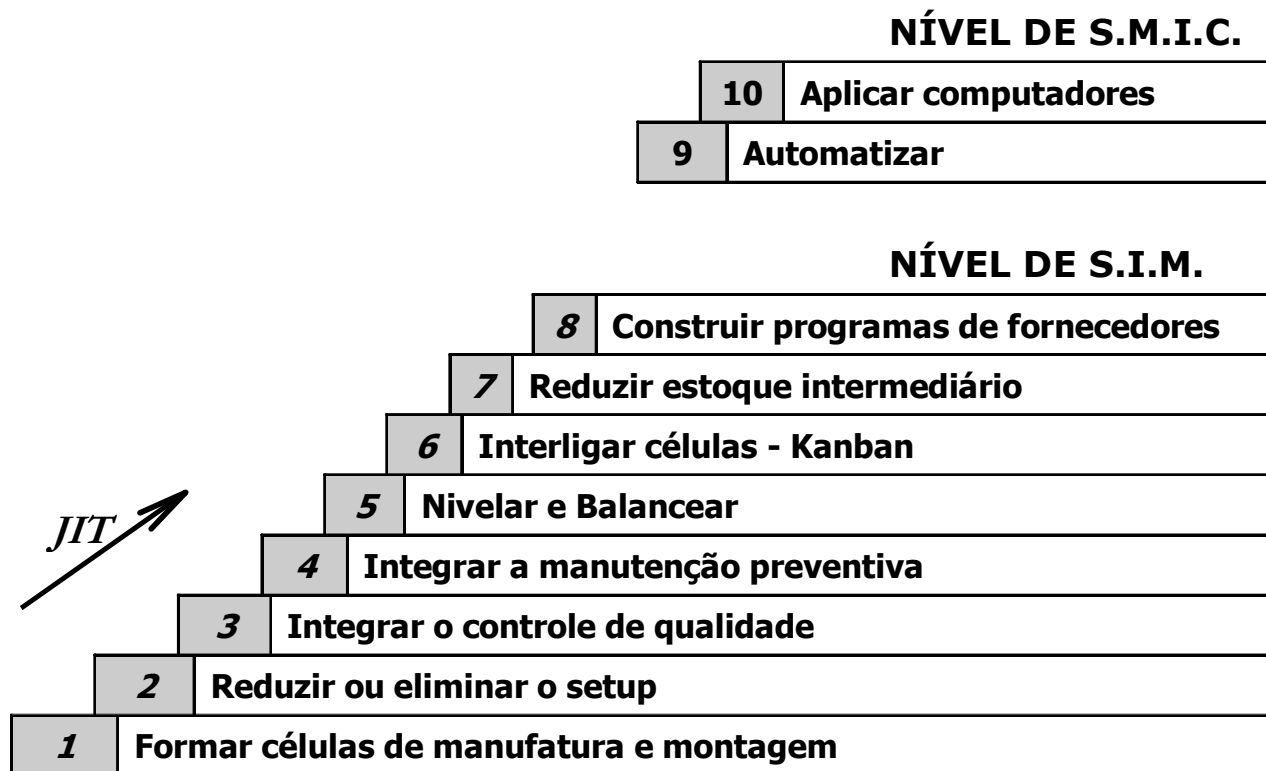
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Mudar um sistema de manufatura é muito difícil:
  - Consumidores Internos & Consumidores Externos.
  - O sistema de manufatura deve ser reestruturado para o **benefício** do consumidor interno.
  - Os consumidores externos também devem ser satisfeitos. Eles determinam o **preço**. Todos na fábrica devem entender que o custo, não o preço, determina o lucro.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Próxima geração de fábricas → novo tipo de S.M.: “Sistema de Manufatura de Células Interligadas” (“L-CMS”) → parte que integra uma estratégia de 10 passos, desenvolvido pelo Prof. J.T. Black (Auburn University, EUA), para converter uma fábrica existente numa fábrica com um futuro (“FWAF”).

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

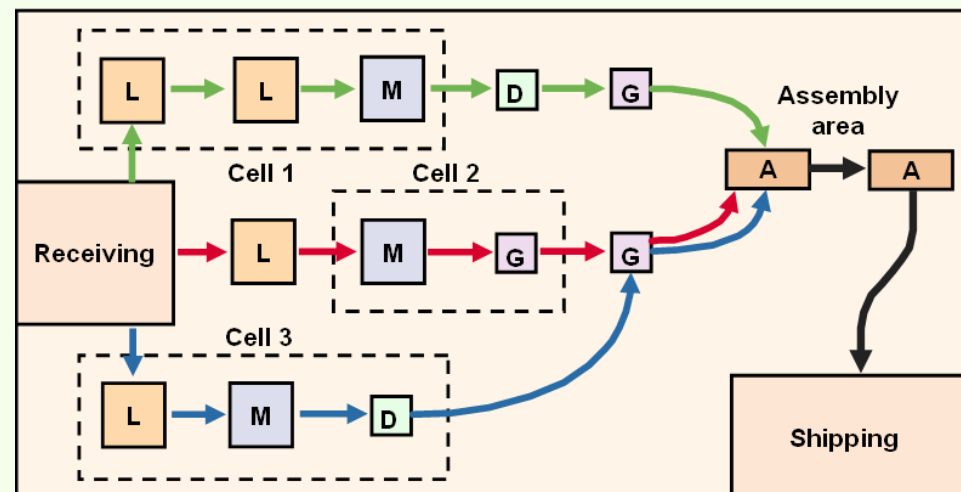
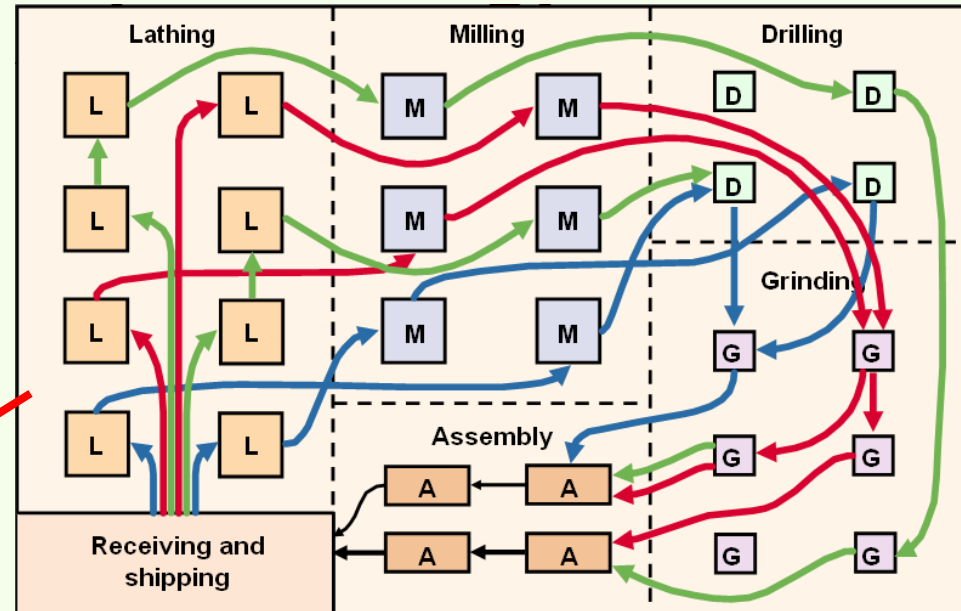
- Após os primeiros 8 passos → o S.M. terá sido reprojetoado e integrado com as funções do controle de qualidade, controle de estoque, controle da produção e manutenção de máquinas. Segue-se então a aplicação da automação e dos computadores.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação
  - Conversão para a produção celular → mudança que afeta o ambiente da fábrica e as suas relações funcionais → estratégia de longo prazo
  - Mudar o S.M. = **transplante de coração** → **grande cirurgia**; normalmente não se tem escolha.
  - S.M. existente é sistematicamente **reestruturado** e **reorganizado** → fábrica de células manuais de manufatura e montagem.
  - Célula = grupo de processos projetados para fabricar uma família de peças de um modo flexível.
    - Trabalhadores nas células podem cuidar de **mais de um processo**.

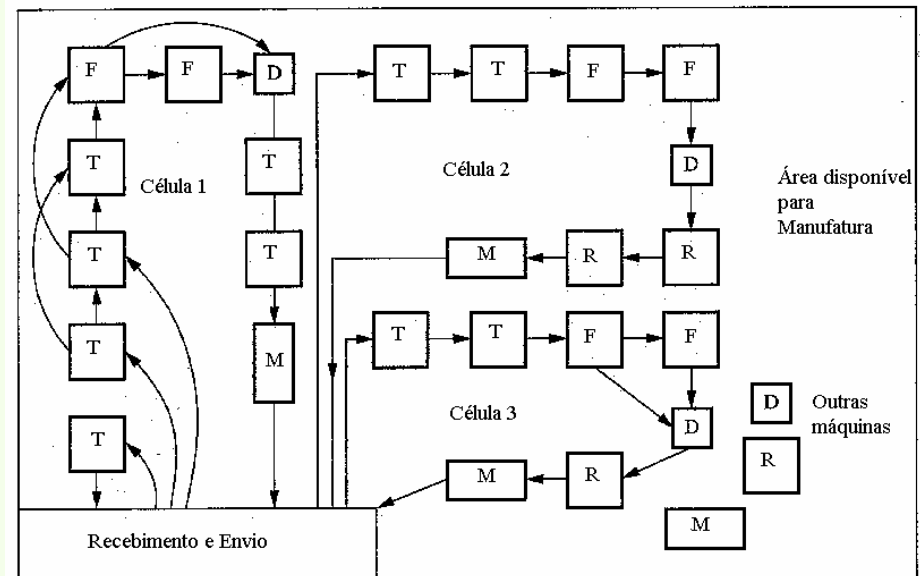
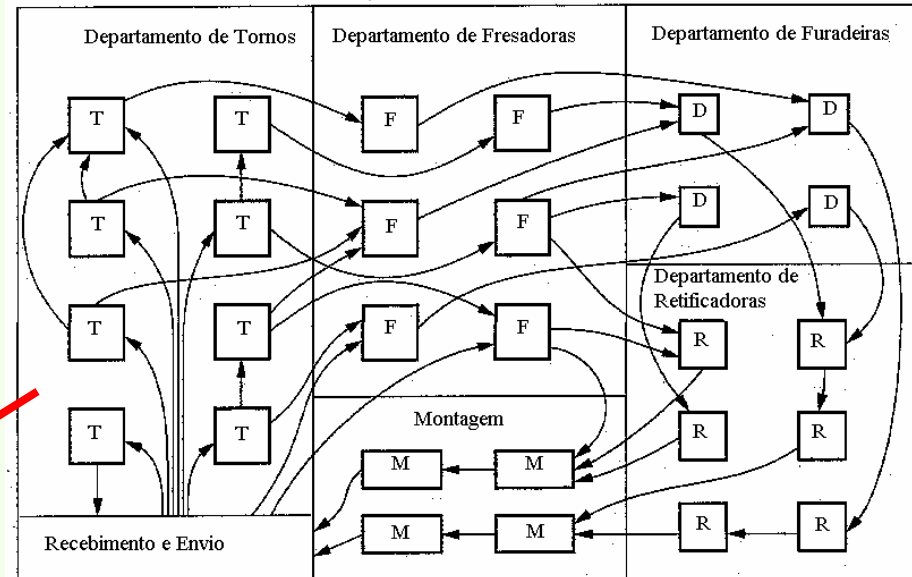
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



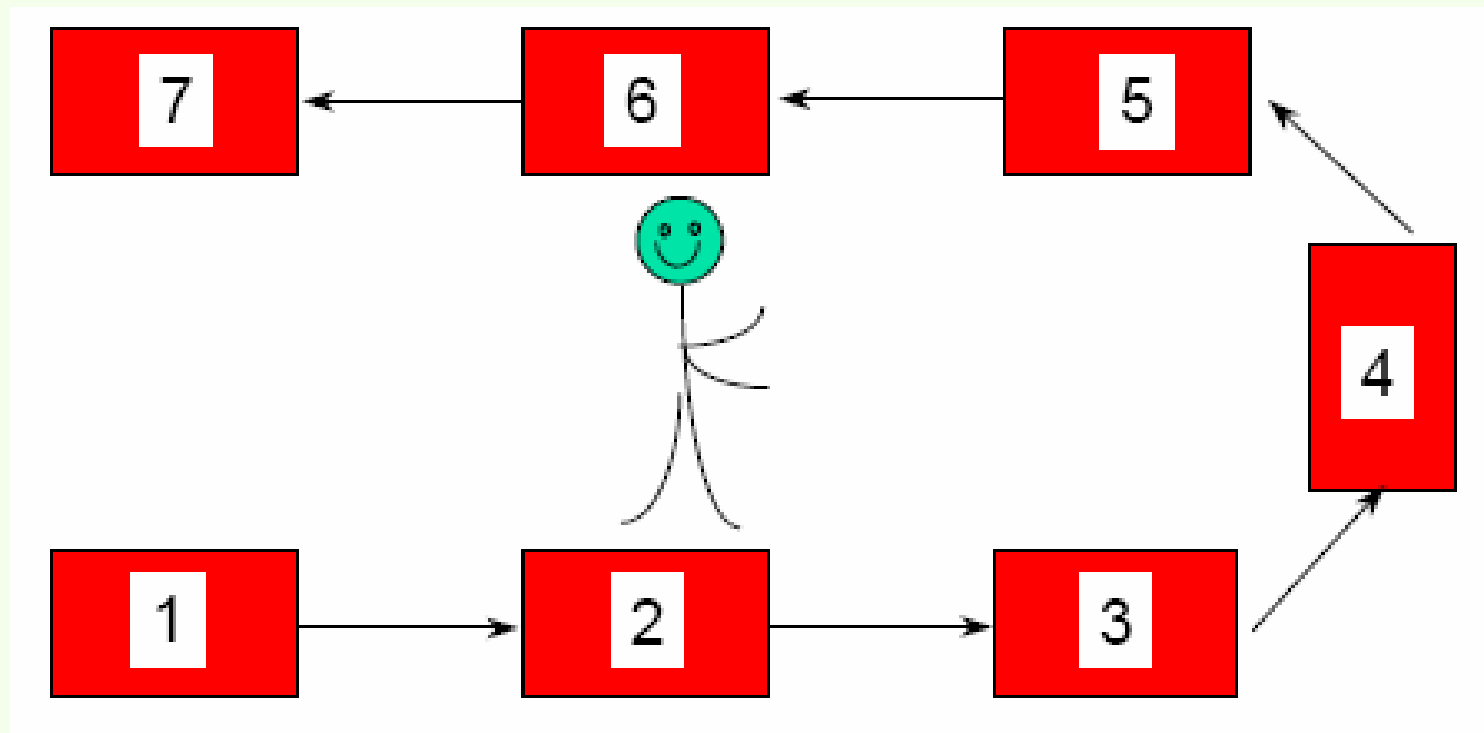
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

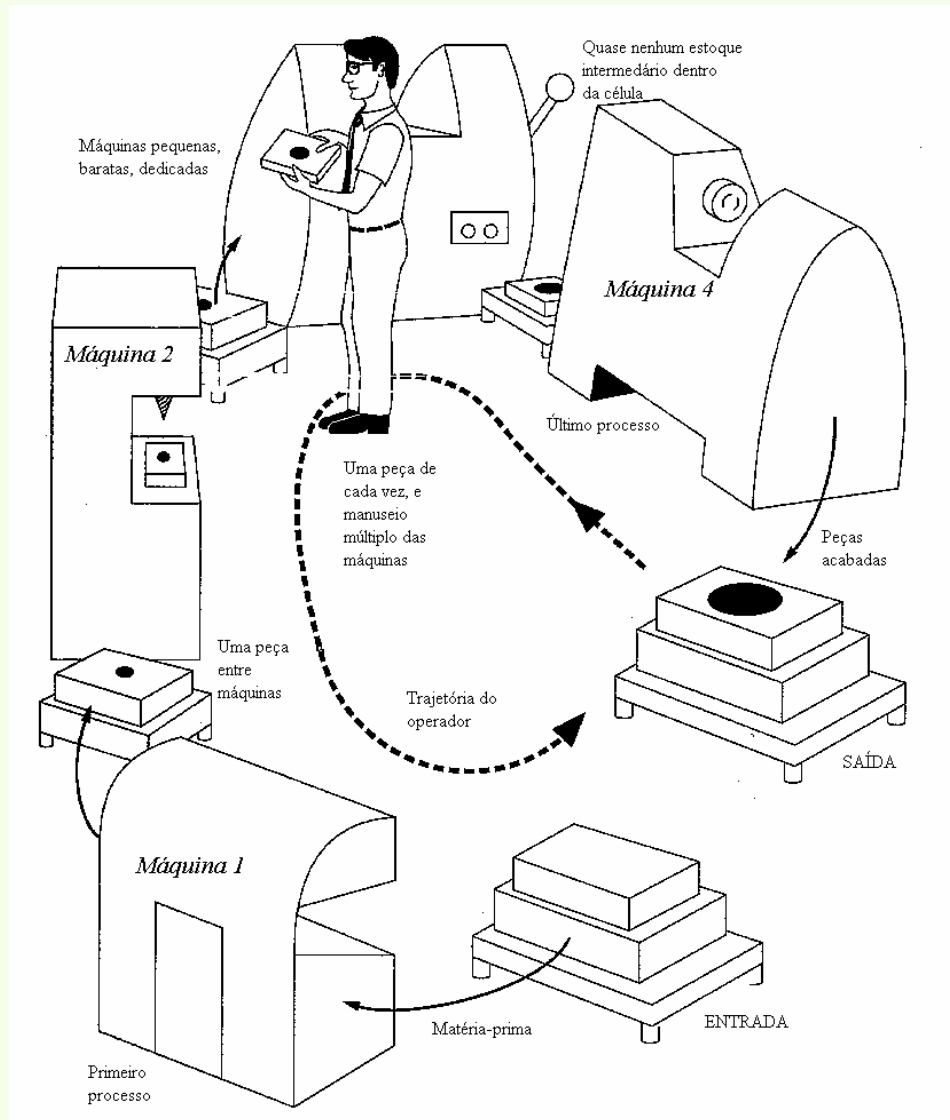


*Célula com formato em “U”*



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

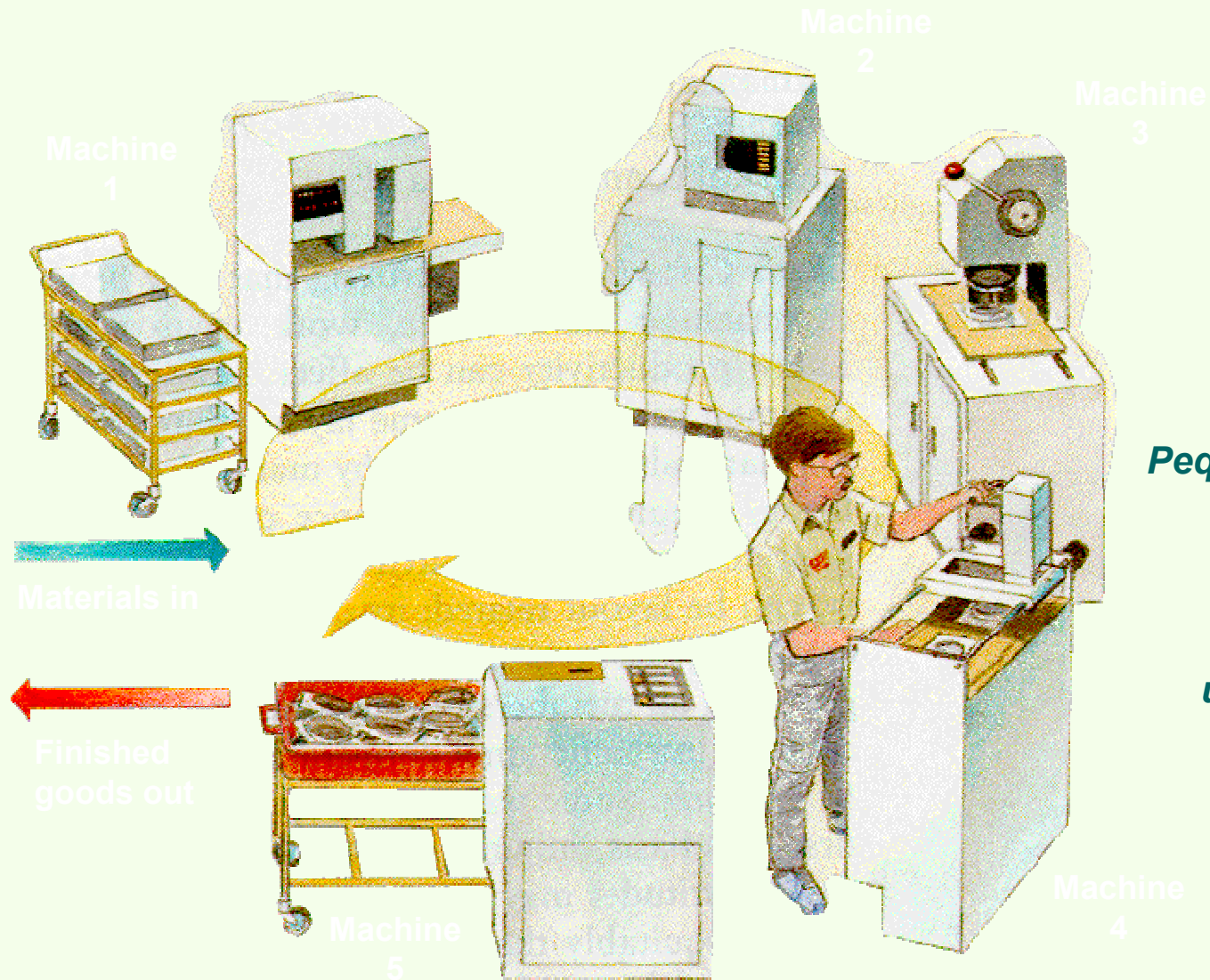
## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Pequena célula manual de manufatura com quatro máquinas e um operador*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

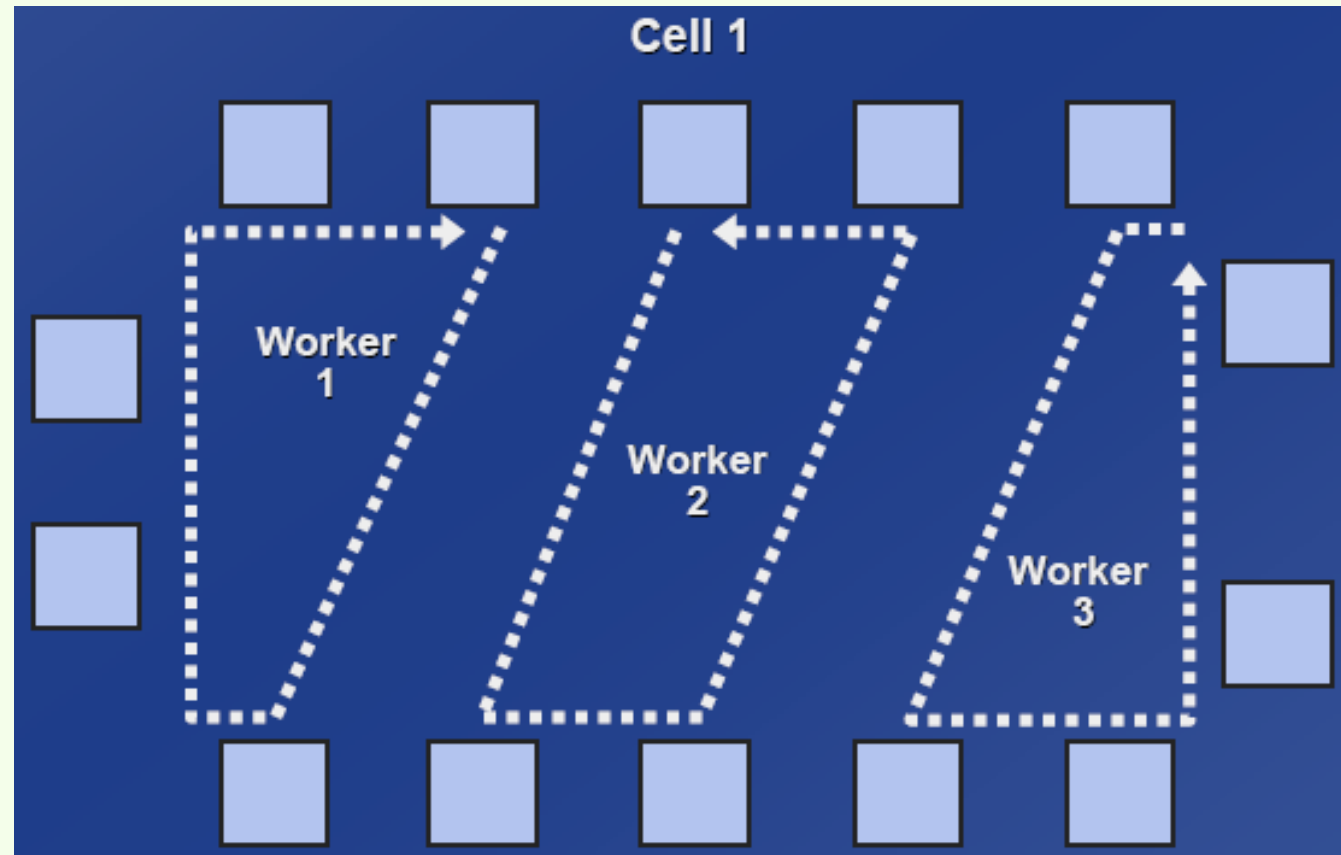
## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Pequena célula manual de manufatura com cinco máquinas e um operador*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

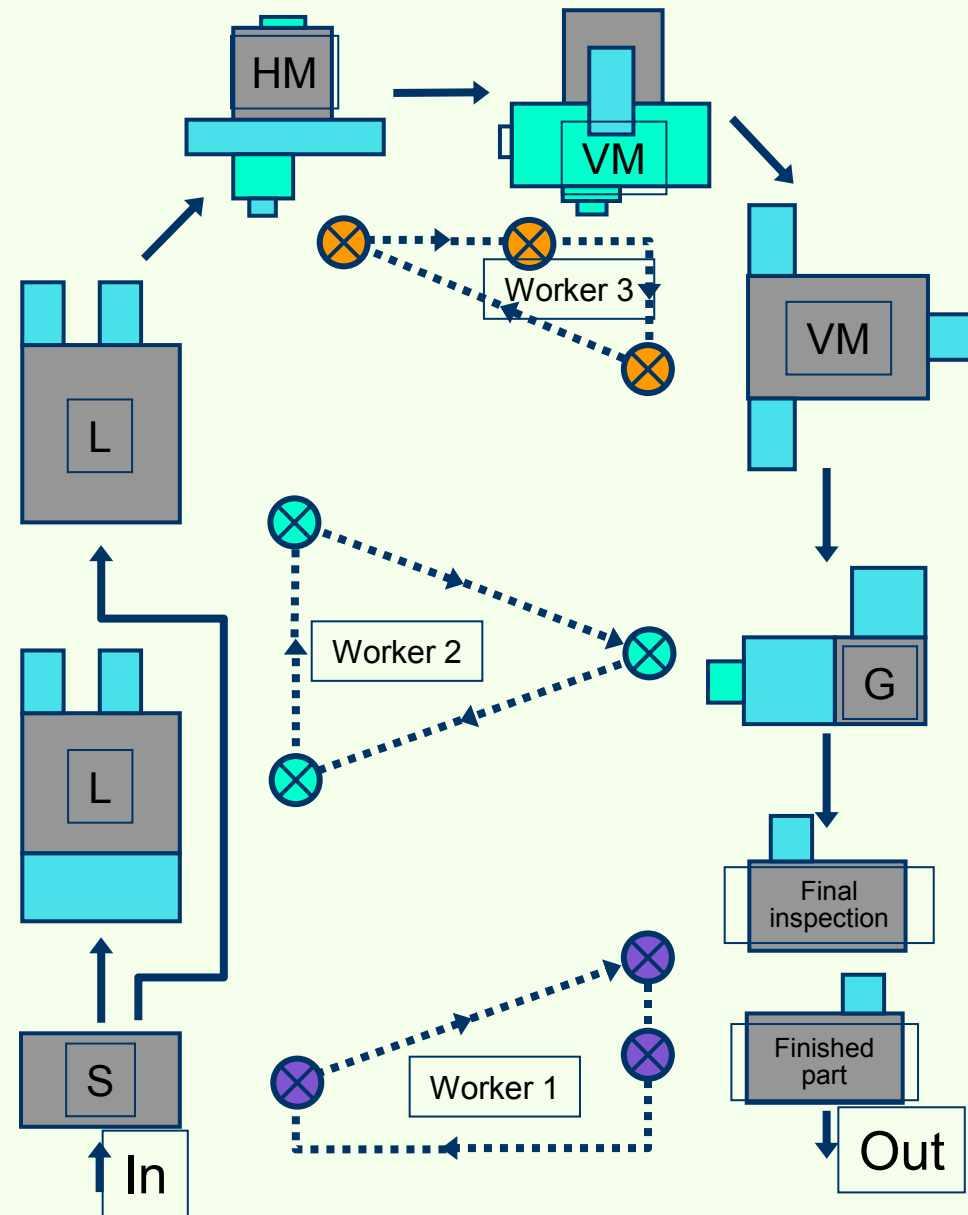


*Célula com diferentes caminhos para os colaboradores*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

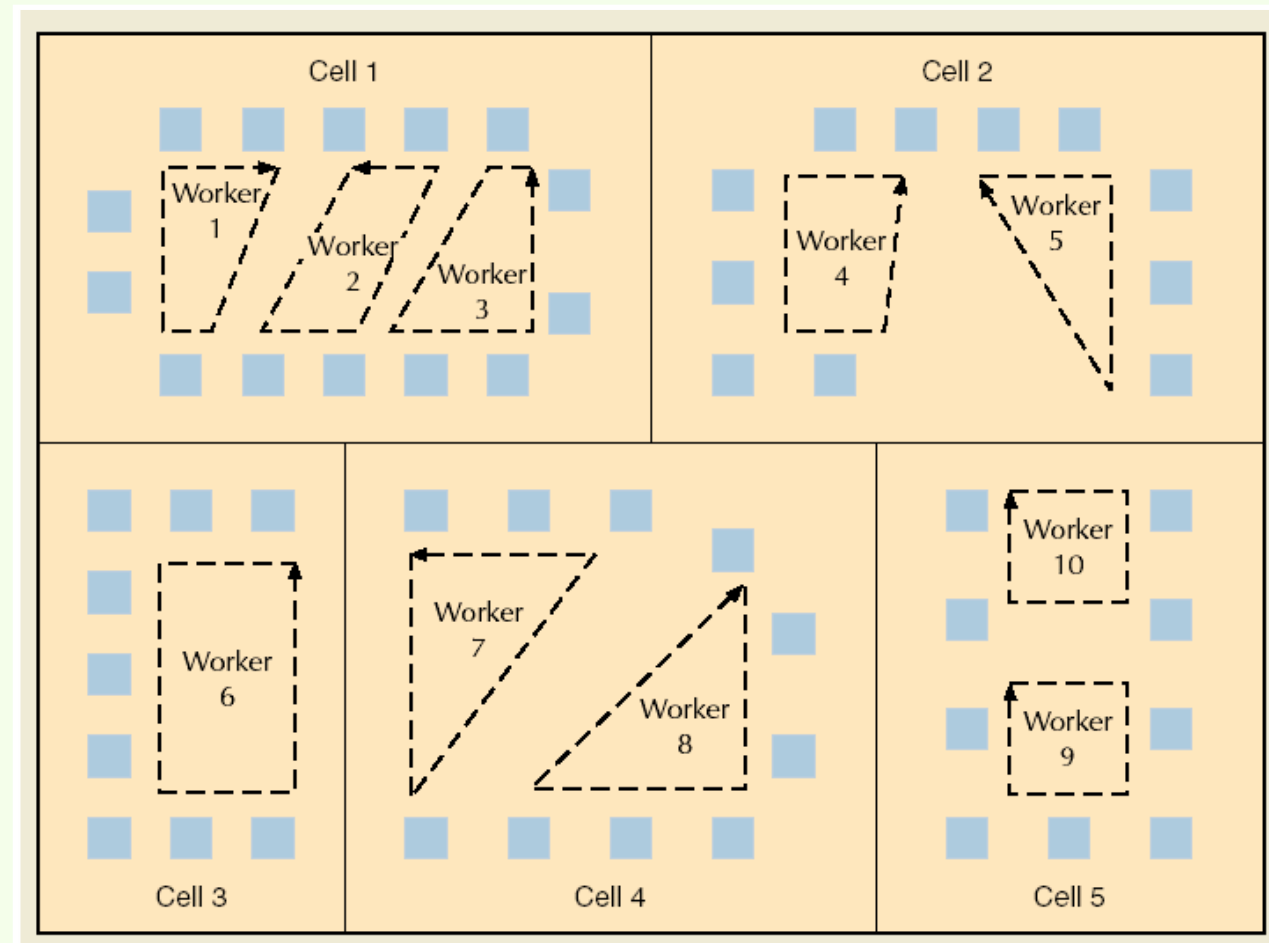
- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

*Célula com diferentes caminhos para os colaboradores*



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

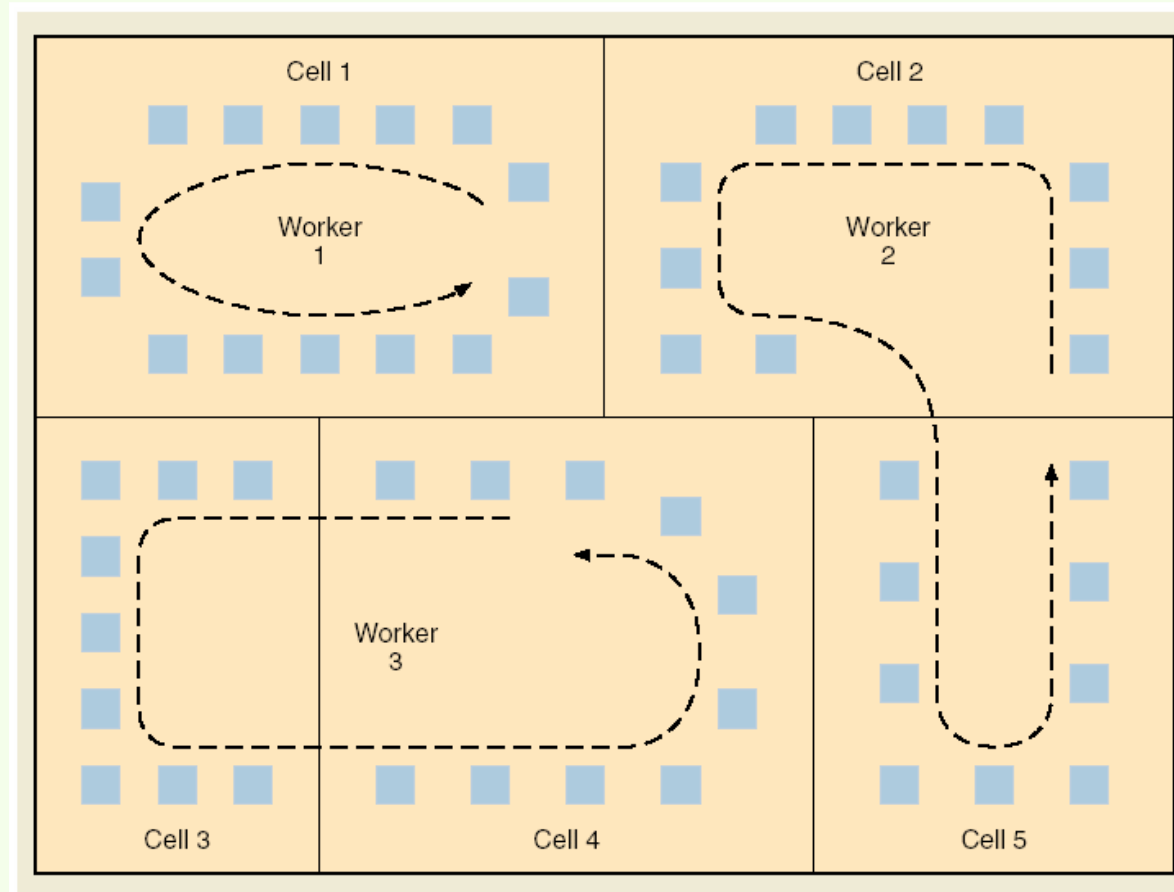
- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Mais colaboradores percorrem as células quando a demanda aumenta*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

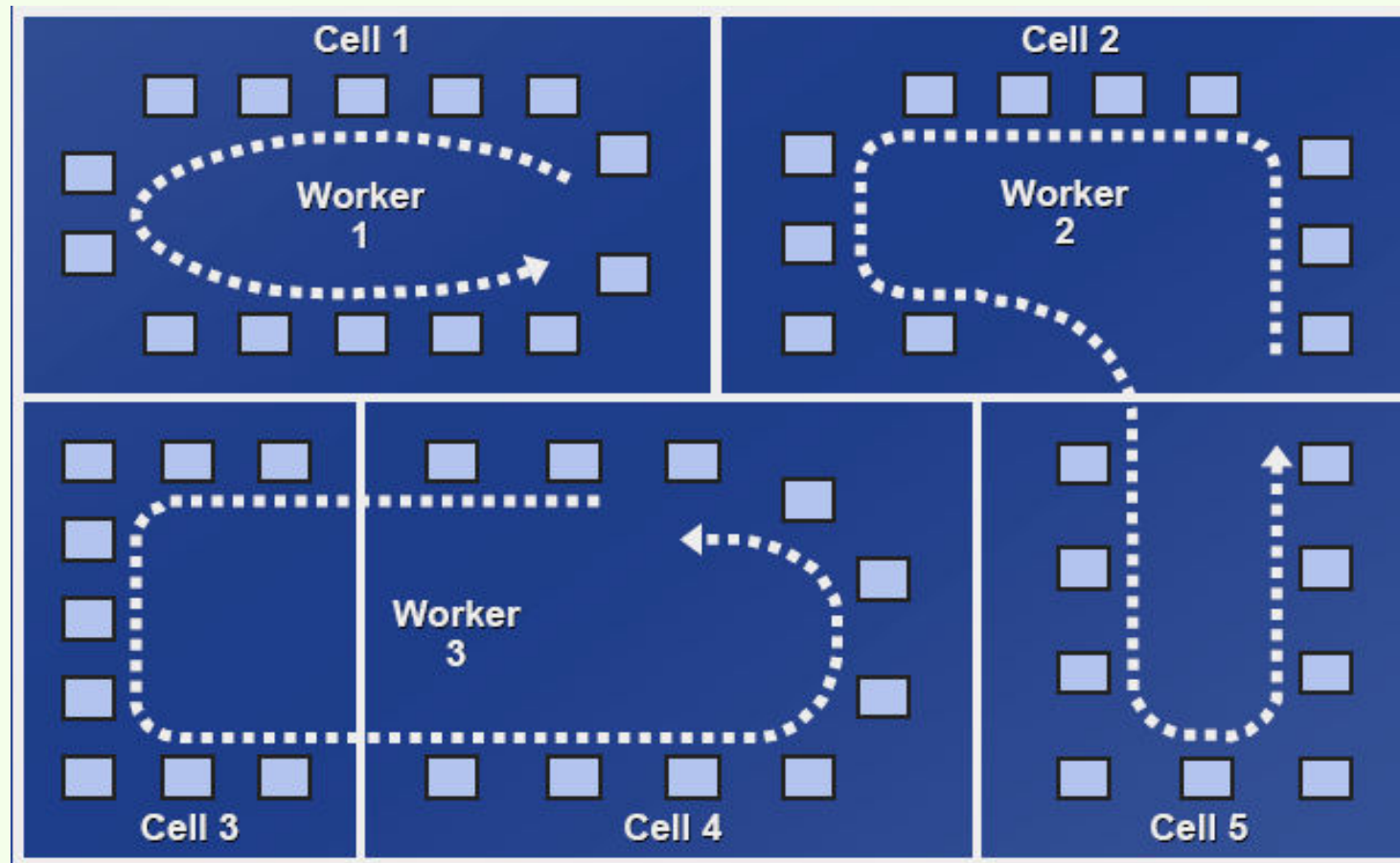
- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Menos colaboradores percorrem mais células quando a demanda diminui*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

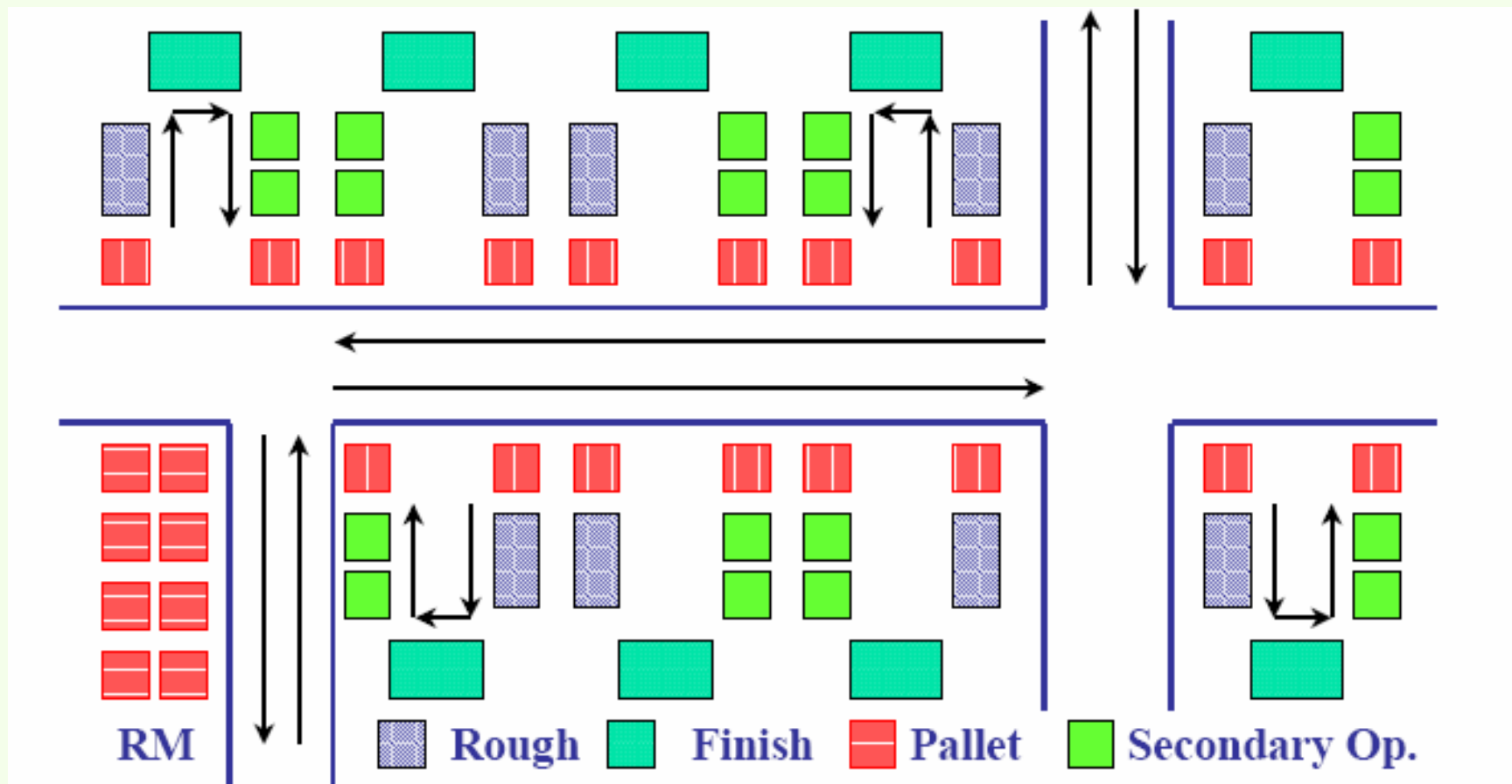
- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Colaboradores percorrem mais células quando a demanda diminui*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

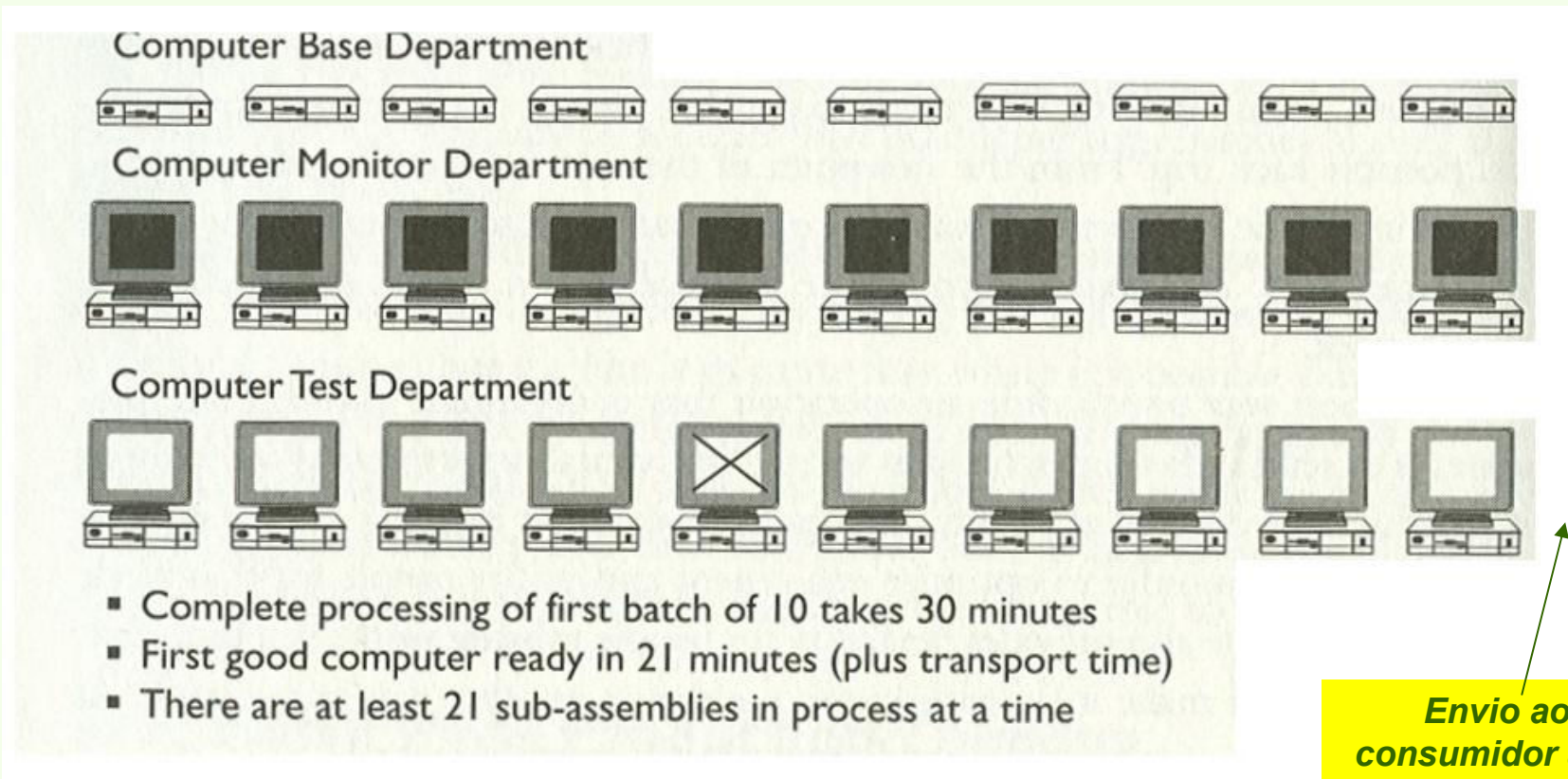


*Células em forma de “U” com material sendo trazido e retirado das células através de um corredor central*



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

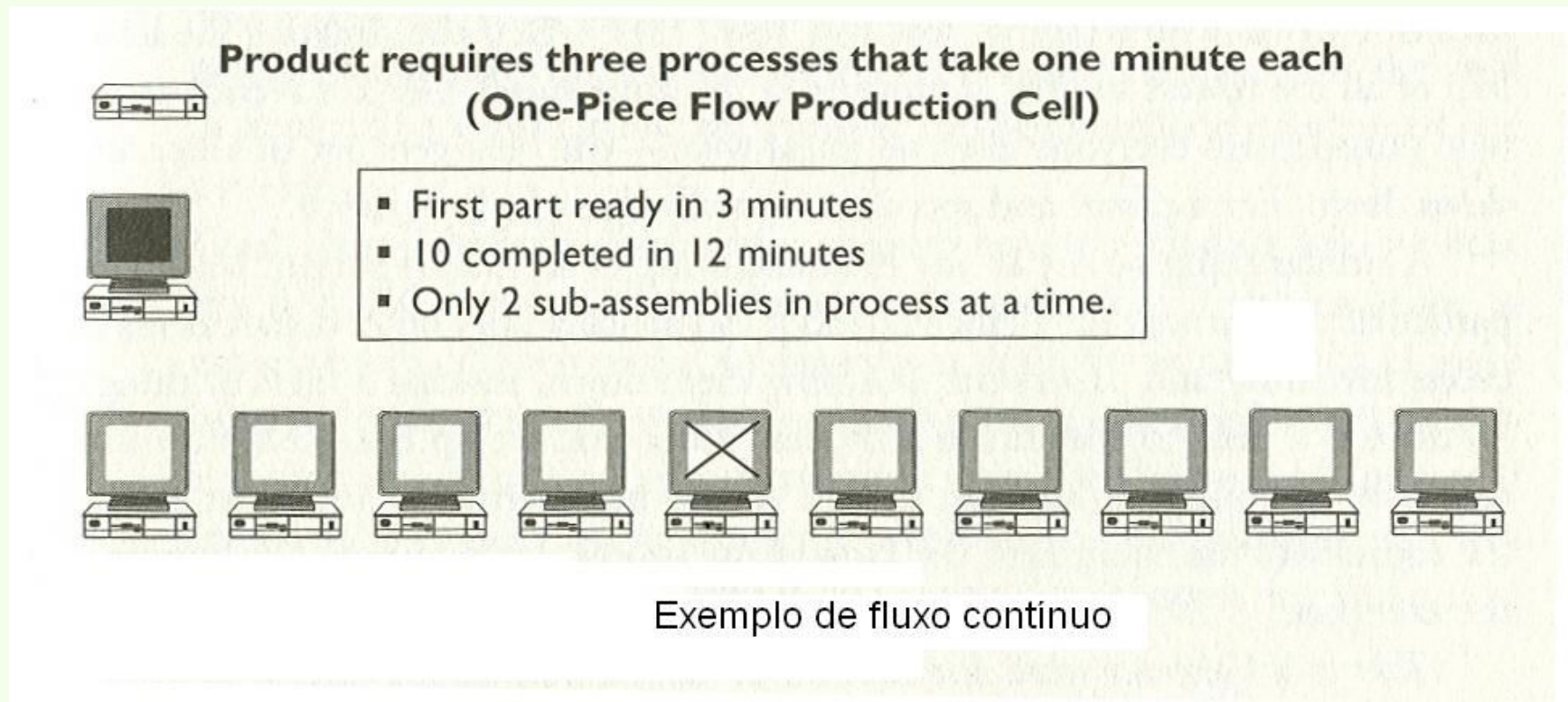


### *Exemplo de processamento em lote (job shop)*

*Departamento de manuseio de materiais: decide mover um lote de 10 unidades de cada vez; Fabricação = 1 minuto por unidade → 10 minutos para um lote de computadores para mover dentro de cada departamento*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

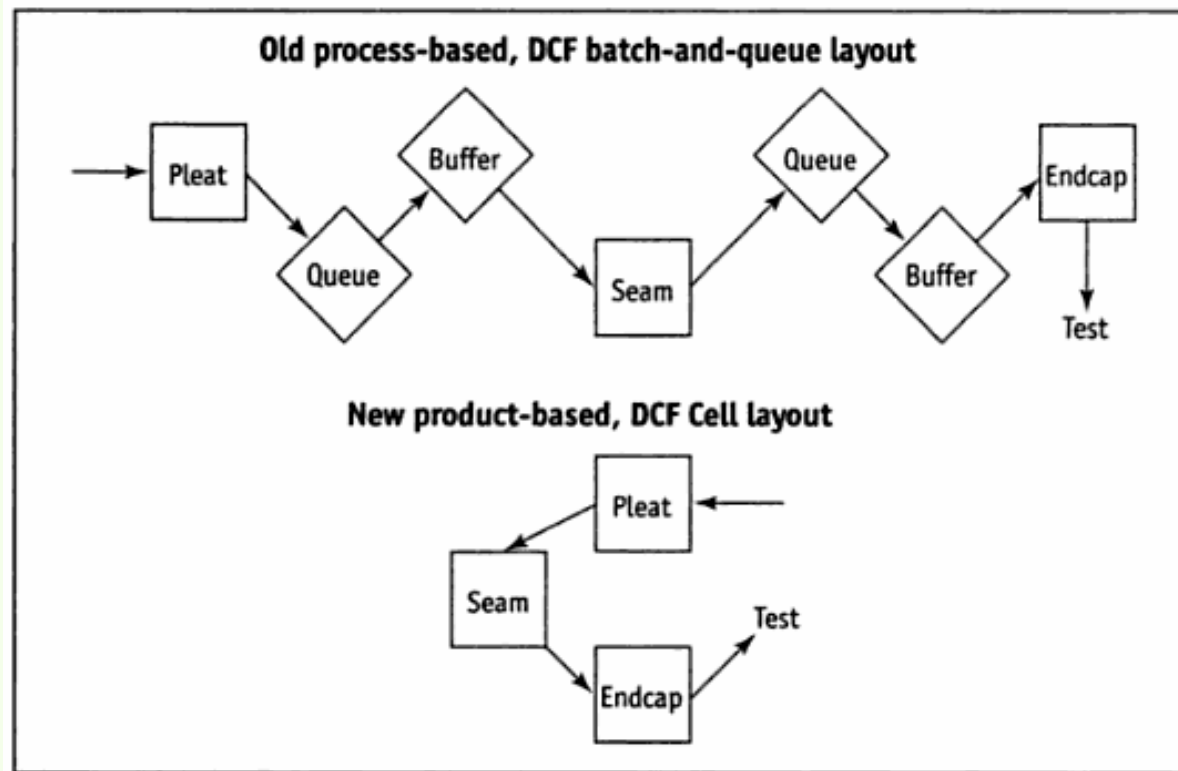
- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



*Exemplo de fluxo contínuo (layout celular)*

*E se um produto estiver não-conforme? (ver figura)*

## 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



DCF cell	March 1996	June 1996	November 1996
WIP between machine in cell	1600 pieces	400 pieces	0
1st piece processing times	>3 days	6 hours	<4 minutes
Throughput time (entire 500 piece job)	>3.25 days	10 hours	5 hours
Distance traveled per part (feet)	>250	127	18

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

		<i>Peça</i>									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Máquina</i>	0	1		1							
	1		1								1
	2			1	1						
	3			1							
	4					1			1		
	5							1			
	6								1		
	7							1		1	
	8				1		1				1

*Método da Análise do Fluxo de Produção (PFA):  
 Matriz de incidência  
 Máquina X Peça*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## Algoritmo Baseado no Coeficiente de Similaridade

$$S_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{ij} + M_{ij}}$$

onde:

- $N_{ij}$  = número de peças que visitam ambas as máquinas  $i$  e  $j$ ;
- $M_{ij}$  = número de peças que visitam ou a máquina  $i$  ou a máquina  $j$ , mas não ambas.
- “filtro” (“threshold”)  $\lambda$  ( $0 < \lambda < 1$ )

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

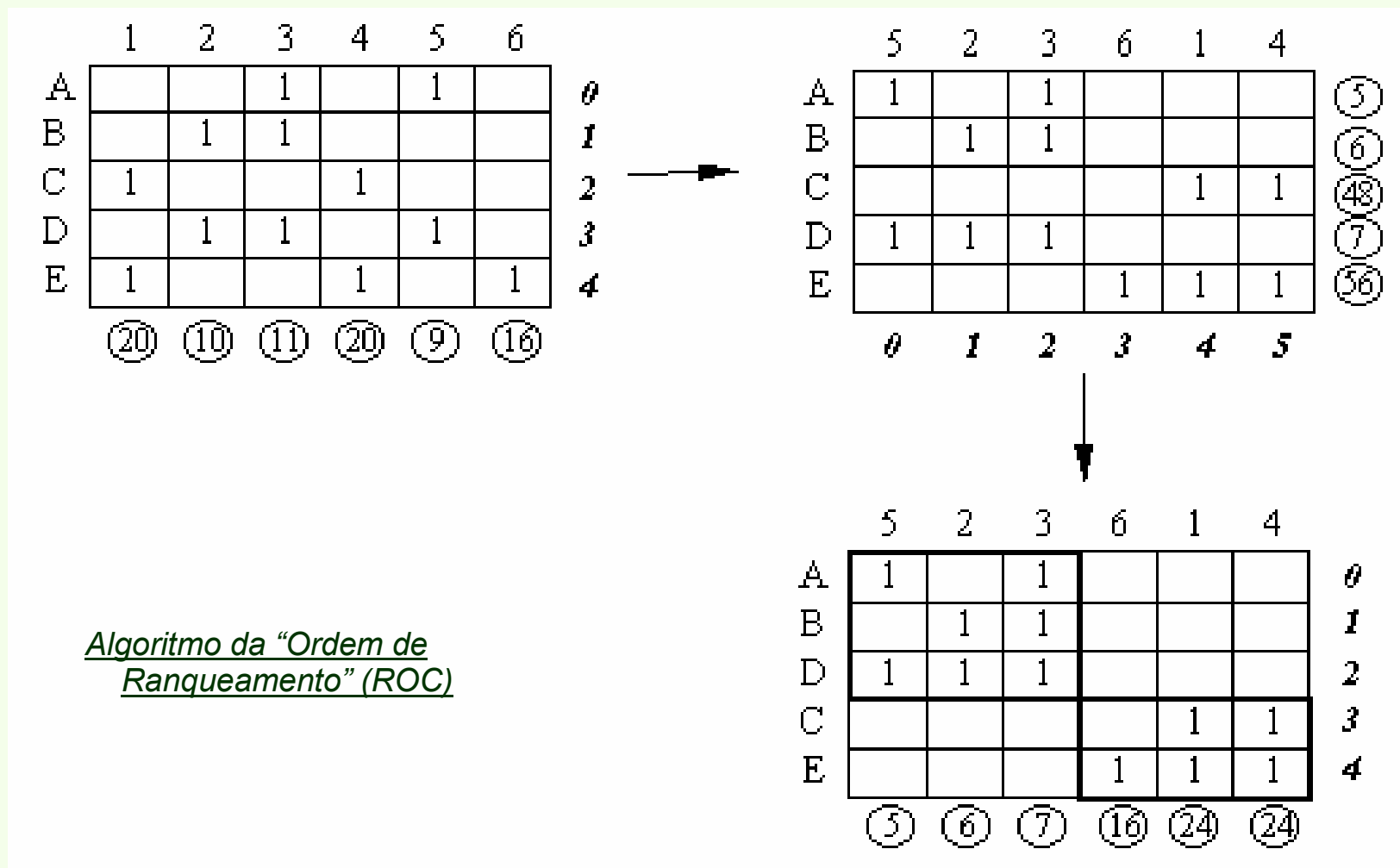
	1	2	3	4	5	6
A			1		1	
B		1	1			
C	1			1		
D		1	1		1	
E	1			1		1

Coeficientes de  
Similaridade

<i>Par de Máquinas</i>	$N_{ij}$	$M_{ij}$	$S_{ij}$
AB	1	2	0,33
AC	0		0
AD	2	1	0,67
AE	0		0
BC	0		0
BD	2	1	0,67
BE	0		0
CD	0		0
CE	2	1	0,67
DE	0		0

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células - Construir a Fundação

		P E Ç A S										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M	A			1								1
Á	B	1							1	1		
Q	C		1			1					1	
U	D			1			1					1
I	E		1					1			1	
N	F						1					
A	G	1			1				1			
S	H					1		1				
	I				1				1	1		

Resolver este exercício



# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

Hipóteses no método PFA convencional:

1. Assume-se que cada tipo de peça possui demandas idênticas em cada tipo de máquina
2. Todas as peças fabricadas têm quantidades iguais.

Método proposto considera:

1. Tempo de processamento de cada peça em cada máquina.
2. Demanda de cada peça.
3. Carga de trabalho em cada máquina resultando de cada peça.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

$$F_1 = \sum_{j=1}^n N_j \left[ \sum_{l=1}^k y_{jl} - 1 \right] \quad (1)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^k x_{il} \sum_{j=1}^n (w_{ij} - m_{lj})^2 \quad (2)$$

*F<sub>1</sub>: minimiza a quantidade de movimentos entre células*

*F<sub>2</sub>: minimiza a variação de carga dentro de cada célula*

*VENUGOPAL, V. & NARENDRAN, T. T., (1992) - A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem with multiple objectives. Computers and Industrial Engineering. Vol 22, n.4, p. 469-480.*

$t_{ij}$  → Tempo de processamento (horas/peça) da peça  $j$  na máquina  $i$

$T_i$  → Tempo disponível na máquina  $i$  em um dado período de tempo

$N_j$  → Exigência de produção da peça  $j$  em um dado período de tempo

$w_{ij} = \frac{(t_{ij} \times N_j)}{T_i}$  → Carga de trabalho na máquina  $i$  resultando da peça  $j$

$x_{il}$  → = 1 se a máquina  $i$  está na célula  $l$ ; do contrário = 0

$m_{lj} = \frac{\sum_{i=1}^m x_{il} w_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{il}}$  → Matriz da carga de trabalho média da célula

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

$e_{ji}$  → Matriz  $n \times m$ , onde  $=1$  se  $t_{ij} > 0$ , do contrário  $= 0$

$y_{jl}$  →  $=1$  se  $\sum_{i=1}^m e_{ji} x_{il} > 0$ , do contrário  $= 0$

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

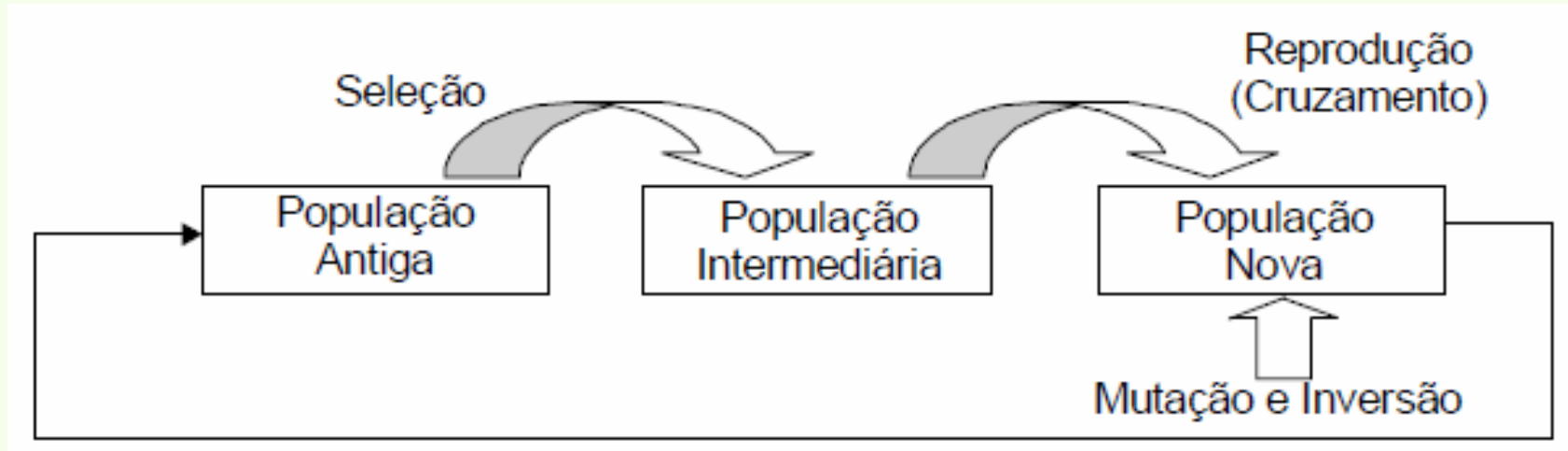
$F_1$ : minimiza a quantidade de movimentos entre células

Resulta em redução no manuseio de materiais →  
simplifica o controle do chão de fábrica, e reduz o WIP  
e o tempo de fluxo médio.

$F_2$ : minimiza a variação de carga dentro de cada célula

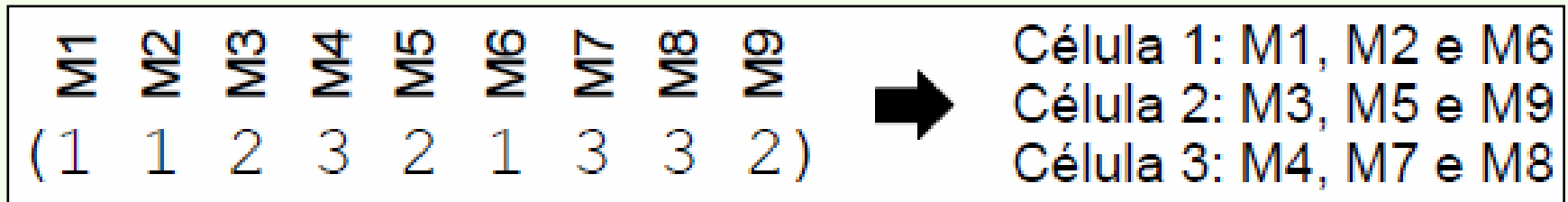
Auxilia no fluxo suave de materiais dentro da célula,  
levando à minimização do WIP dentro da célula.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



*Princípio de trabalho de um algoritmo genético*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



Exemplo de codificação de cromossomo:

- Cada posição do cromossomo corresponde a uma máquina.
- Os números que formam o cromossomo indicam a qual célula a máquina pertence (9 máquinas no exemplo).
- Codificação do cromossomo usa os numerais de 1 até 3, indicando portanto o uso de 3 células.
- Células do lado direito da figura.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

Algoritmo genético proposto pode ser explicado com base em 5 elementos: função objetivo, codificação do cromossomo, população inicial, processo de seleção e operadores dos cromossomos.

## Função objetivo

- Propõe-se combinar as funções F1 e F2 em uma única função objetivo → algoritmo genético deverá minimizar a função F resultante:  $F = c1 * F1 + c2 * F2$  → constantes c1 e c2 permitem refletir a importância de cada critério na formação das células.



# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

- Foi necessário desenvolver um escalonamento para os valores de F2, que são muito menores que F1 → FatorEscala foi obtido dividindo-se a média de F1 pela média de F2:

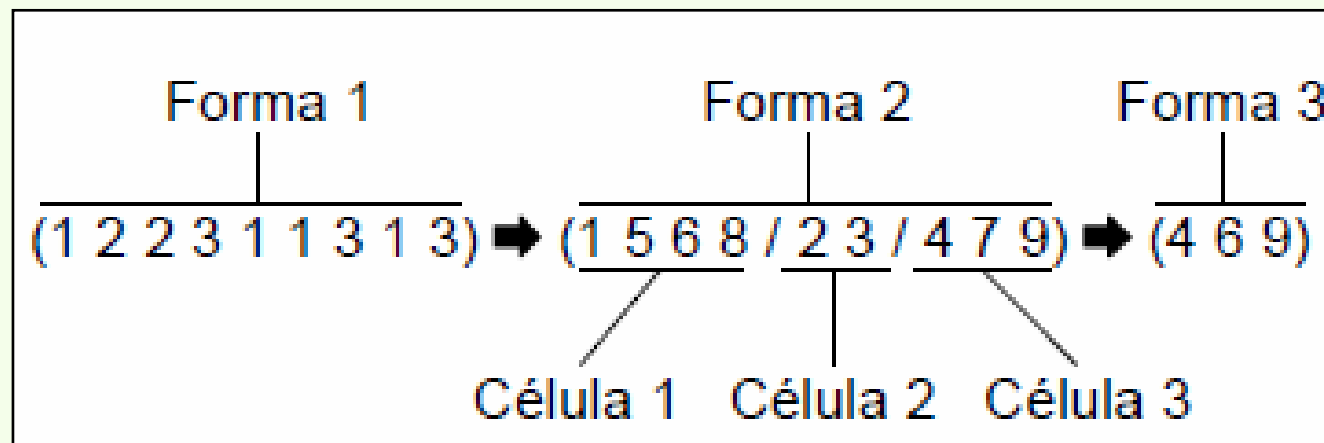
$$F_i = c_1 * F_1 + c_2 * F_2 * \text{FatorEscala} \quad (3)$$

- O AG proposto poderia trabalhar com qualquer outra função objetivo.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Codificação do Cromossomo:

- Codificação adotada → inspirada na codificação proposta por Falkenauer (1998) → cada cromossomo é representado por grupos de máquinas:



- Forma 1 → transformada em duas outras codificações denominadas Forma 2 e Forma 3 → Forma 2 apresenta diretamente as máquinas que compõem cada célula e que estão separadas pelo caractere “/”.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

- Codificação da Forma 3 → primeira célula é formada pelas 4 primeiras máquinas; segunda célula é formada por duas máquinas ( $6-4=2$ ) (i.e. quinta e sexta máquinas da Forma 2); último numeral indica que a terceira célula é formada por 3 máquinas ( $9-6=3$ ) (i.e. três últimas máquinas da Forma 2).
- Forma 3 é importante para o processamento do algoritmo.
- Todas as operações são feitas com os cromossomos na Forma 2.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Geração da população inicial:

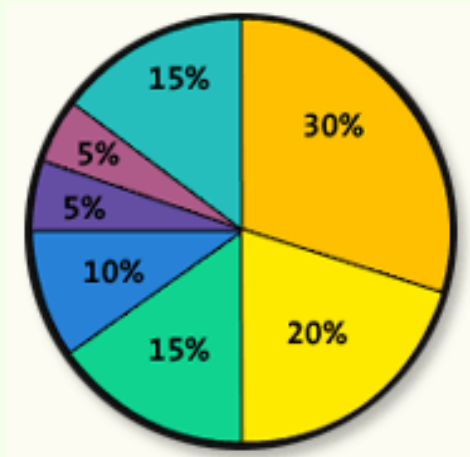
- População inicial → gerada aleatoriamente → cada indivíduo gerado é analisado para garantir que cada máquina pertença a somente uma célula (restrição 1) e que cada célula seja composta pelo menos por duas máquinas (restrição 2).
- Parâmetros a serem informados: número de tipos de máquinas disponíveis ( $M$ ) e o número de células a serem formadas ( $K$ ).
- Procedimento usado na geração da população inicial dividido em 2 etapas:
  - Etapa 1: Escolher aleatoriamente duas máquinas para cada célula entre as  $M$  máquinas disponíveis → depois: tem-se  $2K$  máquinas associadas e  $M-2K$  máquinas não associadas às células;
  - Etapa 2: Escolher aleatoriamente uma máquina entre as máquinas restantes. Associar essa máquina a uma célula escolhida aleatoriamente. Repetir o passo 2 até que todas as máquinas estejam associadas às células.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

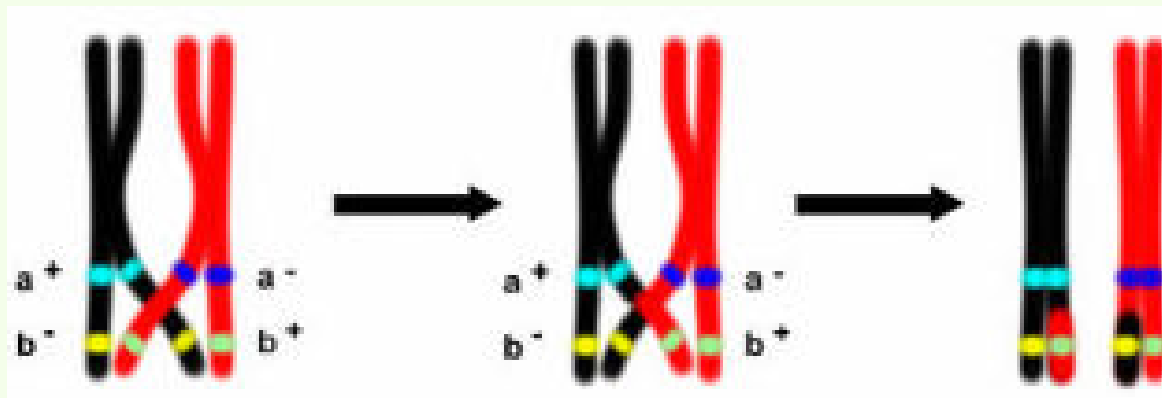
## Processo de Seleção:

- Processo de seleção → baseia-se no valor da função objetivo obtido por cada cromossomo.
- Cromossomos são classificados em ordem decrescente segundo seus valores.
- Para garantir que boas soluções não sejam perdidas no processo de seleção → melhores soluções (em torno de 5%) são transferidas integralmente para a nova população → i.e. 95% da população será submetida ao processo de seleção.
- Processo de seleção → roleta (*Roulette Wheel*) (Goldberg, 1989). A cada cromossomo associa-se um valor de probabilidade dado pelo quociente entre o valor da função objetivo do cromossomo e a soma dos valores da função objetivo de todos os cromossomos da população → Valores maiores desse quociente indicam cromossomos mais adaptados e com maior possibilidade de serem escolhidos para sofrerem cruzamento.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



*Método da Roleta:*  
cromossomos são representados em um gráfico de pizza, onde cada fatia é proporcional ao valor da aptidão ("fitness") de um cromossomo



*Exemplo de cruzamento entre cromossomos de mamíferos*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- Foram definidos 4 operadores de cromossomos:
  - Cruzamento,
  - Mutação 1,
  - Mutação 2
  - Inversão.
- Mutação 1 e Inversão → operadores que não ferem as duas restrições já citadas.
- Cruzamento e Mutação 2 → devem sofrer uma avaliação posterior para garantir que as restrições sejam obedecidas.

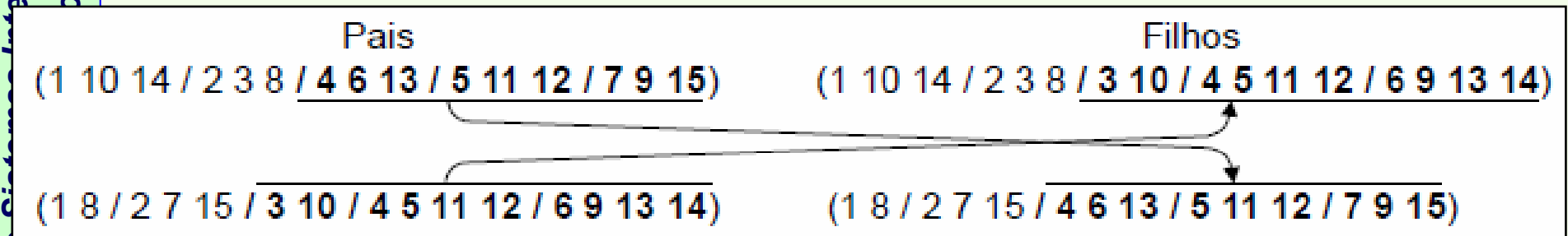
# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- **Cruzamento:** assim que dois cromossomos são sorteados pela roleta, aplica-se a probabilidade de cruzamento:
  - caso o cruzamento não ocorra → os dois cromossomos são submetidos aos operadores de mutação 1 e 2 e transferidos para a nova população.
  - caso o cruzamento ocorra → o seguinte procedimento é adotado:
    - passo 1: definir o ponto de cruzamento sorteando um número inteiro aleatório entre 1 e  $K-1$ ;
    - passo 2: gerar os cromossomos filhos trocando os grupos de máquinas à direita do ponto de cruzamento na Forma 2.
      - figura abaixo: dois cromossomos pai na Forma 2 e o resultado do cruzamento, assumindo que o ponto de cruzamento seja na segunda posição (ou seja, trocam-se os genes da terceira posição em diante).



# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



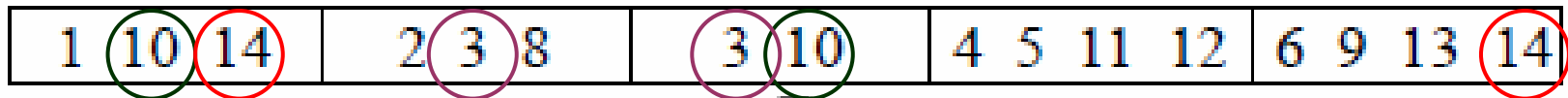
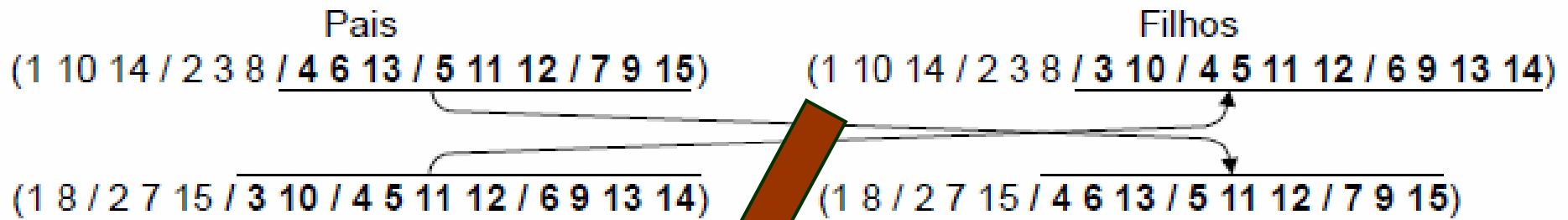
*Exemplo de cruzamento*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- passo 3: corrigir os cromossomos filhos evitando alterar os grupos que foram trocados → com o cruzamento proposto:
  - máquinas podem aparecer em mais de um grupo → remove-se então as máquinas duplicadas, caso existam.
  - algum grupo pode ficar com apenas 1 máquina → aloca-se aleatoriamente as máquinas faltantes, inicialmente nos grupos com apenas 1 máquina.
- Caso todos os agrupamentos possuam o número mínimo de máquinas, então as máquinas faltantes são designadas aleatoriamente a qualquer grupo.
- figura seguinte → correção de um cromossomo filho gerado na figura anterior.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



Remoção das máquinas duplicadas: 3, 10 e 14.



Adição das máquinas faltantes: 7 e 15. Recodificação da Forma 3.



*Correção do cromossomo filho 1*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- **Operador Mutação 1:** esse operador ocorre na Forma 2, no qual sorteiam-se aleatoriamente dois números inteiros entre 1 e  $K$ , que representarão os grupos que sofrerão mutação no cromossomo.
  - Em seguida sorteia-se uma máquina de cada grupo escolhido → máquinas são então trocadas → nota-se que:
    - não ocorre alteração no número de máquinas dos grupos envolvidos;
    - não existe a possibilidade de duplicação ou falta de alguma máquina (ver figura seguinte).

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

Grupos selecionados: 2 e 5

Elementos sorteados: grupo 2=1 e grupo 5=3

Antes da mutação: (1 10 14 / 2 3 8 / 4 6 13 / 5 11 12 / 7 9 15)

Depois da mutação: (1 10 14 / 15 3 8 / 4 6 13 / 5 11 12 / 7 9 2)



*Exemplo da mutação 1*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- **Operador Mutação 2:** sorteia-se aleatoriamente um número inteiro entre 1 e  $K-1$ , que irá representar a fronteira entre dois grupos.
  - Sorteia-se também uma direção (esquerda ou direita).
  - Mutação consiste em mover a fronteira uma posição na direção sorteada.
  - Esse operador é aplicado somente se a restrição 2 não for violada (ver figura seguinte).

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

Número inteiro sorteado: 3

Direção sorteada: direita

Antes da mutação: (1 10 14 / 2 3 8 / 4 6 13 / 5 11 12 / 7 9 15)

Depois da mutação: (1 10 14 / 2 3 8 / 4 6 13 5 / 11 12 / 7 9 15)

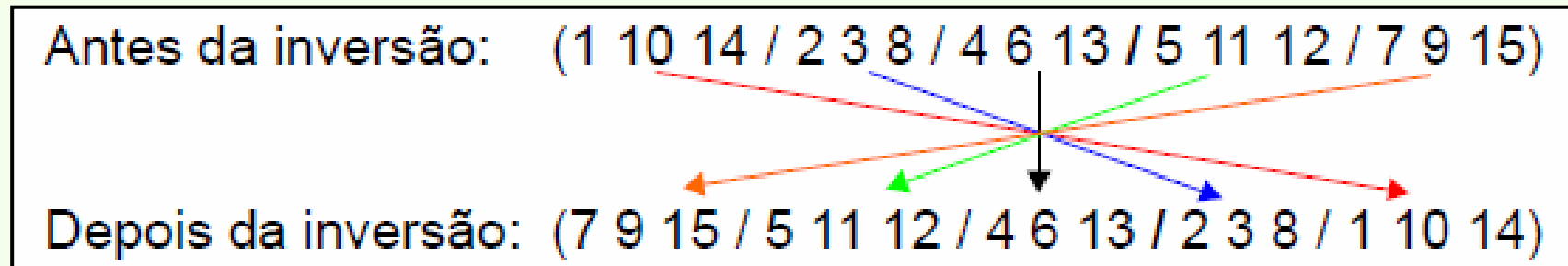


*Exemplo da mutação 2*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Operadores dos cromossomos:

- **Operador Inversão:** deve ser aplicado antes que o cruzamento ocorra → sua probabilidade de ocorrência é baixa, mas quando ocorre, o primeiro cromossomo do par escolhido para cruzamento é reescrito de forma invertida (ver figura abaixo).





# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

## Algoritmo proposto:

- Passo 1 – Entrada de dados. Fornecer os valores dos parâmetros e os dados de tempos de fabricação, preparação (*setup*) e demanda para cada produto.
- Passo 2 – Gerar a população inicial.
- Passo 3 – Calcular o valor da função objetivo para cada elemento da população inicial.
- Passo 4 – Reescrever cada cromossomo da população nas Formas 2 e 3.
- Passo 5 – Determinar as melhores soluções (5%) da população inicial e levar para a nova população.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

- Passo 6 – Selecionar os cromossomos para cruzamento usando o procedimento da roleta. Se o cruzamento não ocorrer vá para o Passo 7. Se o cruzamento ocorrer aplique o operador de inversão seguido do operador de cruzamento. Corrija os cromossomos descendentes se necessário.
- Passo 7 – Aplique os operadores de mutação aos cromossomos resultantes no Passo 6 se a probabilidade de mutação ocorrer.
- Passo 8 – Calcule o valor da função objetivo para cada elemento da nova população.
- Passo 9 – Substitua a população antiga pela nova.
- Passo 10 – Teste se o número de gerações foi alcançado. Em caso afirmativo, mostre a melhor solução contida na população e termine o algoritmo. Em caso negativo volte ao passo 5.

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

- Parâmetros:

Parâmetro	Valor
Número de peças	30
K (número de células a serem formadas)	3
Tamanho do cromossomo (tipos de máquinas disponíveis)	15
Número de elementos da população	40
Número de gerações a explorar	200
Probabilidade de cruzamento	0,85
Probabilidade de mutação 1	0,10
Probabilidade de mutação 2	0,05
Probabilidade de inversão	0,10

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

		Peças																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Máquinas	1			0.3		0.6	0.6	0.2	0.2	0.5	0.7					0.4	0.6														
	2	0.4		0.5		0.7	0.3	0.4	0.3	0.6	0.8					0.9	0.2														
	3	0.6		0.7	0.3		0.2	0.4	0.9	0.6	0.2	0.2				0.4	0.3	0.5													
	4		0.2			0.3								0.4	0.7	0.5	0.6		0.2		0.4	0.4				0.5	0.6				
	5		0.2			0.3							0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6							0.8	0.2					
	6		0.8			0.9							1	0.7	0.2	0.3	0.4	0.5								0.6	0.8				
	7	0.8		0.9			0.3	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5				0.6	0.9														
	8		1.1			1.2							0.3	0.8	0.3	0.9	0.2	0.3							0.4	0.5					
	9		0.4			0.5							0.6	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8								0.9	1				
	10	0.6		0.2			0.3	0.9	0.2	0.3	0.4	0.5					0.6	0.8													
	11	0.3		0.3	0.2									0.3	0.4						0.5	0.9	0.2	0.5			0.6	0.7	0.8		
	12				0.6									0.7	0.8					0.9	0.9	0.3	0.5			0.5	0.6	0.7			
	13				0.7									0.5	0.6					0.8	0.5	0.3	0.4			0.5	0.7	0.8			
	14				0.2									0.6	0.8					1	0.5	0.4	0.6			0.8	0.2	0.8			
	15				0.5									0.7	0.9										0.3	0.7		0.9	0.3	0.4	
Demanda		155	150	148	160	144	158	152	155	164	148	140	144	145	162	170	140	156	132	172	164	144	158	155	152	140	166	148	145	144	170

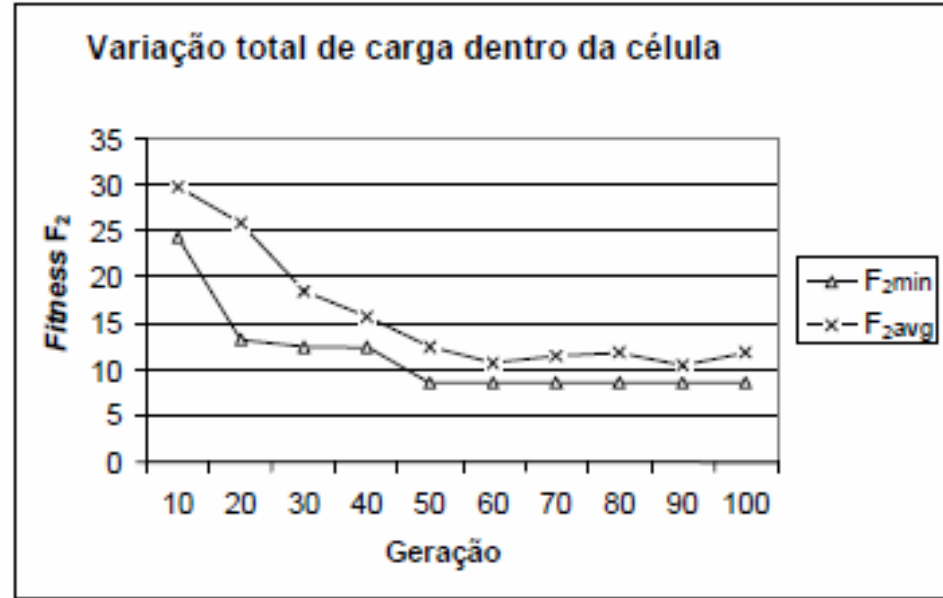
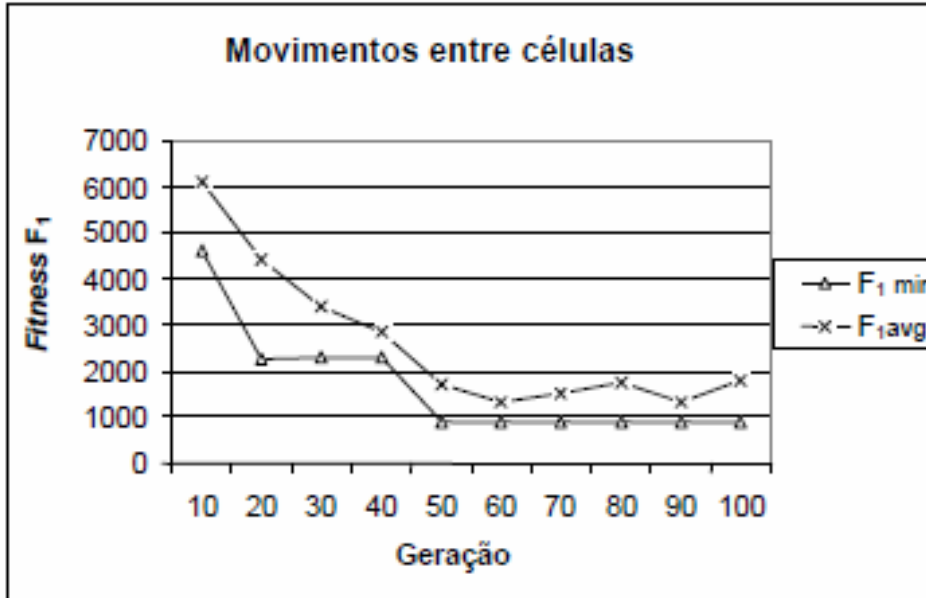
Matriz inicial: 15 máquinas e 30 peças (Venugopal e Narendran, 1992)

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS

		Peças																																
		1	3	6	7	8	9	10	11	17	19	2	5	12	14	16	18	20	22	26	27	4	13	15	21	23	24	25	28	29	30			
Máquinas	1		0.3	0.6	0.6	0.2	0.2	0.5	0.7	0.4	0.6																							
	2	0.4	0.5	0.7	0.3	0.4	0.3	0.6	0.8	0.9	0.2																							
	3	0.6	0.7	0.2	0.4	0.9	0.6	0.2	0.2	0.3	0.5					0.4								0.3										
	7	0.8	0.9	0.3	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5	0.6	0.9																							
	10	0.6	0.2	0.3	0.9	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8																							
	4											0.2	0.3		0.7	0.6	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6			0.4	0.5									
	5											0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6	0.8	0.2													
	6											0.8	0.9	1	0.7	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8													
	8											1.1	1.2	0.3	0.8	0.3	0.9	0.2	0.3	0.4	0.5													
	9											0.4	0.5	0.6	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1													
	11	0.3	0.3																					0.2	0.3	0.4	0.5	0.9	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	
	12																							0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	
	13																							0.7	0.5	0.6	0.8	0.5	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	
	14																							0.2	0.6	0.8	1	0.5	0.4	0.6	0.8	0.2	0.8	
	15																							0.5	0.7	0.9		0.3		0.7	0.9	0.3	0.4	
Demanda	155	148	158	152	155	164	148	140	156	172	150	144	144	162	140	132	164	158	166	148		160	145	170	144	155	152	140	145	144	170			

*Matriz resultante: 15 máquinas e 30 peças*

# ALGORITMO GENÉTICO PARA FORMAÇÃO DE CÉLULAS



*Evolução dos valores de  $F_1$  e  $F_2$  em função do número de gerações*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a - a_2 \\ \frac{a_2 + x - a}{a_2 - a_1} & a - a_2 < x \leq a - a_1 \\ 1 & a - a_1 < x < a + a_1 \\ \frac{a_2 - x + a}{a_2 - a_1} & a + a_1 \leq x < a + a_2 \\ 0 & a + a_2 \leq x \end{cases}$$

where

- $a$  = the average processing tolerance of the machine;
- $a_1$  = the lower limit of processing tolerance of the machine; and
- $a_2$  = the upper limit of processing tolerance of the machine.

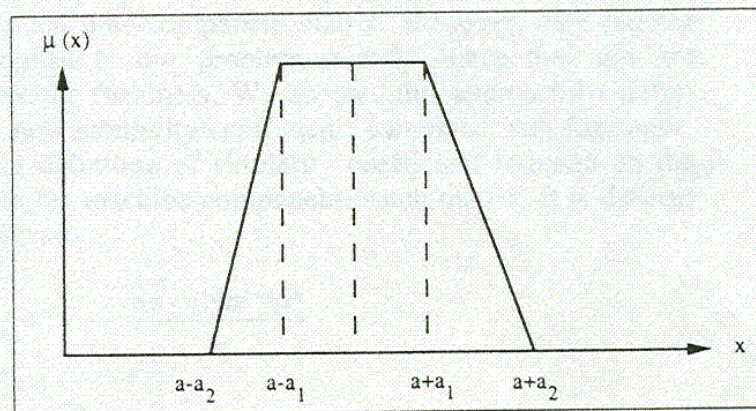


Figure 1  
Match Function

*Faixa de tolerâncias  
representada de maneira  
fuzzy*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

Components: 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7;

Machines:

Type 1 (Drill) : D1, D2, and D3;

Type 2 (Miller) : M1, M2, and M3;

Type 3 (Grinder) : G1.

Routing list:

Component 1 : D-M;

Component 2 : D-M-G;

Component 3 : D-M-G;

Component 4 : D-M;

Component 5 : D-M-G;

Component 6 : D-G;

Component 7 : D-M.

*Peças,  
Máquinas,  
Roteamentos*



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

*Table 1*  
Machine-Component Matrix for the Numerical Example

Machine	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
D1	1	0	1	0.8	0	0.1	0.9
D2	0	1	0.3	0	0.7	0.8	0
D3	0.3	0.7	0	0	0.8	0.8	0
M1	0	0.7	0	0.3	0.7	0	0.3
M2	0.6	0.1	0.5	0	0	0	0.5
M3	0.7	0.2	0.8	0.8	0.3	0	0.7
G1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	0

*Matriz Fuzzy Inicial*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

*Table 2*  
 Similarity Coefficients for the Numerical Example

Machine Pair	Similarity Coefficient	Machine Pair	Similarity Coefficient	Machine Pair	Similarity Coefficient
(D1,D2)	0.171	(D2,M1)	0.667	(D3,G1)	0.76
(D1,D3)	0.2	(D2,M2)	0.383	(M1,M2)	0.517
(D1,M1)	0.343	(D2,M3)	0.329	(M1,M3)	0.45
(D1,M2)	0.617	(D2,G1)	0.9	(M1,G1)	0.6
(D1,M3)	0.814	(D3,M1)	0.7	(M2,M3)	0.7
(D1,G1)	0.171	(D3,M2)	0.417	(M2,G1)	0.383
(D2,D3)	0.8	(D3,M3)	0.357	(M3,G1)	0.329

Coeficientes de Similaridade para a Matriz Fuzzy dada

Threshold = 0,6 → Célula 1: Máquinas D1, M2, M3

Célula 2: Máquinas D2, D3, M1, G1

Família 1: 1, 3, 4, 7

Família 2: 2, 5, 6

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

*Table 3*  
 First Iteration of the Fuzzy ROC Algorithm

Weight	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	Ranking Value	Rank Order
	Component								
Machine	1	2	3	4	5	6	7		
D1	1	0	1	0.8	0	0.1	0.9	87.5	1
D2	0	1	0.3	0	0.7	0.8	0	41.2	6
D3	0.3	0.7	0	0	0.8	0.8	0	46.4	4
M1	0	0.7	0	0.3	0.7	0	0.3	27.9	7
M2	0.6	0.1	0.5	0	0	0	0.5	50.1	3
M3	0.7	0.2	0.8	0.8	0.3	0	0.7	72.3	2
G1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	0	45	5

*Método ROC*  
 1ª Interação

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

*Table 4*  
 Second Iteration of the Fuzzy ROC Algorithm

Weight	Machine	Component						
		1	2	3	4	5	6	7
$2^6$	D1	1	0	1	0.8	0	0.1	0.9
$2^5$	M3	0.7	0.2	0.8	0.8	0.3	0	0.7
$2^4$	M2	0.6	0.1	0.5	0	0	0	0.5
$2^3$	D3	0.3	0.7	0	0	0.8	0.8	0
$2^2$	G1	0	1	0.5	0	0.8	0.9	0
$2^1$	D2	0	1	0.3	0	0.7	0.8	0
$2^0$	M1	0	0.7	0	0.3	0.7	0	0.3
Ranking Value		98.4	20.3	100.2	77.1	21.3	18	88.3
Rank Order		2	6	1	4	5	7	3

*Método ROC*  
*2ª Interação*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

*Table 5*  
 Third Iteration of the Fuzzy ROC Algorithm

Weight	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	Ranking Value	Rank Order
	Component								
Machine	3	1	7	4	5	2	6		
D1	1	1	0.9	0.8	0	0	0.1	116.9	1
M3	0.8	0.7	0.7	0.8	0.3	0.2	0	92.8	2
M2	0.5	0.6	0.5	0	0	0.1	0	59.4	3
D3	0	0.3	0	0	0.8	0.7	0.8	15	6
G1	0.5	0	0	0	0.8	1	0.9	38.1	4
D2	0.3	0	0	0	0.7	1	0.8	24.8	5
M1	0	0	0.3	0.3	0.7	0.7	0	11.4	7

*Método ROC*  
*3ª Interação*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

Table 6  
 Fourth Iteration of the Fuzzy ROC Algorithm

Weight	Machine	Component						
		3	1	7	4	5	2	6
$2^6$	D1	1	1	0.9	0.8	0	0	0.1
$2^5$	M3	0.8	0.7	0.7	0.8	0.3	0.2	0
$2^4$	M2	0.5	0.6	0.5	0	0	0.1	0
$2^3$	G1	0.5	0	0	0	0.8	1	0.9
$2^2$	D2	0.3	0	0	0	0.7	1	0.8
$2^1$	D3	0	0.3	0	0	0.8	0.7	0.8
$2^0$	M1	0	0	0.3	0.3	0.7	0.7	0
Ranking Value		102.8	96.6	88.3	77.1	21.1	22.1	18.4
Rank Order		1	2	3	4	6	5	7

Método ROC  
 4ª Interação

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Abordagem Fuzzy

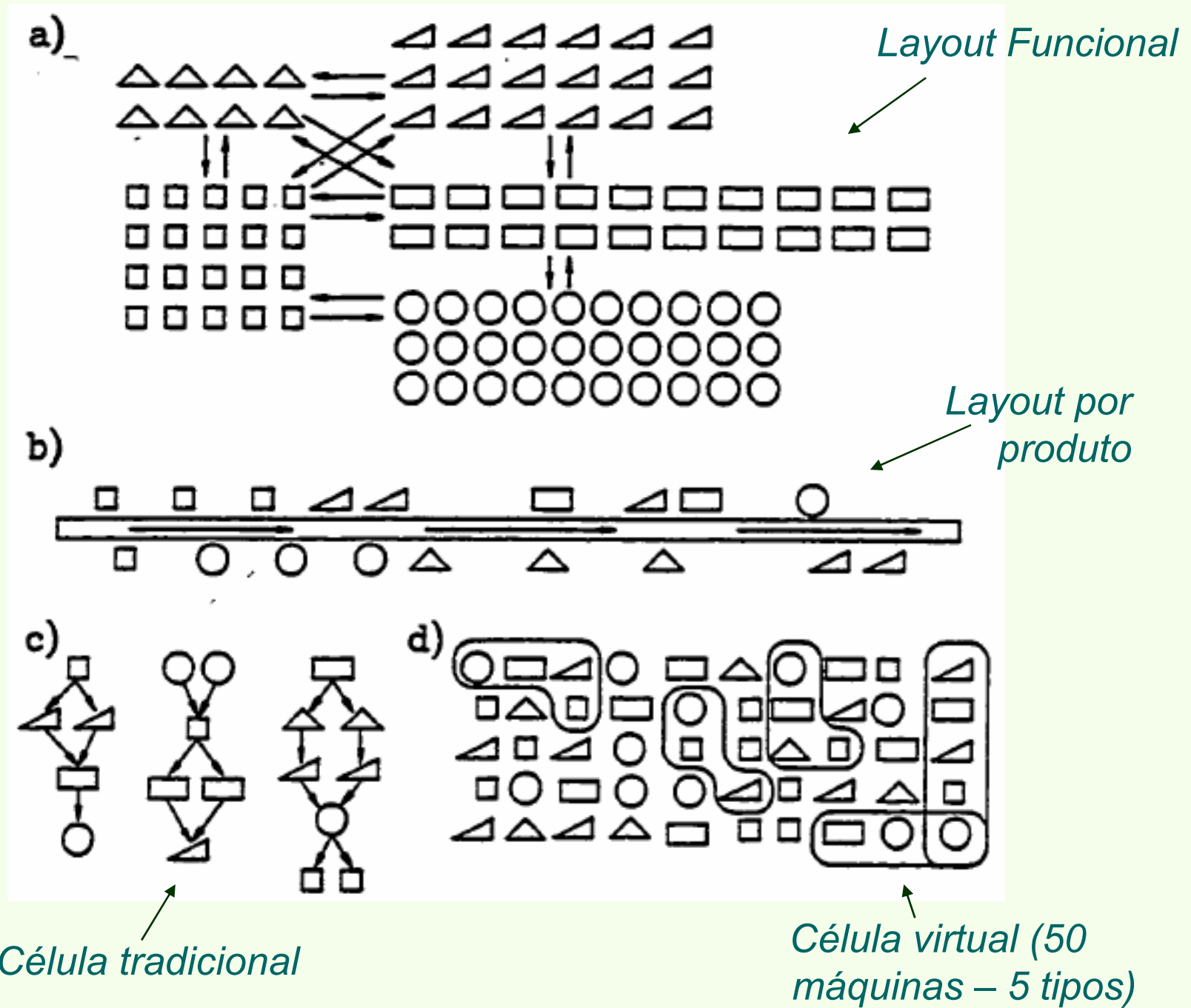
Table 7  
 Fifth Iteration (final result) of the Fuzzy ROC Algorithm

Weight	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	Ranking Value	Rank Order
	Component								
Machine	3	1	7	4	2	5	6		
D1	1	1	0.9	0.8	0	0	0.1	116.9	1
M3	0.8	0.7	0.7	0.8	0.2	0.3	0	92.6	2
M2	0.5	0.6	0.5	0	0.1	0	0	59.2	3
G1	0.5	0	0	0	1	0.8	0.9	38.5	4
D2	0.3	0	0	0	1	0.7	0.8	25.4	5
D3	0	0.3	0	0	0.7	0.8	0.8	14.8	6
M1	0	0	0.3	0.3	0.7	0.7	0	11.4	7

Método ROC  
 5ª e Última  
 Interação

Célula 1: Máquinas D1, M3, M2; Família 1: 3, 1, 7, 4

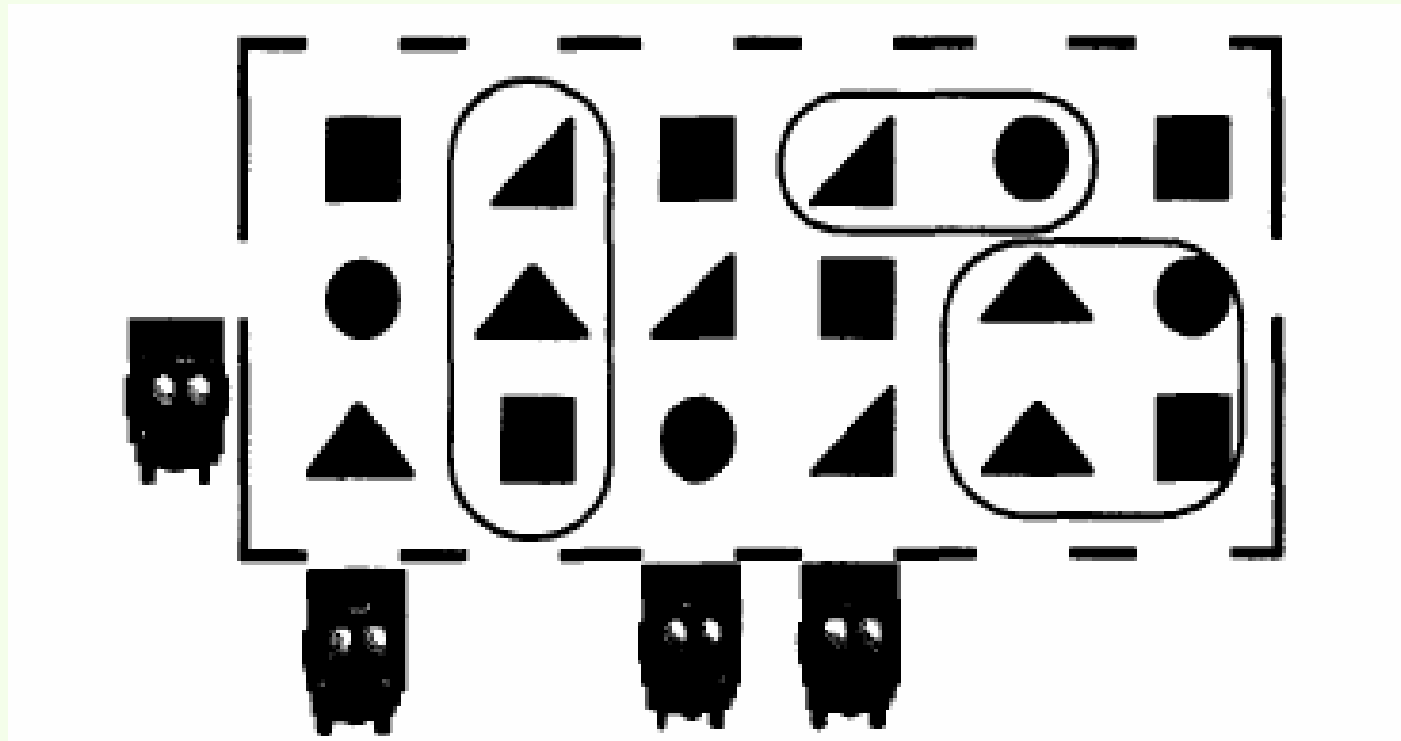
Célula 2: Máquinas G1, D2, D3, M1; Família 2: 2, 5, 6





# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

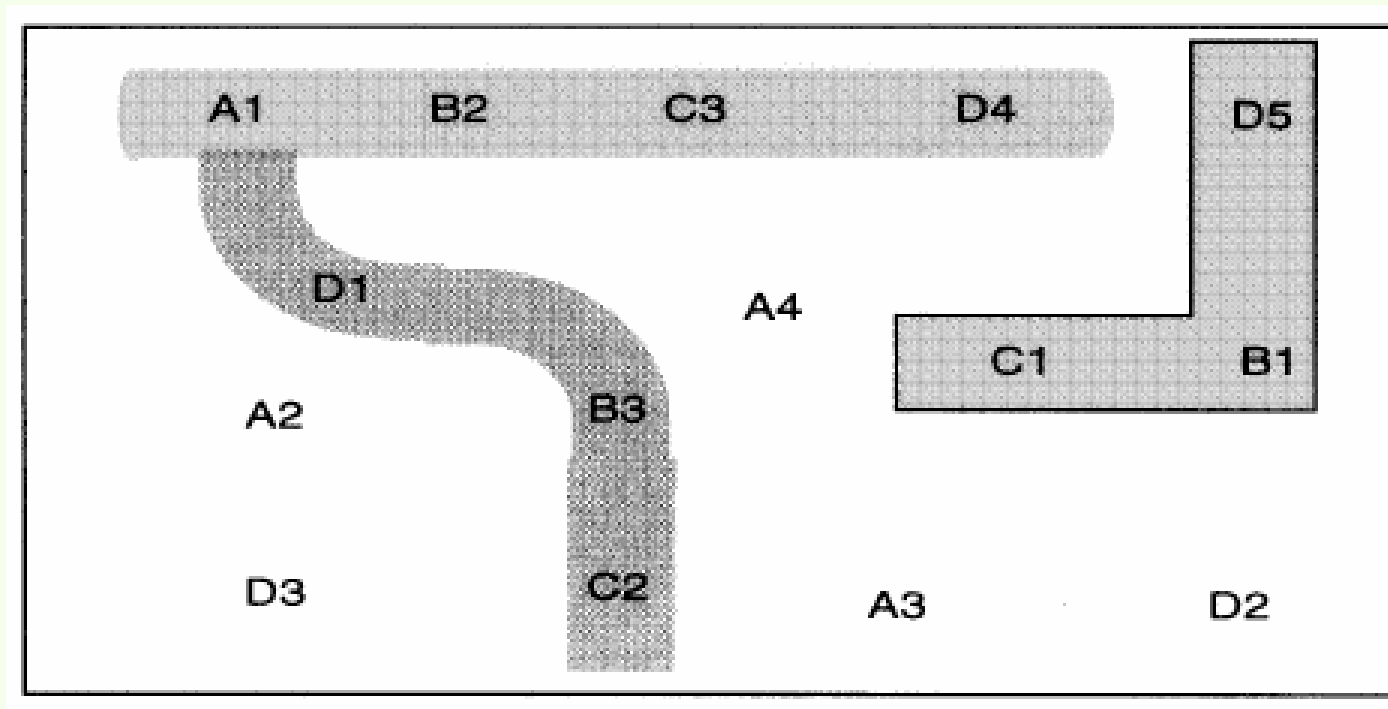
- 1º Passo: Formar Células – Layout de célula virtual



*Um exemplo de layout de célula virtual*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 1º Passo: Formar Células – Layout de célula virtual



*Três células virtuais com uma máquina compartilhada*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 2º Passo: Reduzir ou Eliminar o Setup → Implementar um Sistema RETAD
  - RETAD = troca rápida de ferramental e matrizes (“*dies*”) → reduzir ou eliminar o setup.
  - Tempo de mudança de uma peça para outra dentro da célula deve ser o **mínimo possível**.
  - “Troca de matrizes num só minuto” (“SMED”).
  - **Todos** no chão de fábrica → devem ser ensinados como reduzir o tempo de setup usando (“SMED”).

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

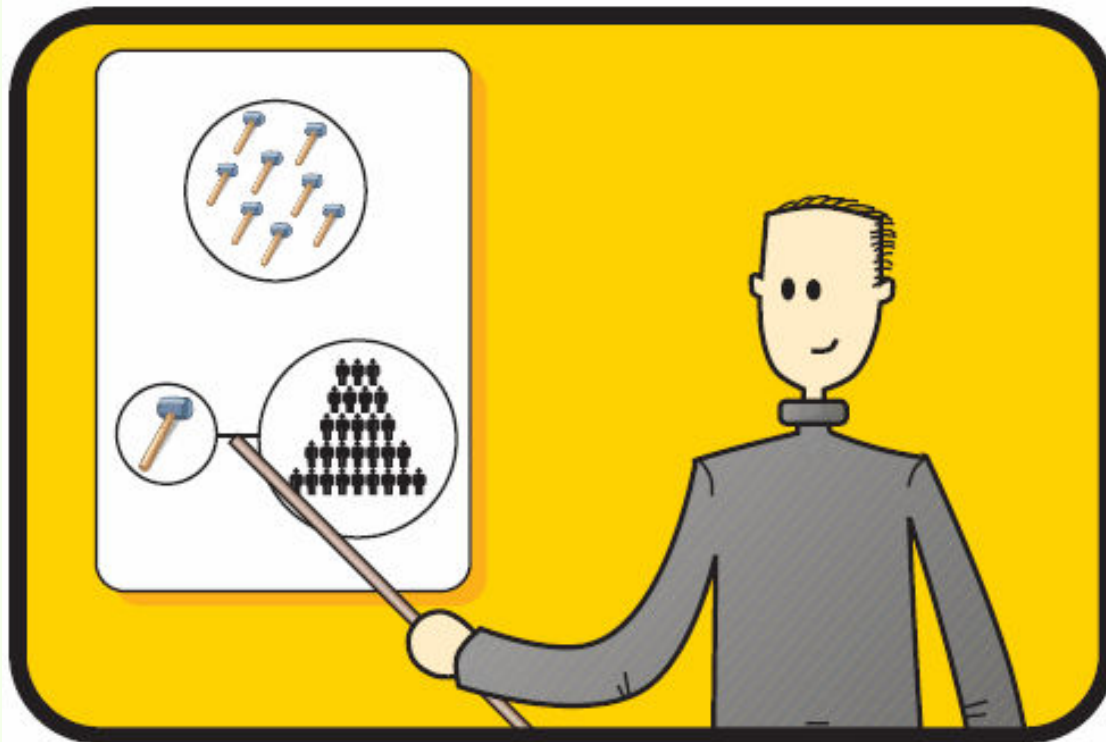
- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade
  - Peças defeituosas não podem sair da célula (sendo consideradas boas).
  - Abordagem “**uma-de-cada-vez**” da célula significa fazer uma, checar uma, passar uma adiante → trabalhadores na célula devem ser **multifuncionais** → devem saber **como reduzir o tempo de setup e organizar a sua área de trabalho**; devem desempenhar outras funções, incluindo **controle de qualidade e melhoria do processo**.
  - Fabricar o produto **corretamente da primeira vez**, todas as vezes.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade

Lembre-se que:

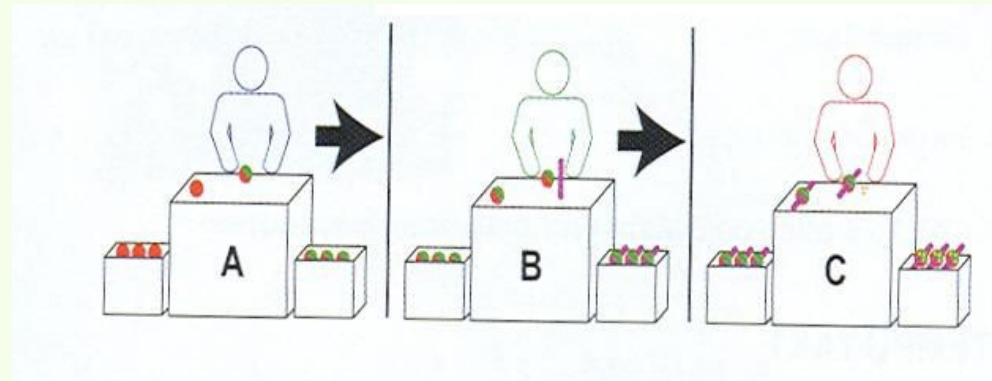
Não produz 500 peças do produto "A" por dia. Produz sim 1 peça do produto "A" para 500 clientes.



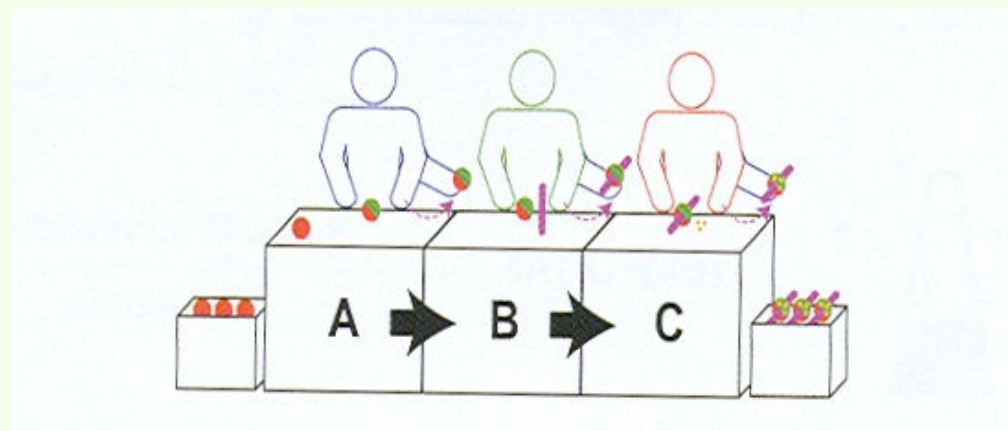
*Uma peça  
de cada vez*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade



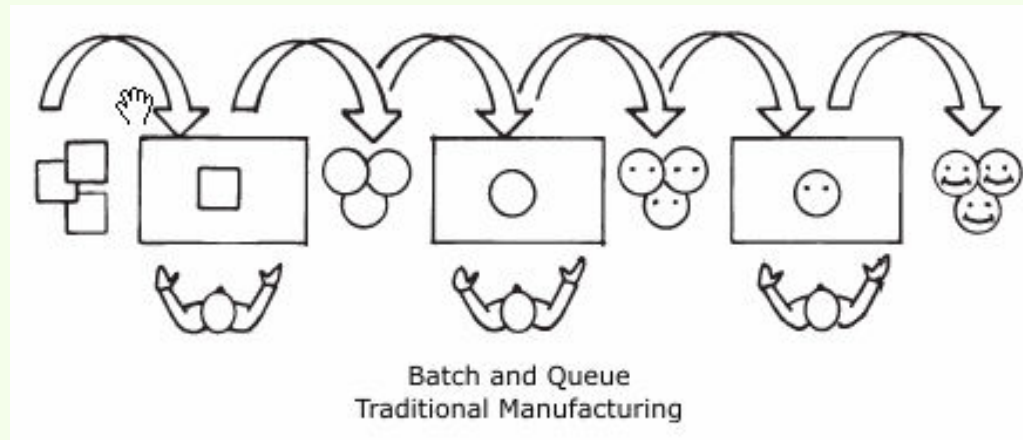
*Várias peças  
de cada vez*



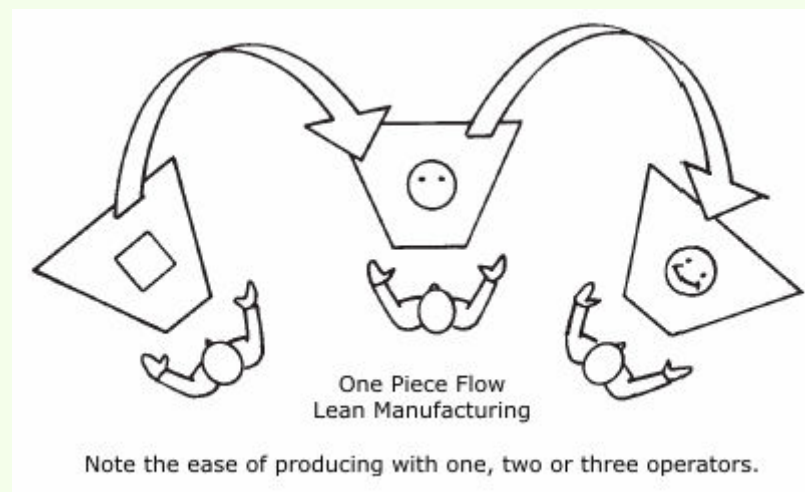
*Uma peça  
de cada vez*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade



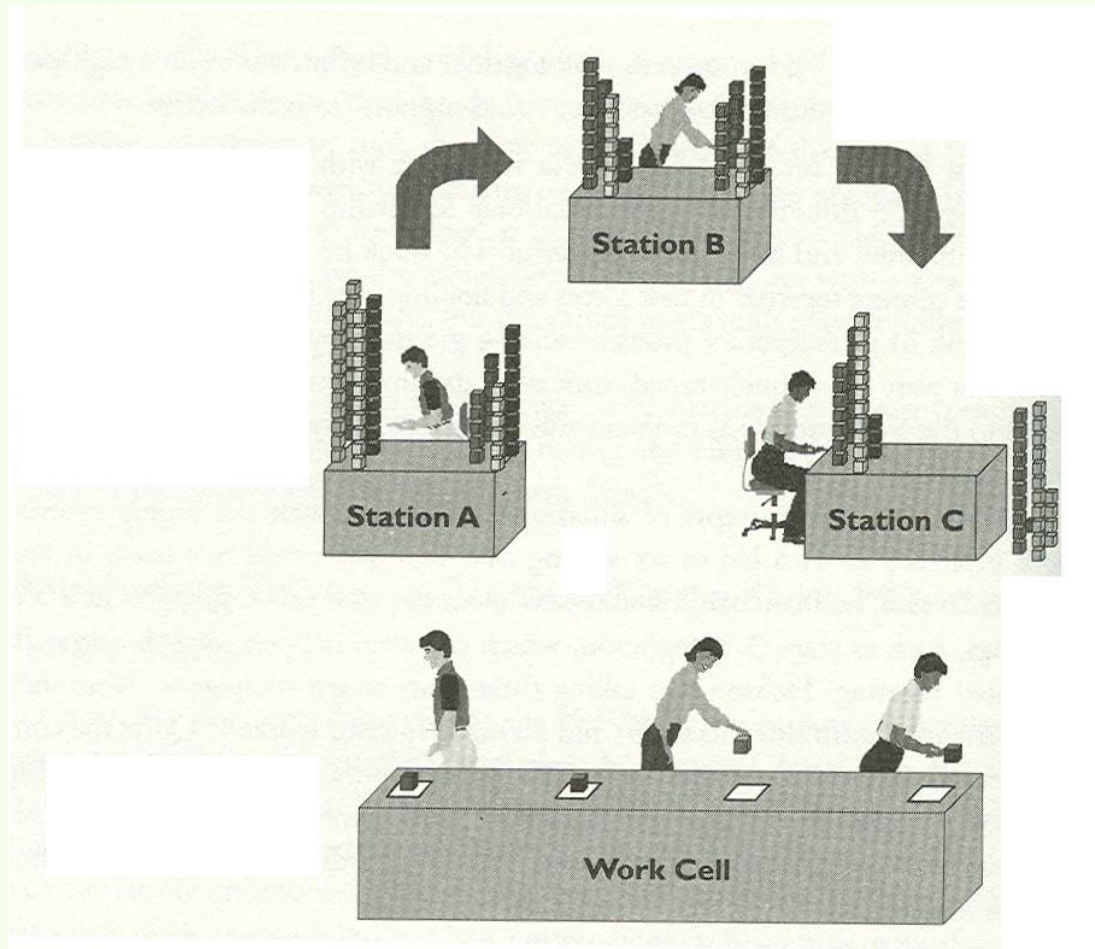
*Várias peças  
de cada vez*



*Uma peça  
de cada vez*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade



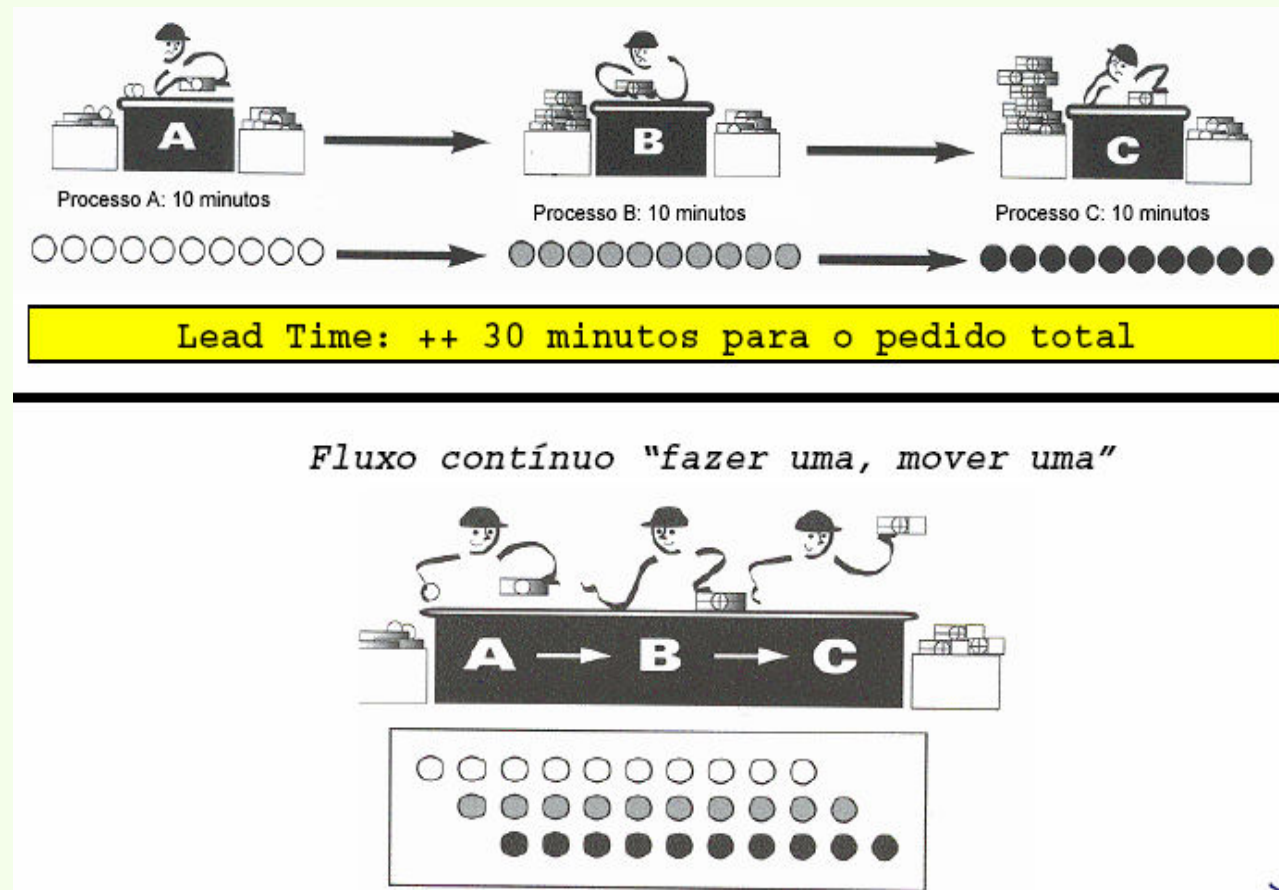
*Várias peças  
de cada vez*

*Uma peça  
de cada vez*



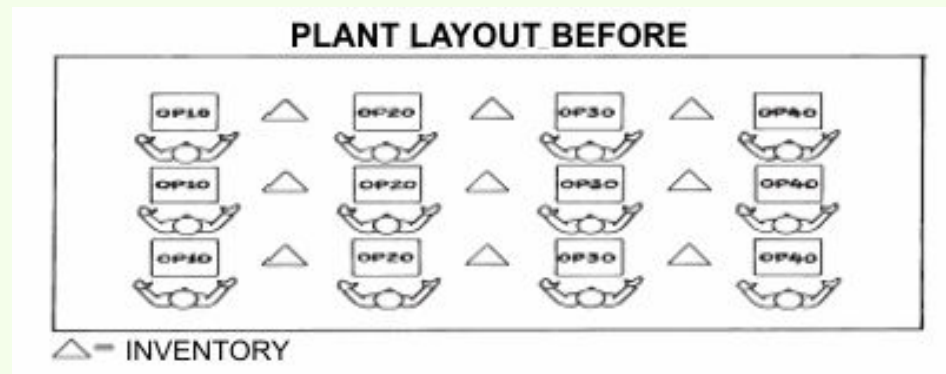
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade

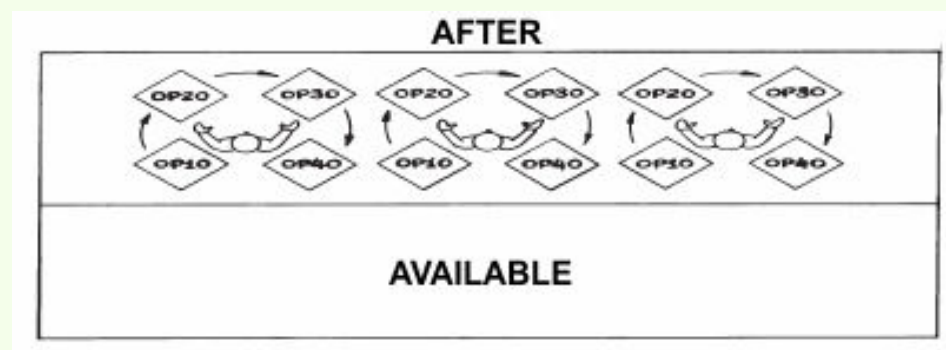


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade



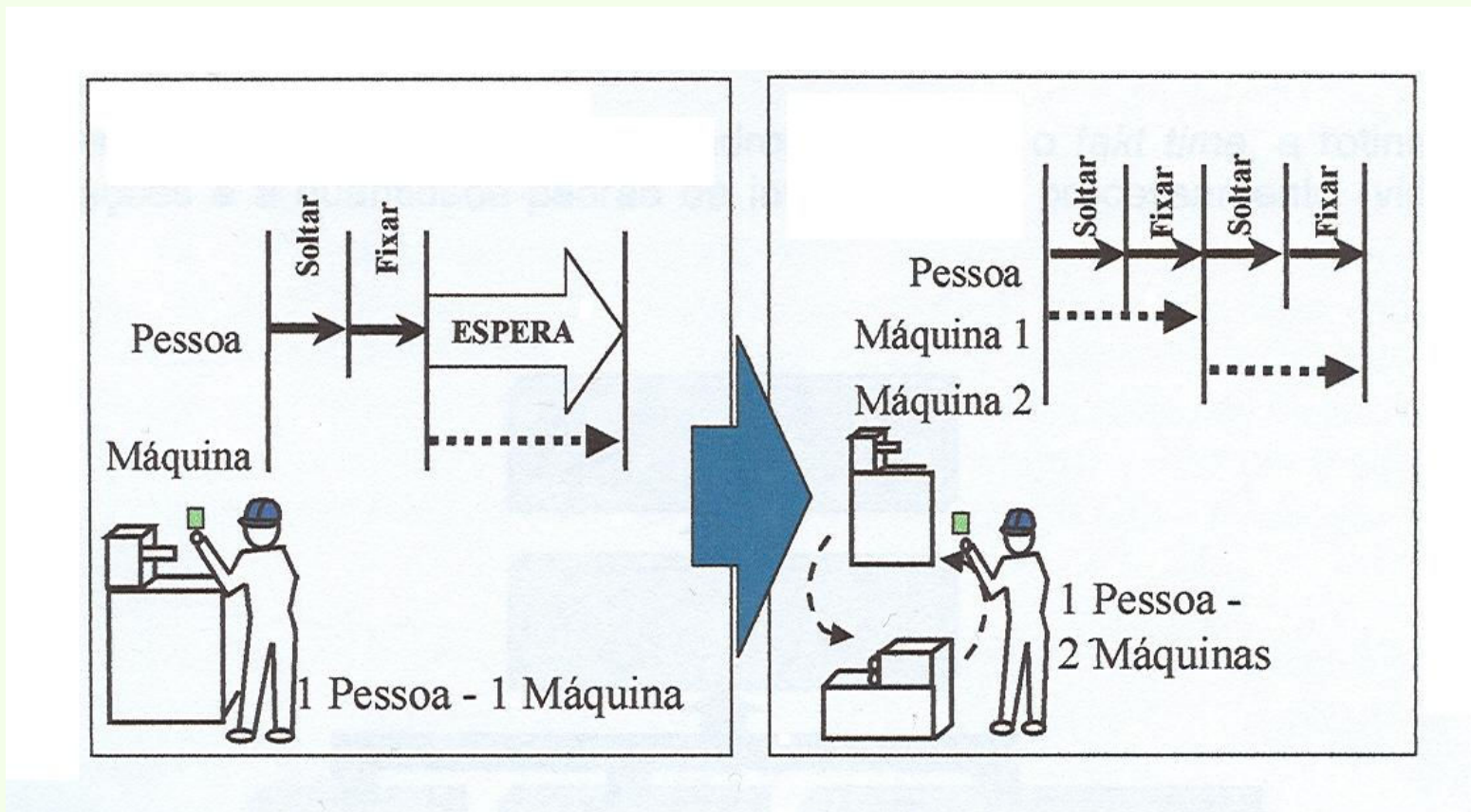
*Várias peças  
de cada vez*



*Uma peça  
de cada vez*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

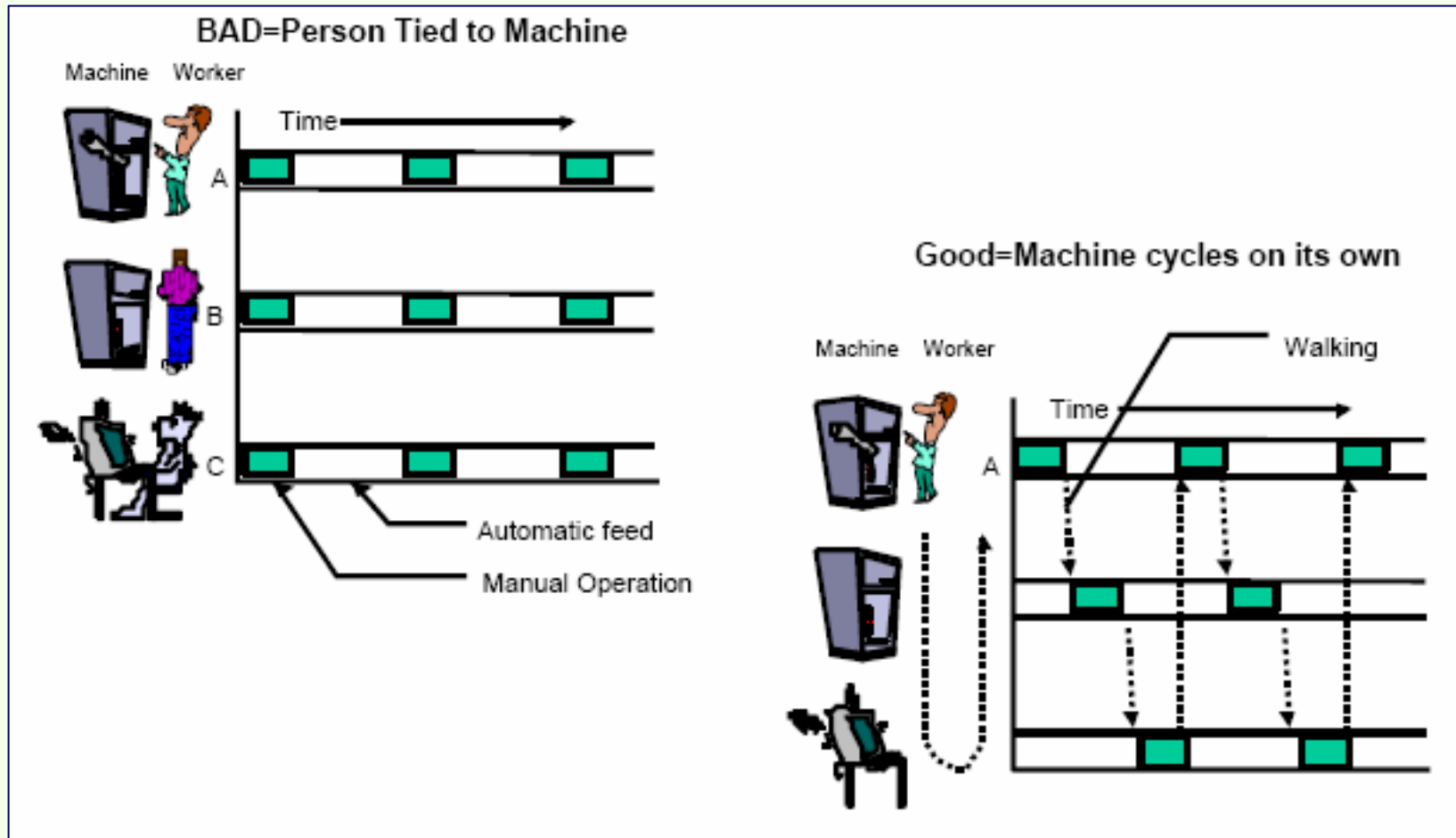
- 3o Passo: Integração do Controle de Qualidade



*Separação Homem-Máquina*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3o Passo: Integração do Controle de Qualidade



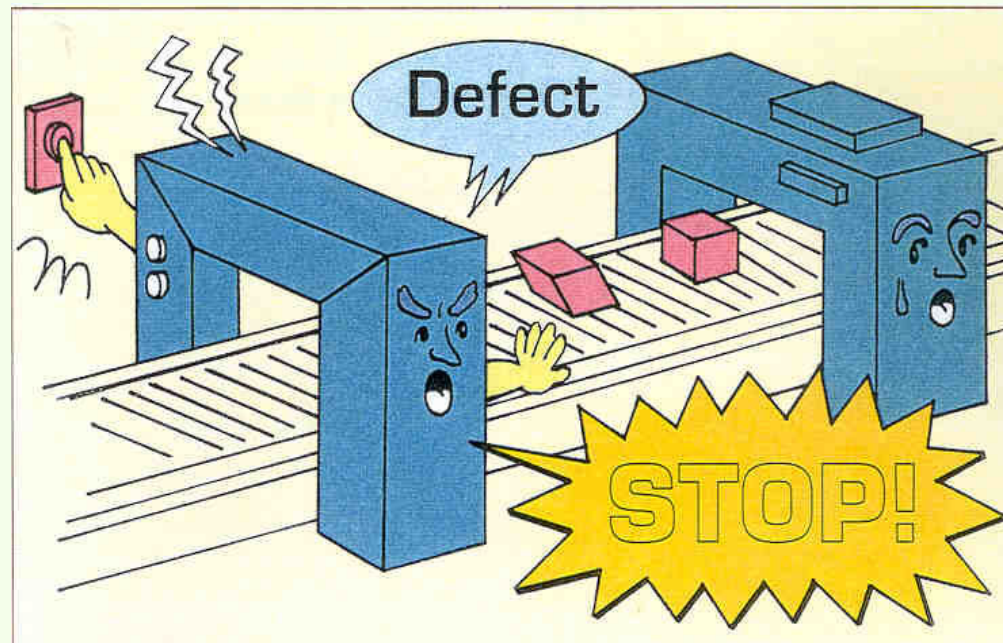
*Separação Homem-Máquina*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade

*“Jidoka” ou “Autonomação”:* Termo criado na Toyota para descrever o sistema de produção onde a máquina é projetada para parar sempre que uma peça com defeito é produzida.

*Prevenir problemas, Mostrar problemas, Não passar defeitos ao cliente.*



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 3º Passo: Integração do Controle de Qualidade

*Os problemas são oportunidades  
de melhorias!*

*Os problemas devem “saltar aos  
nossos olhos”!*

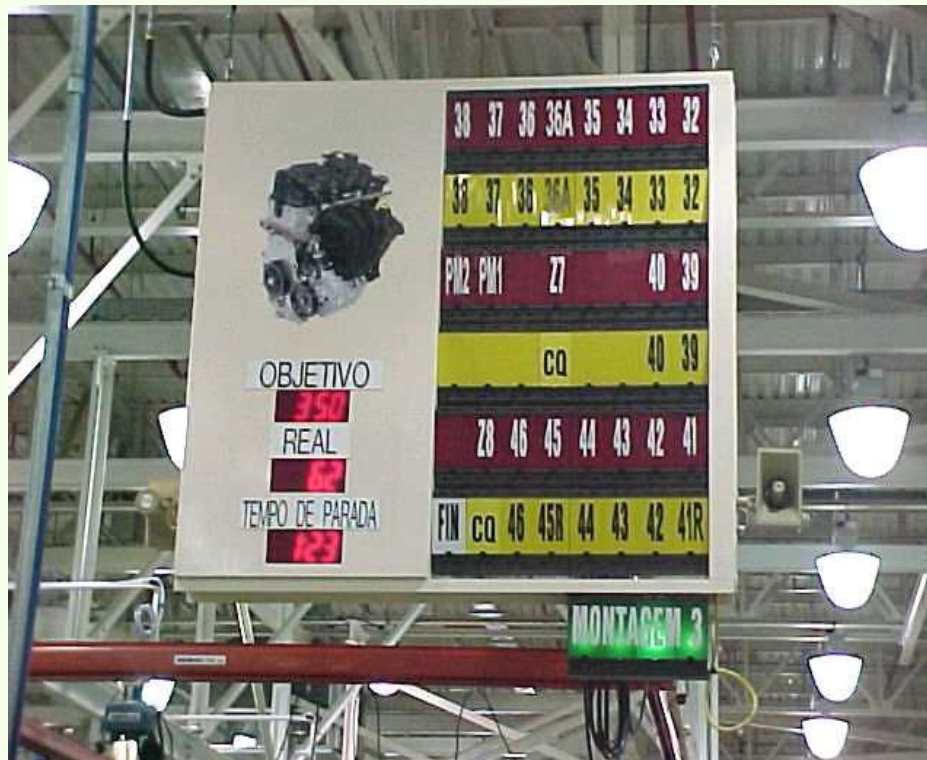
## Alguns exemplos - Jidoka

*ANDON - Painel luminoso desenvolvido pela Toyota , que tem por finalidade fazer um controle visual imediato de todos os problemas que acontecem na fábrica.*

<b>LINHA 1</b>	<b>POSTO</b>						
<b>META</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>428</b>	8	9	10	11	12	13	14
<b>ATUAL</b>	15	16	17	18	19	20	21
<b>324</b>	22	23	24	25	26	27	28

## Alguns exemplos - Jidoka

*ANDON - Painel luminoso desenvolvido pela Toyota, que tem por finalidade fazer um controle visual imediato de todos os problemas que acontecem na fábrica.*





## Alguns exemplos - Jidoka

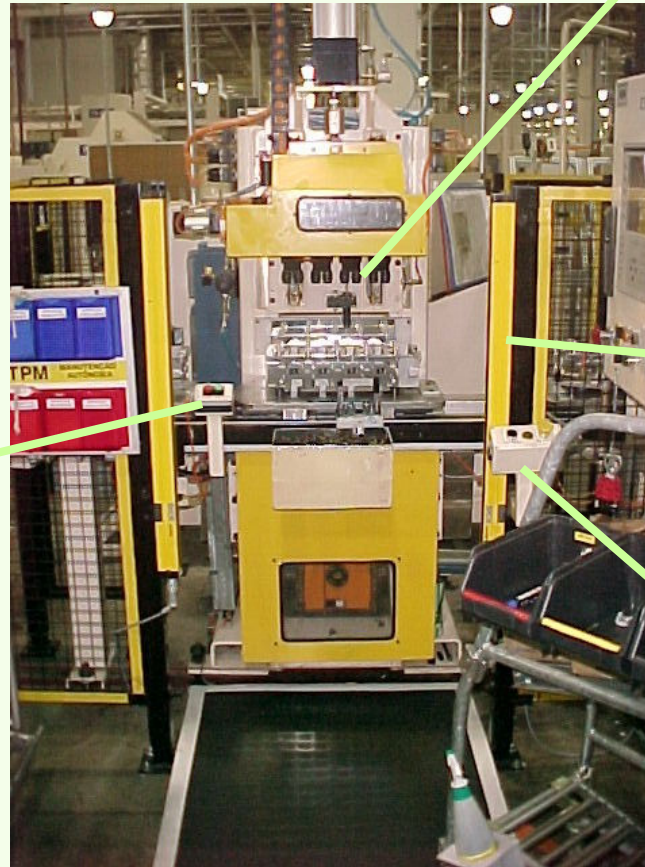
*POKA-YOKE: Dispositivo colocado na máquina, que, ao acontecer um defeito, pára a máquina e soa um alarme avisando o operador do ocorrido.*



## Alguns exemplos - Jidoka

- *Máquina que realiza a prensagem dos retentores da válvula*

Botões OK/NOK localizados dentro da máquina para operação em backup (prensagem manual em caso de falha de máquina).



Dispositivos à prova de erros (pokayokes) checam se todos os retentores estão presentes (antes da prensagem) e se todos foram prensados (após).

Cortinas de luz substituem os botões bi-manuais. O operador não tem que esperar pela máquina.

O operador apenas carrega a máquina e inicia o ciclo de trabalho pressionando um botão.

## Alguns exemplos - Jidoka

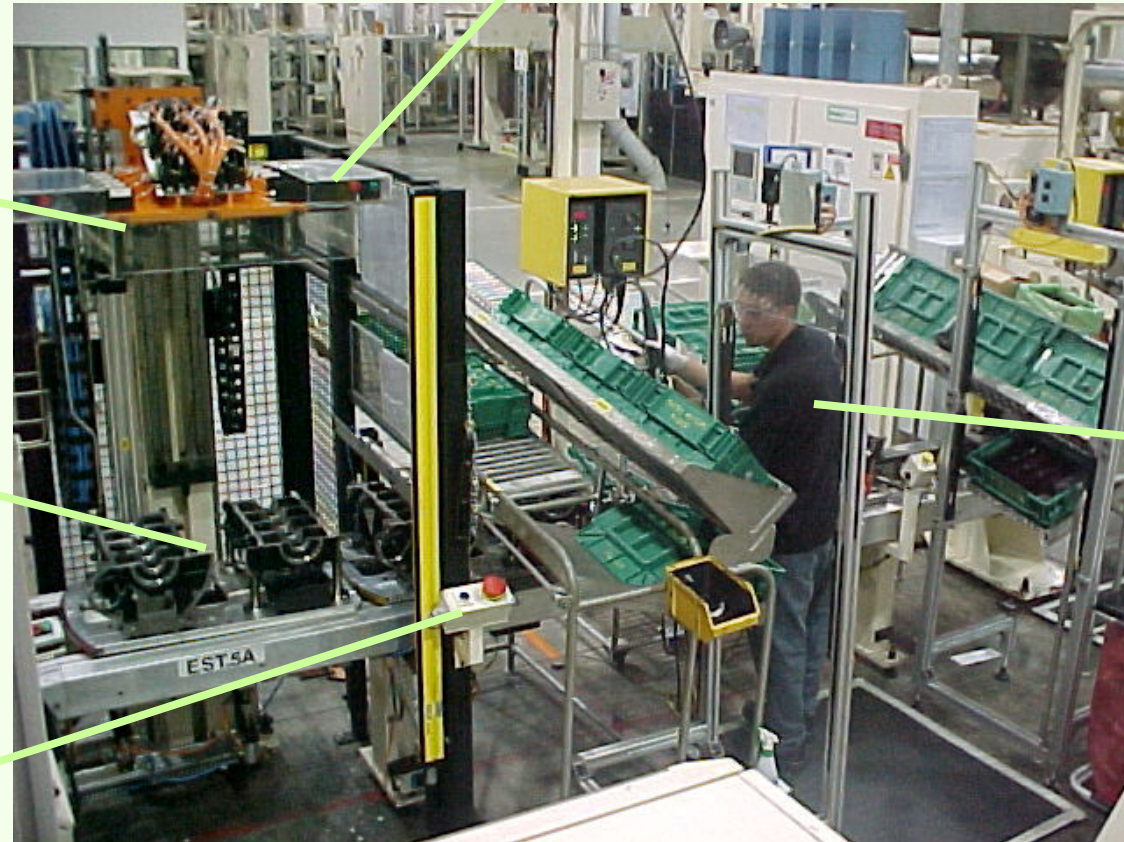
- *A estação realiza a instalação dos bronzinas. A estação seguinte realiza automaticamente a verificação do trabalho.*

Luzes de identificação (OK/NOK) para cada uma das bronzinas.

O cabeçote desce automaticamente para fazer o teste. Em caso de NOK, pára imediatamente na posição e espera pelo operador.

As cortinas de luz garantem acesso irrestrito ao operador quando necessário, ao mesmo tempo que garantem segurança.

Após o diagnóstico, o operador reinicia o teste.



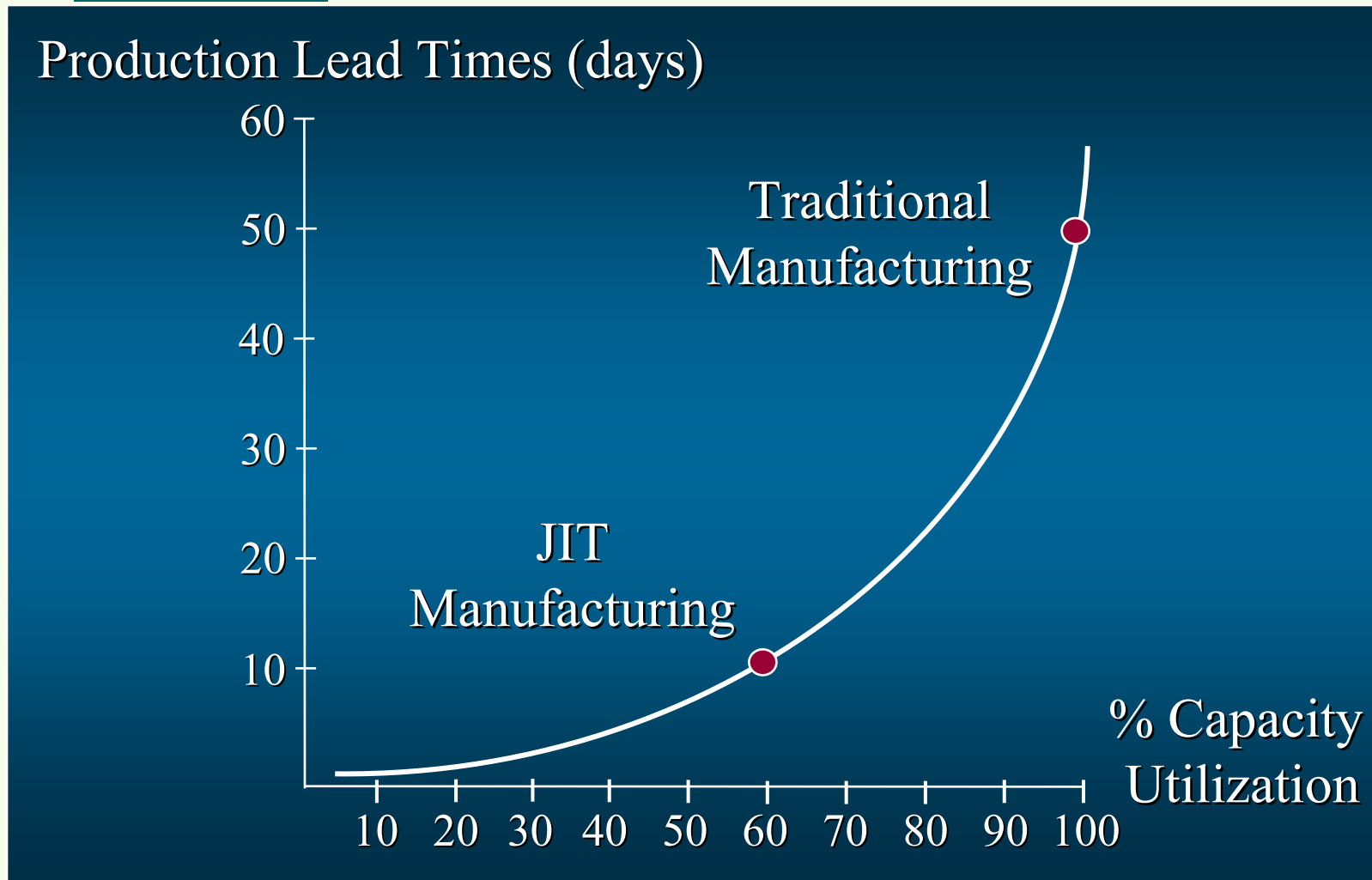
O operador instala as bronzinas na 1ª posição.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas
  - Tempo de setup ↓ ⇒ utilização das máquinas acima da capacidade ↓ ⇒ permite aos operadores reduzir a velocidade do equipamento.
  - Pressão sobre os trabalhadores e processos para produzir uma dada quantidade ↓ ⇒ parte da estratégia de produzir-se qualidade perfeita.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas
  - Corretiva: “Atuação pela correção da falha ou do desempenho menor que o esperado”

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas
  - Preventiva: “Atuação realizada de forma a reduzir ou evitar falha ou queda do desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”
  - Itens + Periodicidade → Manuais ou Experiência

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas
  - Preditiva: “Atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática”
  - Meta: evitar falhas nos equipamentos, através da monitoração de determinados parâmetros → operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível
  - Acompanhamento da evolução da degradação de um componente (p.ex. rolamento) até um nível seguro que previna a falha repentina do mesmo

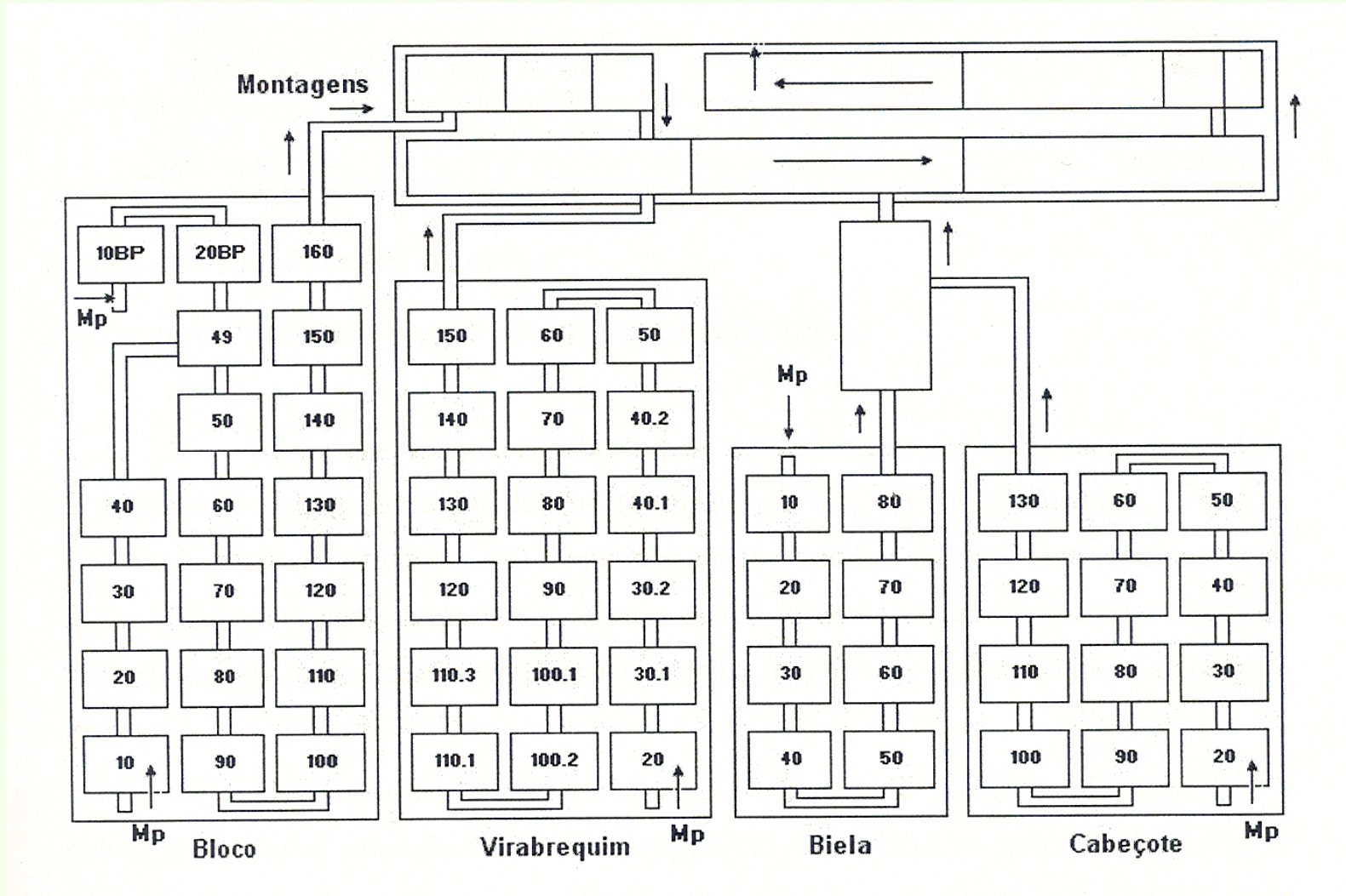


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 4º Passo: Integração da Manutenção Preventiva/Preditiva - Confiabilidade das Máquinas
  - Esta técnica tem evoluído bastante com o avanço da tecnologia → equipamentos de manutenção de alto nível; manuseio mais simples.
  - Exemplos de técnicas preditivas: vibrações, análise de óleos (p.ex. ferrografia)

• Manutenção Preventiva/Preditiva

Layout  
 simplificado  
 da TRITEC



Máquinas Transfer → Sequência e Qualidade corretos

## • Manutenção Preventiva/Preditiva

073-060/0-UH	UNIDADE HIDRAULICA	24.05.2000 A	
130-0013-BE	BOMBA ENG CIRCULACAO OLEO	74-MEC	
17562	BOMBA ENGRENAGEM NOR975372 PARKER	L	1 PEÇ 4
17563	KIT REPARO	L	1 JG 4
130-0014-BP	BOMBA PISTOES AXIAIS ALIMENT CIRCUITO	74-MEC	
291-1054-MT	MOTOR TRIFASICO	74-ELE	
291-1055-MT	MOTOR TRIFASICO BOMBA PISTOES AXIAIS	74-ELE	
325-196-PE	PAINEL ESTAÇÃO 073-060/0-UH	74-ELE	
410-0003-RV	RESERVATORIO HIDRAULICO	74-MEC	
11784	ELEMENTO FILTRANTE	L	1 PEÇ 4
6794	FILTRO HIDRAULICO	L	1 PEÇ 4
16025	ELEMENTO FILTRANTE	L	1 PEÇ 4
680-0003-AP	ACUMULADOR HIDRAULICO PISTAO	74-MEC	
2627	ACUMULADOR HIDRAULICO PISTAO	L	1 PEÇ 4
073-060/0-CPUH	CIRCUITO PNEUMATICO	13.03.2001 A	

*Unidade Hidráulica da OP 60 da Linha 73 (Biela) → dados sobre local de instalação, nível dos equipamentos, peças de reposição – Dados no SAP/R3*

- *Somente na linha Bloco há 57 cabeçotes de usinagem e 31 redutores*
- *Todos os equipamentos da fábrica são acionados por um total de 63 unidades hidráulicas*

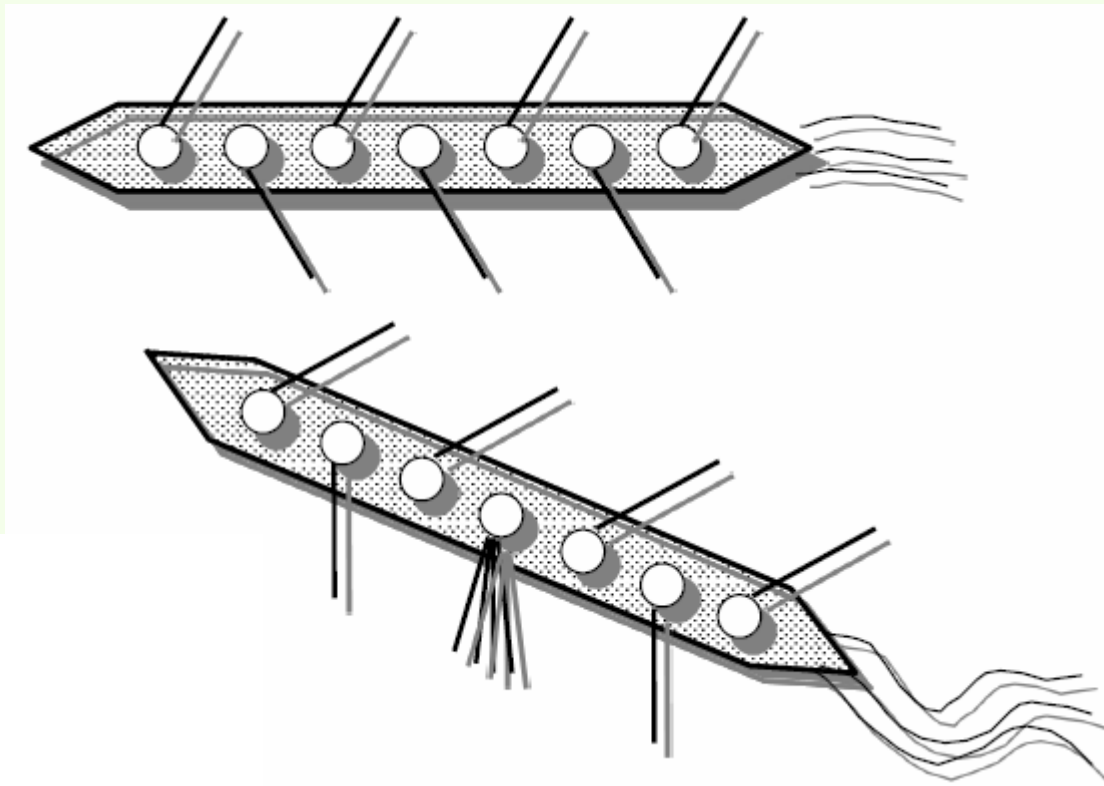
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - Todo S.M. é **nivelado** (i.e. mesma quantidade de peças ao longo do tempo) e **balanceado** para fabricar pequenos lotes (i.e. tempos iguais), visando reduzir o problema de mudanças.



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



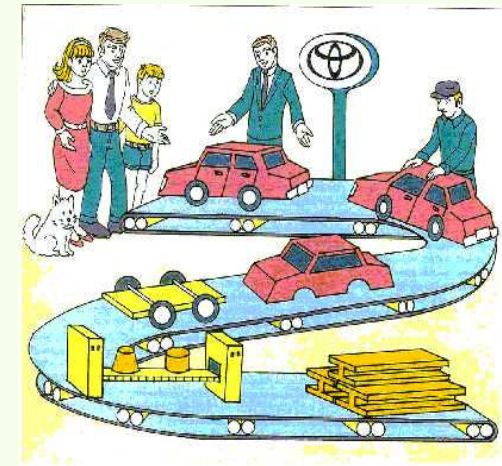
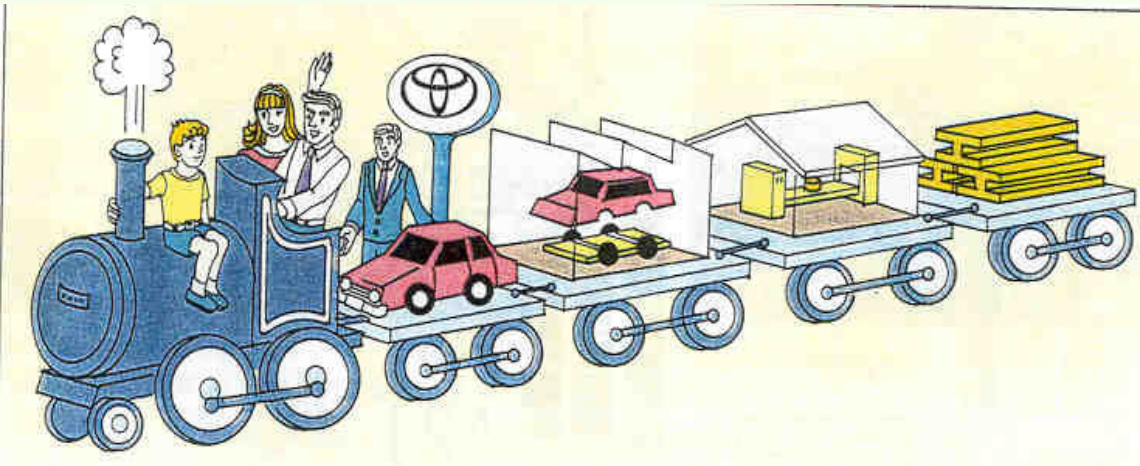
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - S.M. **simplificado e sincronizado**  $\Rightarrow$  produz o mesmo número de tudo, a cada dia, se necessário.
  - Tempos longos de setup em linhas de montagem e manufatura devem ser eliminados.
  - Na montagem final de produtos de **modelos variados**  $\Rightarrow$  importante fazer pelo menos um modelo de cada produto a cada dia  $\Rightarrow$  trabalhadores na produção não se esquecem como fazer isto corretamente.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

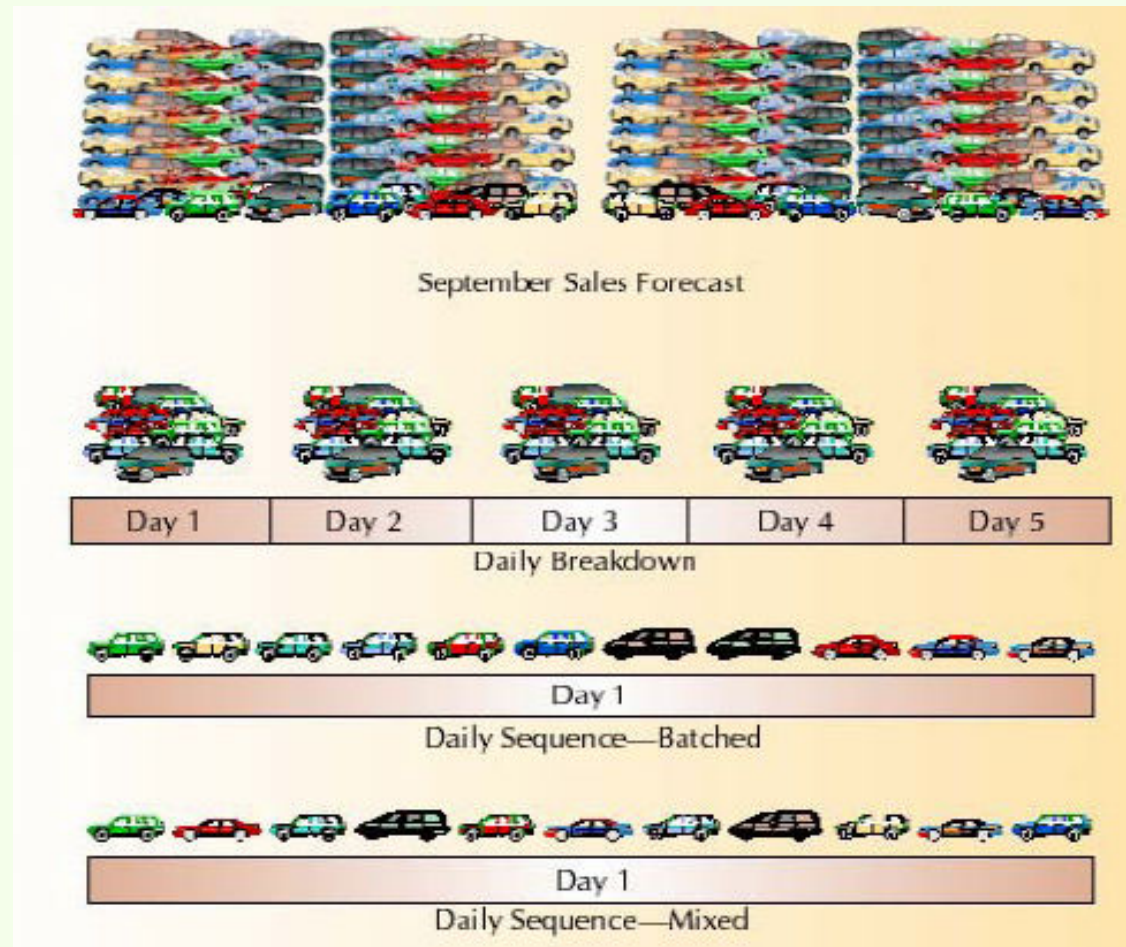
*O que o cliente quer,  
Na hora que o cliente quer,  
Na quantidade que o cliente quer.*



**PRODUÇÃO  
PUXADA**

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

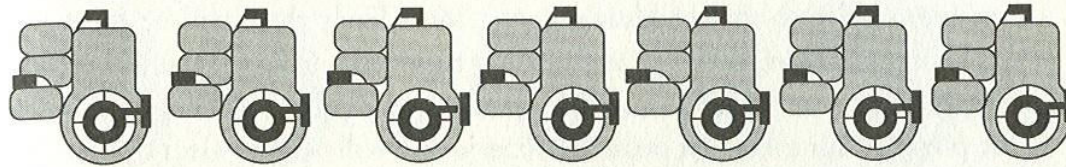


*Produção de Modelos Variados*

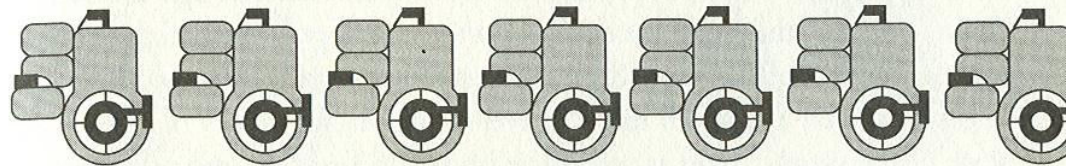


• 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

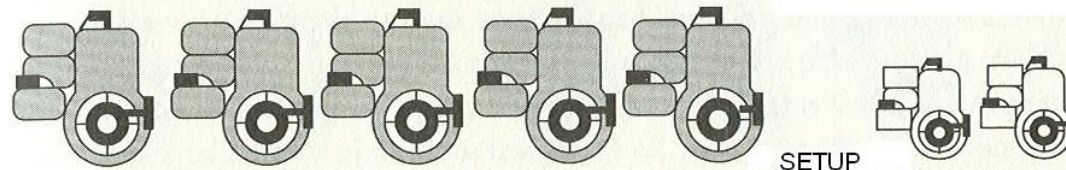
Produção 2a-feira



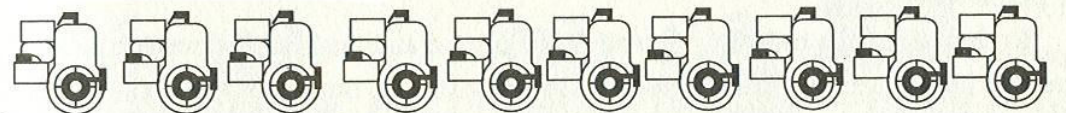
Produção 3a-feira



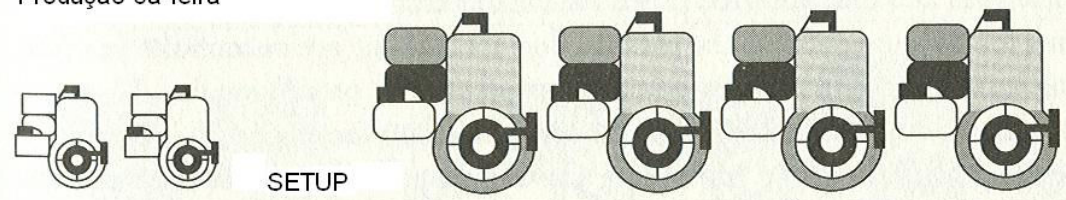
Produção 4a-feira



Produção 5a-feira



Produção 6a-feira



*Produção tradicional (não nivelada)*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - Linha que produz 3 tamanhos de motores:
    - Pequenos,
    - Médios (maiores vendas),
    - Grandes (menor demanda).

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 problemas com esta agenda desnivelada:*
    1. Clientes não compram produtos de maneira predizível: p.ex. o cliente poderia decidir comprar uma quantidade bastante elevada de motores grandes no princípio da semana.
  - Solução para este problema? Bastante estoque de todos os motores.



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 problemas com esta agenda desnivelada:*
    2. Risco de produtos não serem vendidos: Se os motores médios não forem vendidos, eles devem ser guardados em estoque.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 problemas com esta agenda desnivelada:*
    3. Uso não balanceado de recursos:  
Provavelmente há diferentes exigências de mão-de-obra para cada um destes motores → média no começo da semana; pouco no meio, e muito no fim → desequilíbrio + pressão sobre os trabalhadores.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

- *4 problemas com esta agenda desnivelada:*

4. Demanda não balanceada nos fornecedores



compra de diferentes peças para três tipos de motores



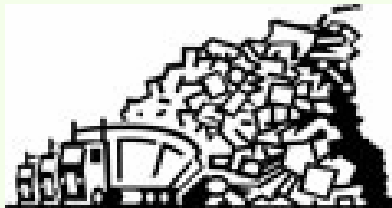
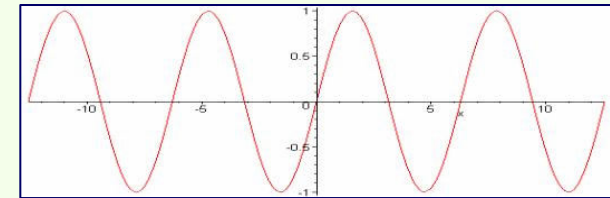
os fornecedores deverão fornecer certas peças de 2ª a 4ª-feira, e outras peças até o fim da semana

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

- *4 problemas com esta agenda desnivelada:*

4. a demanda sempre muda



fornecedor deverá estar preparado para um cenário difícil, e assim terá estoques de pelo menos 1 semana das peças para cada um dos três motores

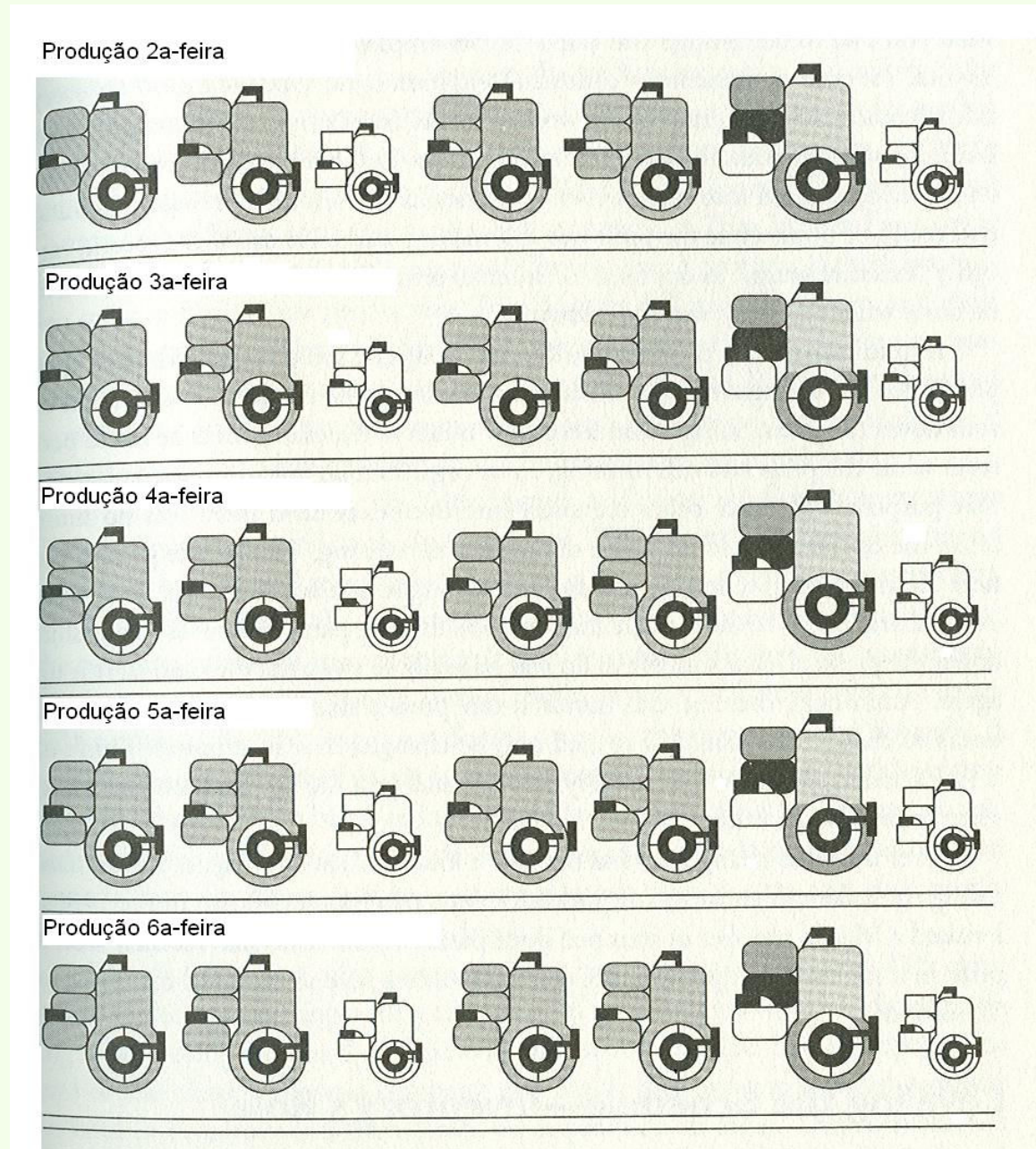


“efeito bullwhip” na cadeia de suprimento.

- **5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka**
  - Análise cuidadosa:
    - setup demorado (movimento de peças e ferramentas para o motor grande)
    - Diferentes pallets para cada motor.
  - Solução proposta para o problema:
    - Trazer uma pequena quantidade de todas as peças para o operador na linha;
    - As ferramentas necessárias para todos os motores foram montadas na linha.
    - Criou-se um pallet flexível, capaz de transportar qualquer um dos 3 motores.
    - Tempo de SETUP  $\approx 0$  → qualquer motor, em qualquer ordem



• 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*Produção nivelada  
de um mix de  
produtos*

• **5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka**

Outro exemplo de produção de um mix de produtos:

Período = 20 dias

Quantidade necessária de produtos A = 3.000

Quantidade necessária de produtos B = 1.000

Quantidade necessária de produtos C = 1.000

Tamanho de lote para o produto A = 600

Tamanho de lote para o produto B = 200

Tamanho de lote para o produto C = 200

- *Lotes divididos em dias diferentes;*
- *Alto estoque entre as estações de trabalho*
- *Cada dia é diferente.*

(a)

Programação em grandes lotes										Necessário fabricar		Tamanho de lote de							
Por um período de 20 dias										3000 de A	1000 de B	A=600	B=200						
										1000 de C	C=200								
250 A	250 A	100 A + 150 B	50 B + 200 C	250 A	250 A	100 A + 150 B	50 B + 200 C	250 A	250 A	100 A + 150 B	50 B + 200 C	250 A	250 A	100 A + 150 B	50 B + 200 C	250 A	250 A	100 A + 150 B	50 B + 200 C
		↓				↓				↓				↓				↓	
		600 A				600 A				600 A				600 A				600 A	
				↓				↓				↓				↓			
				200 B + 200 C				200 B + 200 C				200 B + 200 C				200 B + 200 C			

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Período = 20 dias

Quantidade necessária de produtos A = 3.000

Quantidade necessária de produtos B = 1.000

Quantidade necessária de produtos C = 1.000

Tamanho de lote para o produto A = 150

Tamanho de lote para o produto B = 50

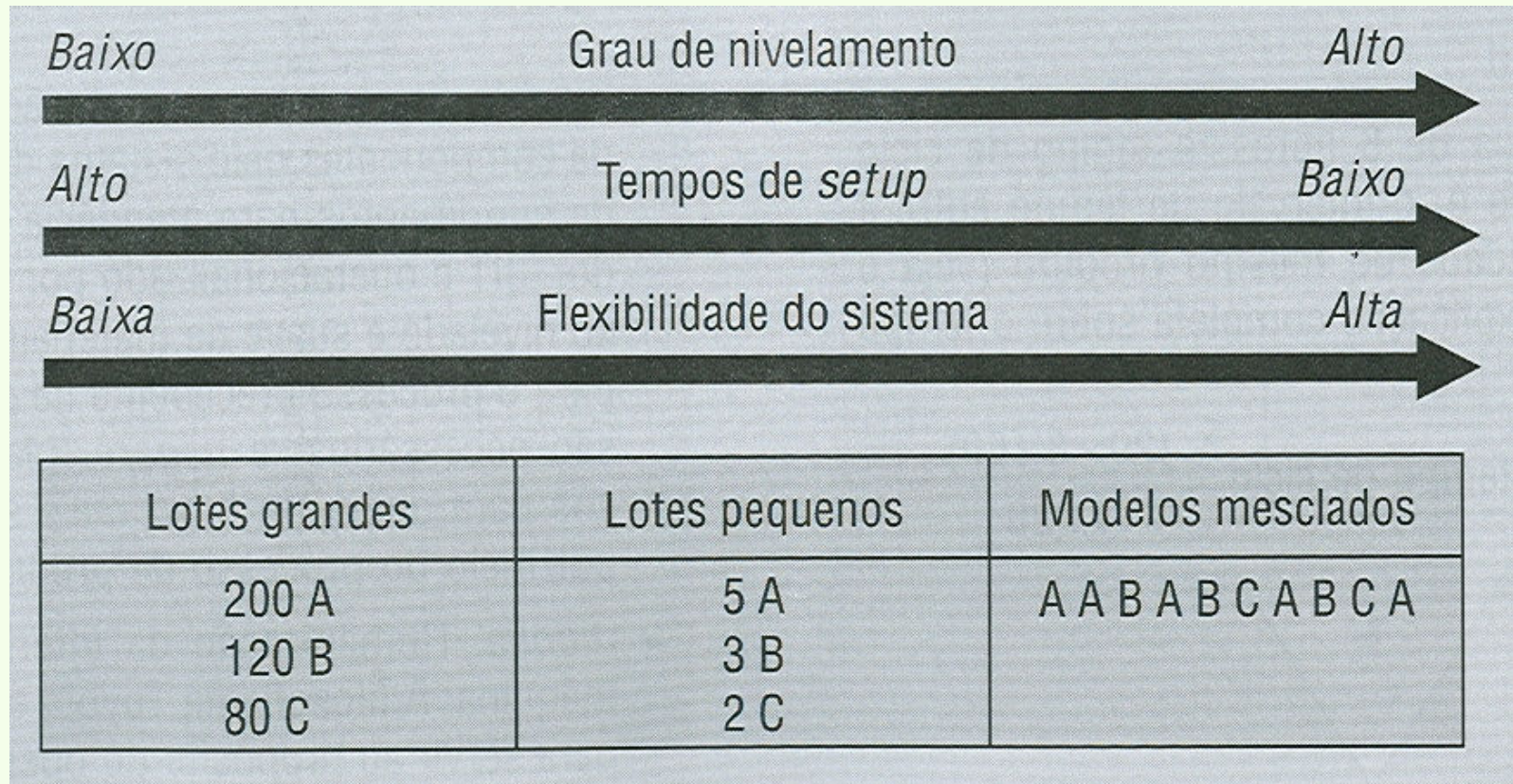
Tamanho de lote para o produto C = 50

- *Lotes podem ser completados em um único dia;*
- *Redução do nível global de estoque;*
- *Regularidade da produção;*
- *Cada dia é igual: planejamento e controle é mais fácil.*

(b)

Programação nivelada																			Reduzir o tamanho dos lotes para:			
Por um período de 20 dias																			A = 150	B = 50	C = 50	
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150			
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B			
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C			
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓																						
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150			
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B			
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C			

• 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



Exercício:

Período = 20 dias

Quantidade necessária de produtos A = 1.920

Quantidade necessária de produtos B = 1.200

Quantidade necessária de produtos C = 960

1 dia = 8 horas

Tempo do ciclo para o produto A =  $\frac{(20 \times 8 \times 60)}{1.920} = 5$  minutos

Tempo do ciclo para o produto B =  $\frac{(20 \times 8 \times 60)}{1.200} = 8$  minutos

Tempo do ciclo para o produto C =  $\frac{(20 \times 8 \times 60)}{960} = 10$  minutos

M.M.C. entre 5, 8 e 10 = 40 minutos → 8 de A a cada 40 minutos

5 de B a cada 40 minutos

4 de C a cada 40 minutos

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 benefícios:*
    1. Flexibilidade para fazer o que o cliente quiser quando ele quiser → redução de estoque e seus problemas associados.
    2. Risco menor de não vender produtos → será feito apenas o que o cliente quiser.



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 benefícios:*
    3. Uso equilibrado de mão-de-obra e máquinas: nivelamento e mão-de-obra padronizada levando em conta que alguns motores vão necessitar de menos trabalho, e outros mais trabalho → não há dois motores grandes em seqüência → quantidade de mão-de-obra gerenciável.

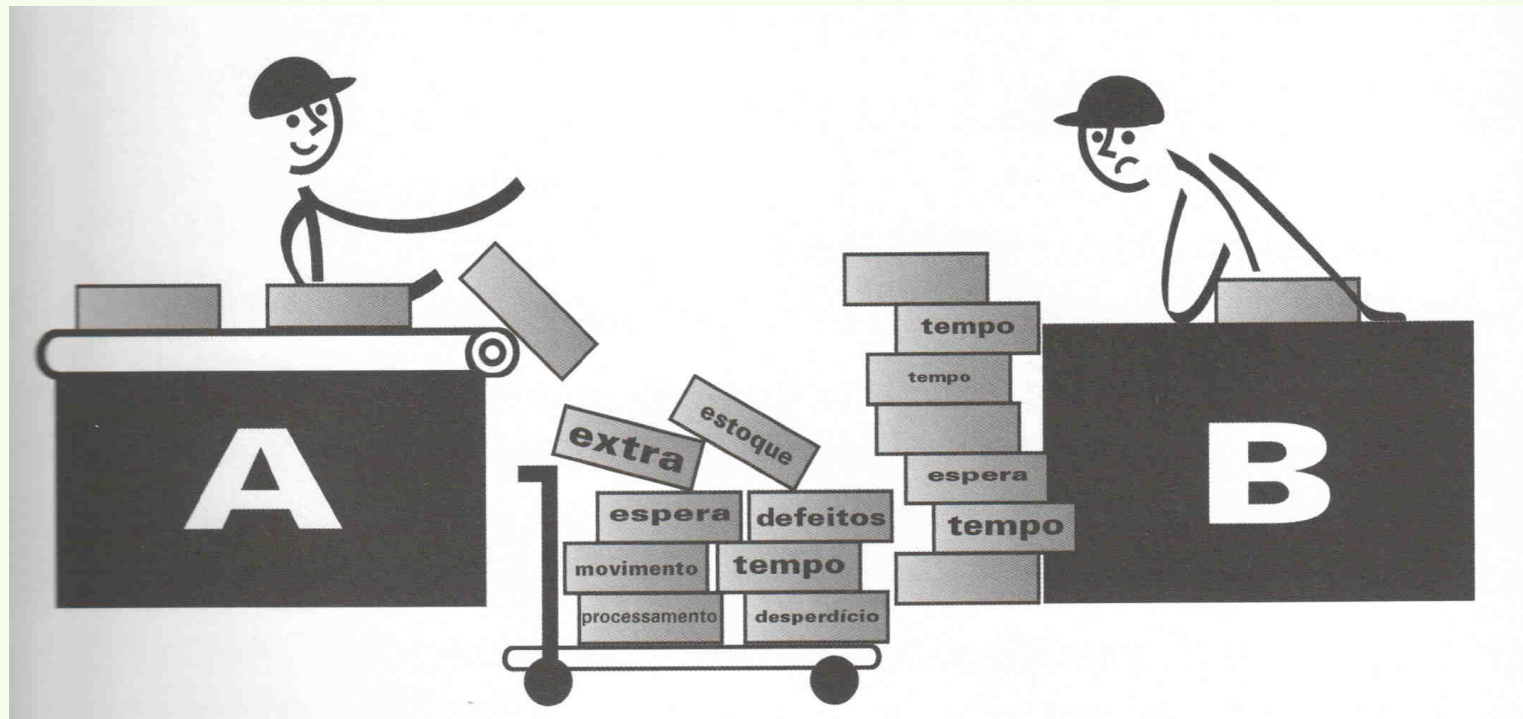
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - *4 benefícios:*
    4. Demanda suavizada junto aos fornecedores, e aos processos anteriores → ordens estáveis → redução de estoque (e custos) → redução de preço ao cliente



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

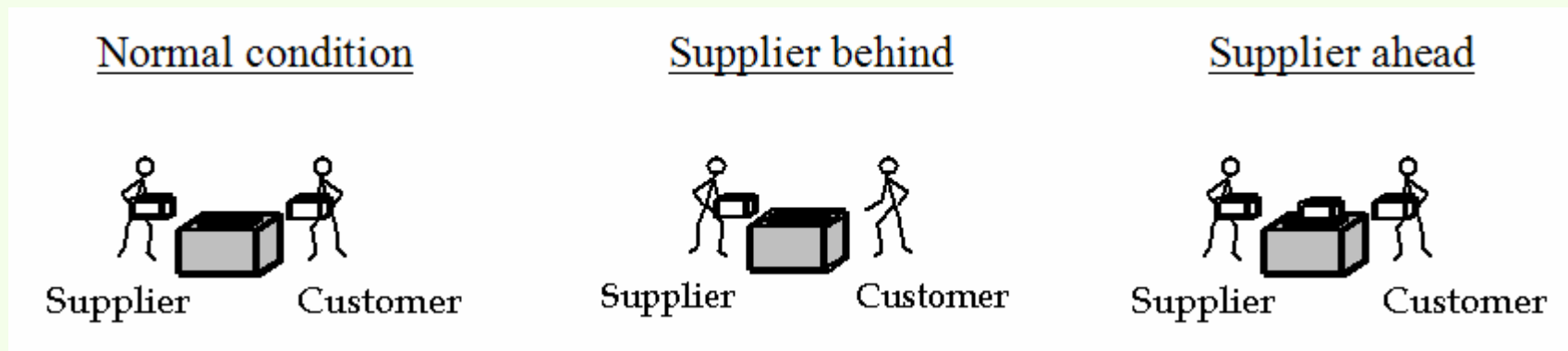
- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*Fluxo de Materiais entre dois colaboradores adjacentes*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

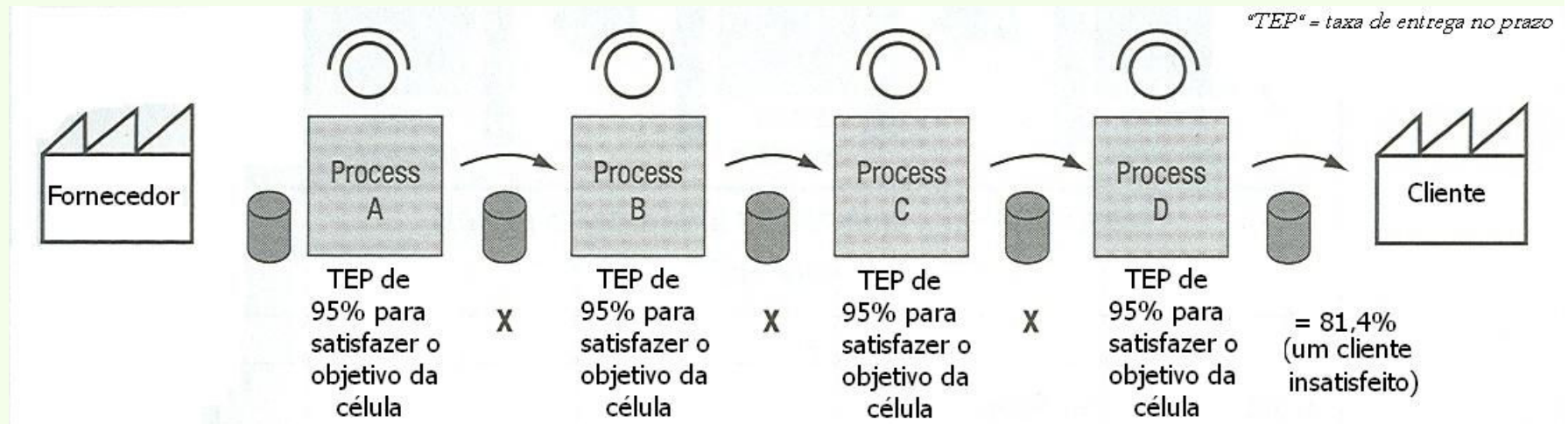


*Fluxo de Materiais entre dois colaboradores adjacentes:*

*Demanda e Resposta “Binárias”*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

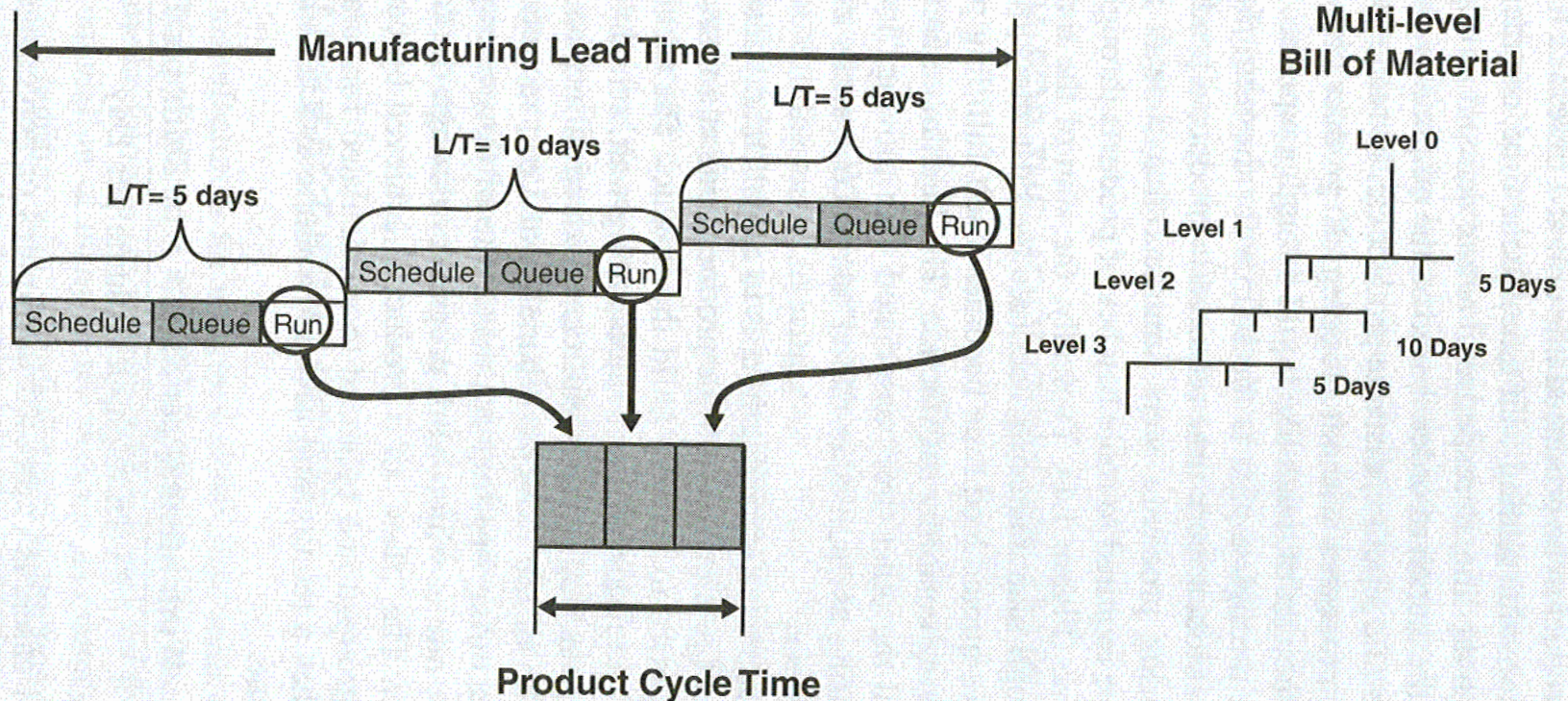
## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*Um sistema baseado em fluxo pode acumular problemas a menos que ele seja melhorado*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*Espera + Fila + Processamento*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka
  - Tempo Takt  $\Rightarrow$  frequência em que o produto deve ser produzido, sincronizando o ritmo de produção com a demanda do cliente
  - Takt (*ritmo* ou *batida*) = Taxa em que a peça/produto se move na fábrica  $\Rightarrow$  Todas as tarefas devem ser agrupadas e balanceadas de acordo com o “*Tempo Takt*”

$$\text{Takt} = \frac{\text{Horas Programadas}}{\text{Demanda}}$$

$$\text{Takt} = \frac{\text{Minutos de trabalho por turno} \times \text{No. de turnos por dia}}{\text{Volume de Produção por dia}}$$

Takt  $\Rightarrow$  Normalmente expresso em segundos por peça.

Independente do tempo total necessário para produzir um produto, o seu tempo total é dividido em elementos de trabalho iguais ao *Tempo Takt*  $\Rightarrow$  uma unidade de trabalho é efetuada por uma pessoa ou máquina.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

*Exemplo:*

- *Horas por turno = 8*
- *Minutos de parada entre turnos = 20*
- *Turnos por dia = 2*
- *Dias por mês = 20*
- *Demanda do cliente = 18.400/mês*

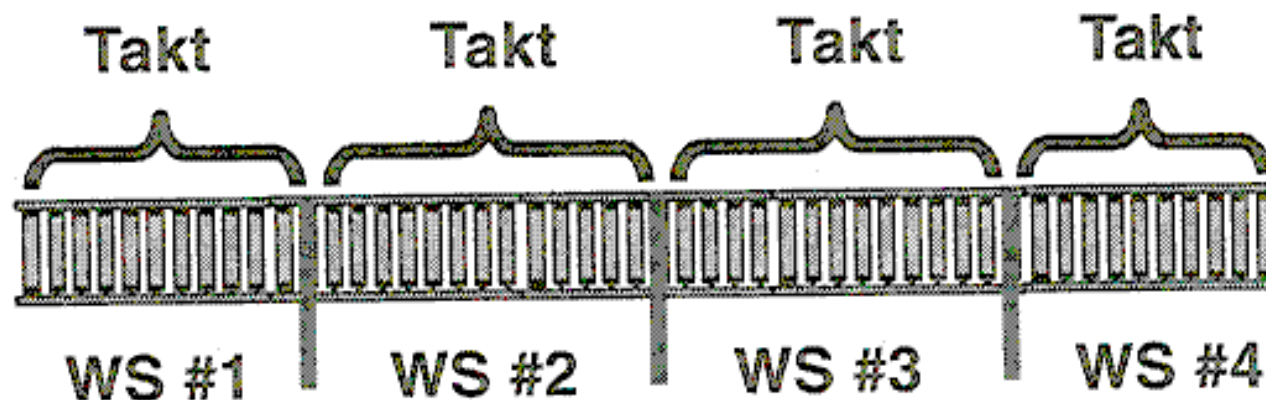
*Tempo Takt = 60 segundos por peça*

*isto é, Tempo Takt =  $(8 \times 2 \times 60 - 2 \times 20) \times 20$*

*18.400*

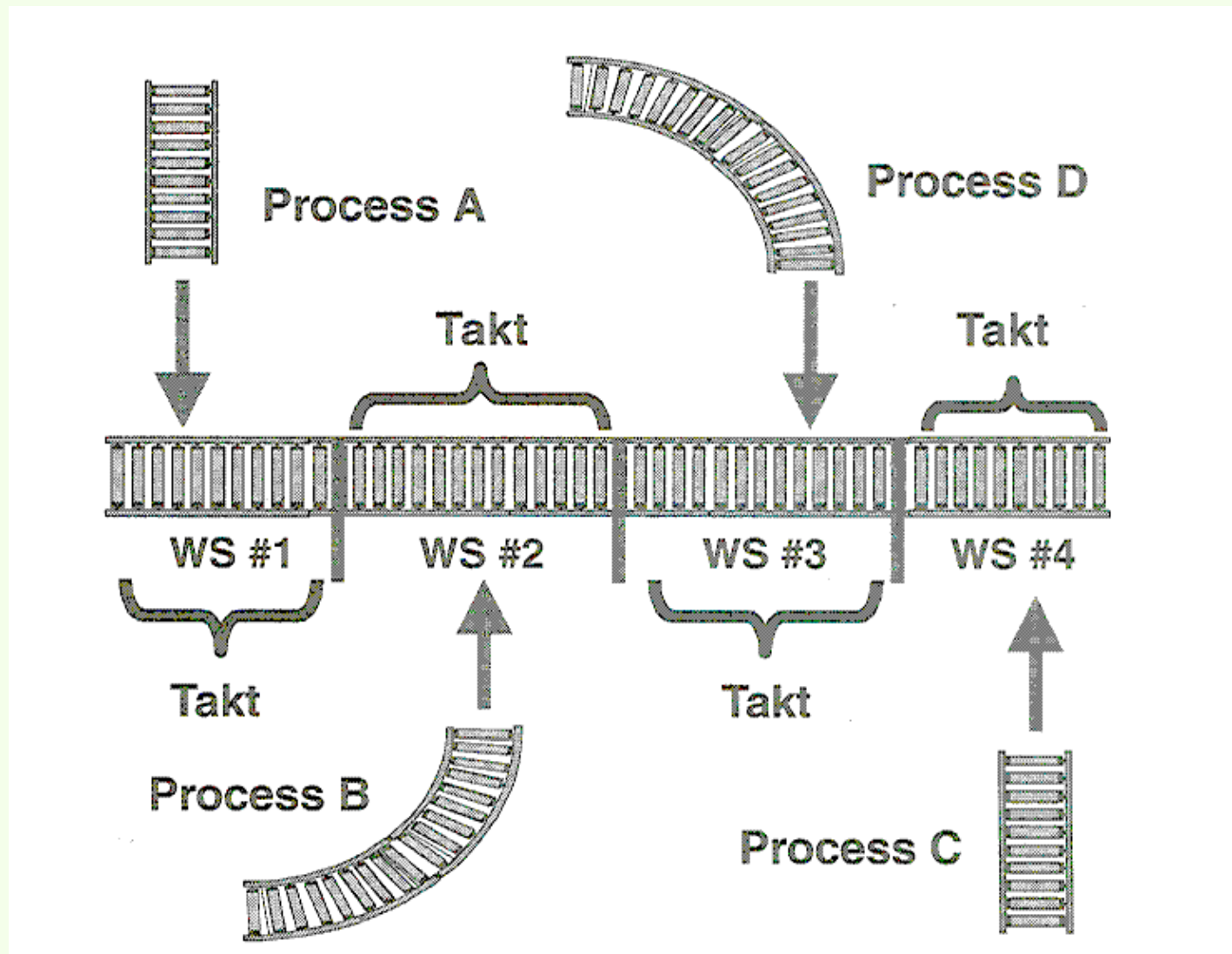
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

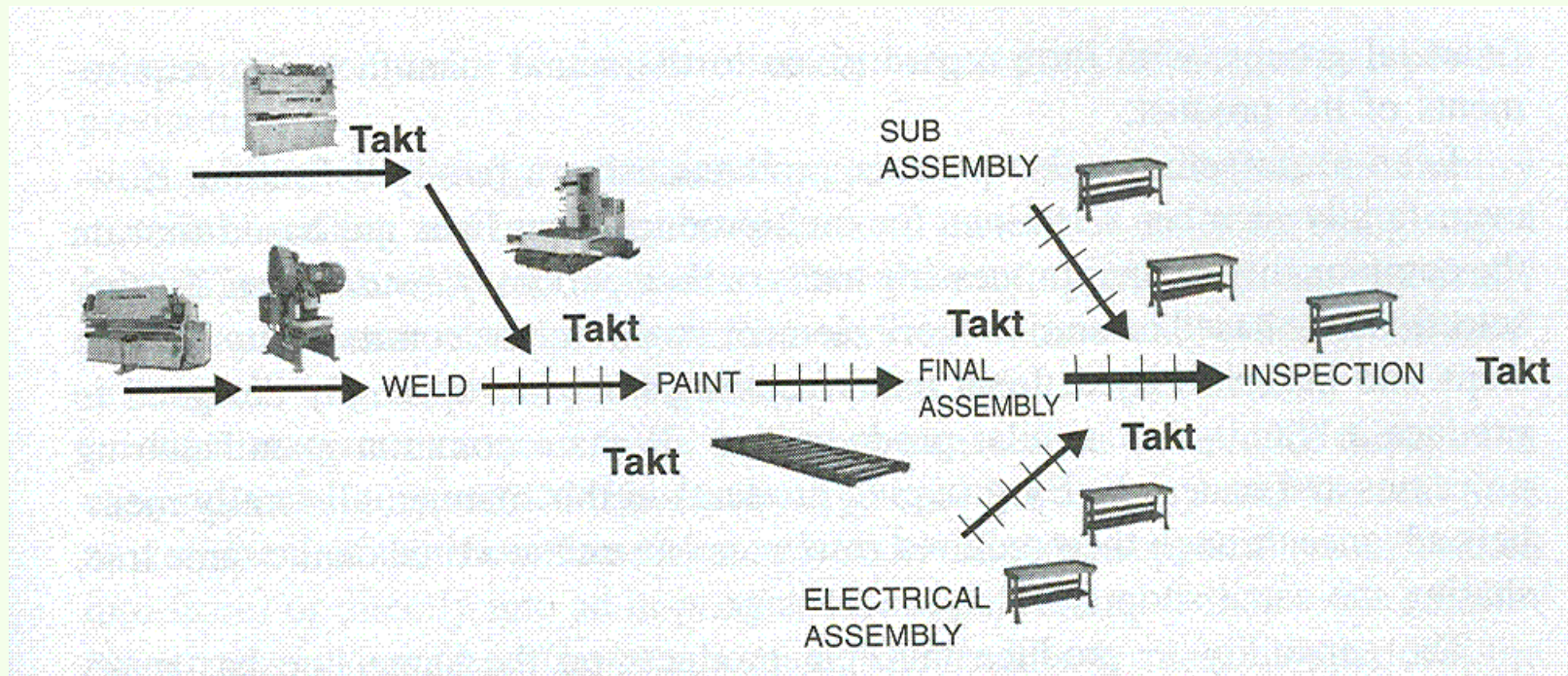
## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka





# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

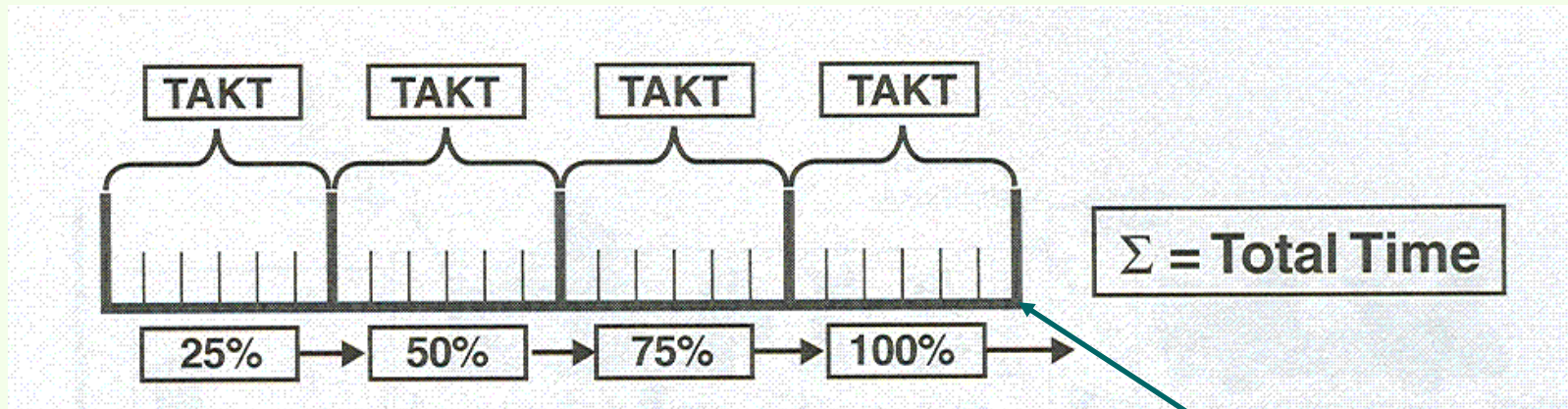
## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



- *O arranjo físico dos recursos é importante para que as tarefas possam ser distribuídas, acumuladas e balanceadas de maneira equilibrada.*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

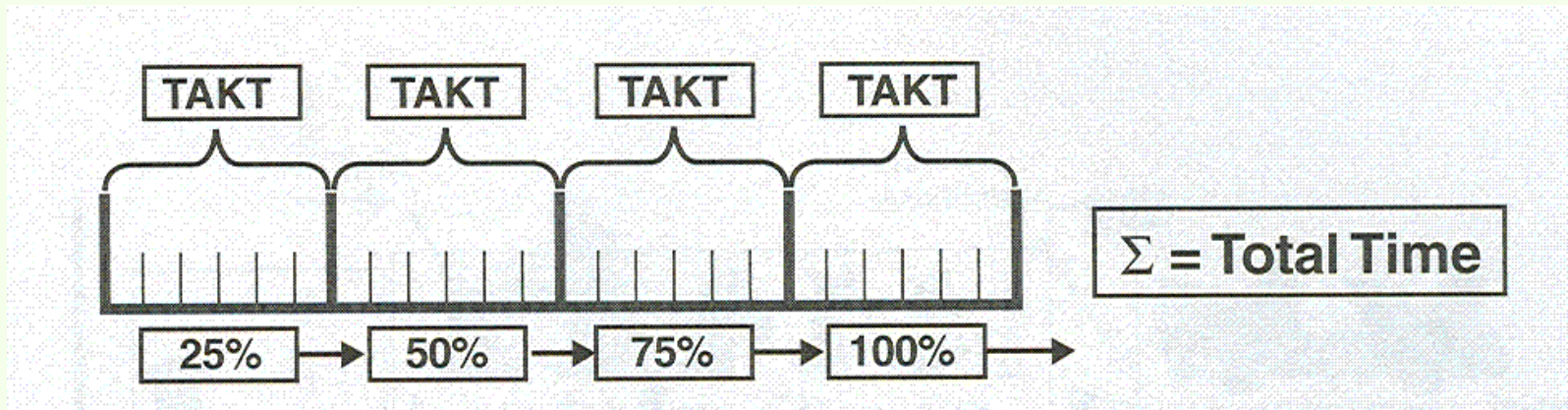


*Trabalho completado!*

*Pode-se regular a produtividade da linha (baseada em cada dia), em função da demanda*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



- 4 operadores  $\Rightarrow$  produtividade usada na fórmula do Takt é alcançada!
- 3 operadores  $\Rightarrow$   $\frac{3}{4}$  da produtividade  $\Rightarrow$  1 operador teria que completar 2 Tempos Takt para alcançar 1 produto  $\Rightarrow$  Cada  $\frac{1}{4}$  Takt estaria sendo perdido!!!  $\Rightarrow$  Flexibilidade para a linha  $\Rightarrow$  INDEPENDENTE DA PREVISÃO! (Quantidades Verdadeiras!)

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

$$\text{Quantidade de Operadores} = \frac{\text{Soma do Tempo do Ciclo manual}}{\text{Tempo Takt}}$$

Exemplo:

$$\text{Quantidade de Operadores} = 1.293 \text{ pessoas-segundo} / 345 \text{ segundos}$$

$$\text{Quantidade de Operadores} = 3,74 \text{ pessoas}$$



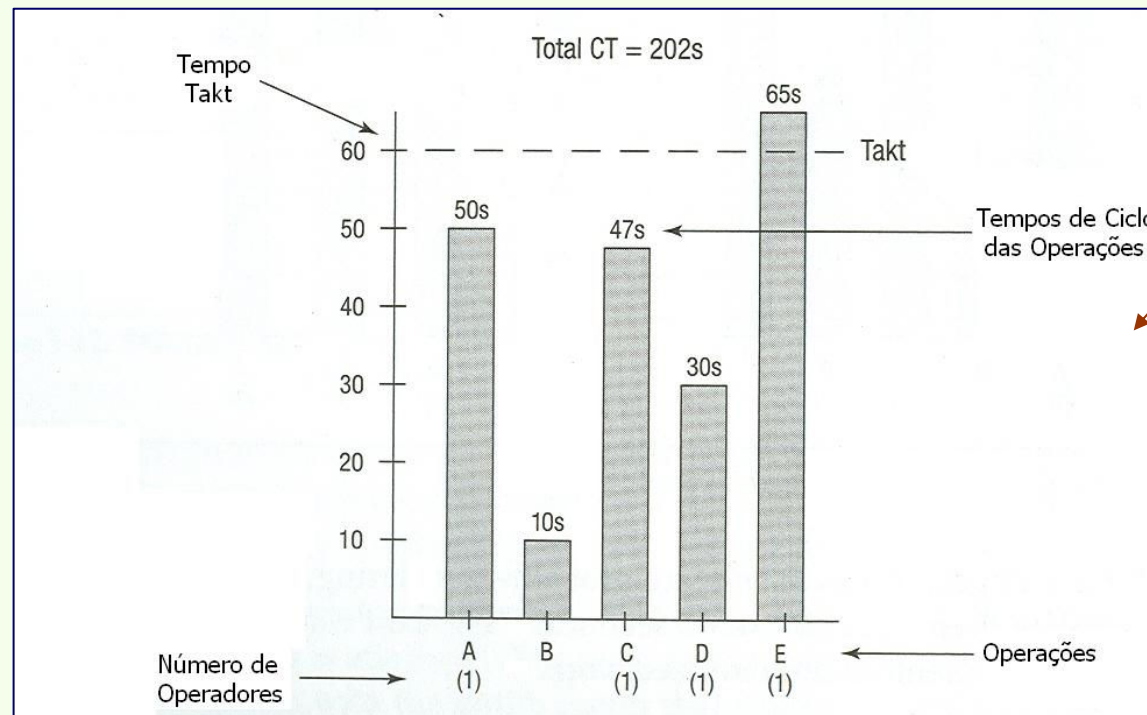
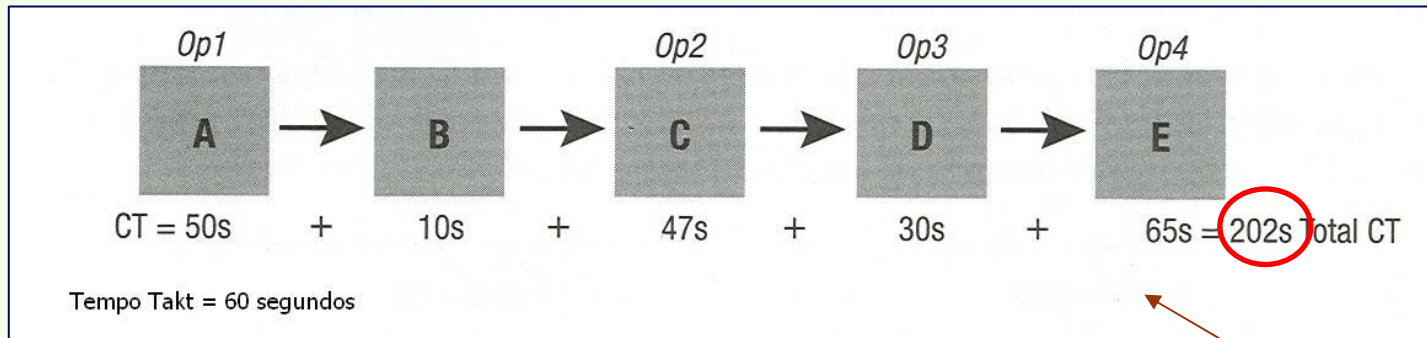
4 ou 3  
operadores?

4  $\Rightarrow$  incapaz de satisfazer a demanda com 3

3  $\Rightarrow$  kaizen  $\Rightarrow$  oportunidades para redução  
do tempo de ciclo

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

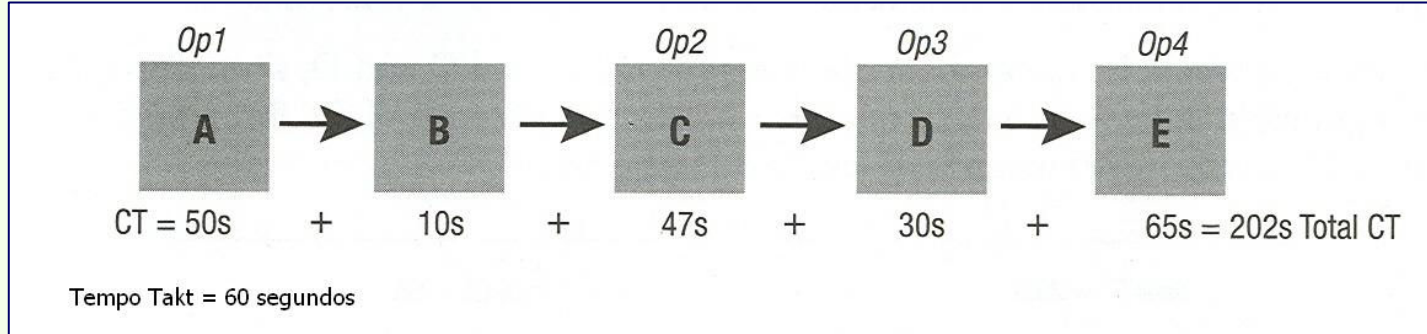


4 operadores

Gráfico de balanceamento de operadores – situação atual

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



$$\text{Número de operadores necessários} = \frac{202 \text{ (tempo do ciclo total)}}{60 \text{ (tempo takt)}} = 3,36$$

Não há demanda suficiente para manter 4 operadores ocupados, mas no momento há mais trabalho do que 3 operadores podem efetuar

*Oportunidade para projetar uma situação futura melhor*

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Se buscar-se eliminar desperdício no processo de maneira a ter-se 3 operadores, reduz-se o custo de mão de obra direta, podendo-se assim realocar o quarto operador.

Arredondamento para baixo ( $0,36 < \mathbf{0,5}$ ) → meta realista!

No processo melhorado, os 3 operadores restantes devem efetuar suas operações em 60 segundos (tempo takt), de maneira que o tempo do ciclo seja menor ou igual a 180 segundos.

Uma solução seria combinar as operações A e B, C e D, simplificando as novas operações combinadas de maneira que 1 pessoa possa executar cada um dos 3 subprocessos (i.e. A-B, C-D, E) em 60 segundos ou menos

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

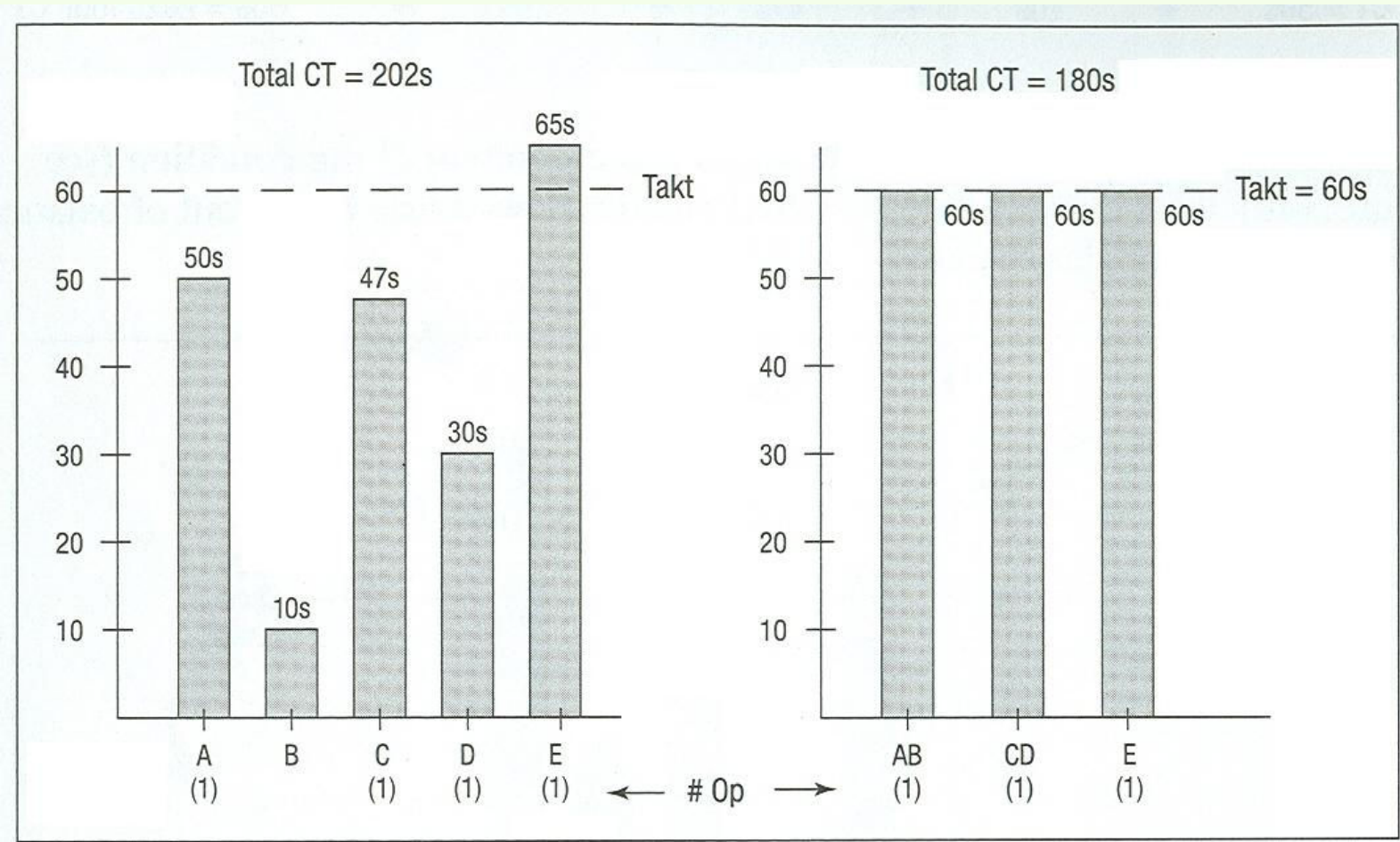


Gráfico de balanceamento de operadores – situação atual + proposta



- 5° Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Operator Balance Wall: Manifold Assembly Cell

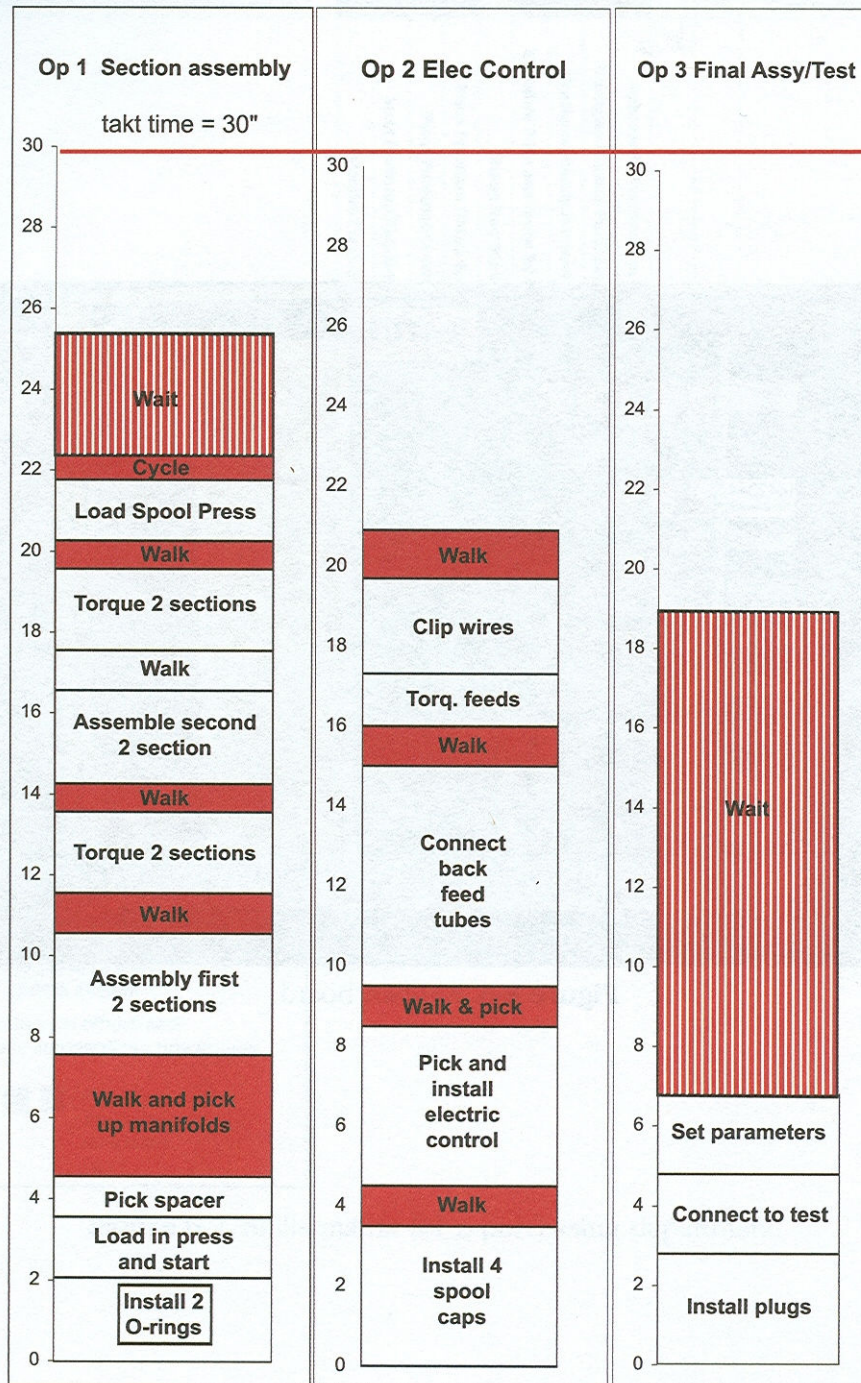
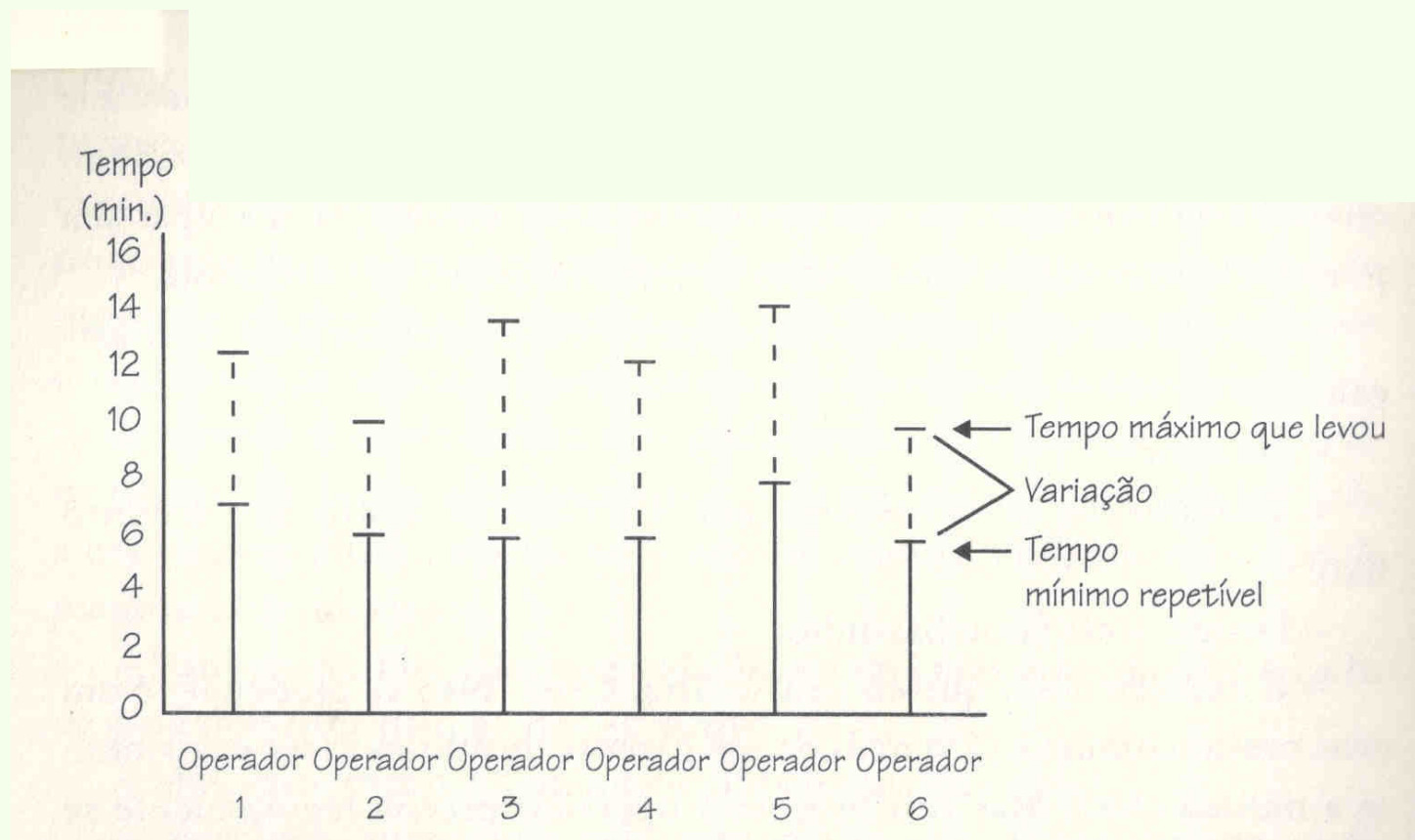


Gráfico de balanceamento de operadores

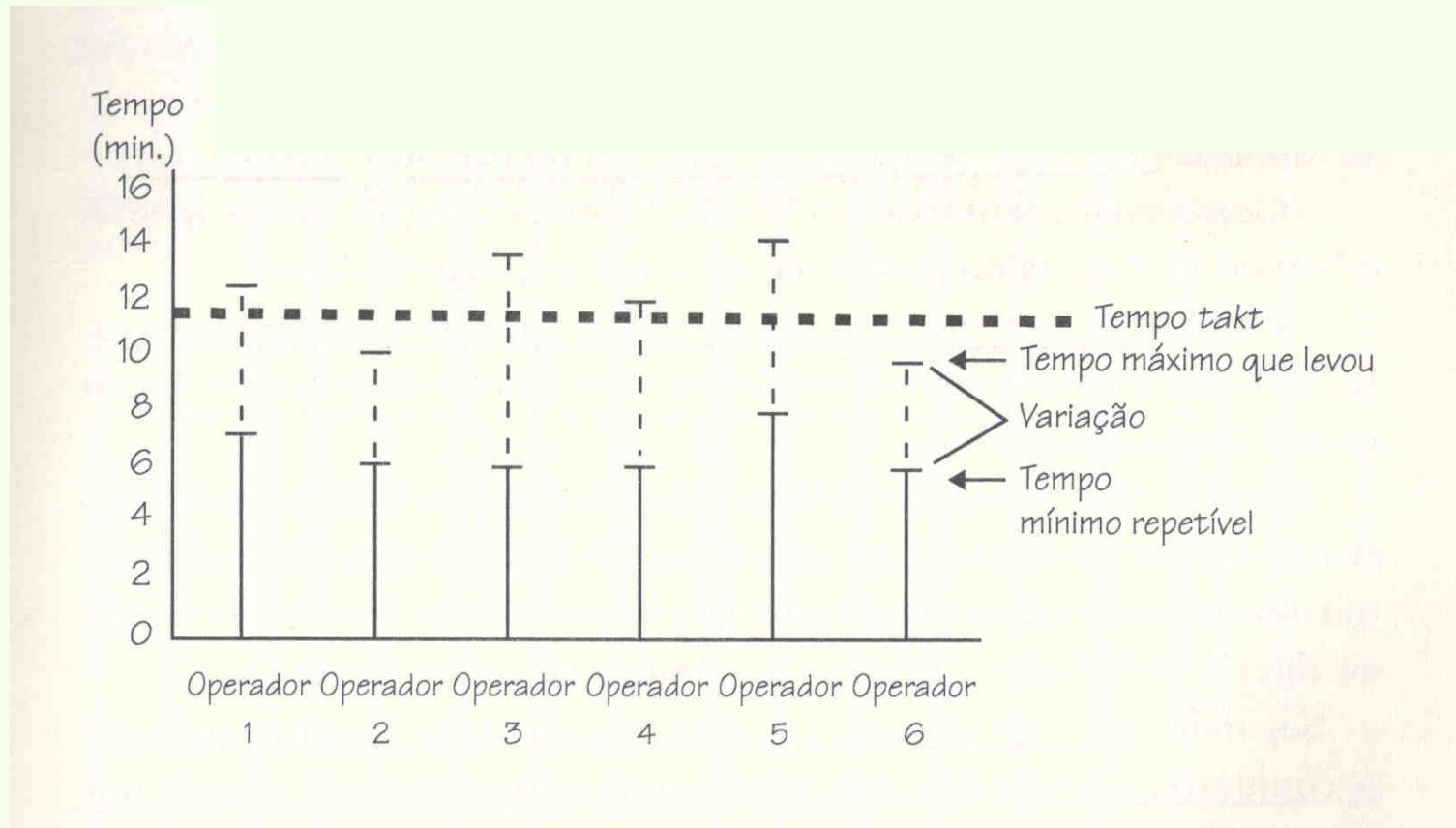
- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*G.B.O. – Variação nos tempos de ciclo*

*Fonte: F. Ballé e M. Ballé, “A Mina de Ouro”, Lean Institute Brasil, 2005*

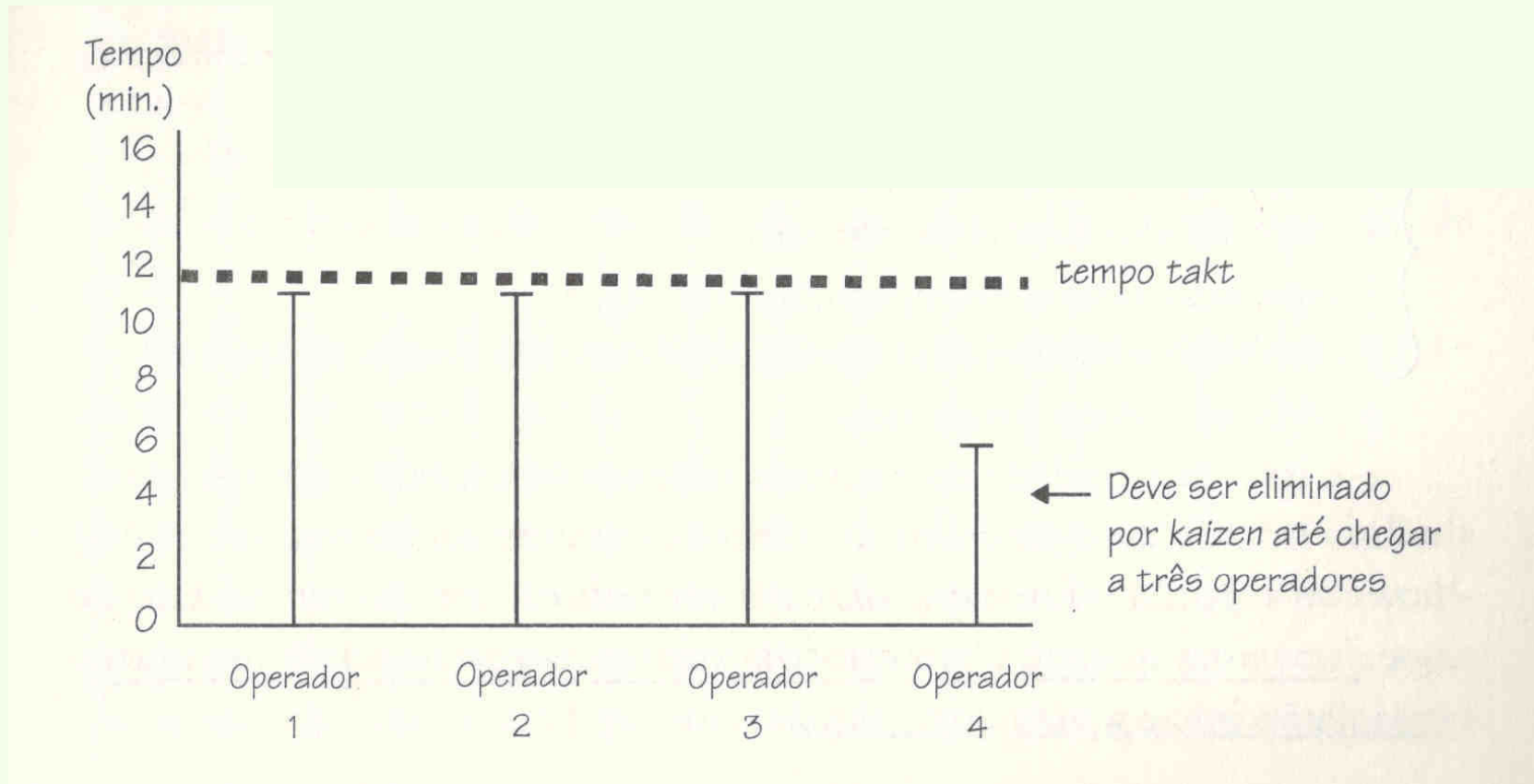
- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*G.B.O. – Incluindo tempo takt*

*Fonte: F. Ballé e M. Ballé, “A Mina de Ouro”, Lean Institute Brasil, 2005*

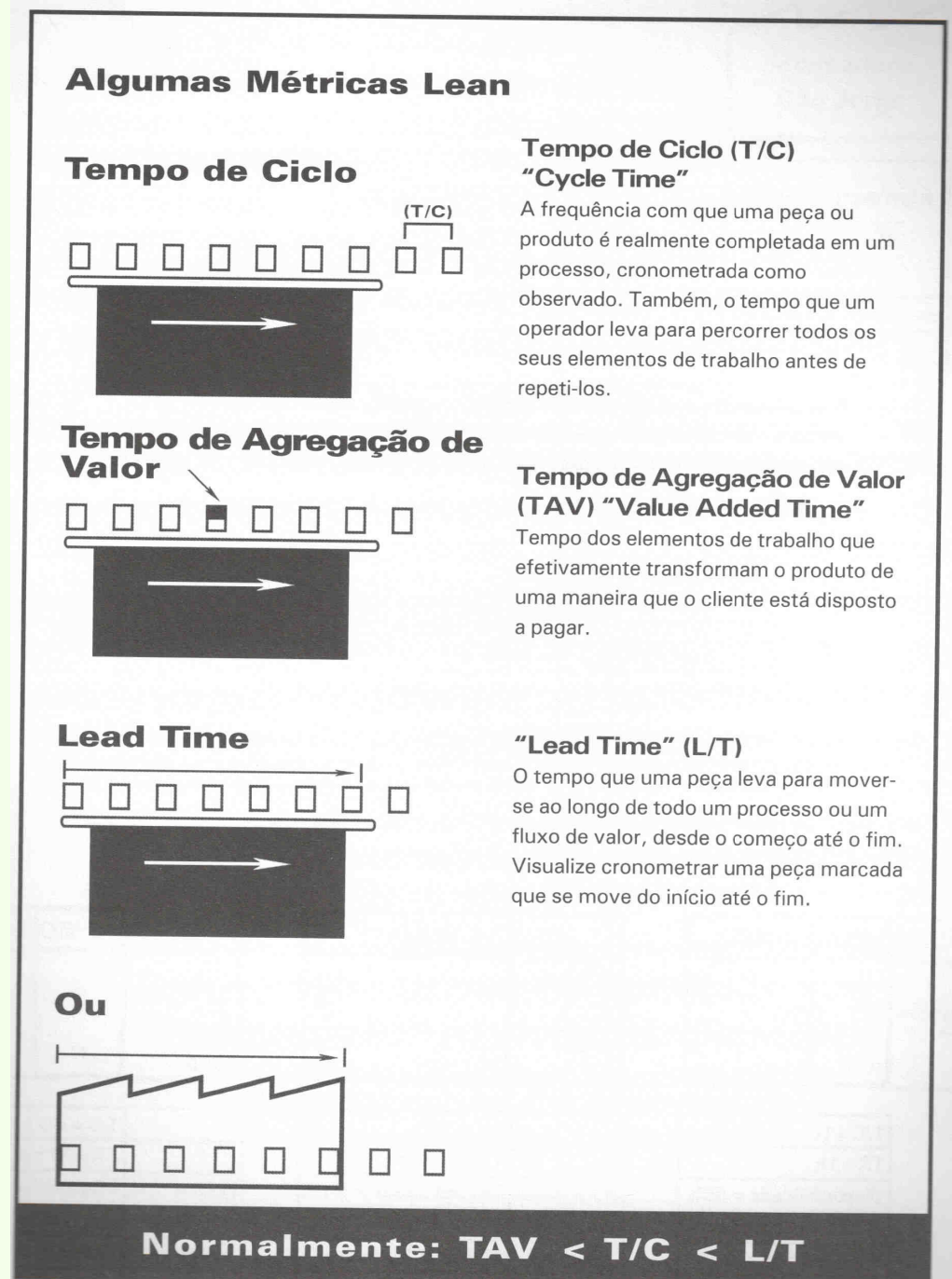
- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*G.B.O. – Trabalho balanceado segundo o tempo takt*

*Fonte: F. Ballé e M. Ballé, "A Mina de Ouro", Lean Institute Brasil, 2005*

- 5º Passo:  
Nivelar e  
Balancear a  
Montagem  
Final -  
Heijunka



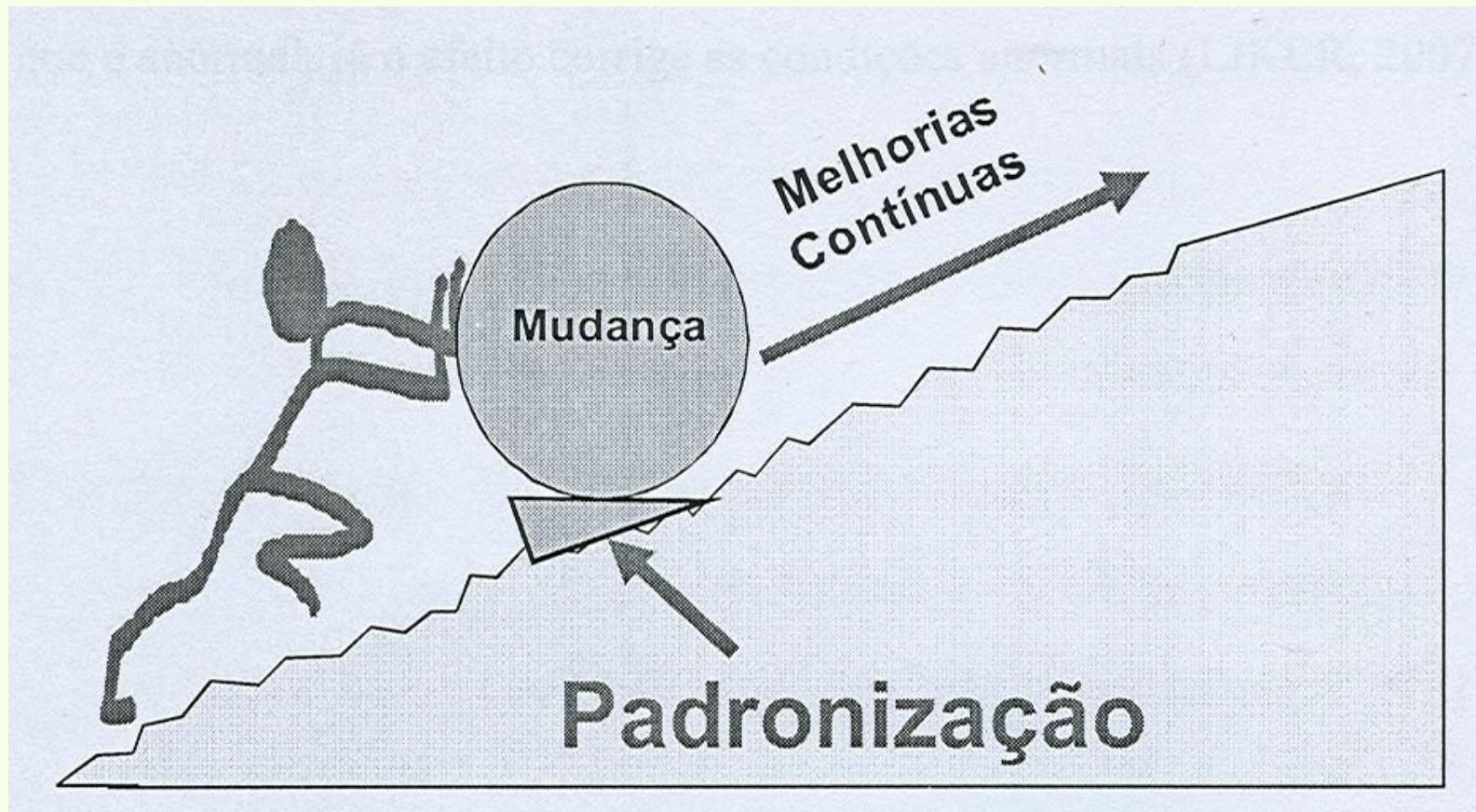
*Tempo de  
Ciclo;*

*Tempo de  
Agregação  
de Valor;*

*Lead Time*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



*Importância da padronização*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

**Standard Work Sheet**

Scope of operations	From:	Date prepared or revised:
	To:	

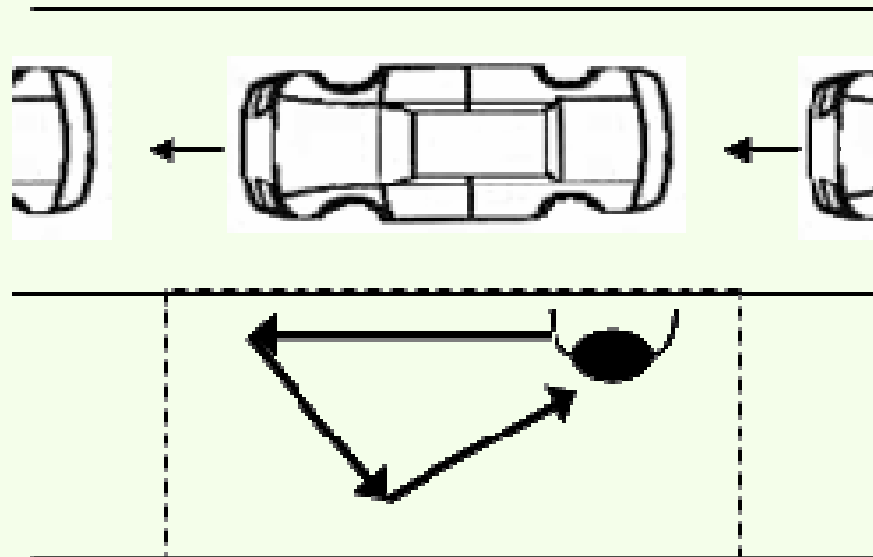
  
  

Quality check	Safety precaution	Standard t work-in-process	# of pieces of std. WIP	TAKT time	Net time	Operator number
◆	+	●	3	30"	30"	1-1



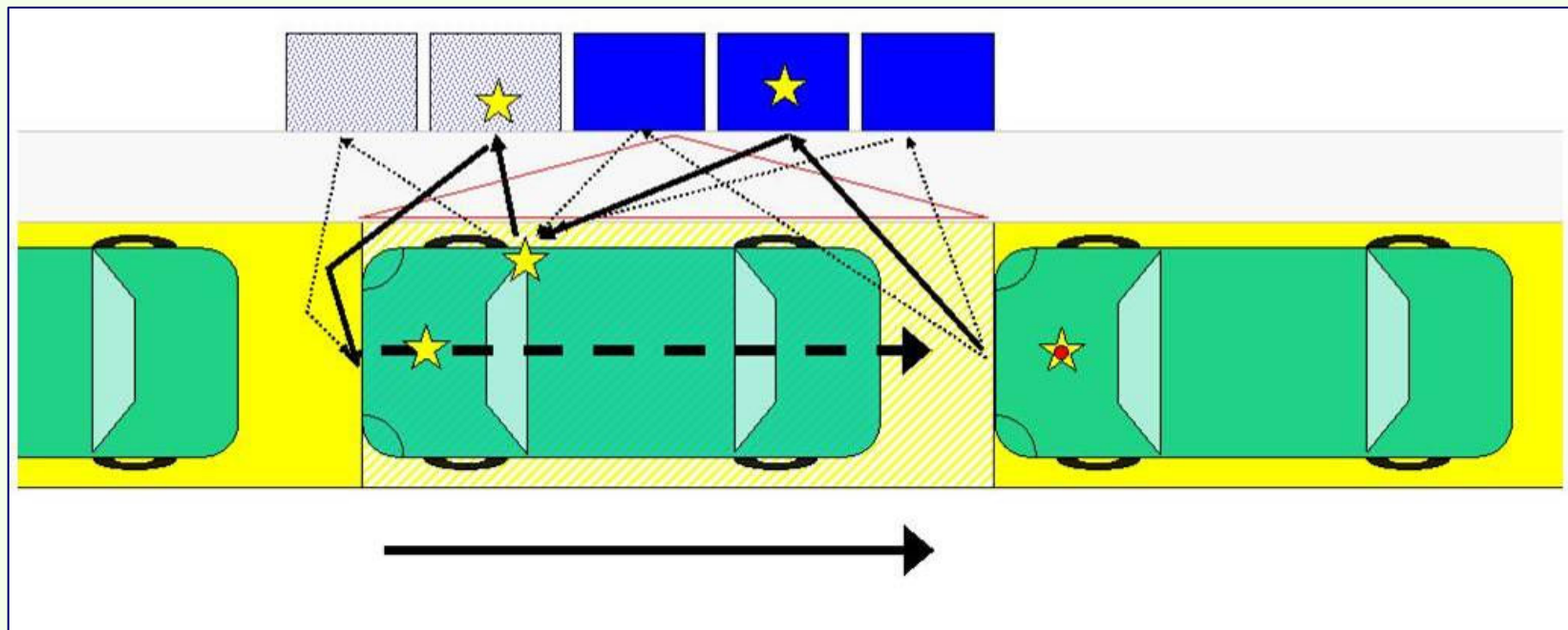


## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



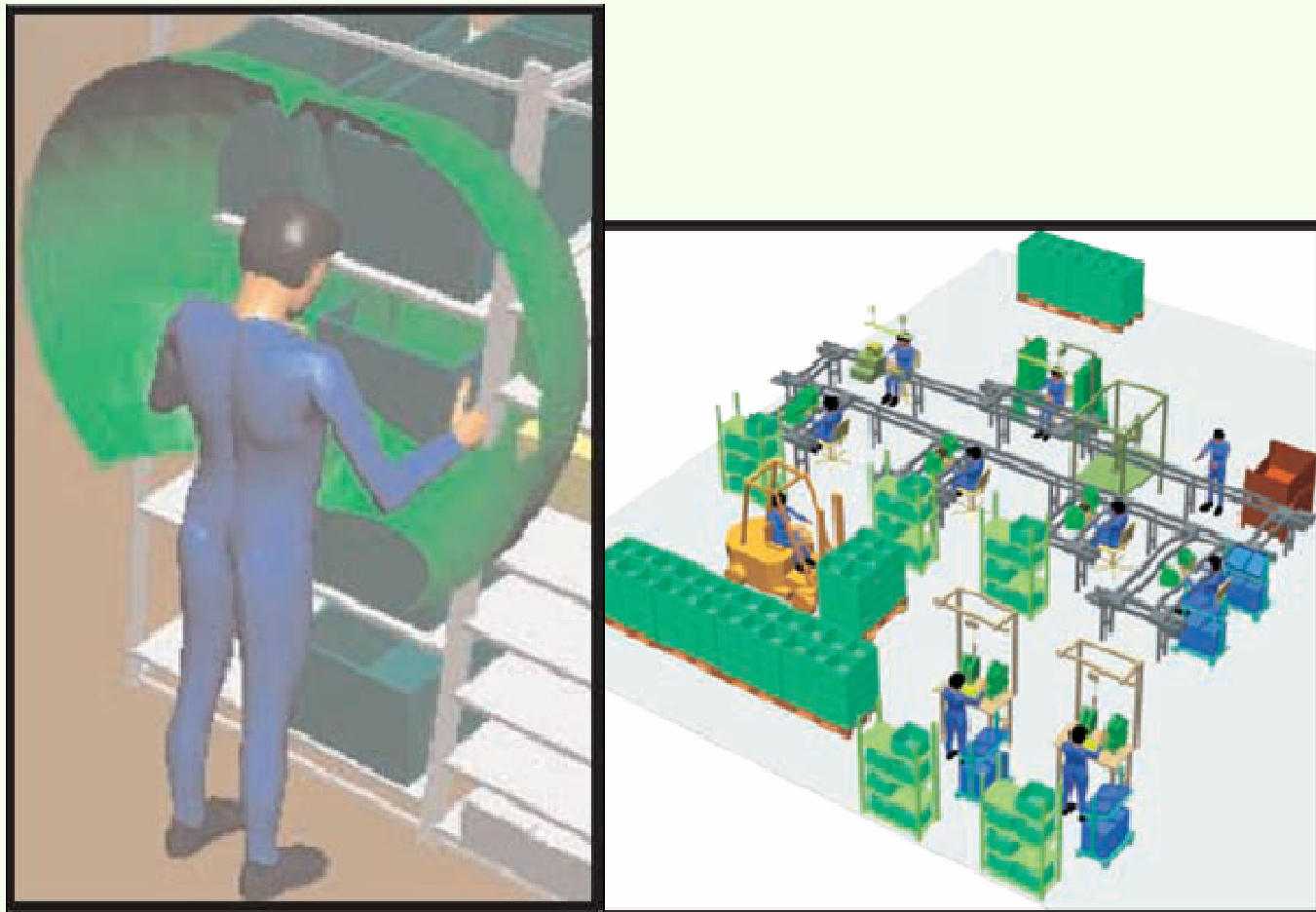
- Movimentação em triângulo → padronização da movimentação dos operadores de forma a reduzir o “vai-e-vem” para apanhar peças e ferramentas
- Movimentação do operador deve consistir em:
  1. mover-se do início do tacto até o final do *takt* para realizar os processos produtivos no veículo,
  2. mover-se do final do *takt* até a bancada / prateleira para apanhar peças e ferramentas necessárias
  3. mover-se da bancada / prateleira de volta ao início do *takt*.

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



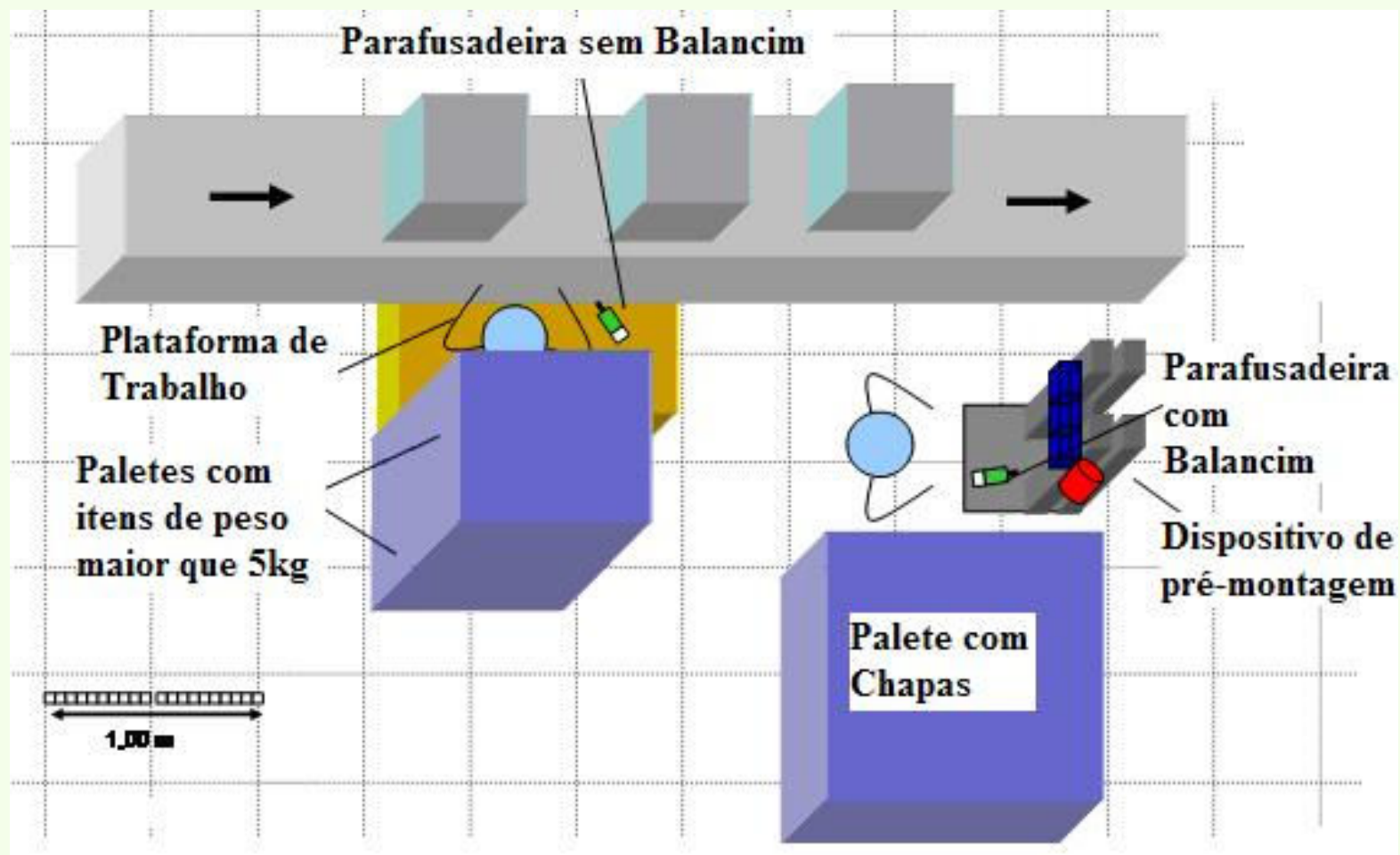
*Exemplo de esquema de um processo*

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



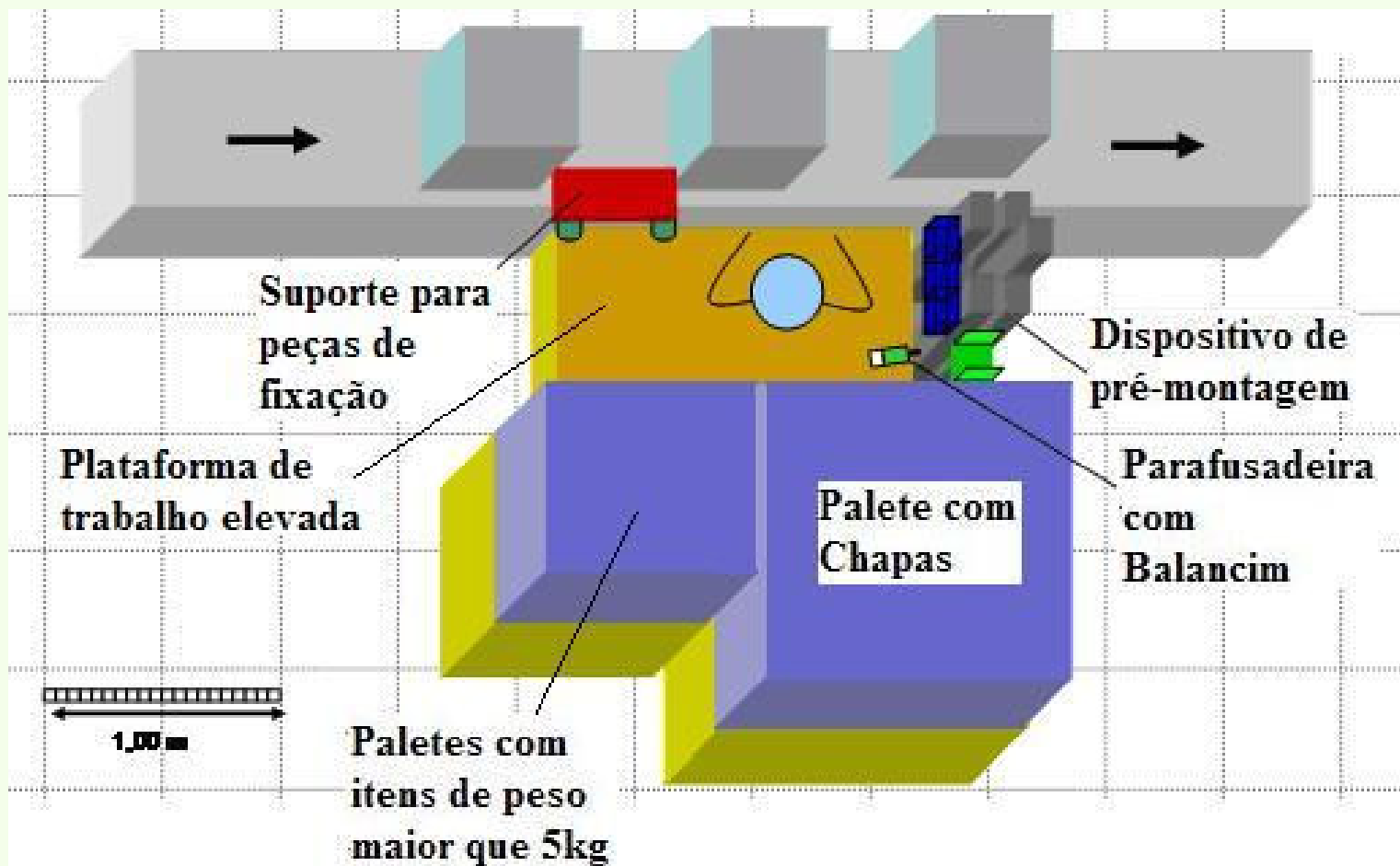
*Janela de um dos softwares desenvolvidos  
pela empresa Delmia*

• 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka







*Exemplo esquemático de melhoria de postos de trabalho. Situação inicial*

• 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

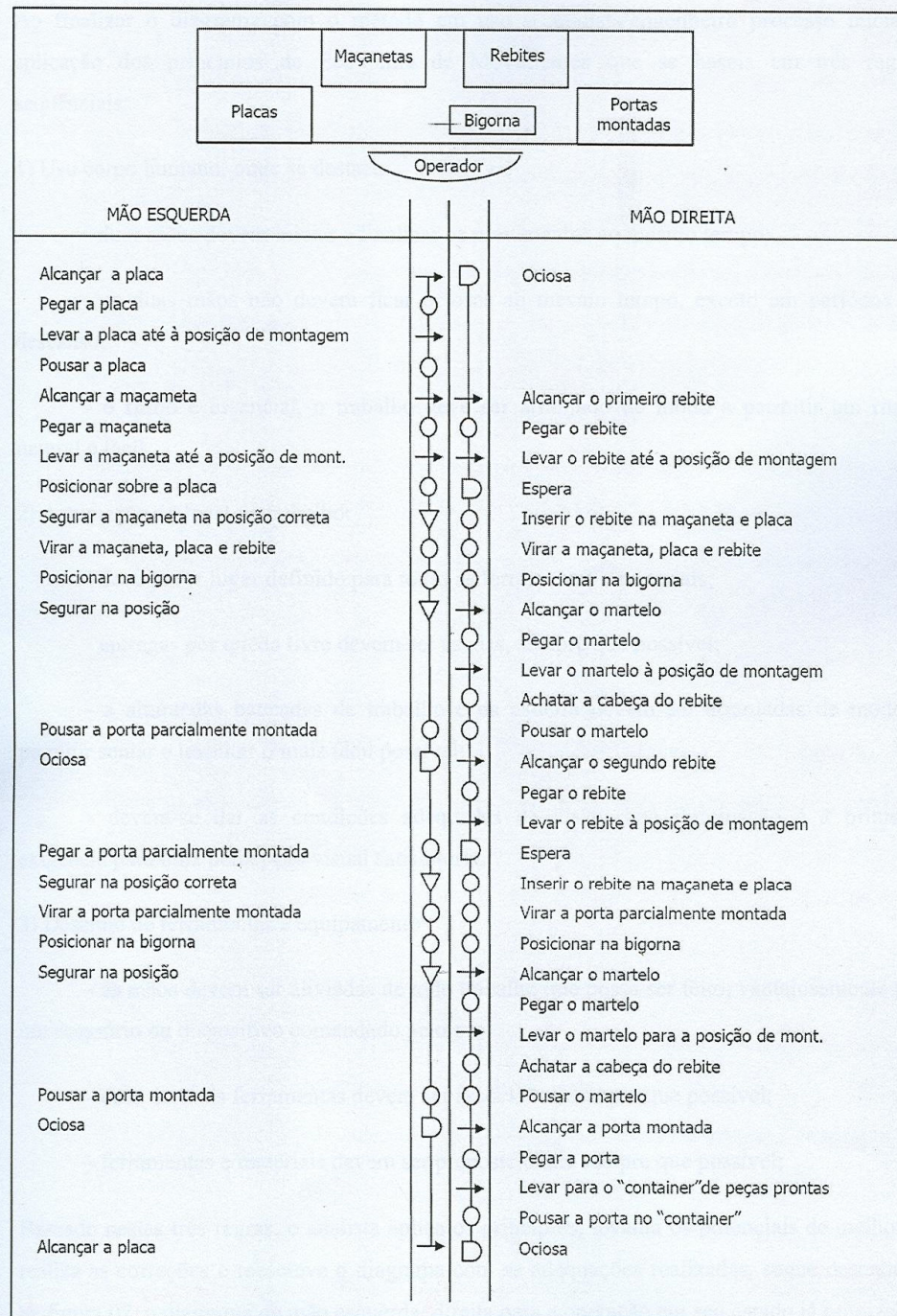


*Exemplo esquemático de melhoria de postos de trabalho. Após melhorias*

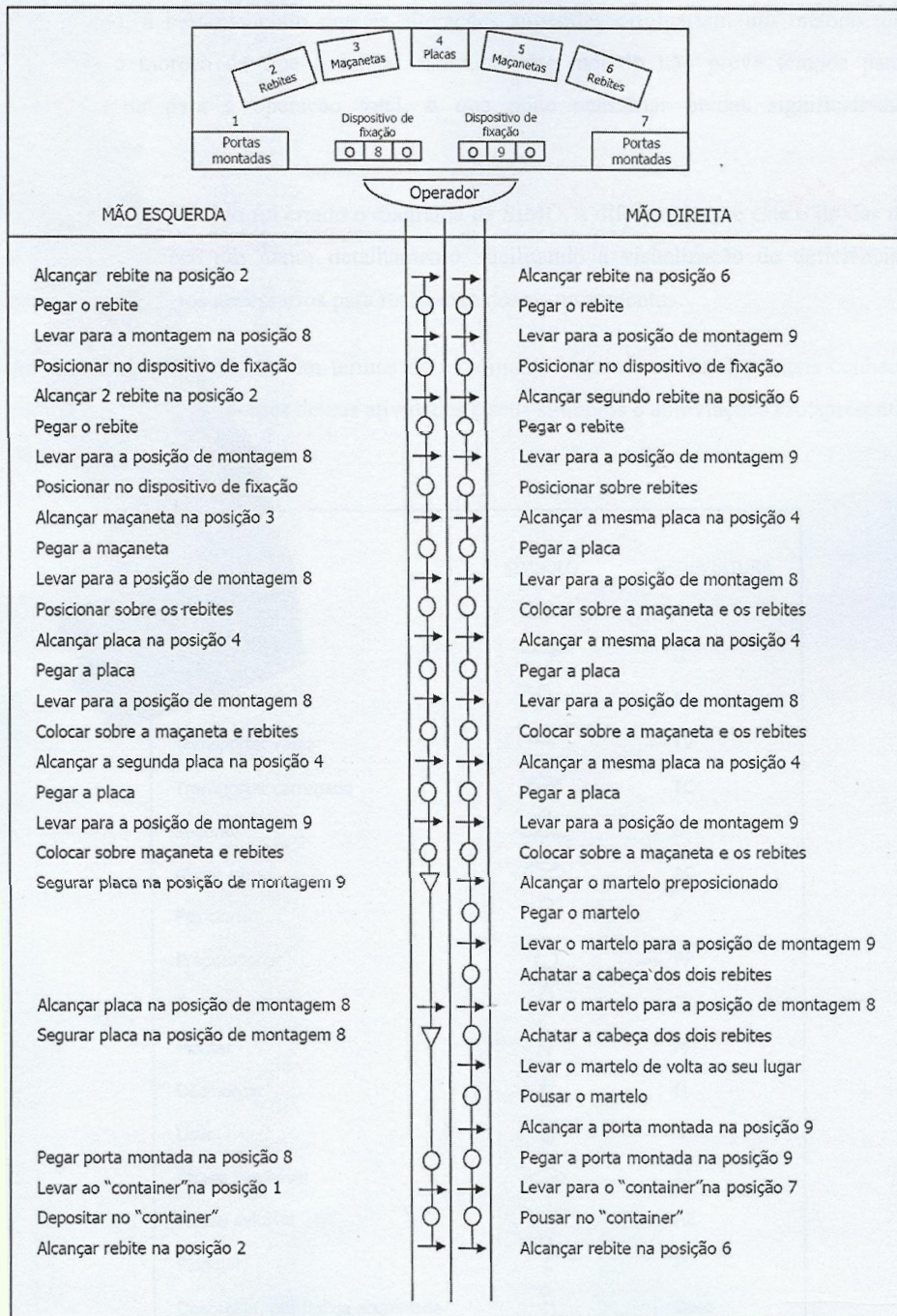
- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

ATIVIDADES	SÍMBOLO
Operação	
Transporte	
Segurar	
Espera	

*Atividades e seus respectivos símbolos*



*Gráfico mão direita – mão esquerda para a montagem de uma porta*




















*Gráfico mão direita –  
mão esquerda para a  
montagem de uma  
porta – método  
melhorado*



Operation		○						
Transport		⇄						
Inspection		□						
Storage		▽						
Delay		D						
Step	Description: DCF capsule line	Distance (feet)	Time (seconds)	○	⇄	□	▽	D
1	Setup material on pleater #1							X
2	Pleating process	2	35	X				
3	Repeat step #2 99 times		3465					X
4	Put tub in queue						X	
5	Repeat steps 2-4 two times		7000					X
6	Transport to seamer	25		X				
7	Seaming process	3	61	X				
8	Repeat step #7 49 times		2989					X
9	Put tub in queue						X	
10	Repeat steps 7-9 two times		6100					X
11	Transport to endcapping	97		X				
12	Endcapping process		53	X				
13	Sample test 5	28			X			
14	Repeat step #12 99 times		2623					X
15	Put tub in queue						X	
16	Repeat steps 12, 14, and 15 two times		5300					X
17	Transport to test queue	15		X				
18	Delay at test queue (two days)		172800					X
19	9-station process		510	X				
20	Drying process (four hours)		14400	X				
21	Delay/Transport to release area	4		X				X
22	Transport to module inventory	90		X				
23	Storage at module inventory						X	
<b>Totals</b>		264	215336	5	5	1	4	9
<b>5 value-added elements (operations) of 24 elements</b>								
Total value-added time = 1975 sec. = 32.9 min.								
Total processing time = 215,336 sec. = 59.8 hrs.								
% of value-added time vs. total processing time = 0.9%								

Exemplo de Fluxograma de Processo

<u>NOME DO THERBLIG</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>ABREVIATURA</u>
Procurar		Pr
Selecionar		Sl
Agarrar		Ag
Transportar vazio		TV
Transportar carregado		TC
Segurar		S
Aliviar carga		AC
Posicionar		P
Preposicionar		PP
Inspecionar		I
Montar		M
Desmontar		D
Usar		U
Atraso inevitável		AI
Atraso evitável		AE
Planejar		PI
Descansar, por fadiga acumulada		Desc

*Therblig*

MÃO ESQUERDA			TEMPO 1/1000 min.	MÃO DIREITA			
Alcançar a placa	TV	⌋	15	51	⌋	AI	Espera
Selecionar a placa	SI	→	2				
Pegar placa	Ag	⌋	5				
Levar placa até a posição de montagem	TC	⌋	20				
Pousar placa	AC	⌋	9				
Alcançar maçaneta	TV	⌋	12	12	⌋	TV	Alcançar rebite
Selecionar maçaneta	SI	→	2	2	→	SI	Selecionar rebite
Pegar maçaneta	Ag	⌋	3	3	⌋	Ag	Pegar rebite
Levar maçaneta para posição de montagem	TC	⌋	13	13	⌋	TC	Levar rebite para posição de montagem
Posicionar maçaneta na placa	P	9	15	15	9	AI	Espera
Segurar maçaneta na posição correta	S	⌋	29	9	9	P	Posicionar rebite sobre a maçaneta
				20	#	M	Inserir rebite na maçaneta e placa
Pegar maçaneta, placa e rebite	Ag	⌋	4	4	⌋	Ag	Pegar maçaneta, placa e rebite
Virar	TC	⌋	14	14	⌋	TC	Virar
Posicionar na bigorna	P	9	11	11	9	P	Posicionar na bigorna
Segurar na posição	Ag	⌋	86	12	⌋	TV	Alcançar martelo
				7	⌋	Ag	Pegar martelo
				16	⌋	TC	Levar martelo para posição de montagem
				51	U	U	Achatar cabeça do rebite
Pousar porta parcialmente montada	AC	⌋	10	10	⌋	AC	Pousar martelo

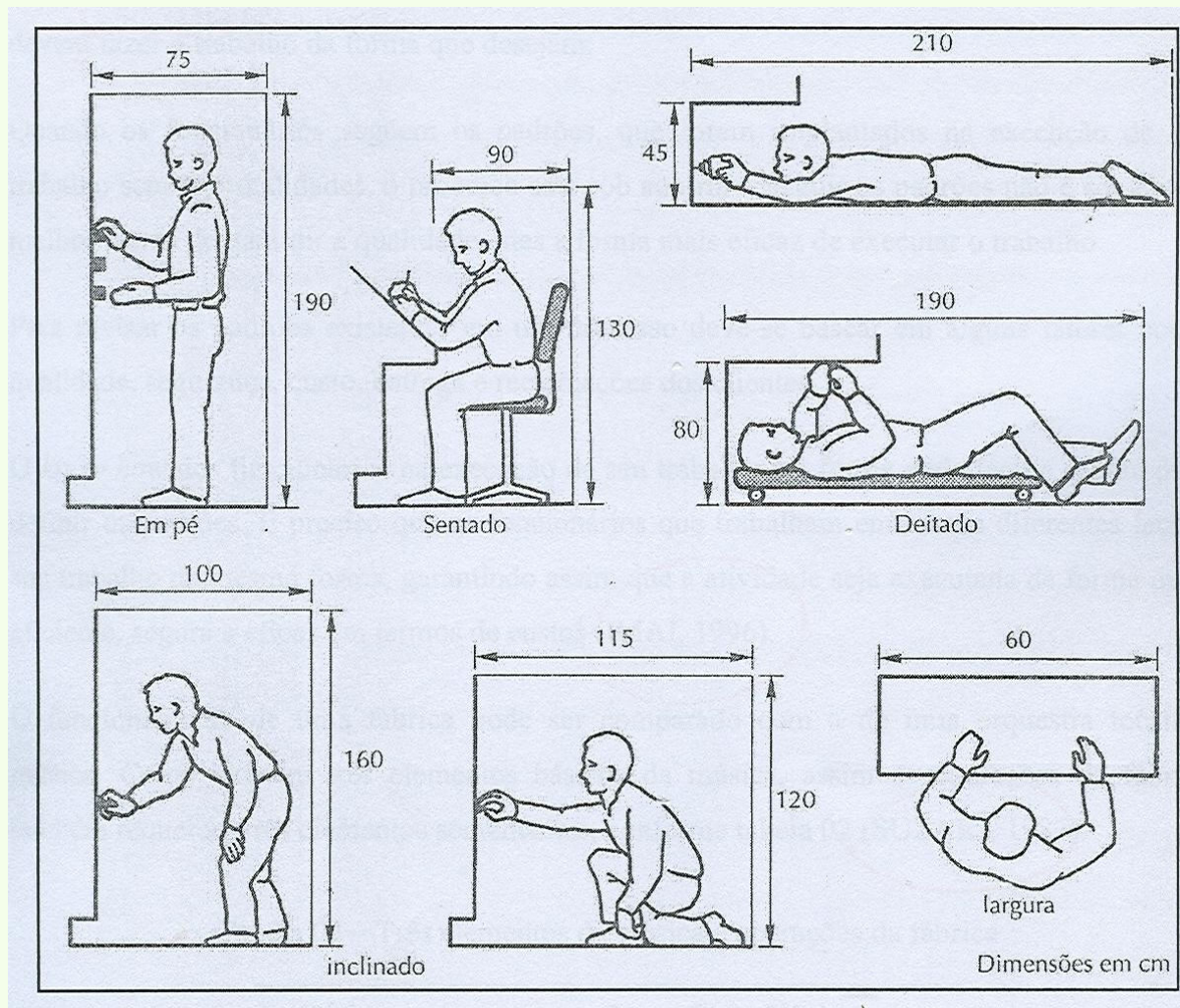
*Gráfico SIMO para uma parte da montagem da porta*

Associates	Seaming	Pleating	Endcapping	Testing #1	Testing #2	Tape changes
<b>Days</b>						
Louie	●	◐	○	◐	○	○
Mary	◐	●	◐	◐	○	○
Rosie	◐	●	●	◐	◐	●
Michael	◐	◐	○	●	●	○
Tina	●	◐	●	◐	◐	◐
Don	○	●	○	○	○	○
<b>Afternoons</b>						
Tim	●	◐	◐	◐	○	◐
Neal	◐	◐	◐	●	●	○
Andy	●	◐	◐	○	◐	○
Julie	◐	◐	●	◐	○	◐
Sheryl	◐	●	●	◐	●	●
●	=	Fully-trained and ability to train others in all aspects				
◐	=	Three-quarter trained and ability to setup and run machine without supervisor				
◑	=	Half-trained and ability to run machine without supervision				
◒	=	Quarter-trained and ability to run machine with some supervision required				
○	=	Still need one-on-one training while learning the process				

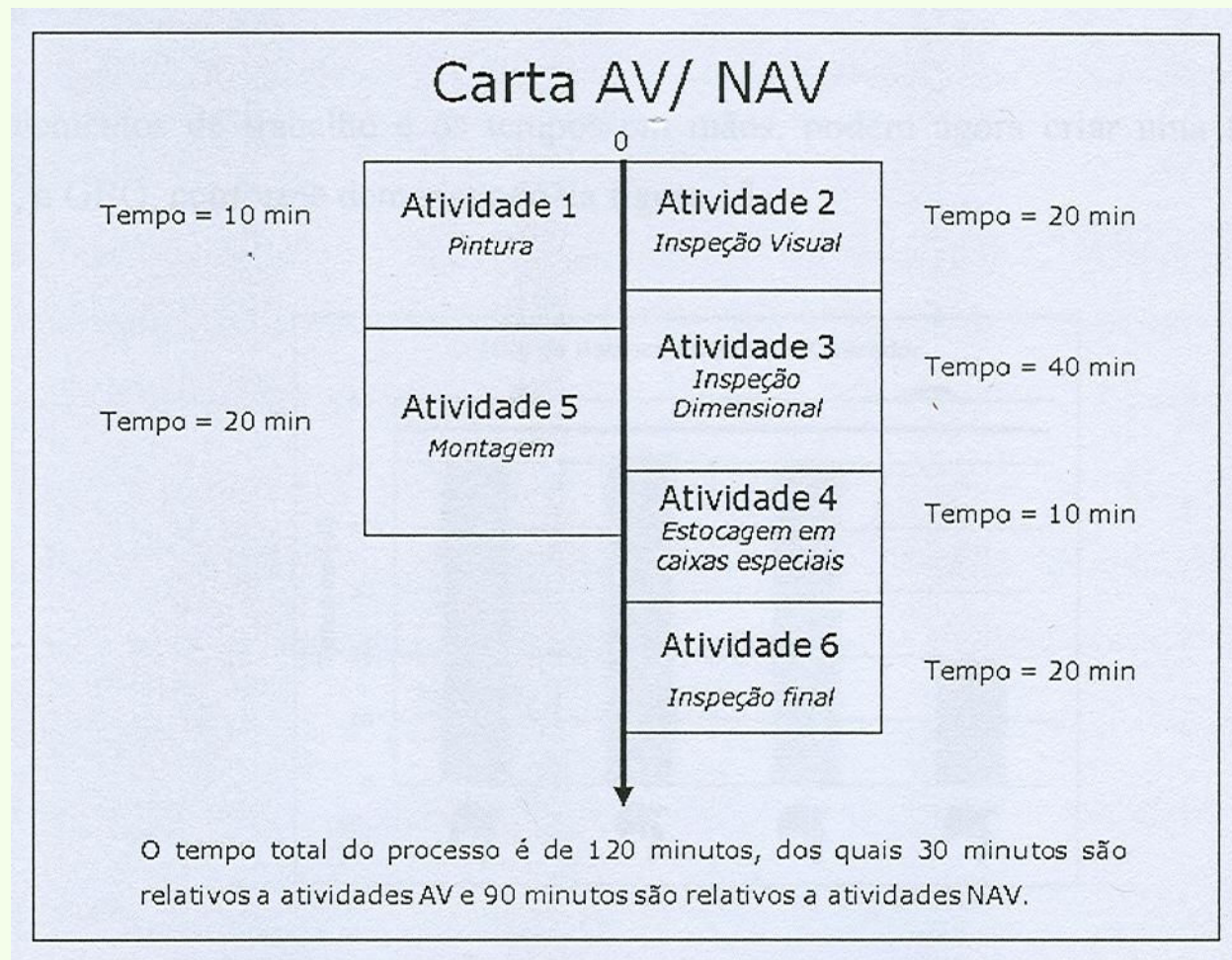
*Matriz de Treinamento Multifuncional de Operadores*

Nome: Carlos Seção/ Grupo: Montagem Linha 8 Data: ___/___/___		Processos ou Nome das Operações												OBSERVAÇÕES			
														CAPACIDADE		Necessidade de MO	
														Jan	Jun		Dec
NÚMERO	NOME	NUMERO IDEAL	6	6	6	6	3	4	3	7	7	6	4	6			
1.	João		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	⊕	⊕	10	10	
2.	José		●	●	●	●	◐	●	◐	●	●	●	⊕	⊕	8	10	
3.	Antonio		●	●	◐ 12/jul	◐	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	⊕	⊕	2	3	
4.	Marcos		●	●	⊕	⊕	●	●	◐	⊕	●	●	⊕	⊕	6	7	
5.	Luiz		●	●	●	●	●	●	◐	●	●	⊕	⊕	⊕	7	8	
6.	Maria		⊕	⊕	◐	◐	●	●	◐	●	⊕	●	⊕	⊕	4	7	
7.	Sebastião		●	●	●	◐	⊕	⊕	●	●	●	⊕	⊕	⊕	3	7	
8.	Joana		◐ 12/jul	◐ 12/jul	⊕	⊕	◐	◐ 10/jul	⊕	●	●	●	⊕	⊕	3	4	8
9.	Cleber		⊕	⊕	◐ 10/jul	◐ 10/jul	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	NA	0	Recém contratado
10.	Thiago		10/jul	10/jul											NA	0	Recém contratado
RESULTADO DO TREINAMENTO	Começo do ano		5	5	4	3	4	3	3	5	5	4			= 100% de Performance		
	Meio do ano		6	6	5	5	6	5	5	6	6	6			= 75 % de Performance		
	Final do ano														= 50% de Performance		
Comentar	Precisa de Trabalho (Mudar a produção)		Aumentar ordem de 10% ao ano												= Em Treinamento		

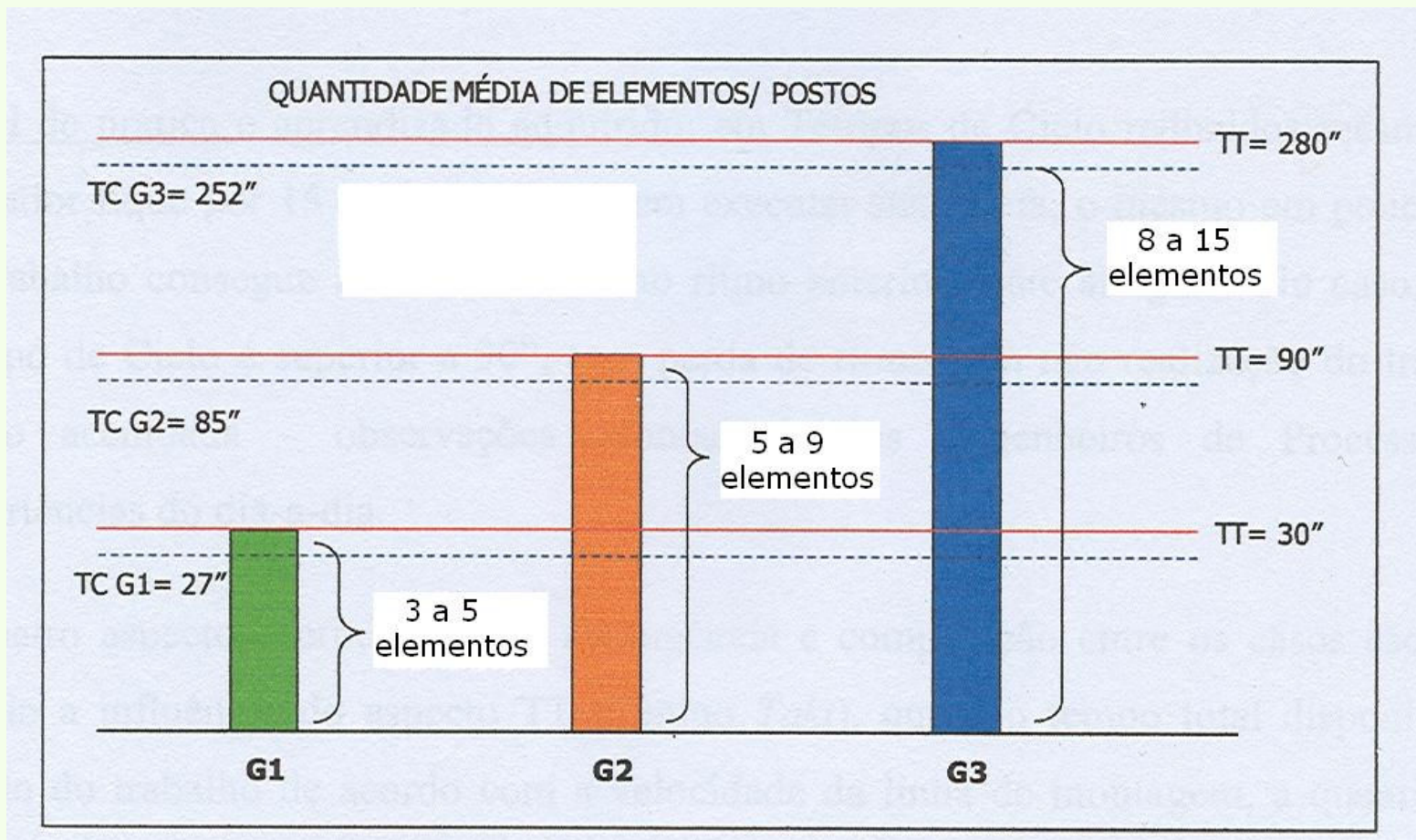
Matriz de Treinamento Multifuncional de Operadores



*Espaços de trabalho recomendados para algumas posturas típicas  
(em cm) - MTM*

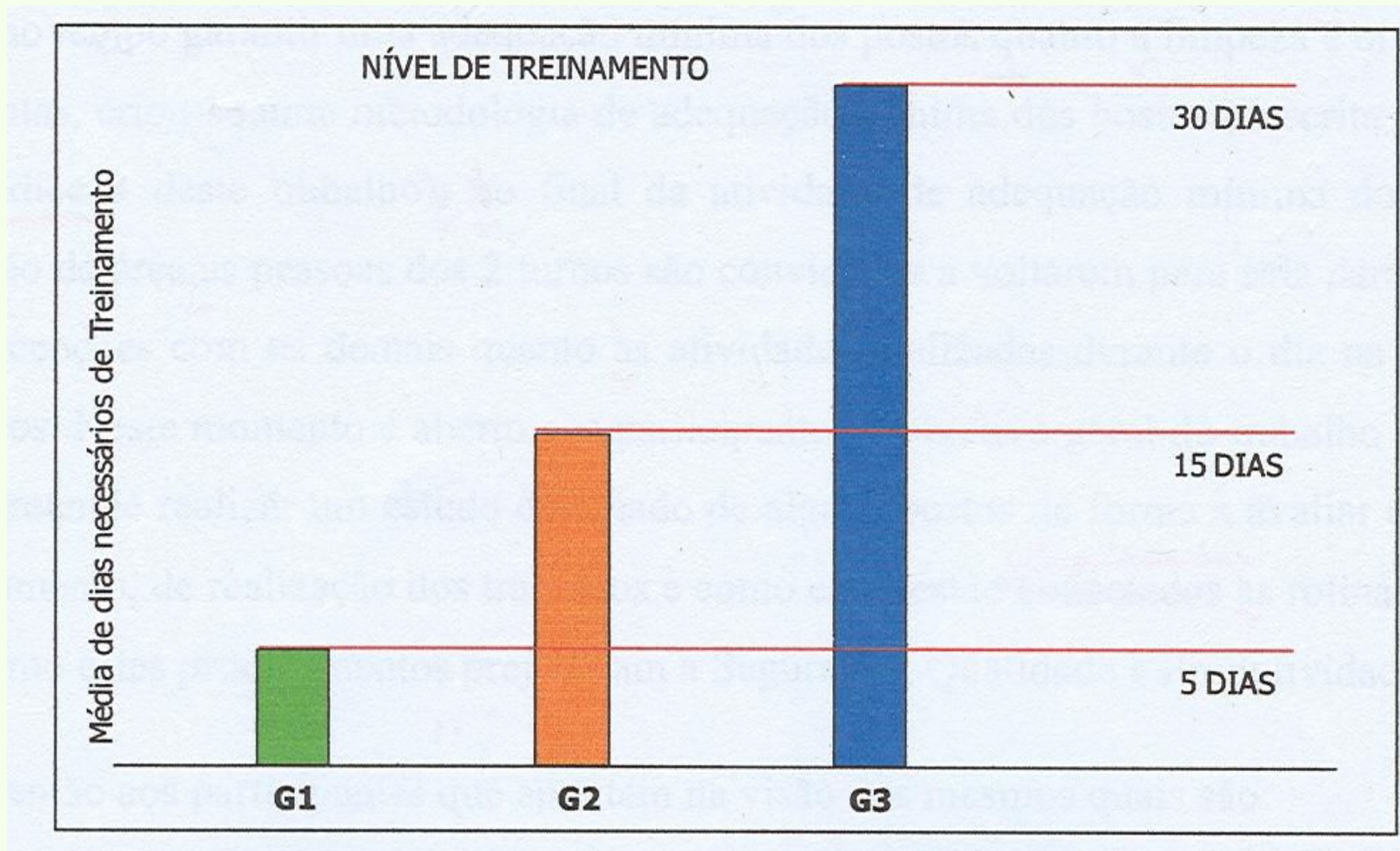


*Carta AV/NAV (“Agrega Valor”/ “Não Agregua Valor”)*



*Quantidade média de elementos nos postos de trabalho*





*Tempo do ciclo das linhas de montagem*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

*Tempo disponível diariamente: 408 minutos (= 85% de 8 horas)*

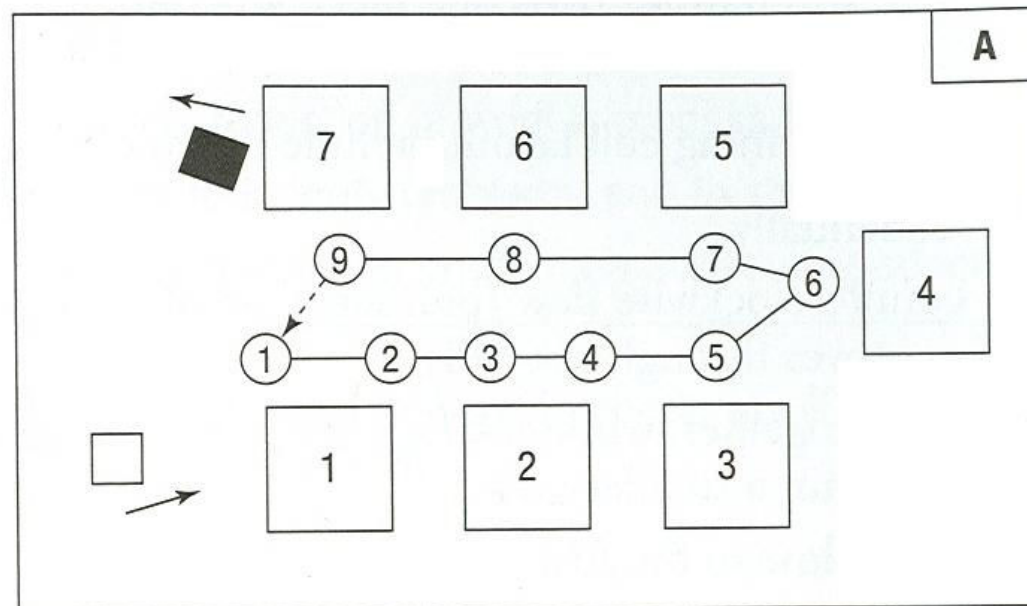
*Total de estações = 21*

<i>Demanda Diária</i>	<i>Takt (segundos/peça)</i>	<i>Tempo de Ciclo (segundos)</i>	<i>Nº de Recursos necessários (TC/Takt)</i>
10000	2,448	10	4,08 (→ 5)
20000	1,224	10	8,16 (→ 9)
30000	0,816	10	12,25 (→ 13)
40000	0,612	10	16,33 (→ 17)
50000	0,4896	10	20,42 (→ 21)

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

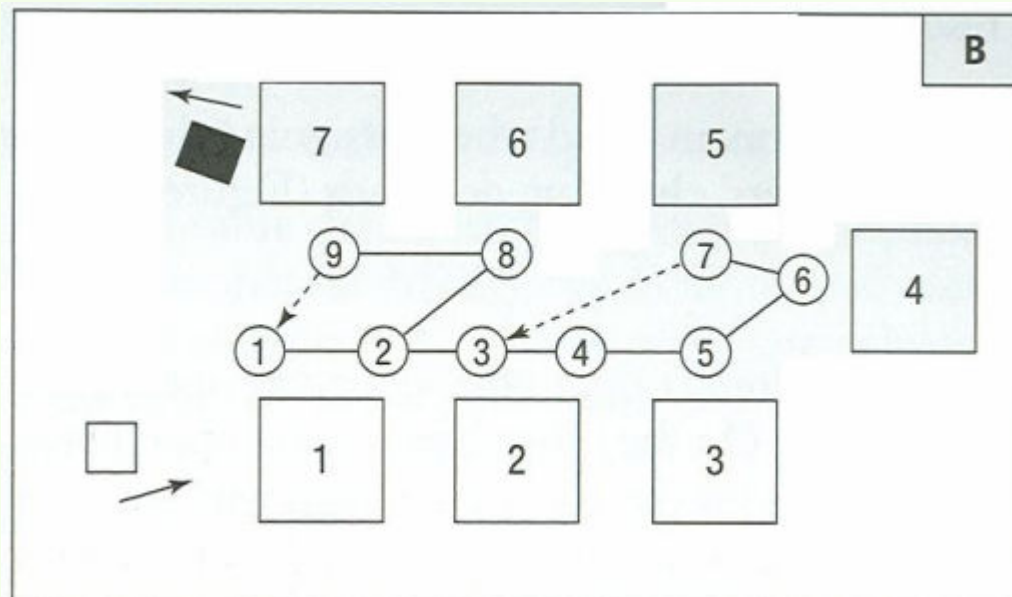
	Demanda do Cliente	Tempo de Ciclo Total	Tempo Disponível Diário	Tempo Takt	Número de Operadores Necessários
<b>A</b>	500	60S	30,000S	60S	1
<b>B</b>	1,000	60S	30,000S	30S	2
<b>C</b>	1,500	60S	30,000S	20S	3



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

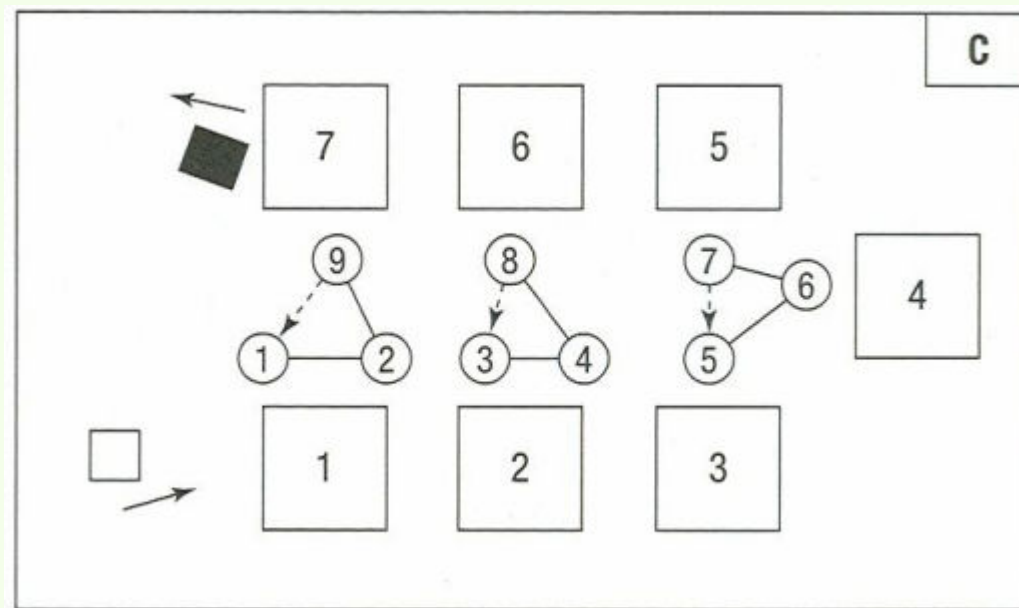
	Demanda do Cliente	Tempo de Ciclo Total	Tempo Disponível Diário	Tempo Takt	Número de Operadores Necessários
A	500	60S	30,000S	60S	1
B	1,000	60S	30,000S	30S	2
C	1,500	60S	30,000S	20S	3



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

	Demanda do Cliente	Tempo de Ciclo Total	Tempo Disponível Diário	Tempo Takt	Número de Operadores Necessários
A	500	60S	30,000S	60S	1
B	1,000	60S	30,000S	30S	2
C	1,500	60S	30,000S	20S	3



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Reduzindo Takt Time  $\Rightarrow$  Regra dos 50 segundos:

- Fábricas da Toyota  $\Rightarrow$  linhas de montagem = 50 a 60 segundos.
- Muitas fábricas funcionam em um só turno ou dois, mas quase nunca em três turnos.
- Existem 14 fábricas na Toyota City (no Japão)  $\Rightarrow$  Por que não combiná-las e executar metade das linhas de montagem num tempo takt de 30 segundos, duplicando-se assim a produção com metade dos equipamentos?
- Um dos motivos da resposta ser não é a “Regra dos 50 segundos”: Há um empiricismo sobre o tempo takt que diz que nenhuma operação repetitiva deve possuir um tempo do ciclo (tempo de começo a começo) menor do que 50 segundos.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## • 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 1. Produtividade:

- Até mesmo segundos perdidos devido a movimentos ineficientes tornam-se uma grande porcentagem do tempo de ciclo quando o tempo takt é curto.
  - A perda de 3 segundos em 30 segundos corresponde a uma perda de produtividade de 10%.
  - No caso de uma perda de 3 segundos num ciclo de 60 segundos, a perda é de 5%
  - E perdendo-se 3 segundos num ciclo de 300 segundos, tem-se uma perda de somente 1%.
- Não é difícil perder 3 segundos numa operação repetitiva de montagem ⇒ Quanto mais longo o tempo takt (mais do que 50 segundos) ⇒ maior produtividade.

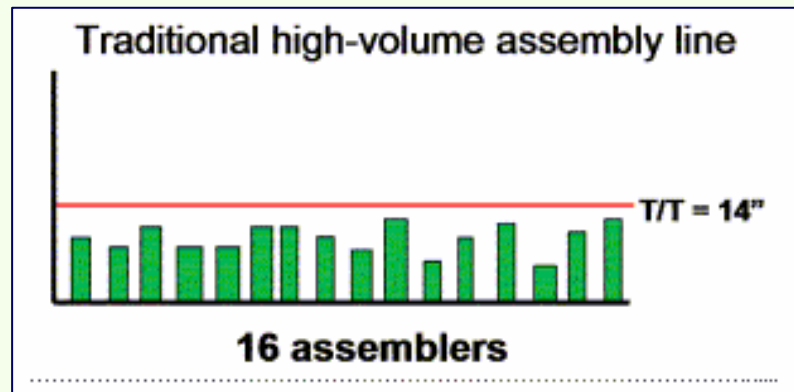
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 1. Produtividade (continuação):

- Tendo-se uma linha com muitos operadores trabalhando num tempo takt (curto) de 14 segundos  $\Rightarrow$  o custo de investimento (em quantidade de linhas) será reduzido, mas haverá um custo operacional maior a longo prazo.
- Em termos práticos  $\Rightarrow$  concluiu-se que linhas Enxutas (*Lean*) projetadas para um tempo takt de 50 segundos ou mais são normalmente 30% mais produtivas do que linhas rápidas.



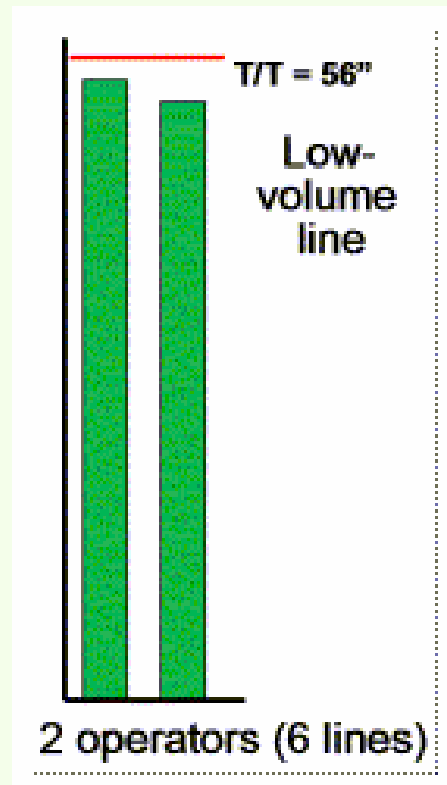


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

1. Produtividade (continuação):

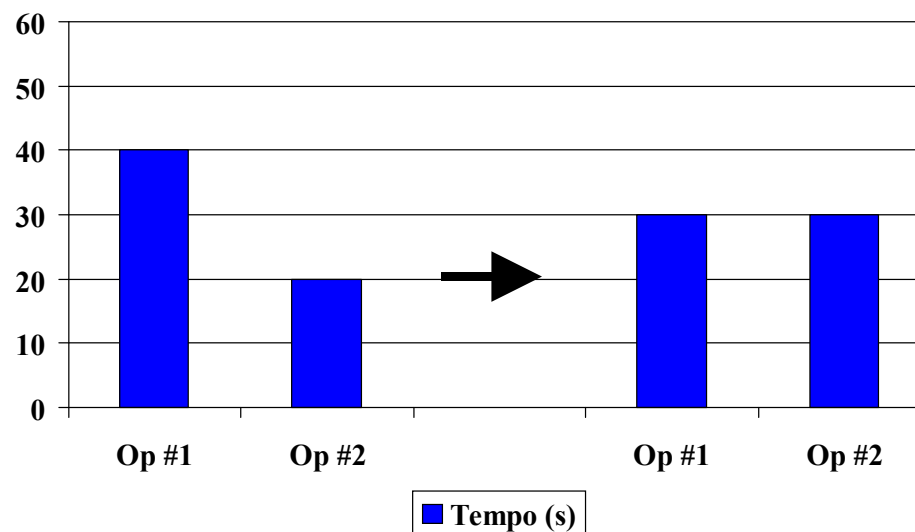


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 1. Produtividade (continuação):

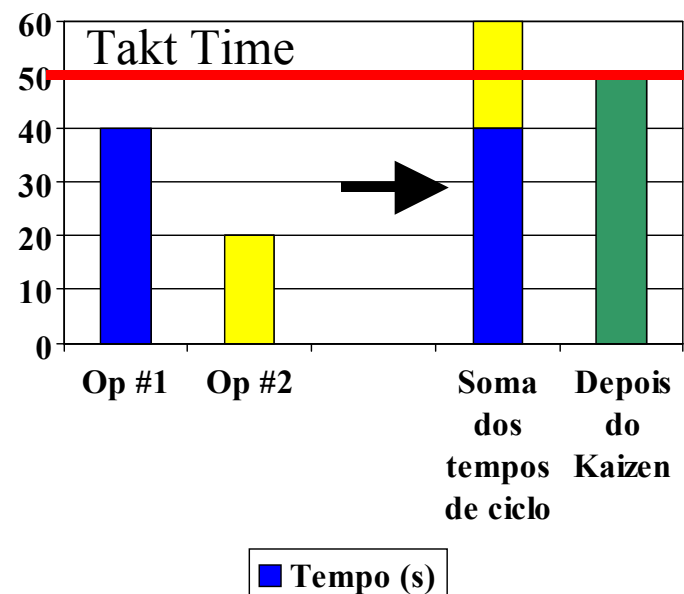


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 1. Produtividade (continuação):



*Demanda = 576 peças/dia*

*Tempo total disponível = 8 horas (28.800 segundos)*

*Takt time = 28.800 / 576 peças = 50 segundos/peça*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

## 2. Segurança e Ergonomia:

- Quando as mesmas tarefas são efetuadas com maior frequência num período mais curto  $\Rightarrow$  maior risco de ocorrerem lesões de esforço repetitivo (L.E.R.) e fadiga.
- Quando as operações são executadas em um tempo mais longo (p.ex. 60 segundos)  $\Rightarrow$  músculos têm um minuto completo para recuperar-se antes de começar a mesma operação.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 3. Qualidade:

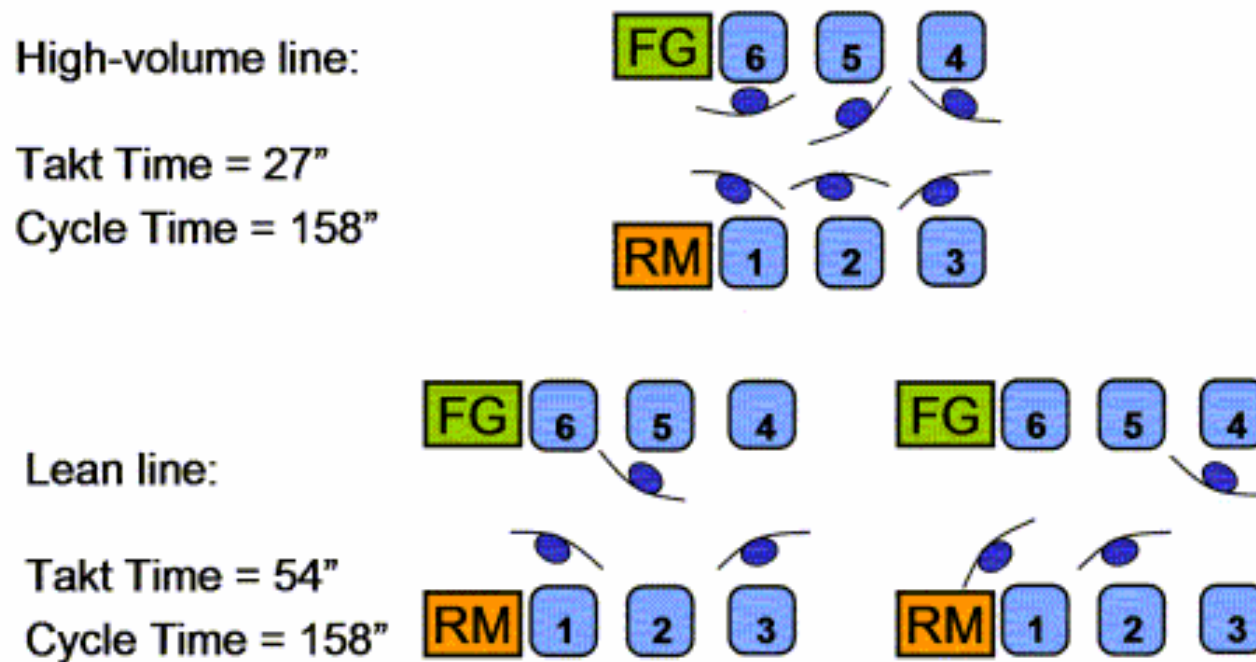
- Ao executar mais tarefas (p.ex. 5 operações comparado com 2) ⇒ cada pessoa torna-se seu próprio cliente de cada operação que eles executam, exceto a última.
- Se um operador executa 5 operações (em vez de 2) isto faz com que ele tenha atenção maior sobre a qualidade, pois um mal resultado na operação 3 impacta a operação 4, em vez de ser passada sem ser vista ao próximo operador.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

### 3. Qualidade (continuação):



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka

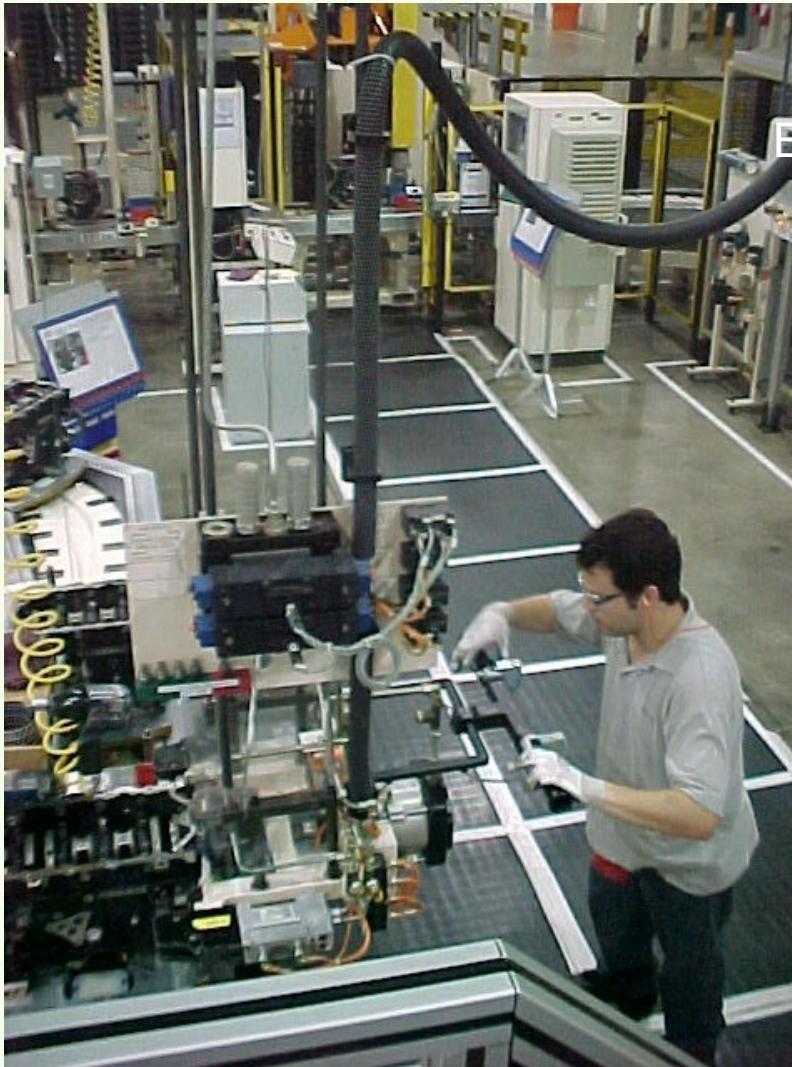
Há 4 razões que explicam a importância da Regra dos 50 segundos:

#### 4. Moral:

- Maior satisfação no trabalho executando uma operação em 54 segundos, comparado com 27 segundos, várias vezes.
- As pessoas gostam de aprender novas habilidades, redução de movimentos repetitivos que podem causar fadiga.
- As pessoas gostam de saber que elas estão construindo algo importante, em vez de apenas apertar um parafuso, ou fazer um furo ao longo do dia.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## 5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka



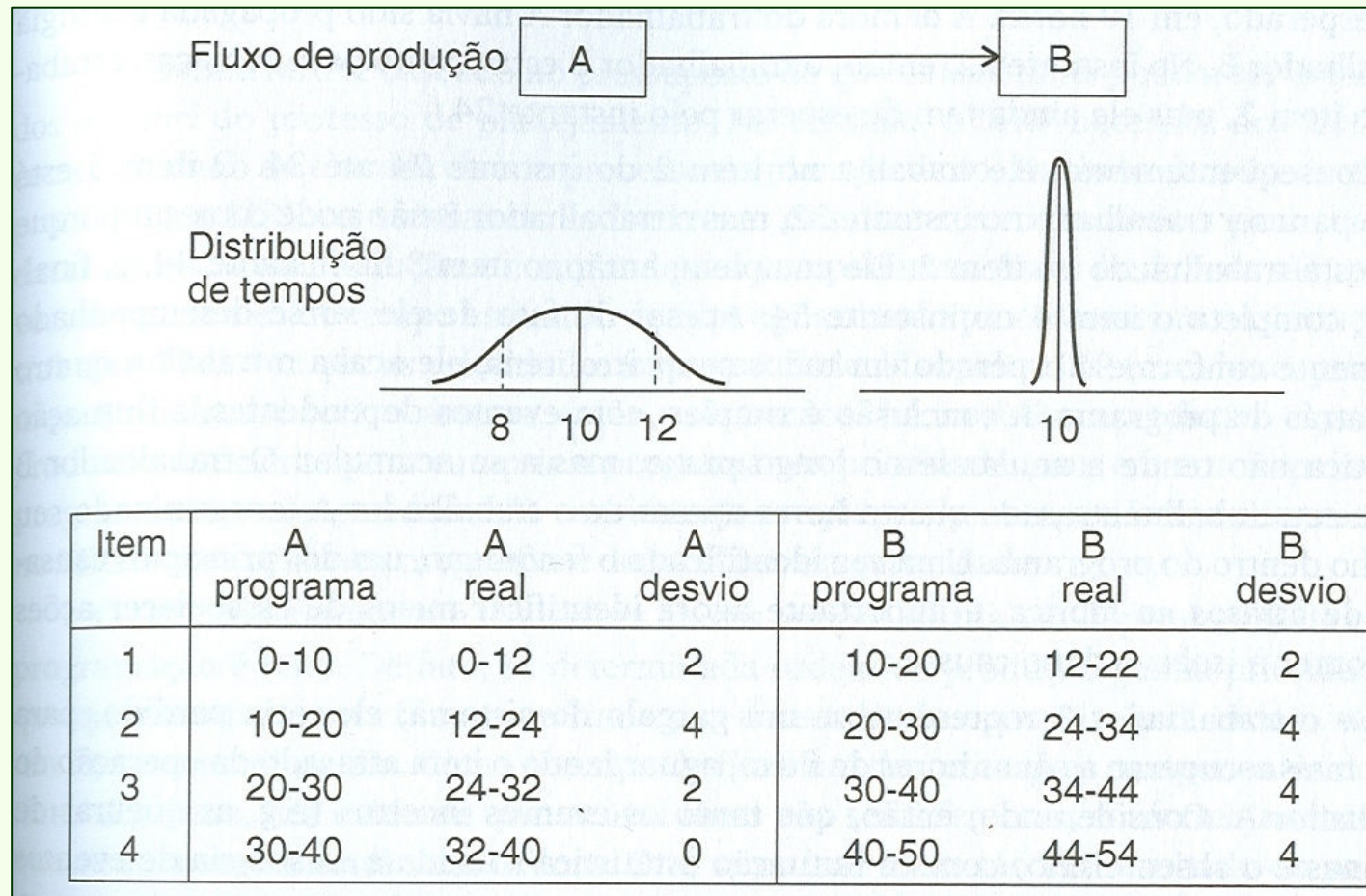
Estação 1

- O mesmo operador realiza o trabalho das estações 1 e 9, para tempos de ciclo de até 59s.
- Isto é possível porque as máquinas esperam pelo operador, que só tem que carregá-las e iniciar o ciclo.

Estação 9



**5º Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final - Heijunka**



*Propagação do efeito de eventos incertos em operações dependentes:*

*Operador A → operação manual*

*Operador B → máquina CNC*

*Conclusão: com eventos dependentes, a flutuação estatística não tende a anular-se no longo prazo, mas a se acumular*

- **5o Passo: Nivelar e Balancear a Montagem Final**

*CHAKU-CHAKU (“CARREGAR-CARREGAR”): Uma linha chaku-chaku consiste de uma série de máquinas, cada uma equipada com um dispositivo hanedashi (ou autojector) ⇒ permite que o operador da linha chaku-chaku:*

- *caminhe para o dispositivo e introduza rapidamente na máquina a peça que ele está segurando;*
- *aperte o botão “iniciar”;*
- *pegue a outra peça ejetada previamente.*

*O Jidoka é muito importante para o funcionamento do Chaku-Chaku.*

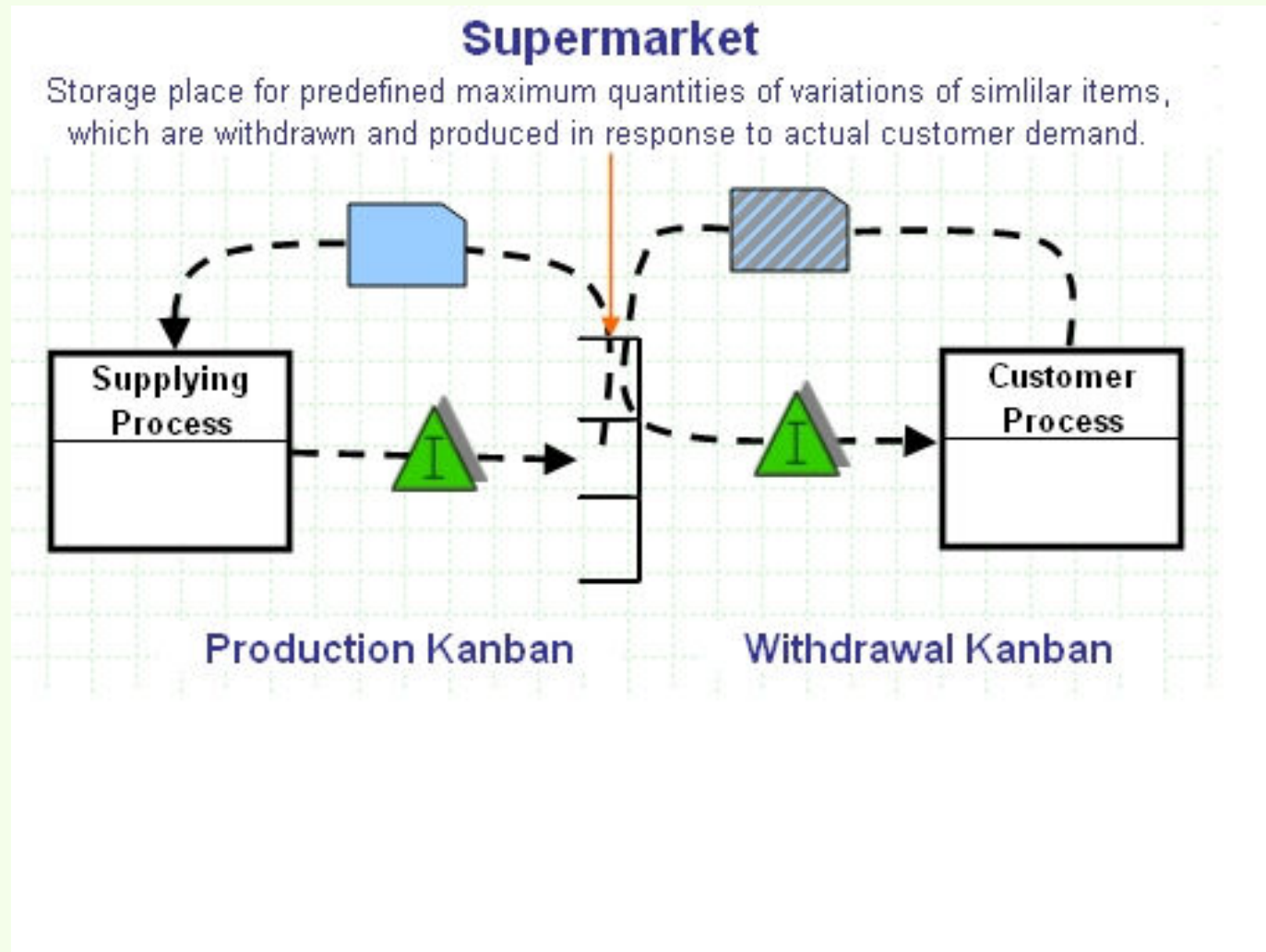
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 6º Passo: Integração do Controle da Produção: Interligar as Células via Kanban
  - Células interligadas  $\Rightarrow$  Produção integrada.
  - Processos posteriores ditam as taxas de produção de processos anteriores.
  - Layout do S.M.  $\Rightarrow$  trajetórias das peças através da fábrica  $\Rightarrow$  **Kanbans**
  - Kanbans = cartões que controlam o movimento de materiais entre os processos.

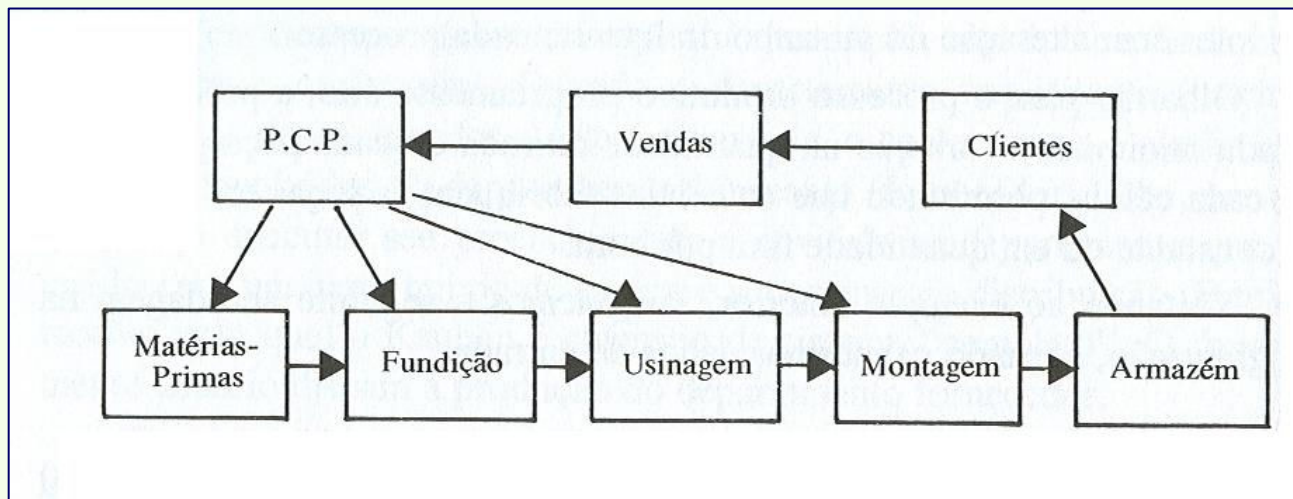
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Dois tipos básicos:
  - ✓ kanban de transporte (WLK) é utilizado por uma célula à frente, que puxa material de uma célula anterior.
  - ✓ kanban de produção (POK) atua como expedidor para as células, agendando o que fazer, qual encomenda fabricar, e quantas fazer.
- O que é singular sobre este sistema é que a informação sobre o movimento de material flui na **direção oposta à do material** ⇒ células à frente ditam os volumes de produção para trás.

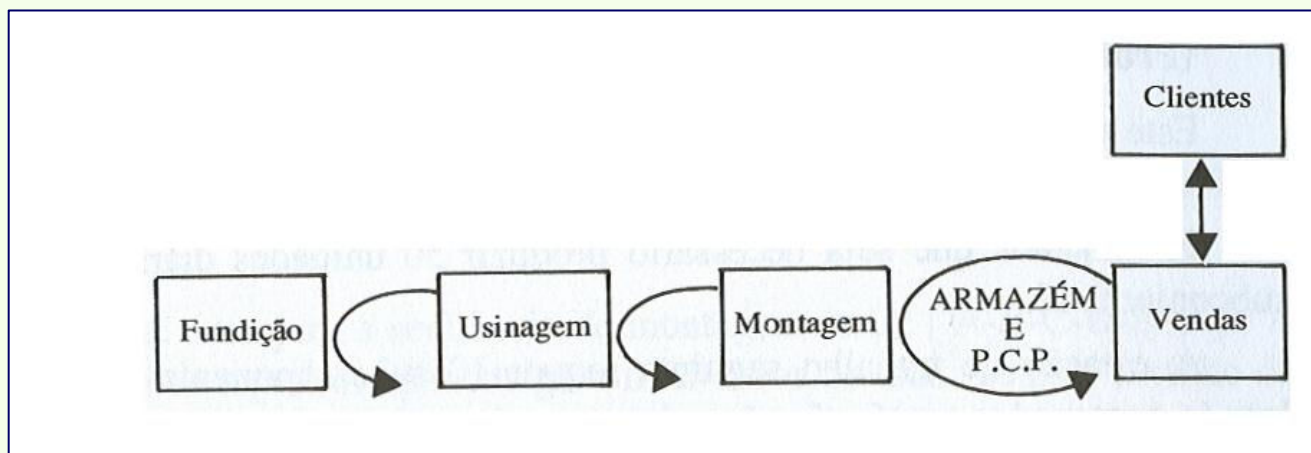
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

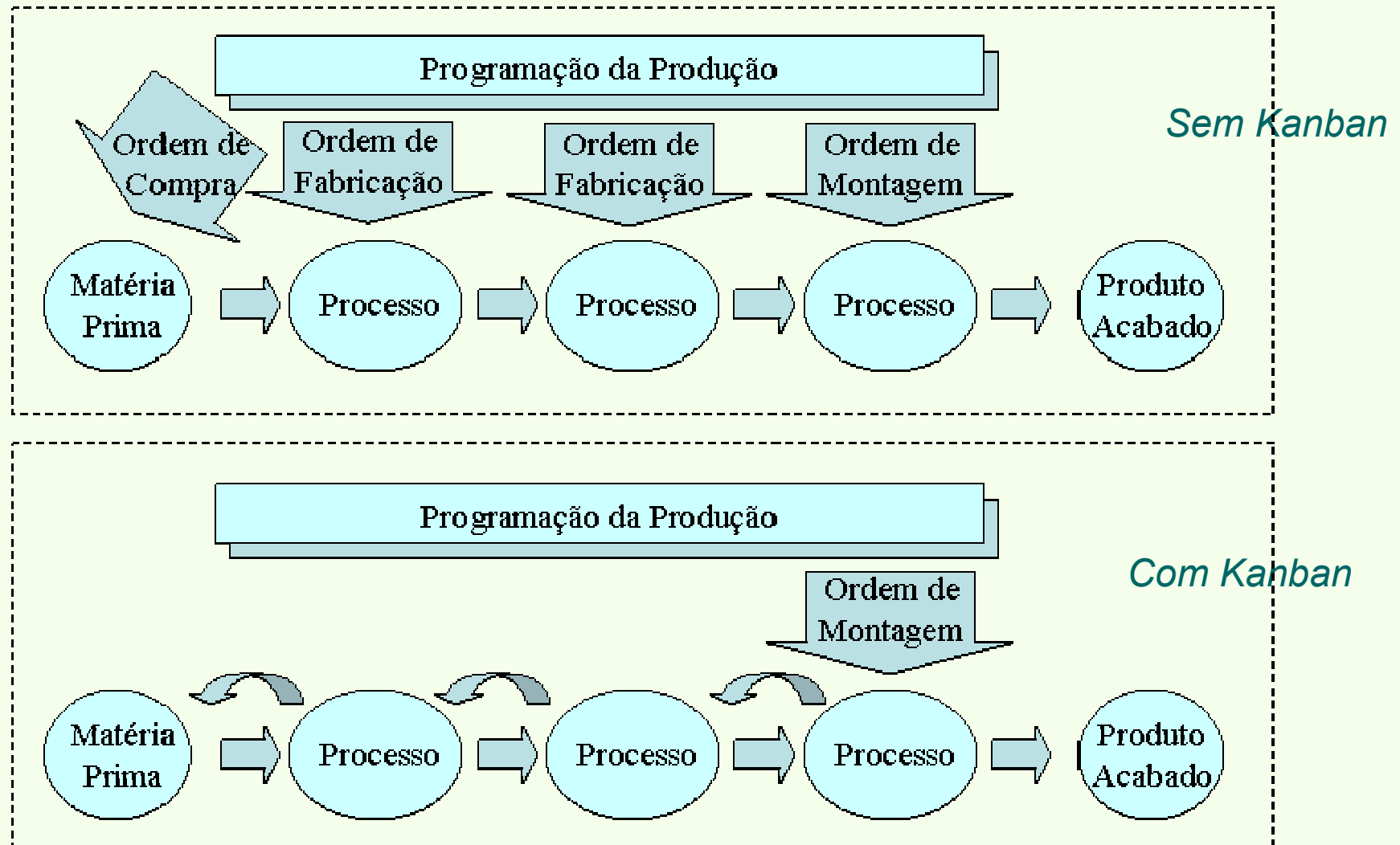


*Sem Kanban*



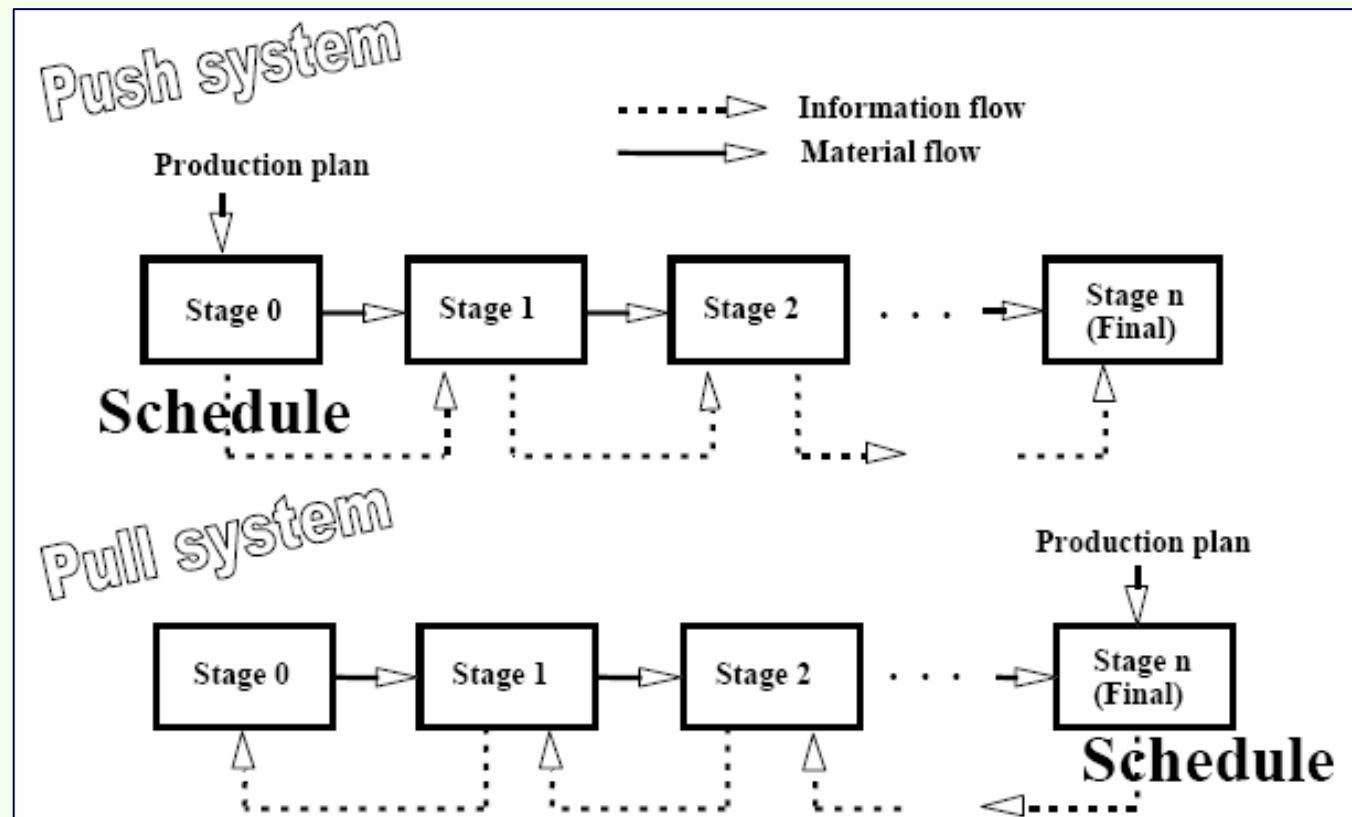
*Com Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 6º Passo: Integração do Controle da Produção: Interligar as Células via Kanban

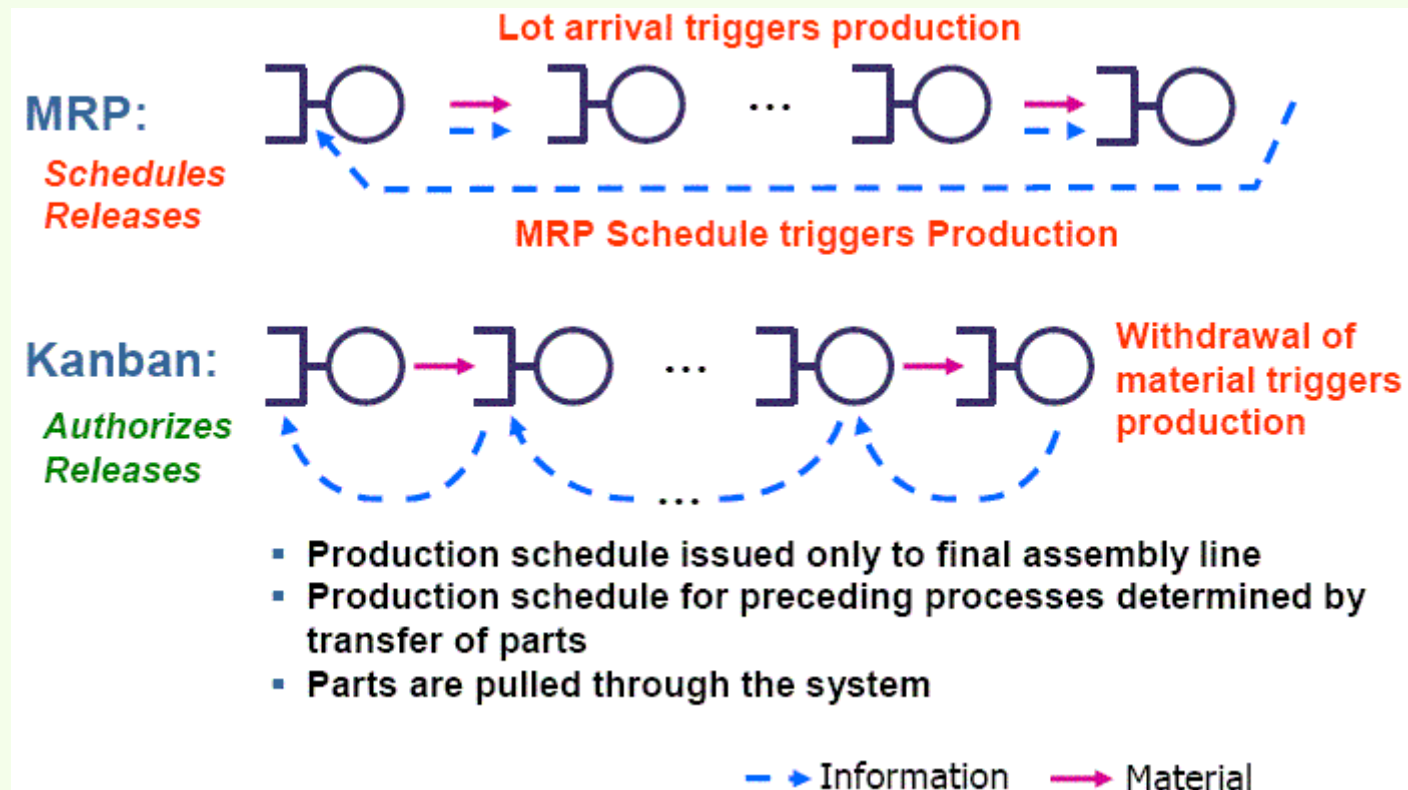


**PRODUÇÃO PUXADA (Kanban) x PRODUÇÃO EMPURRADA (MRP)**

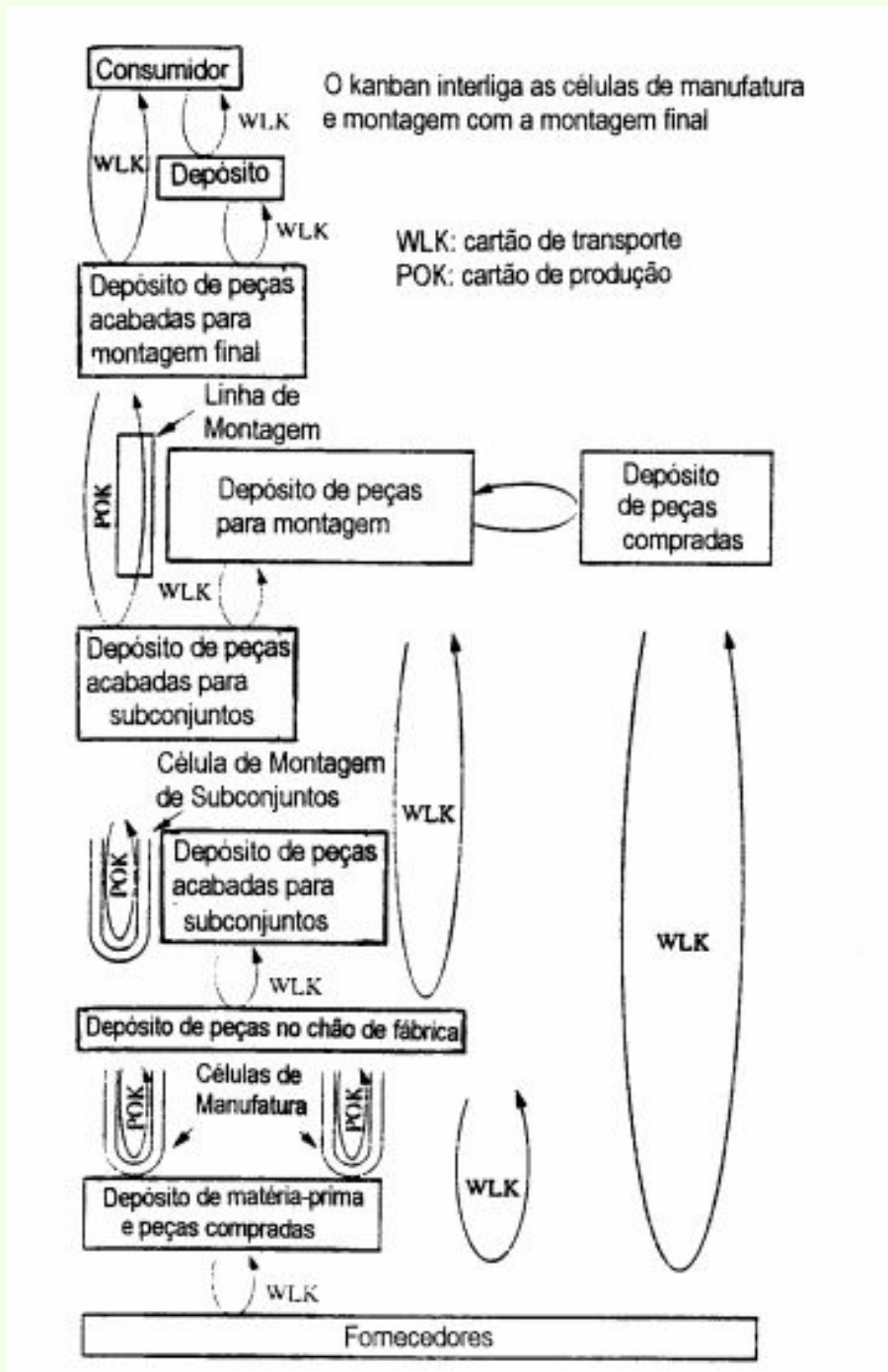


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 6º Passo: Integração do Controle da Produção: Interligar as Células via Kanban

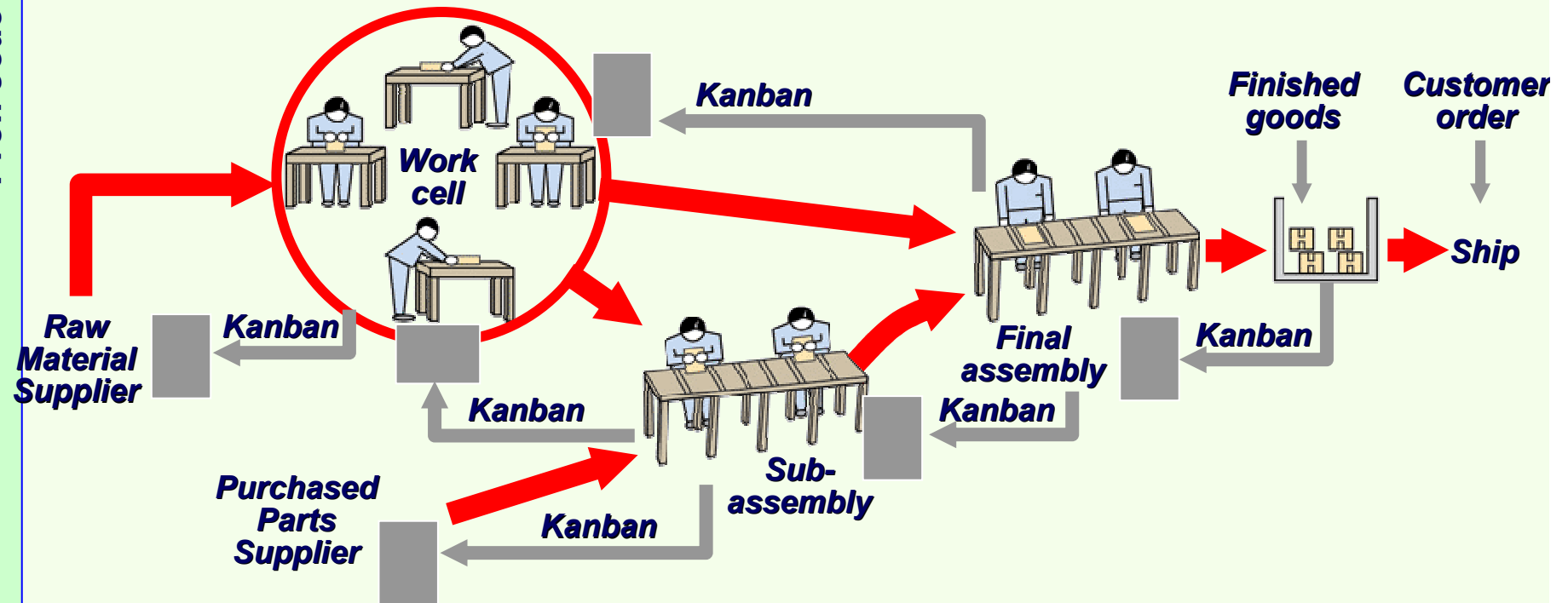


**PRODUÇÃO PUXADA (Kanban) x PRODUÇÃO EMPURRADA (MRP)**



*Células de manufatura e montagem são interligadas à área de montagem final através de kanbans*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Part no.:	7412		
Description:	Slip rings		
<hr/>			
	Box capacity	<u>25</u>	
From :	Box Type	<u>A</u>	To:
<b>Machining M-2</b>	Issue No.	<u>3/5</u>	<b>Assembly A-4</b>

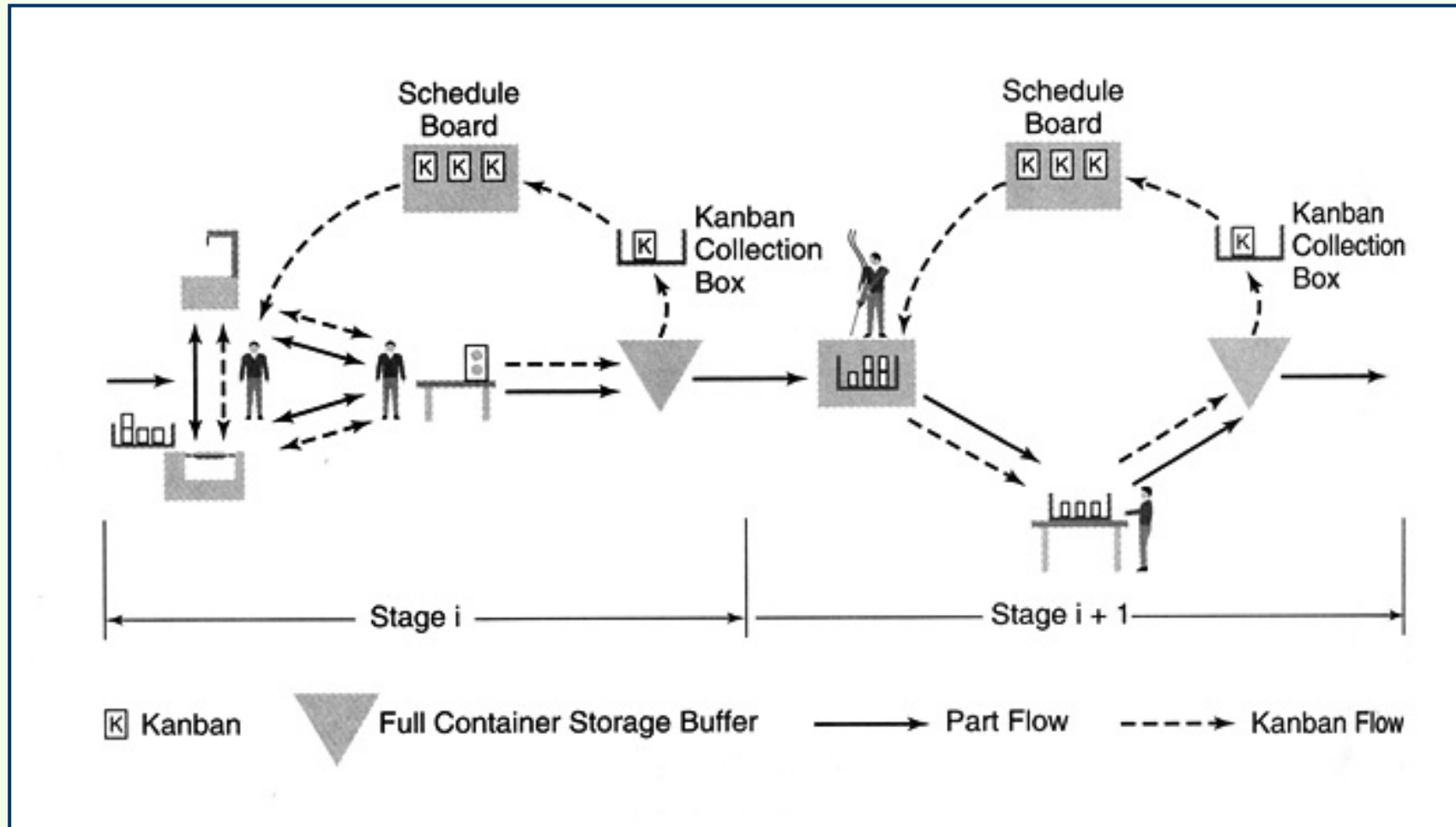
*Um exemplo de Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Um exemplo de Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



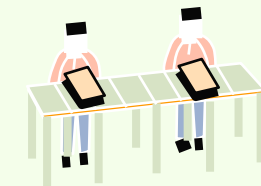
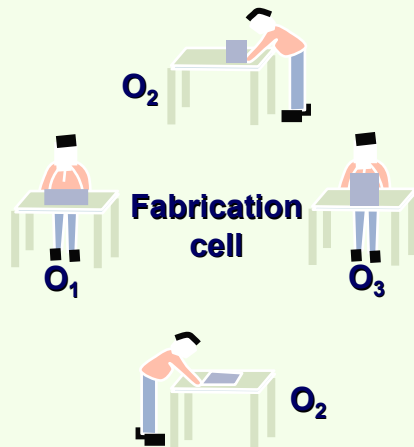
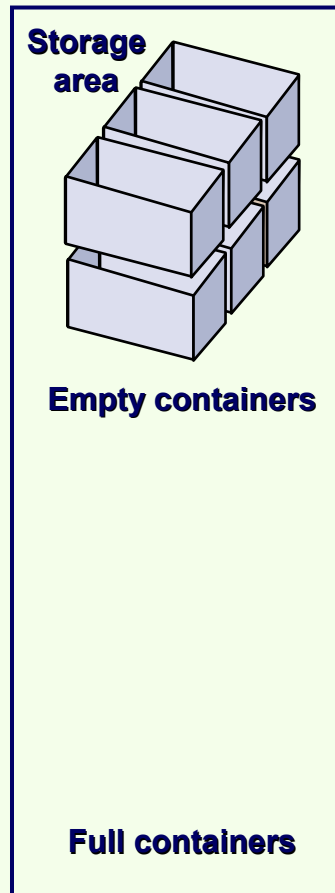
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

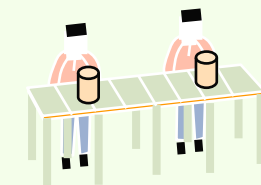
Receiving post



Kanban card for product 1  
Kanban card for product 2



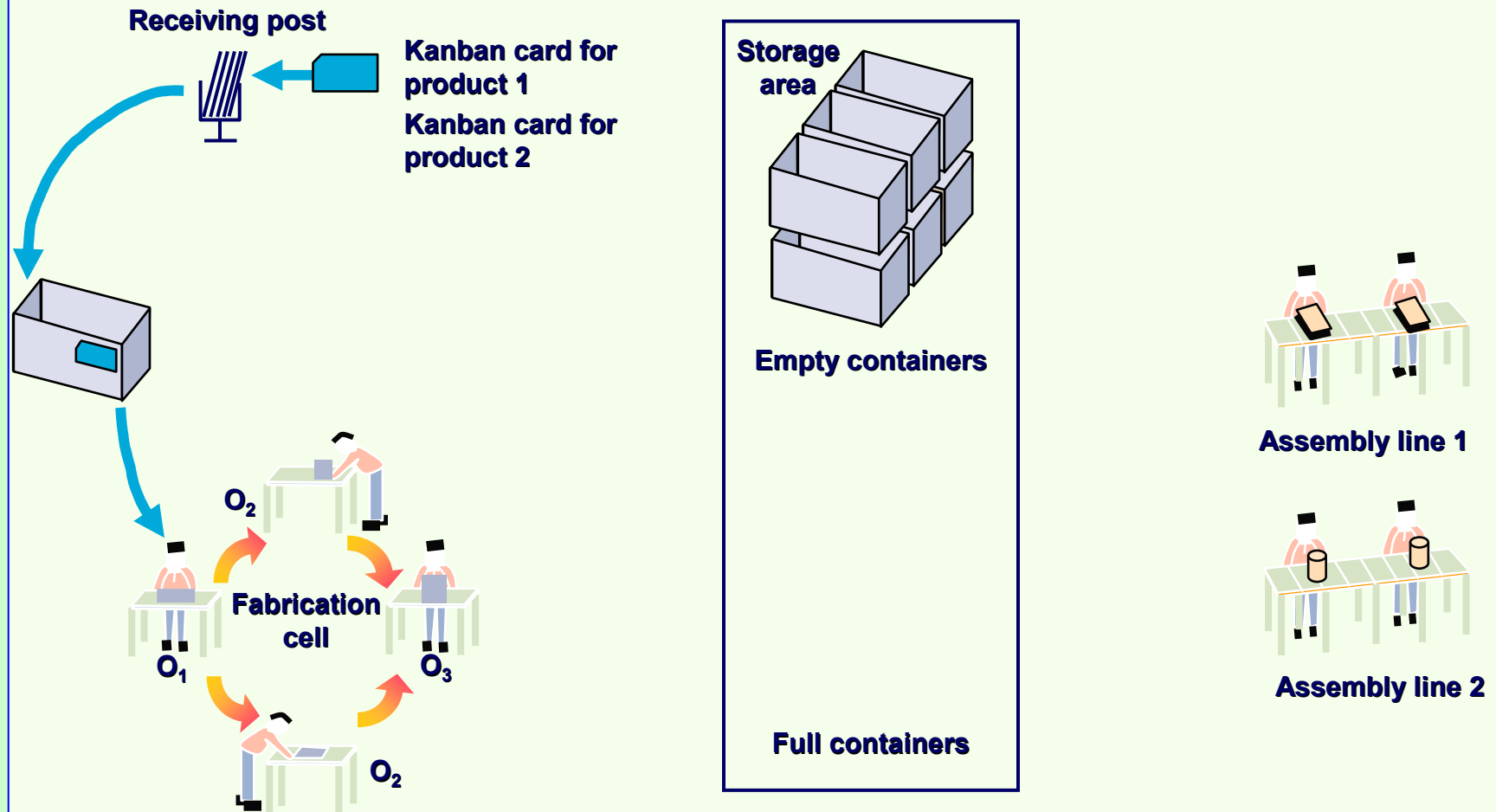
Assembly line 1



Assembly line 2

*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

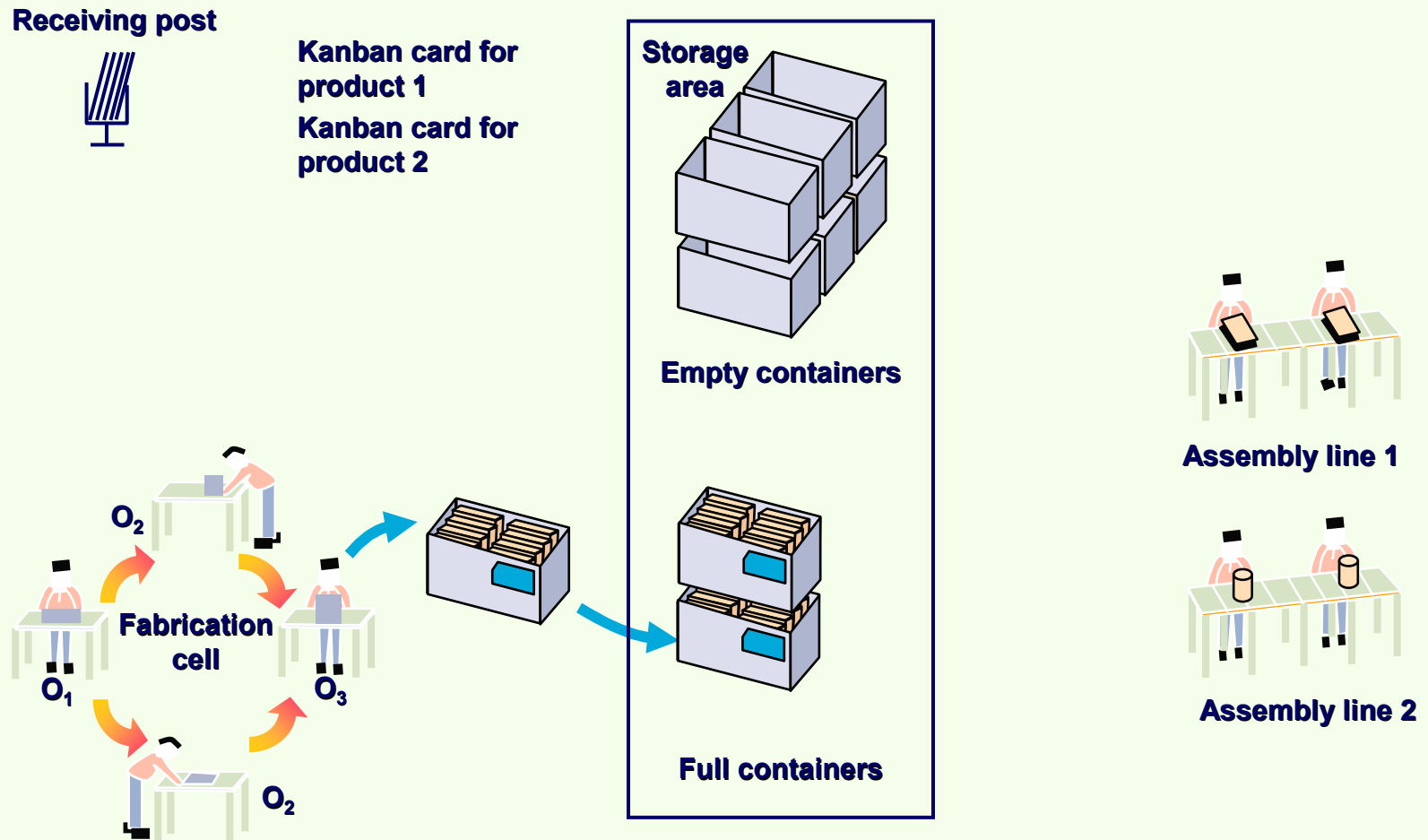
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

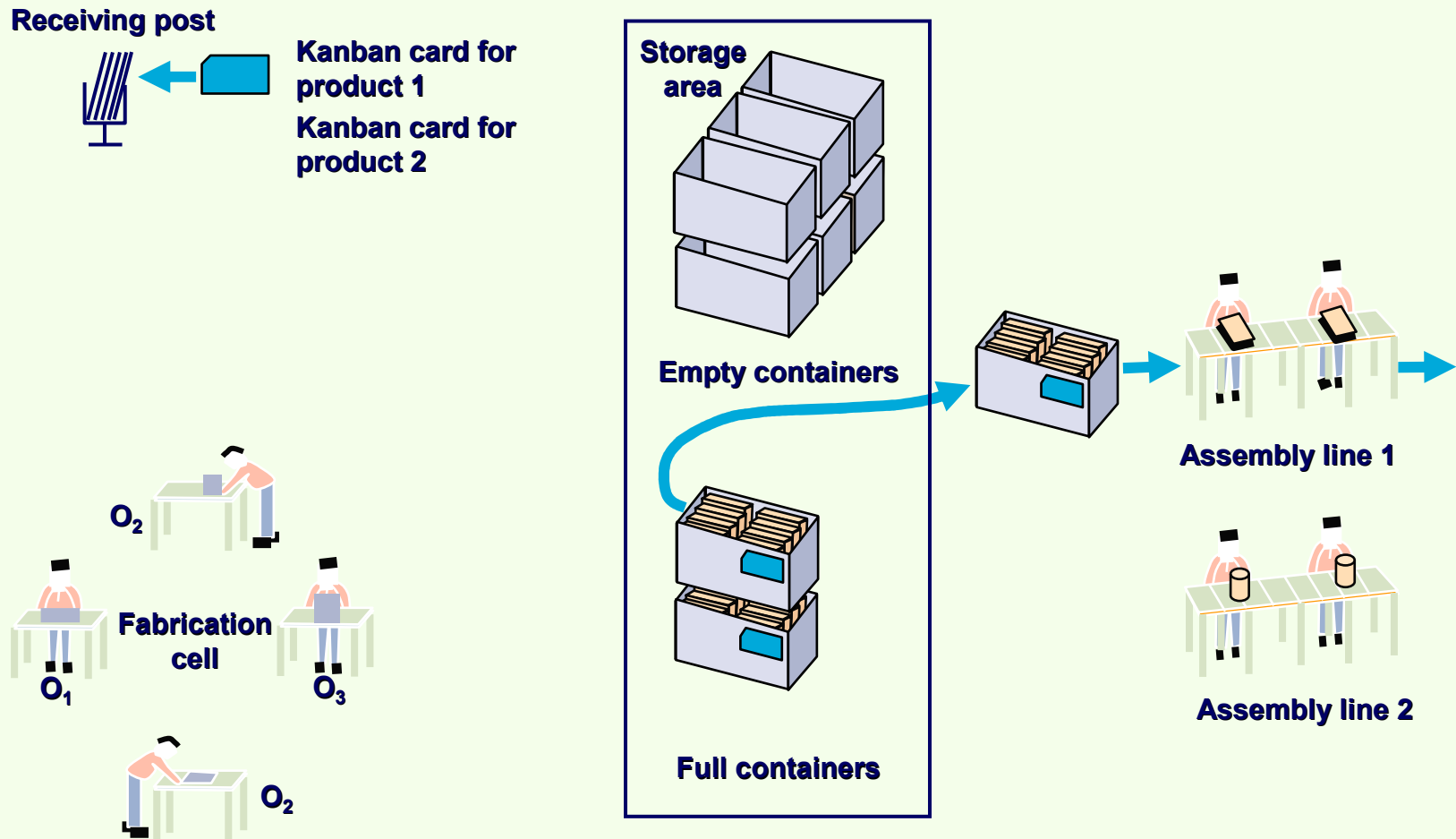


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



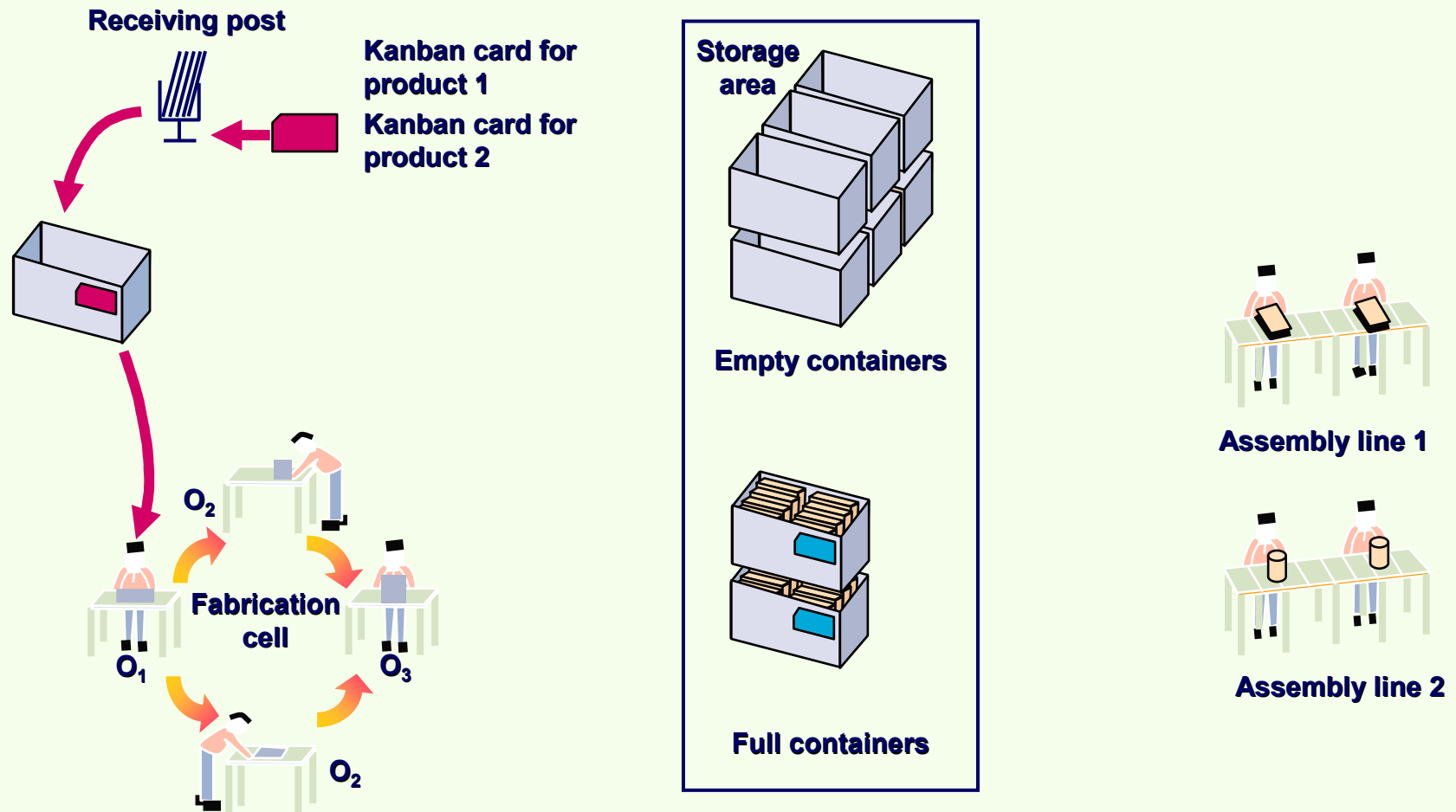
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



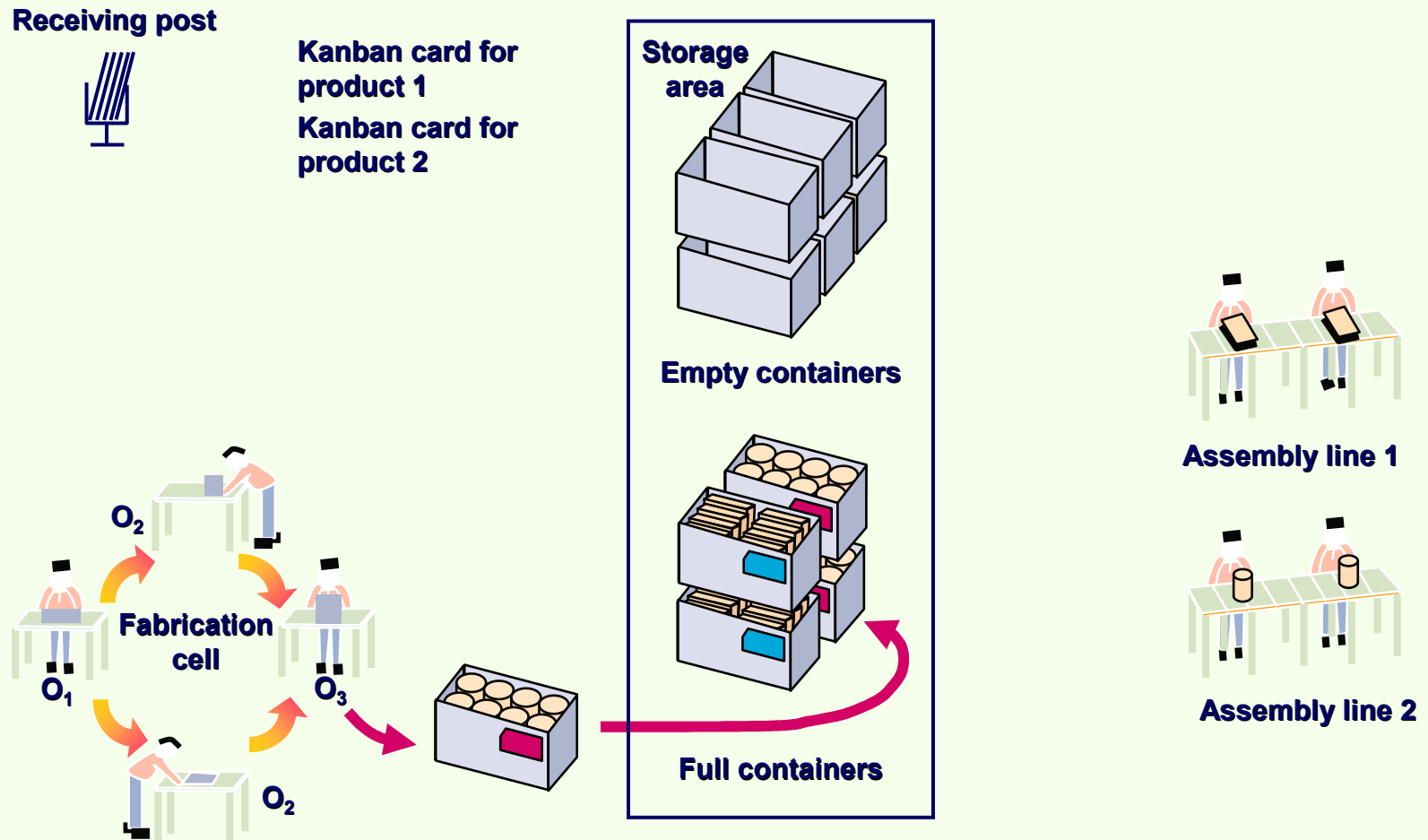
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



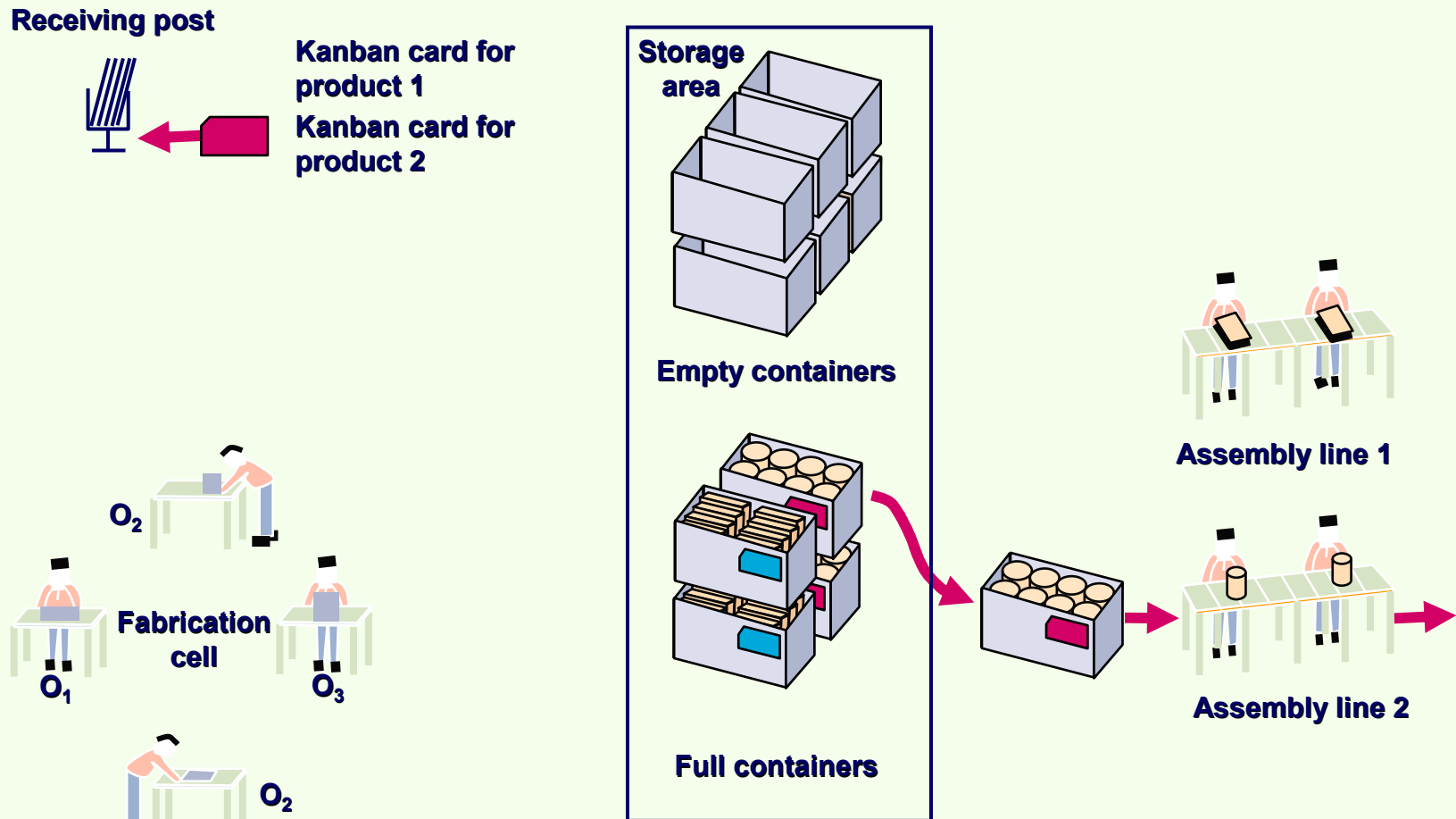
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



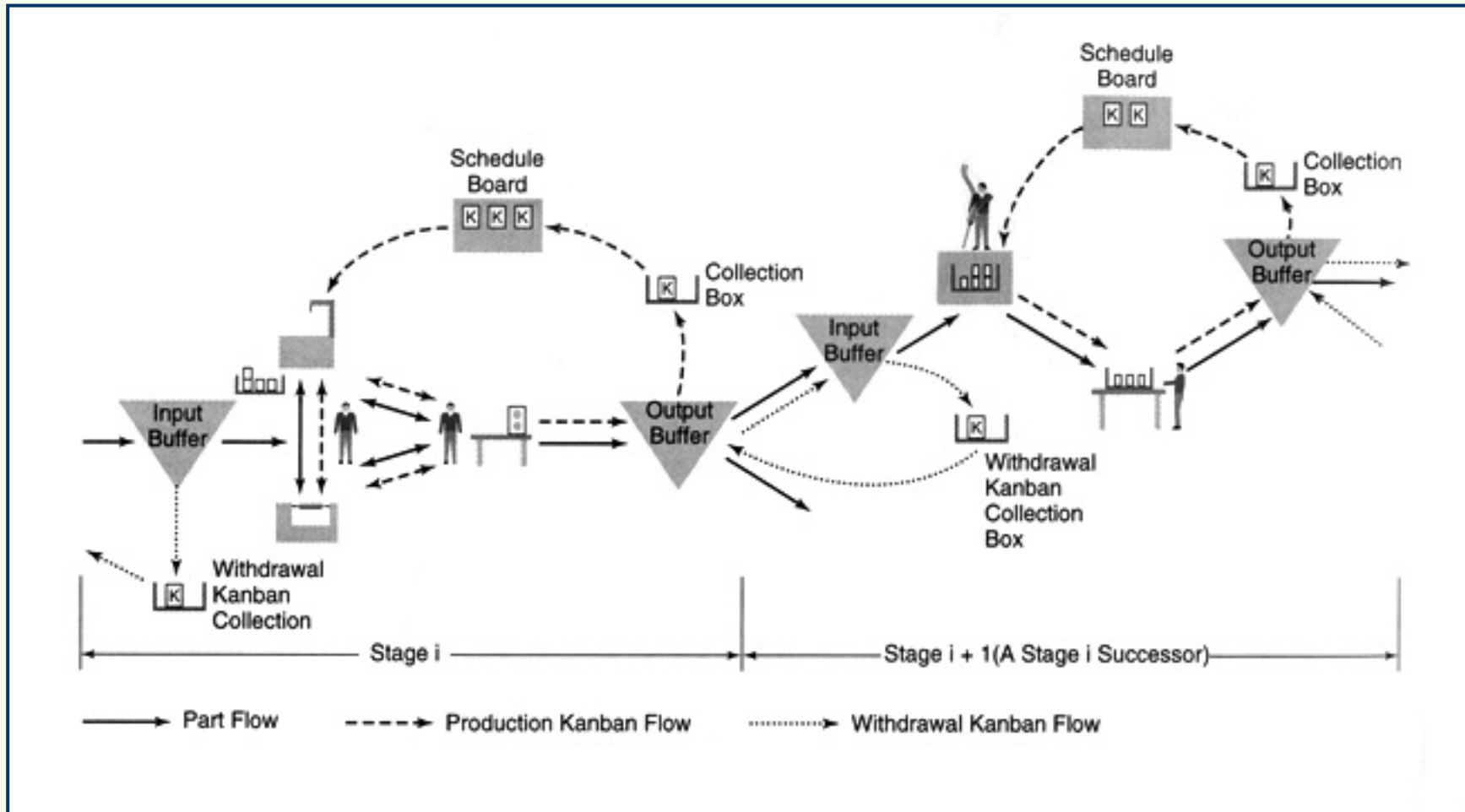
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



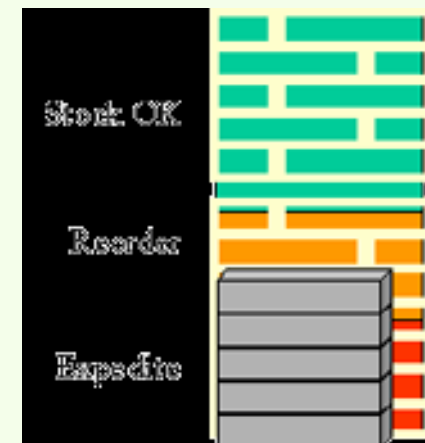
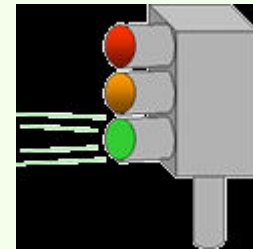
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 2 cartões*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

**Verde** → “Tudo OK” → dentro de limites aceitáveis

**Amarelo** → “Saindo de controle” → necessário reabastecimento!

**Vermelho** → “Ação Urgente!” → escassez iminente; fora de controle!



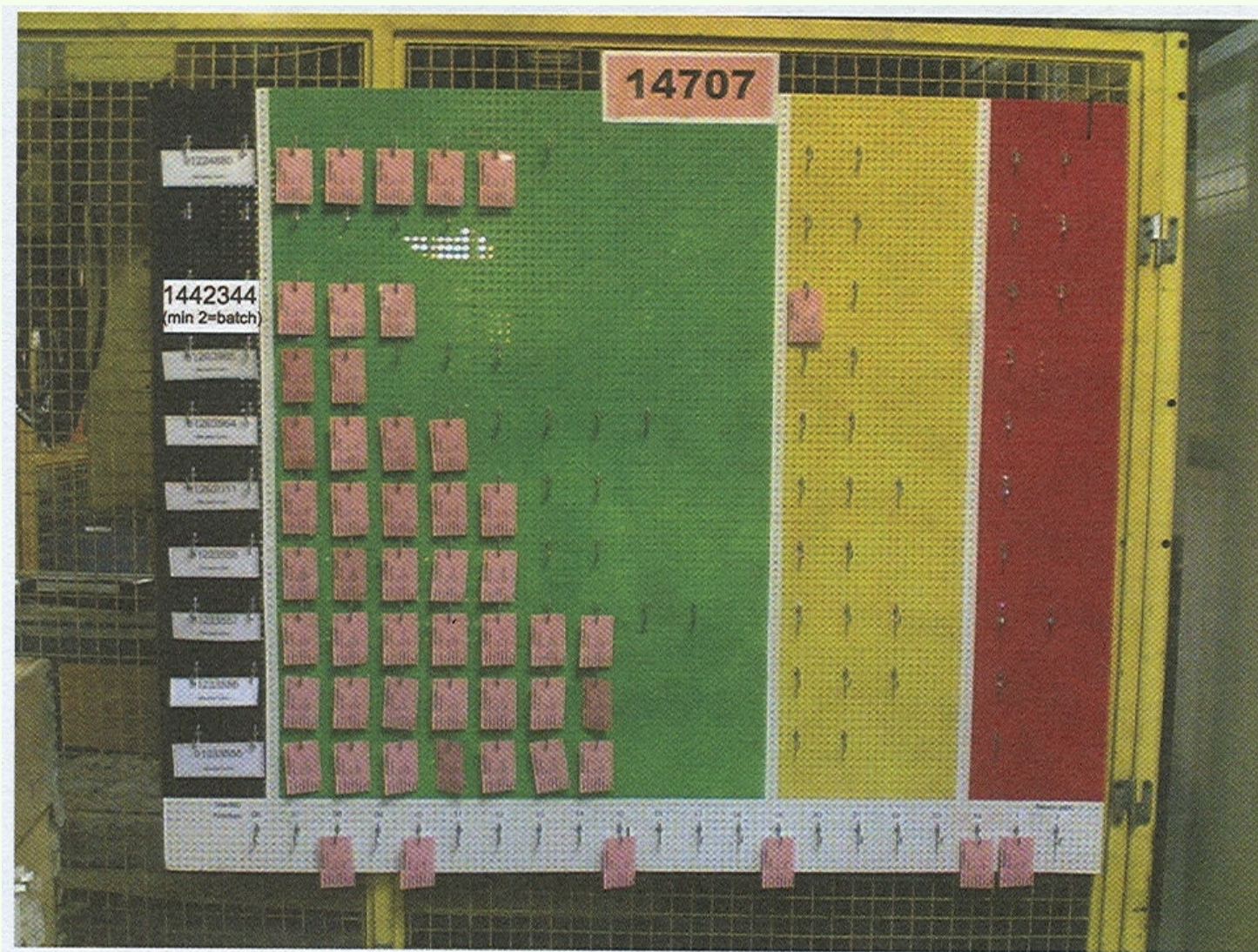
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## *Dinâmica de Kanban*

*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

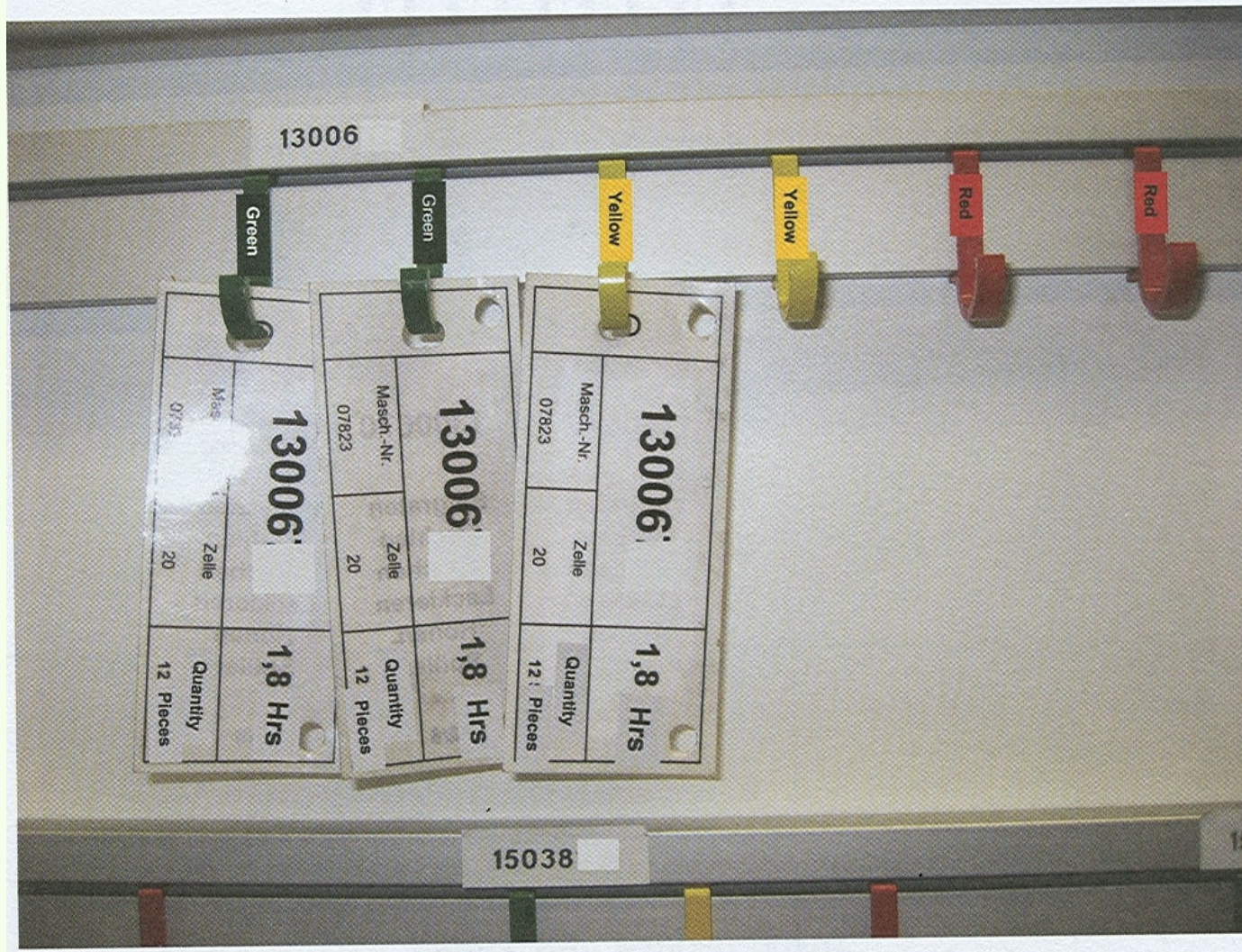


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



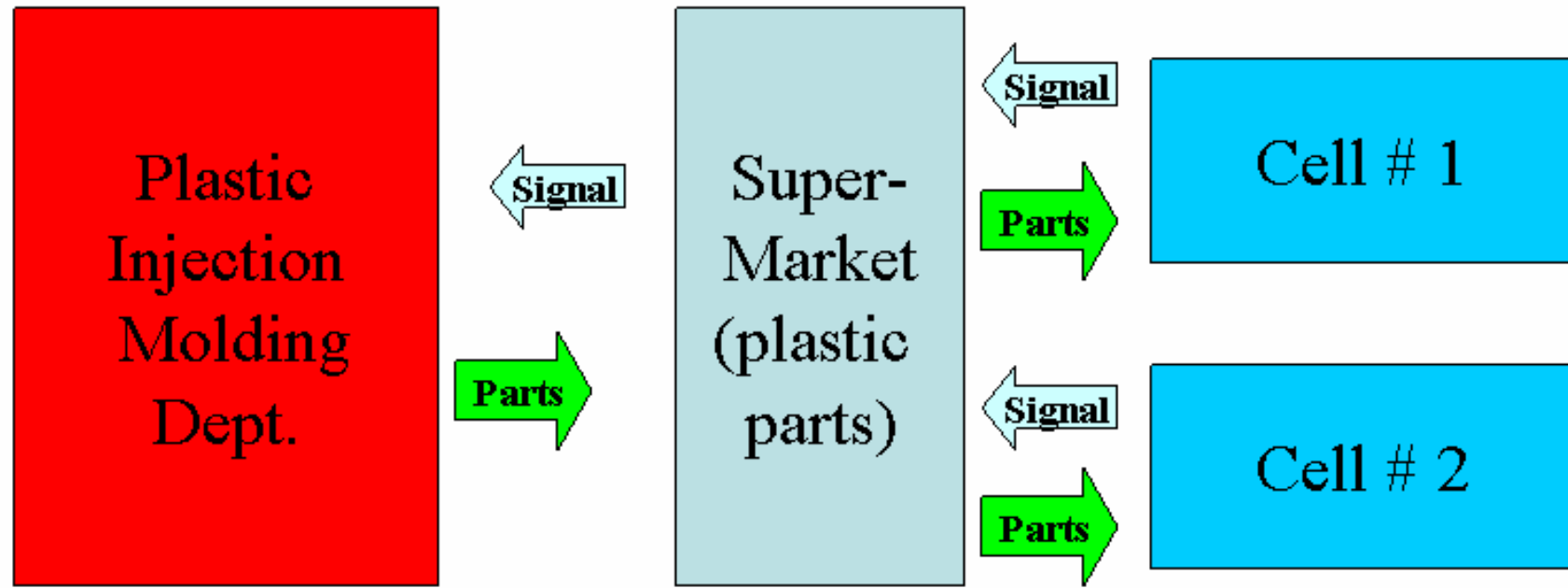
*Quadro Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



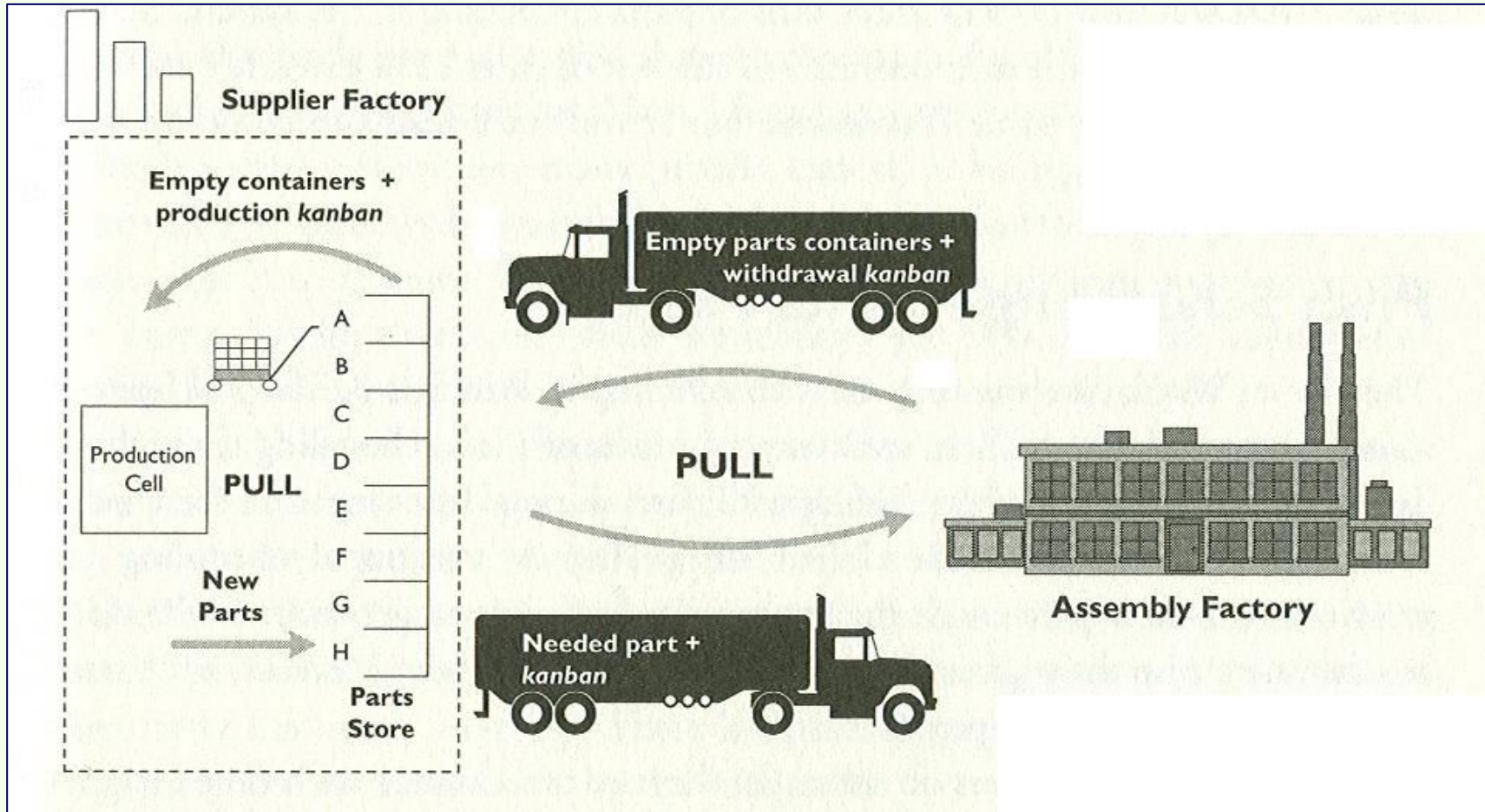
*Fote de uma parte de um quadro Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



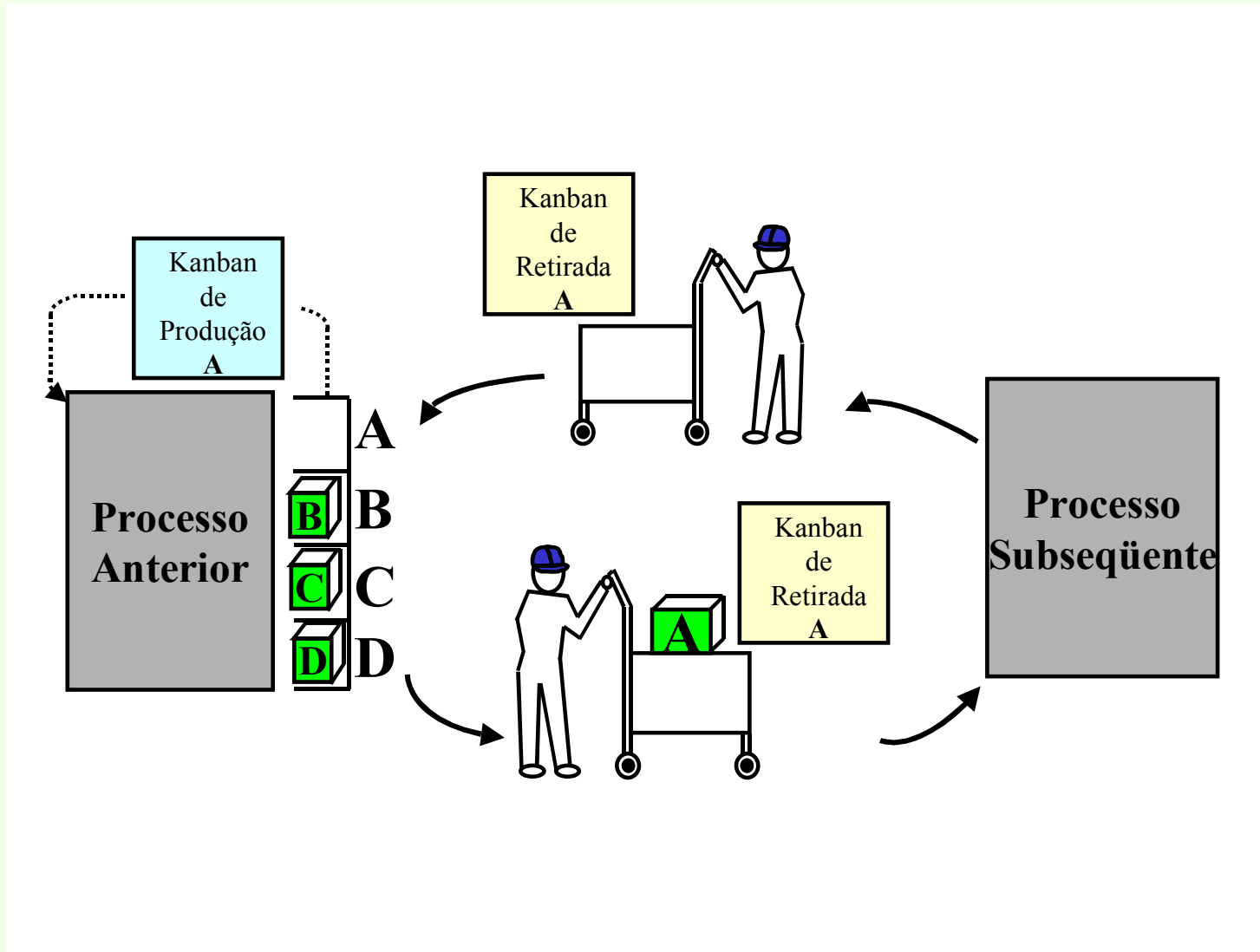
*Um sistema de produção puxado*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



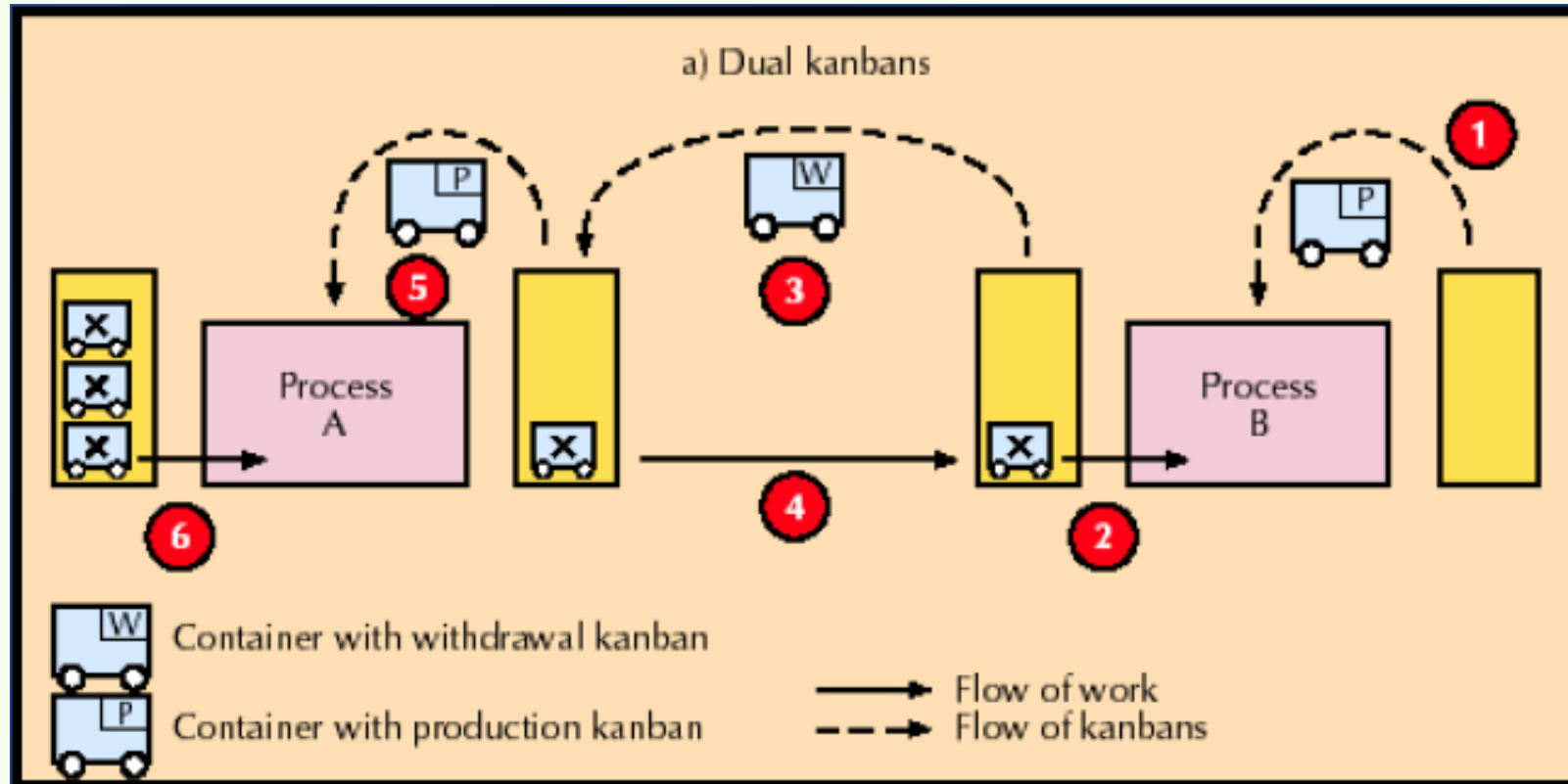
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 1 cartão*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



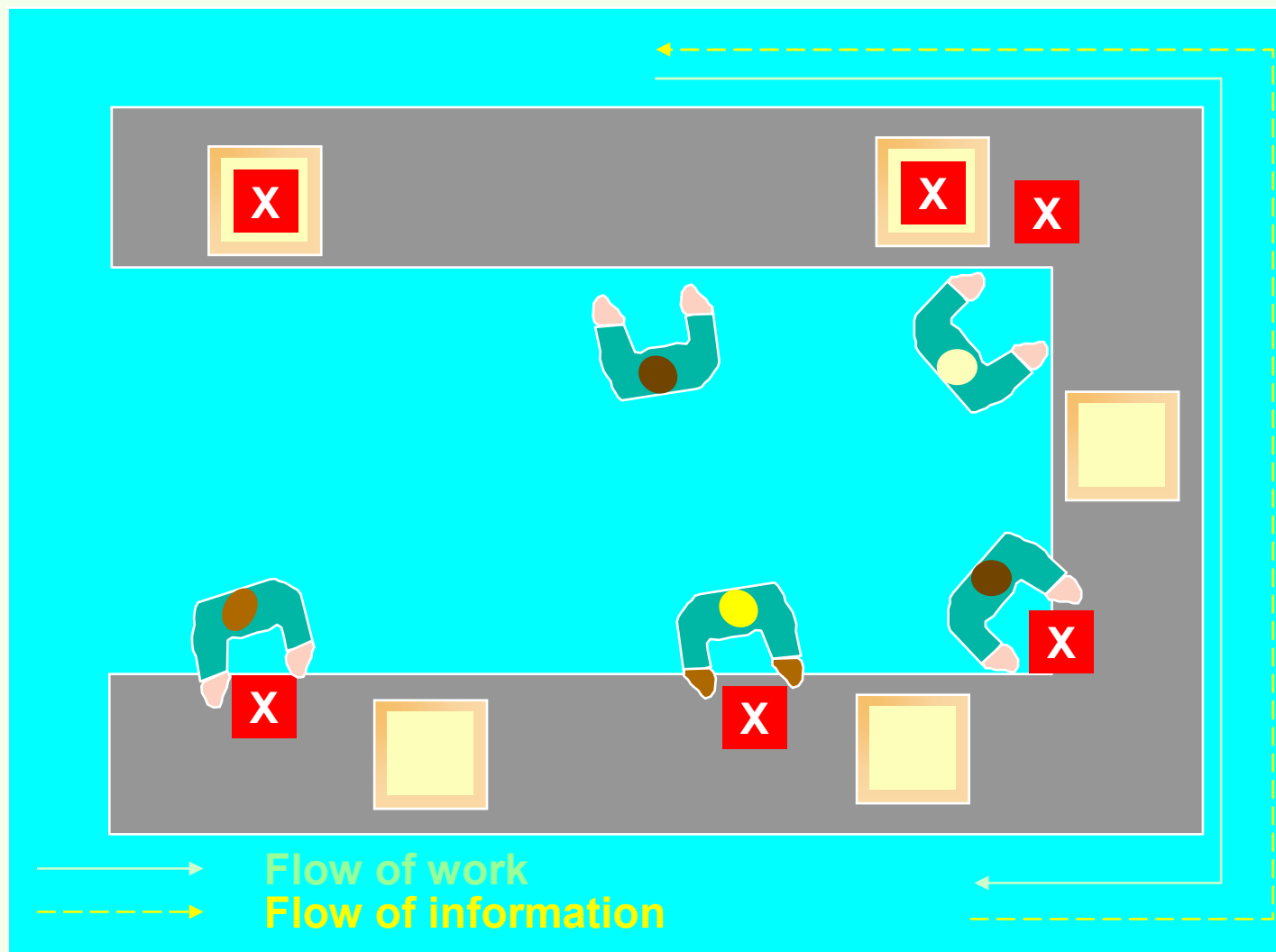
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 2 cartões*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



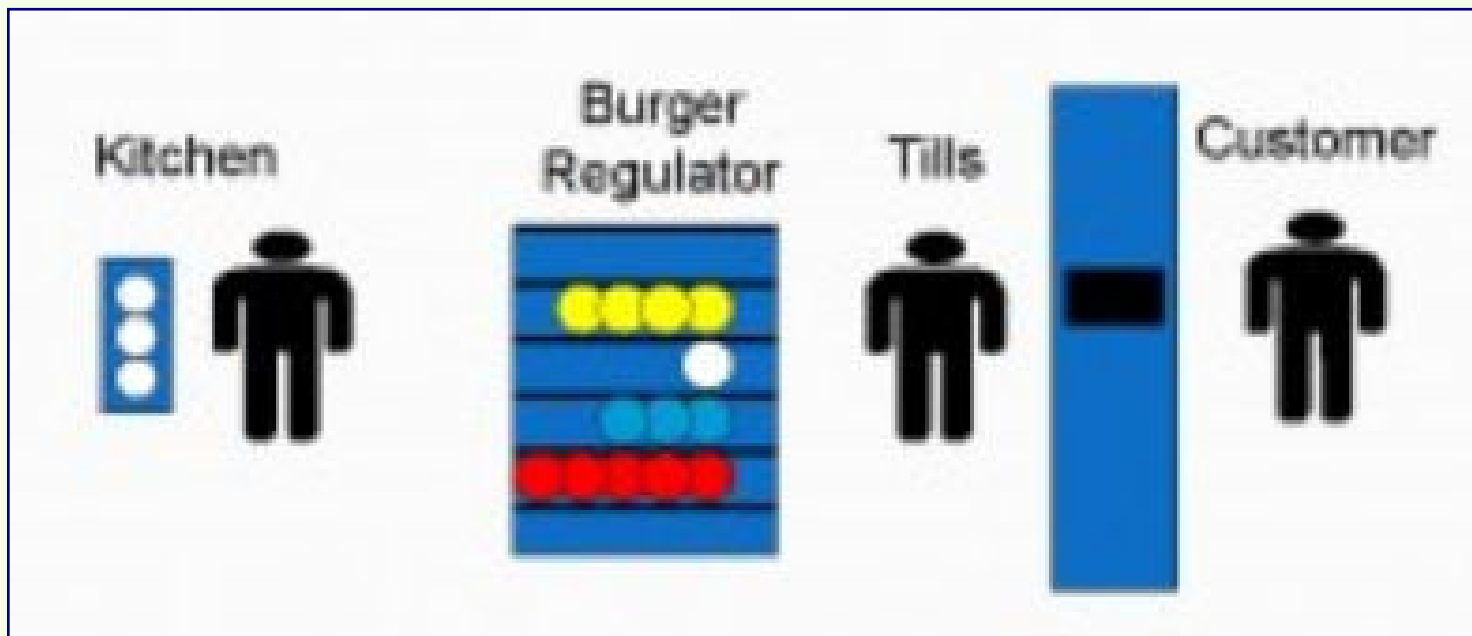
*Um exemplo de um Sistema Kanban de 2 cartões*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Um outro exemplo de um Sistema Kanban*

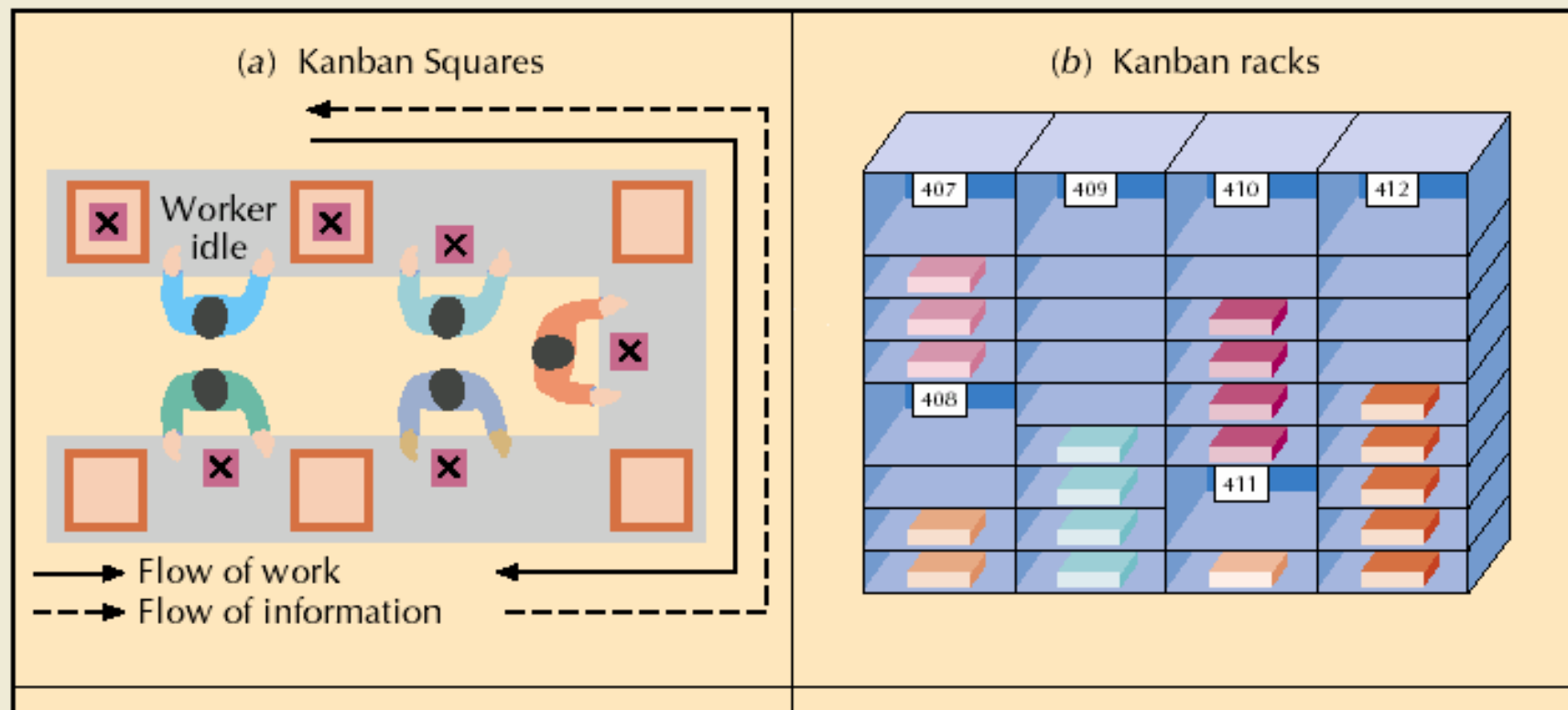
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Um outro exemplo de um Sistema Kanban (por exemplo, McDonald's)*

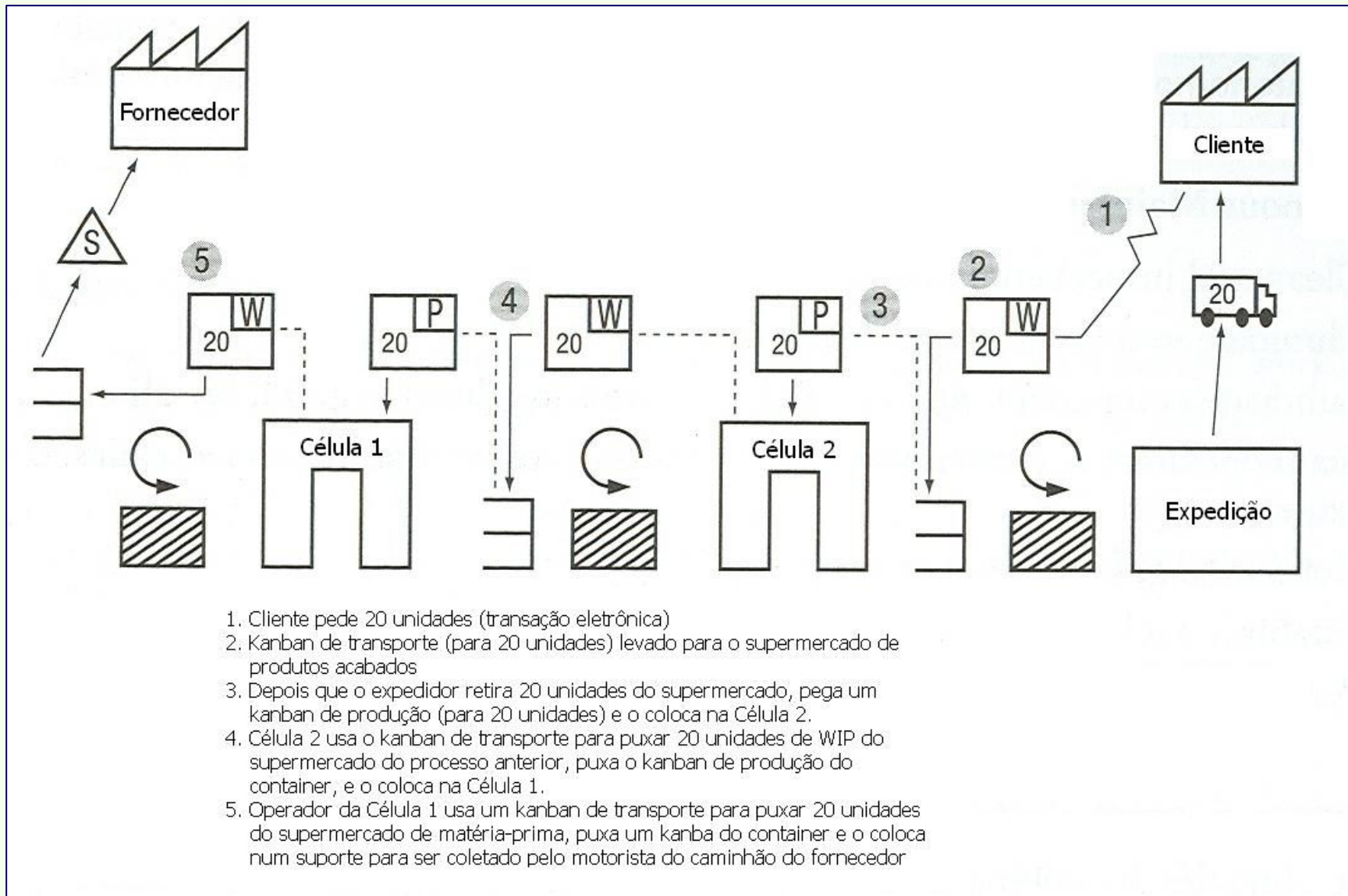


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



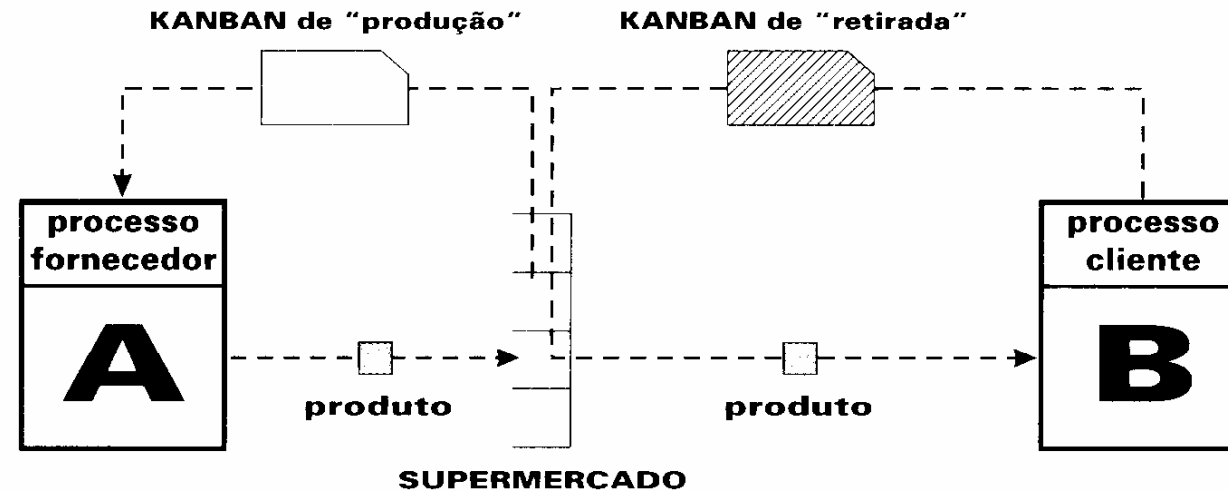
*Um outro exemplo de um Sistema Kanban*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

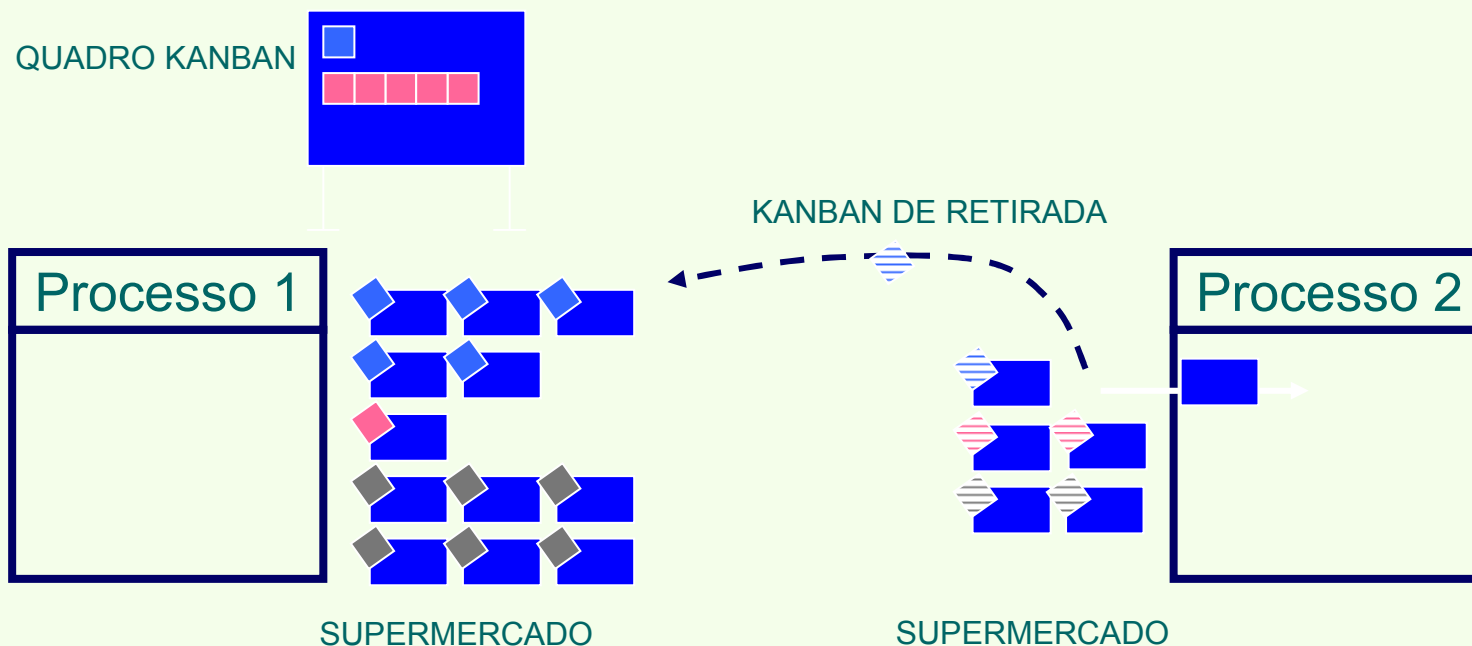
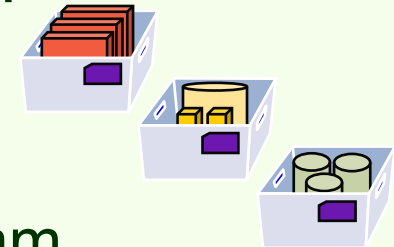
## Sistema puxado com base em supermercado



- 1) PROCESSO CLIENTE vai ao supermercado e retira o que precisa e quando precisa.
  - 2) PROCESSO FORNECEDOR produz para reabastecer o que foi retirado
- OBJETIVO:** Controlar a produção no processo de fornecimento sem tentar programar  
Controlar a produção entre os fluxos

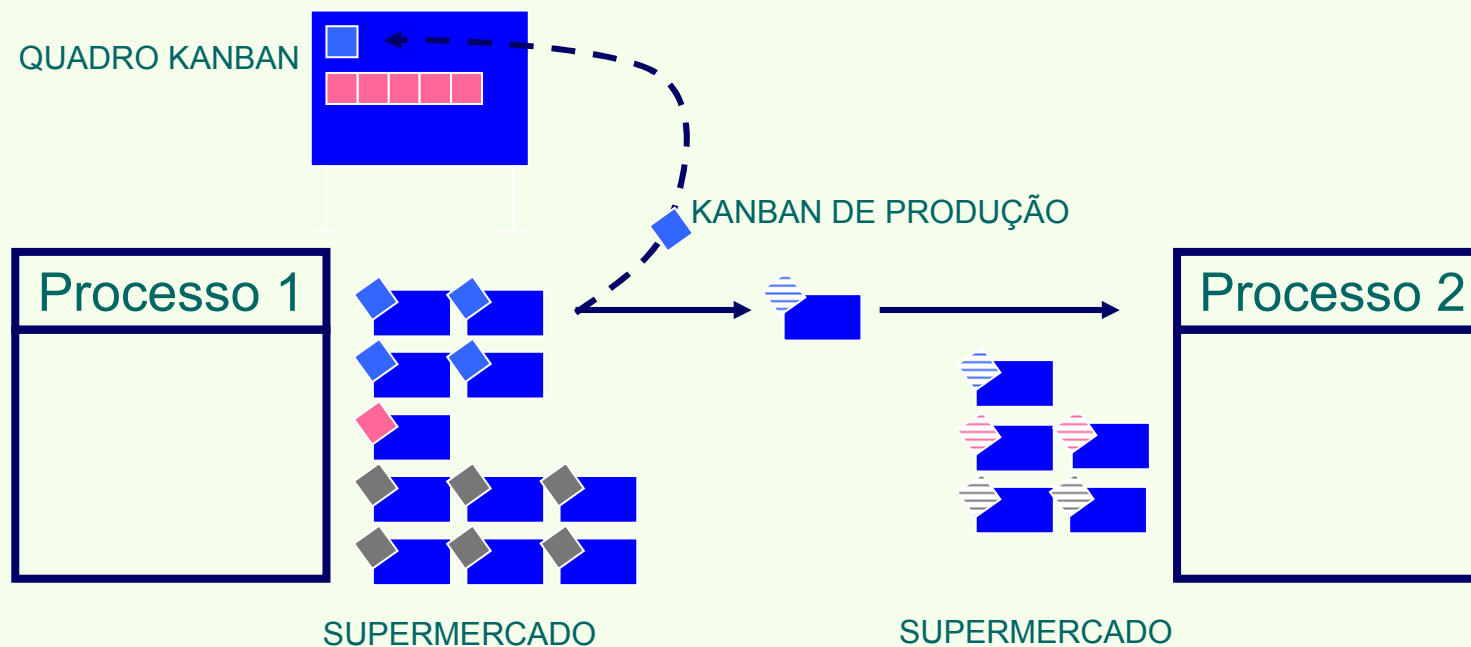
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Dinâmica do sistema Kanban com 2 cartões:
  - O cliente consome as embalagens que estão no supermercado da linha.
  - Os cartões de retirada que acompanhavam estas caixas permitem a obtenção de peças no supermercado do fornecedor.



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Dinâmica do sistema Kanban com 2 cartões:
  - O kanban de retirada autoriza o cliente a retirar uma embalagem do supermercado.
  - O kanban de produção que estava na caixa é levado para o quadro e sua produção é autorizada.



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Cálculo do número de Kanbans:

$$\text{Número de Kanbans} = \frac{\text{Demanda durante o Lead Time} + \text{Estoque de Segurança}}{\text{Tamanho do Contenedor}}$$

Demanda diária = 500 peças

Lead time (espera, manuseio, processamento) = 2 dias

Estoque de segurança = 1/2 dia

Tamanho do contenedor = 250 peças


Demanda durante o Lead Time = 2 dias x 500 peças = 1000

$$\text{Número de Kanbans} = (1000 + 250) / 250 = 5$$

Produto	A	B	C	D	E
Demanda Diária	300	200	200	50	50
Quantidade em cada caixa	25	25	25	25	25
Número de Kanbans	12	8	8	2	2

Demanda diária total = 800 unidades

Tempo disponível = 52.800 segundos

  $Tempo Takt = \frac{52.800}{800} = 66 \text{ segundos}$

Tempo Pitch = quantidade de tempo necessária em uma área de produção para completar um contêiner de produtos.

Tempo Pitch = Tempo Takt X Quantidade na Caixa  
 $= 66 \times 25 = 1.650 \text{ segundos} = 27,5 \text{ minutos}$

Tempo Pitch = 27,5 minutos

Assim, a cada 27,5 minutos, 25 unidades devem ser liberadas para a expedição. Mas pode-se perguntar: “25 unidades de que produto”?

<i>Número de Kanbans (contêiners)</i>	A = 12	B = 8	C = 8	D = 2	E = 2
<i>Número de Kanbans (contêiners)</i>	A = 3	B = 2	C = 2	D = 0,5	E = 0,5



Time Increment	Product
6:30 — 6:40	Beginning of 1st Shift Meeting and Operator PM Checks
6:40:00 — 7:07:30	A
7:07:30 — 7:35:00	A
7:35:00 — 8:02:30	A
8:02:30 — 8:30:00	B
8:30 — 8:40	Break—No Production
8:40:00 — 9:07:30	B
9:07:30 — 9:35:00	C
9:35:00 — 10:02:30	C
10:02:30 — 10:30:00	A
10:30 — 11:00	Lunch—No Production
11:00:00 — 11:27:30	A
11:27:30 — 11:55:00	A
11:55:00 — 12:22:30	D
12:22:30 — 12:50:00	B
12:50 — 1:00	Break—No Production
1:00:00 — 1:27:30	B
1:27:30 — 1:55:00	C
1:55:00 — 2:22:30	C
2:22:30 — 2:50:30	E
2:50:30 — 3:00:00	End of 1st Shift 5S
3:00 — 3:10	Beginning of 2nd Shift Meeting and Operator PM Checks
3:10:00 — 3:37:30	A
3:37:30 — 4:05:00	A
4:05:30 — 4:32:30	A
4:32:30 — 5:00:00	B
5:00 — 5:10	Break—No Production
5:10:00 — 5:37:30	B
5:37:30 — 6:05:00	C
6:05:30 — 6:32:30	C
6:32:30 — 7:00:00	D
7:00 — 7:30	Lunch—No Production
7:30:00 — 7:57:30	A
7:57:30 — 8:25:00	A
8:25:00 — 8:52:30	A
8:52:30 — 9:20:00	B
9:20 — 9:30	Break—No Production
9:30:00 — 9:57:30	B
9:57:30 — 10:25:00	C
10:25:00 — 10:52:30	C
10:52:30 — 11:20:00	E
11:20 — 11:30	End of 2nd Shift 5S

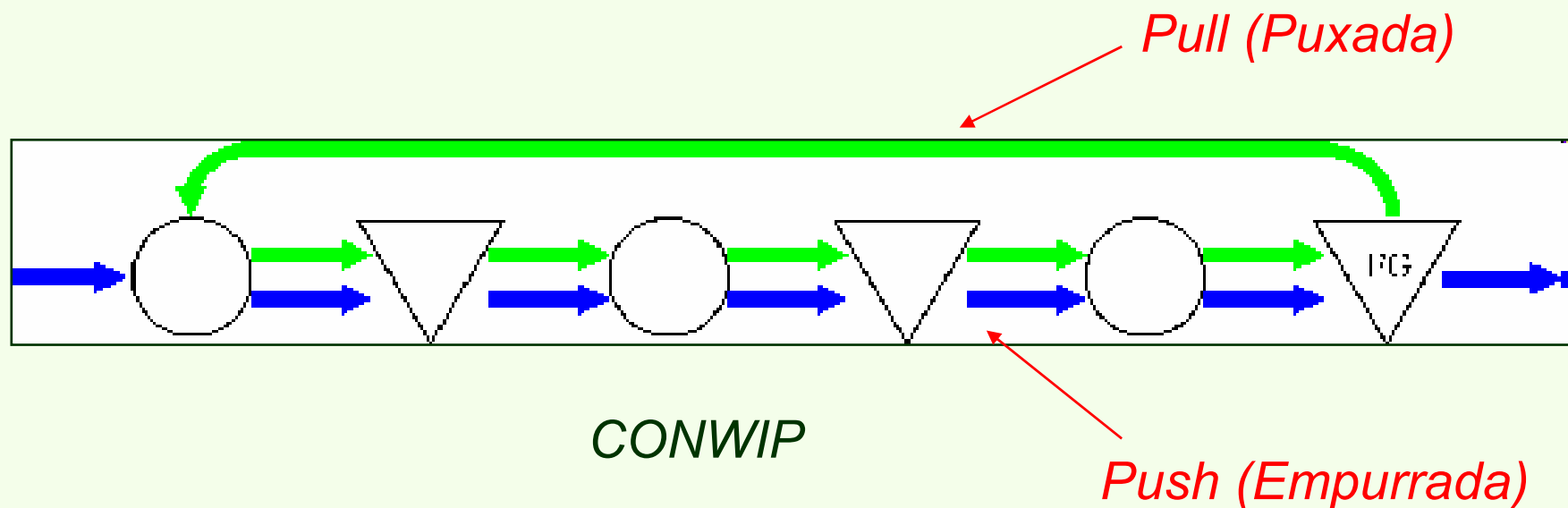
*Heijunka  
 Box  
 Incremento  
 por tempo  
 pitch*

	A	B	C	D	E
1:27:30 -					
1:00 - 1:27:30	1	1			
12:22:30 - 12:50		1			
11:55 - 12:22:30				1	
11:27:30 - 11:55	1				
11:00 - 11:27:30	1				
10:02:30 - 10:30	1				
9:35 - 10:02:30			1	1	
9:07:30 - 9:35			1		
8:40 - 9:07:30		1			
8:02:30 - 8:30		1			
7:35 - 8:02:30	1				
7:07:30 - 7:35	1				
6:40 - 7:07:30	1				

*Heijunka  
Box  
Kanbans*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

CONWIP (Constant Work-In-Process)  $\Rightarrow$  estratégia de controle que limita o número total de peças permitidas para o sistema ao mesmo tempo  $\Rightarrow$  uma vez liberadas, as peças são processadas o mais rapidamente possível, até que acabam no último buffer como produtos acabados  $\Rightarrow$  é como se tal sistema estivesse envolto em uma célula Kanban (ver figura abaixo).



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- CONWIP controla o número de cartões permitidos no chão-de-fábrica, onde cada cartão ou contenedor/caixa tem um tamanho mais ou menos padrão  $\Rightarrow$  os cartões sinalizam para o novo pedido entrar no sistema, e tornam-se disponíveis novamente somente quando a tarefa sai da fábrica  $\Rightarrow$  logo após um cartão (informação) sair da fábrica, ele move-se novamente para a frente (início), permitindo uma nova tarefa (material) entrar no sistema  $\Rightarrow$  expedidores não são permitidos a forçar o começo de uma nova tarefa sem a presença de um cartão.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Isso leva a um comportamento ligeiramente diferente de um controle Kanban:

1. Como o kanban  $\Rightarrow$  sistema CONWIP responde apenas a demandas reais que ocorreram, por isso é ainda um tipo de sistema puxado.
2. Mas ao contrário de kanban  $\Rightarrow$  estado de repouso do sistema tem todos os buffers vazios, exceto produtos acabados, que está cheio  $\Rightarrow$  isso ocorre porque qualquer peça liberada para o sistema se tornará produto acabado  $\Rightarrow$  as peças novas não serão liberadas se o buffer estiver cheio de produtos acabados  $\Rightarrow$  o estoque de produtos acabados está disponível para servir o cliente, e não há estoque interno para juntar poeira.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- Mas e os estoques necessários para prevenir contra falhas?
  - é verdade que o estoque em um buffer protege a porção posterior da linha das falhas da porção anterior, mas o estoque não protege a porção anterior da linha das falhas da parte posterior
  - se o buffer estiver cheio, e a máquina logo após o buffer falhar, uma linha Kanban iria interromper a parte anterior da falha, não importando a fúria dos clientes no final ⇒ quando a máquina quebrada é reparada, ela repentinamente vai impor uma maior carga de trabalho na parte anterior do sistema, pois ela precisará alcançar a demanda.

# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

- Os buffers quase vazios em uma linha CONWIP contêm importantes espaços vazios  $\Rightarrow$  este espaço é usado para desacoplar a parte anterior da linha contra falhas na parte posterior
- se a última máquina na linha falha, os clientes serão supridos a partir do buffer de produtos acabados, enquanto novas peças serão liberadas para a linha como de costume, e prosseguem para o buffer à frente da máquina que falhou  $\Rightarrow$  lá elas esperam pelo reparo
- quando a máquina for reparada, ela terá um número de peças suficientemente grande no seu buffer de entrada para recuperar o atraso com a demanda e encher o buffer de produtos acabados.

# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

- Buffers vazios também desacoplam as máquinas em uma linha Kanban ⇒ mas em uma linha Kanban a política de controle consiste em encher os buffers sempre que possível ⇒ e isto é possível na maioria das vezes, a menos que a taxa de demanda seja maior que a capacidade do sistema.



# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

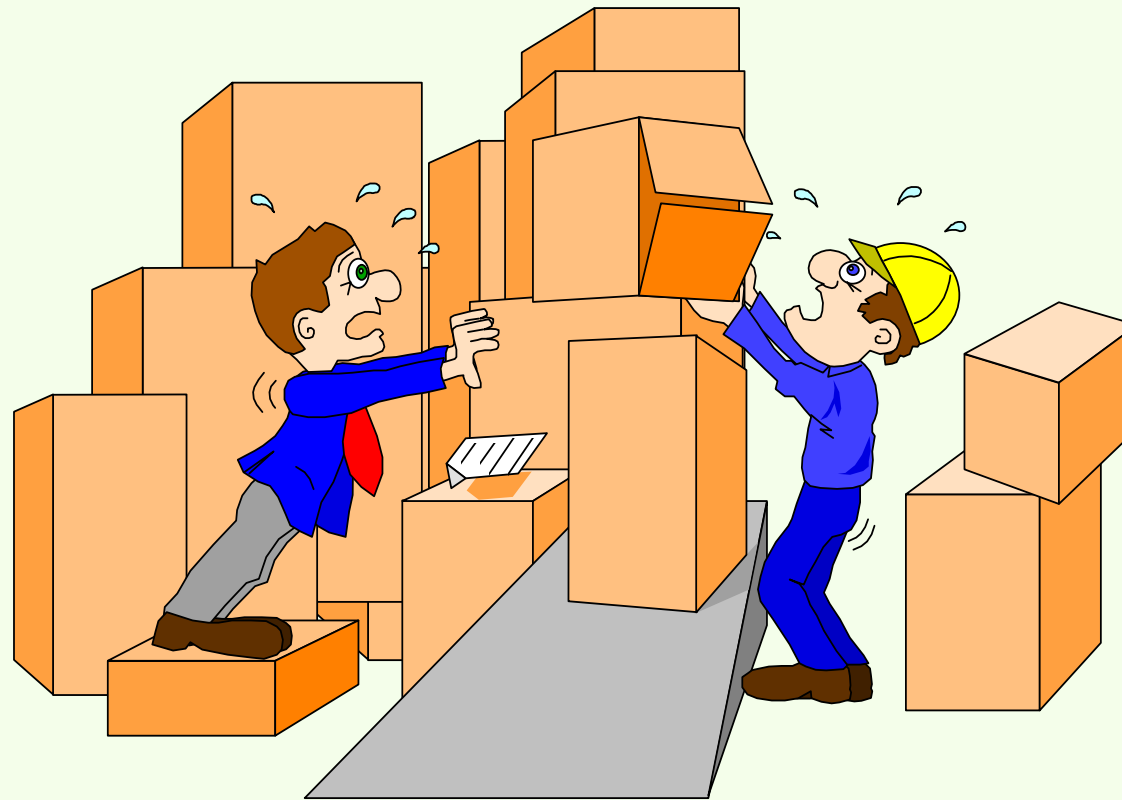
- Algo importante aconteceu: o fluxo de peças e de informações foram separados  $\Rightarrow$  assim, obteve-se uma política de controle que permite os mesmos níveis de produtividade e serviço do sistema kanban, mas com estoques mais baixos  $\Rightarrow$  intuitivamente, a vantagem sobre o Kanban será maior para sistemas com mais estágios (pois haverá mais buffers internos), e para sistemas com maior variabilidade do processo (uma vez que tais sistemas requerem maiores estoques para atingir a mesma produtividade).

# **SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA**

- Bônus adicional  $\Rightarrow$  CONWIP é ainda mais simples de implementar do que Kanban, uma vez que apenas um conjunto de cartões está circulando no sistema.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas

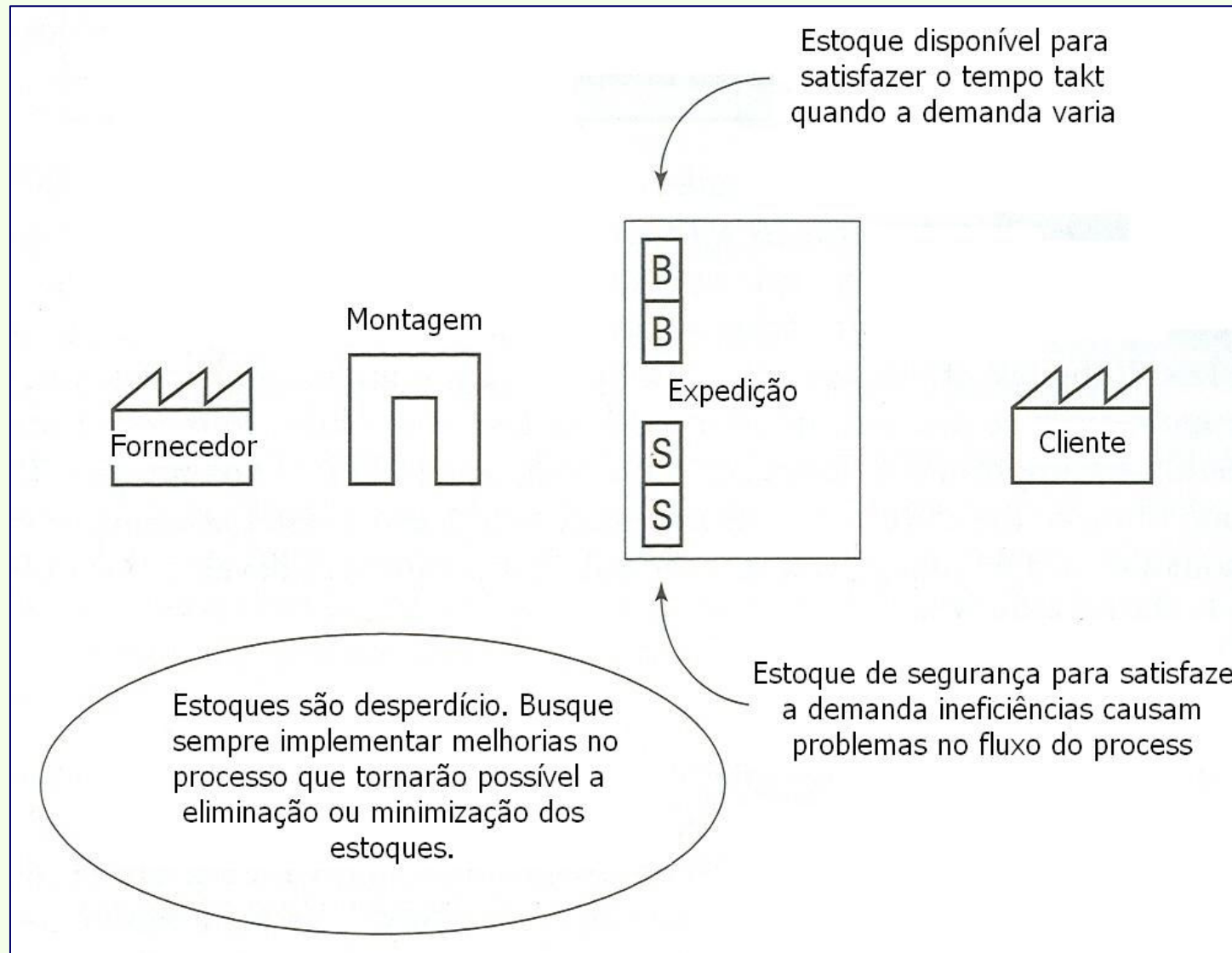


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas
  - Tipos de Estoque:
    - Material bruto
    - WIP – Estoque intermediário (ou “em trânsito”)
    - Produto acabado;
    - Estoque pulmão: para poder lidar com mudanças na demanda dos clientes;
    - Estoque de segurança: para se resguardar contra problemas no próprio processo, ou no processo do fornecedor.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

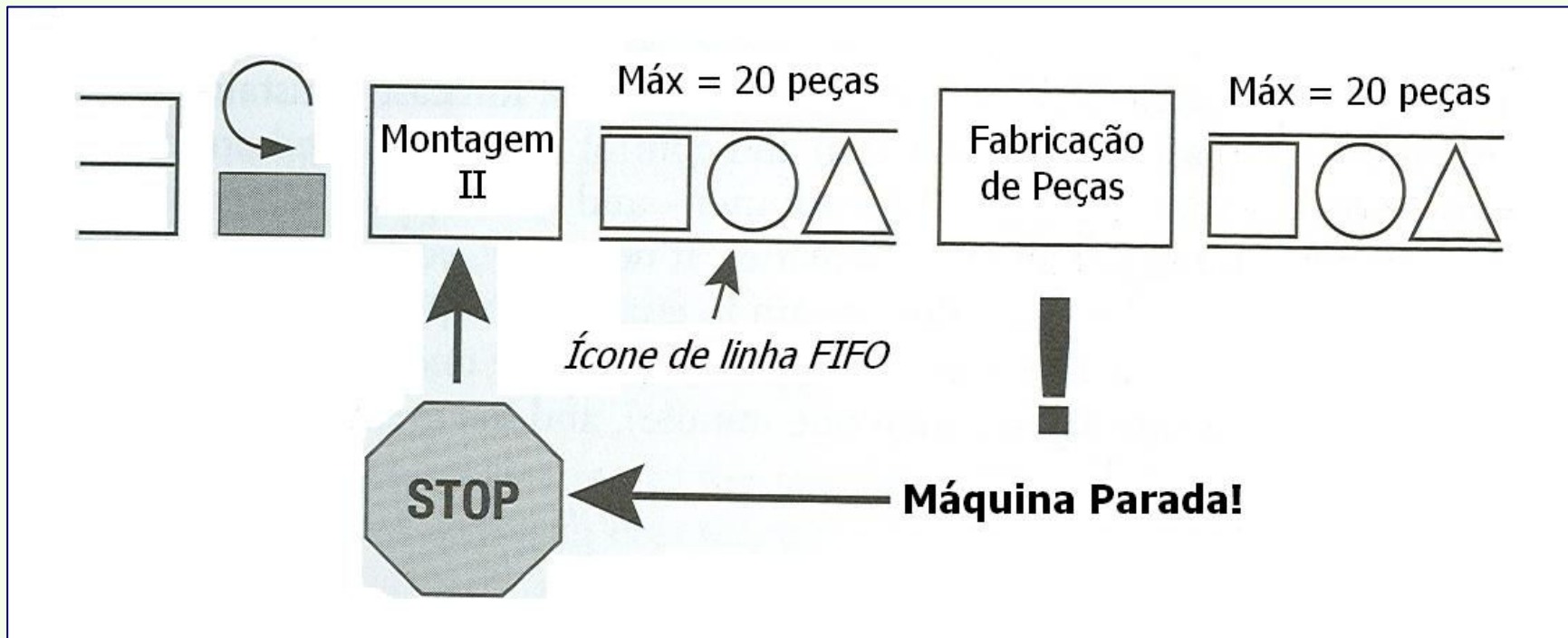
## •7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas



*Tipos de Estoque*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## •7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas



*Linhas FIFO*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas



*Exemplo de sistema FIFO*

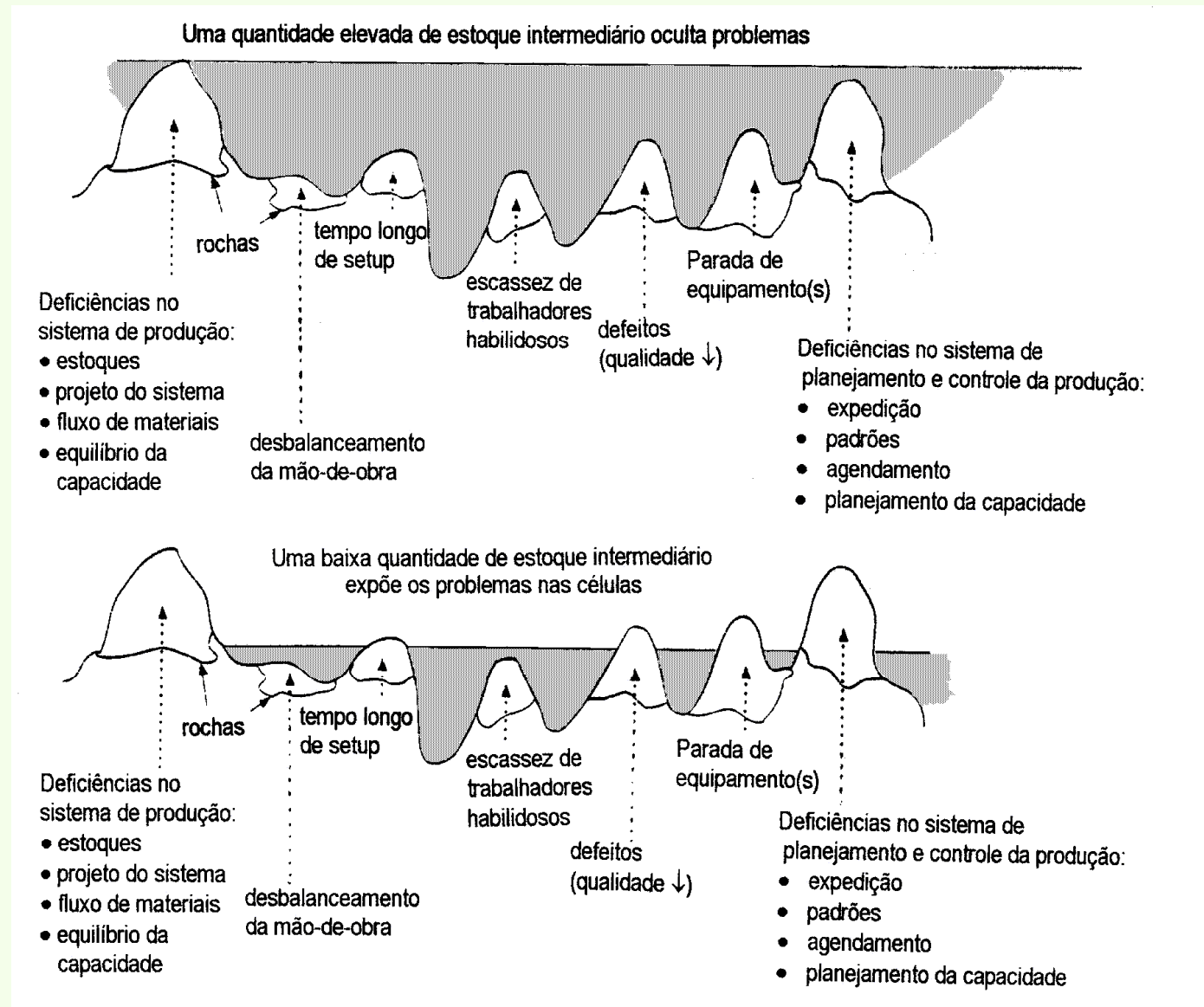
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

## • 7º Passo: Integração do Controle de Estoque: Redução do Estoque Intermediário/ Exposição de Problemas

- Integração do **controle de estoque** ao sistema → tamanhos de lote ↓ e estoque intermediário (*WIP*) ↓.
- Pessoas no chão de fábrica controlam diretamente os níveis de estoque em suas áreas.
- Interligações de **kanban** → buffers de armazenamento controláveis, protegendo elementos à frente de problemas anteriores.
- A redução controlada no nível de estoque nas interligações revela os problemas nas células → O sistema usa o controle (redução) de estoque para expor os problemas em vez do estoque em excesso para escondê-los.

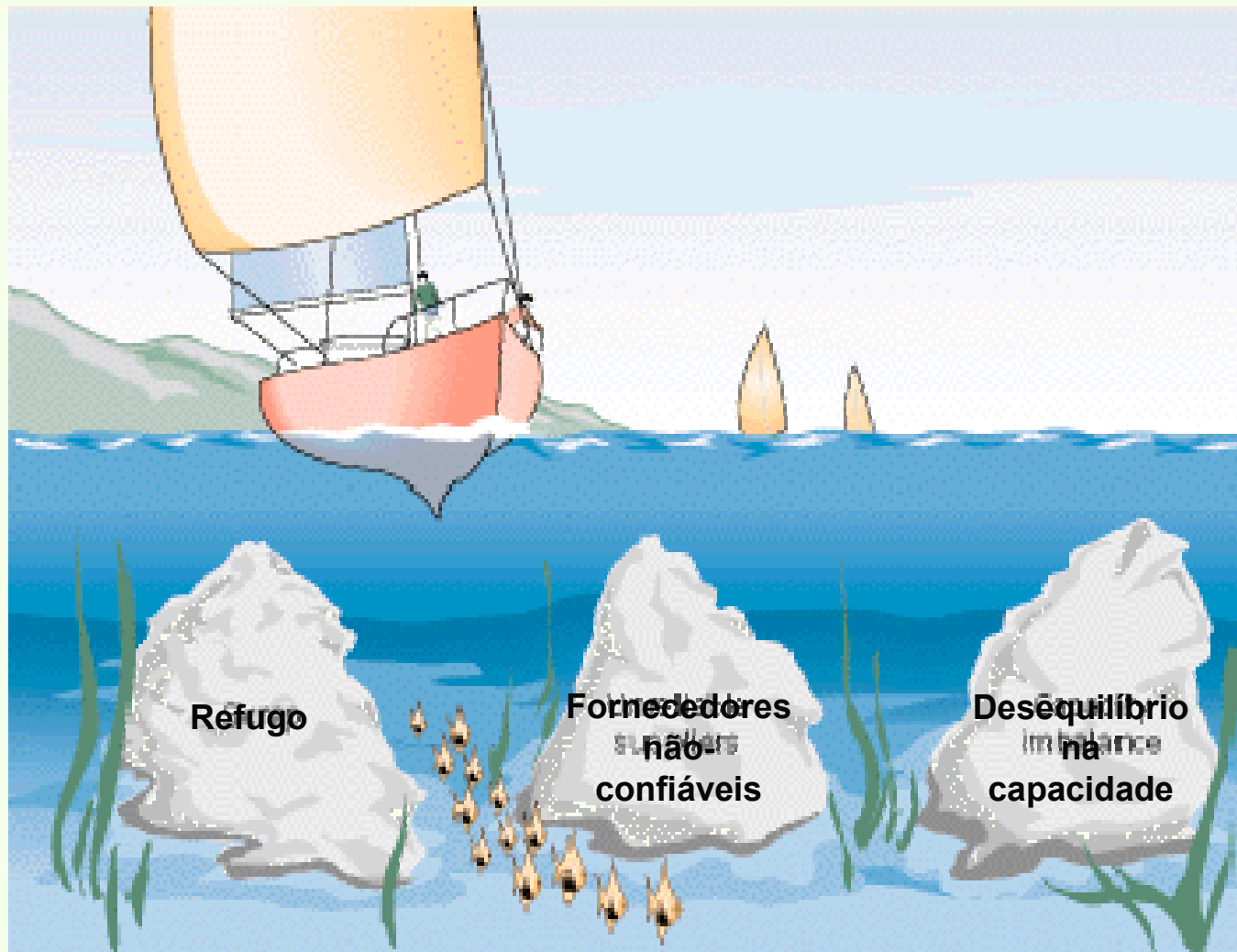


# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



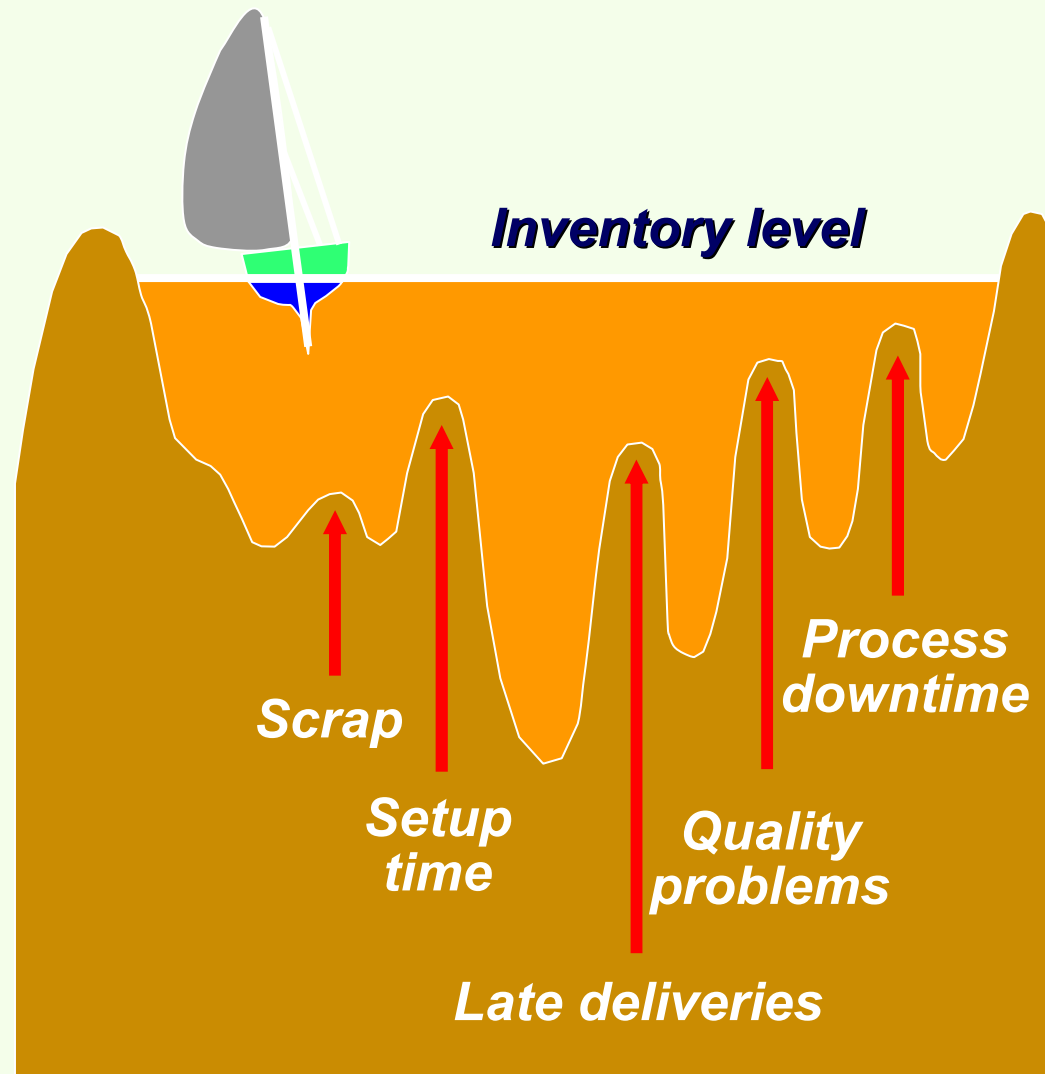
*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



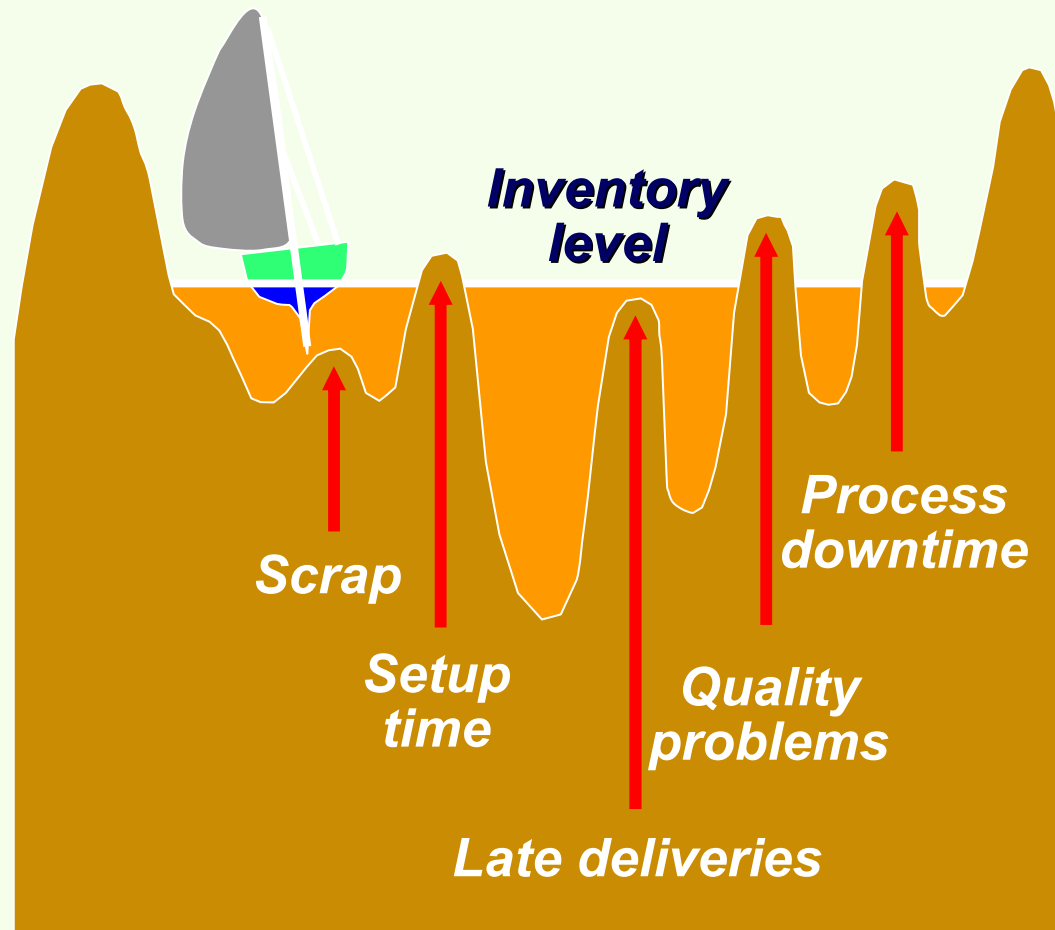
*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



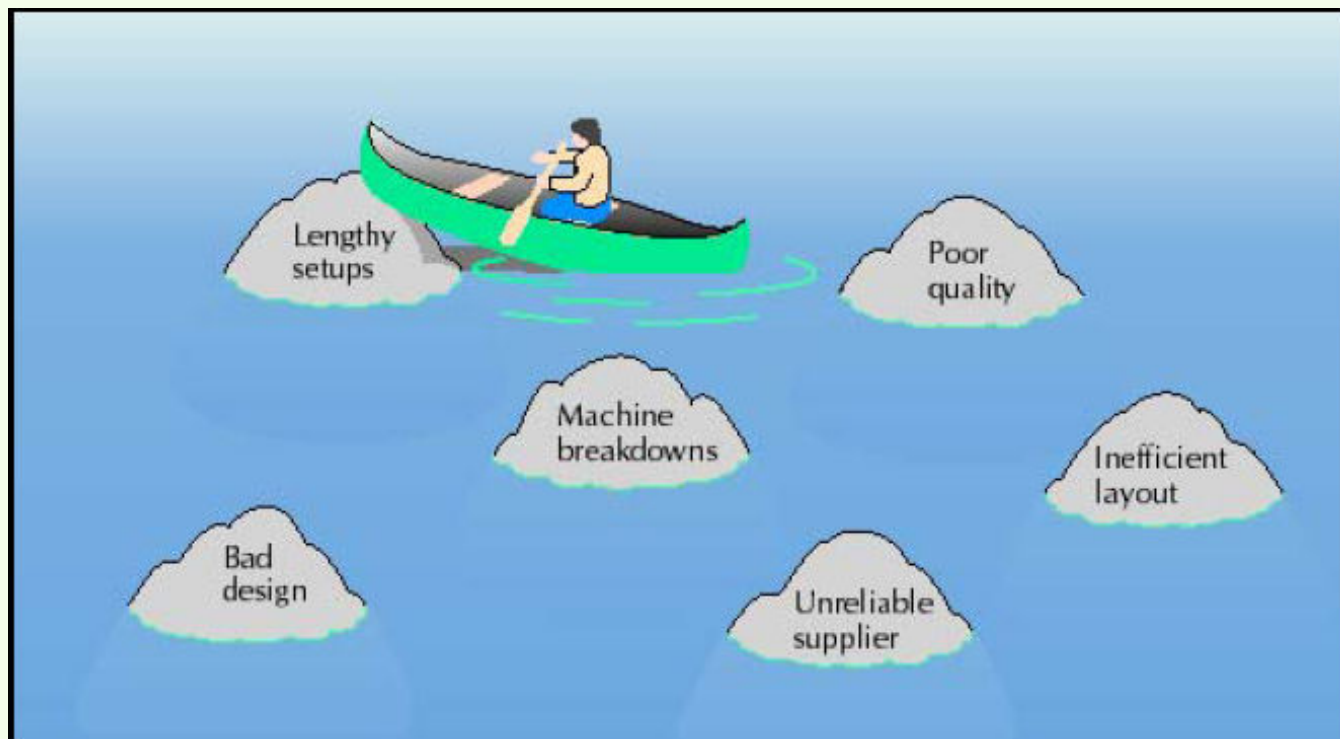
*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



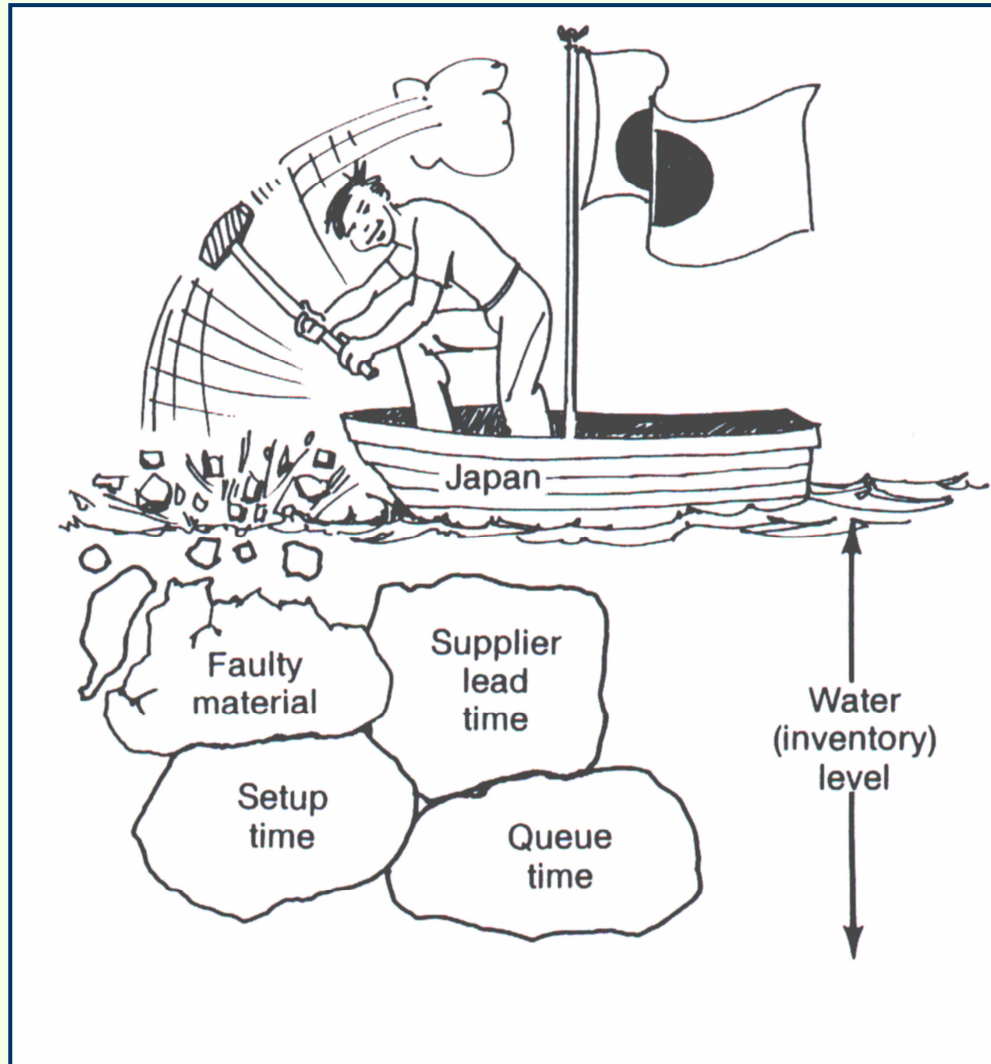
*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Analogia das rochas no rio*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Problemas ficam visíveis, e tornam-se mais fáceis de serem resolvidos*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

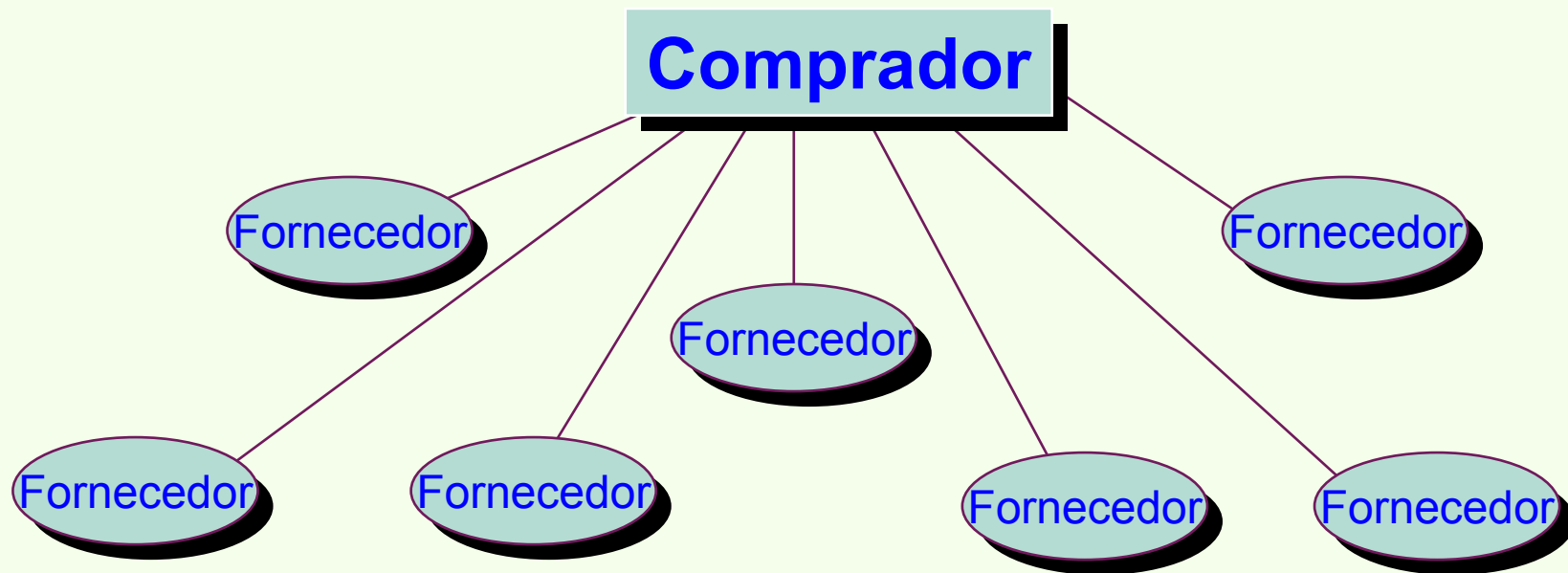
- **8º Passo: Estender o S.I.M. para Incluir os Fornecedores**
  - Educar e encorajar os fornecedores → desenvolver qualidade superior, baixo custo e entrega rápida.
  - Entrega de materiais quando e onde for necessário, sem necessidade de inspeção.
  - A rede de células interligadas eventualmente inclui cada fornecedor, que tornam-se células remotas.





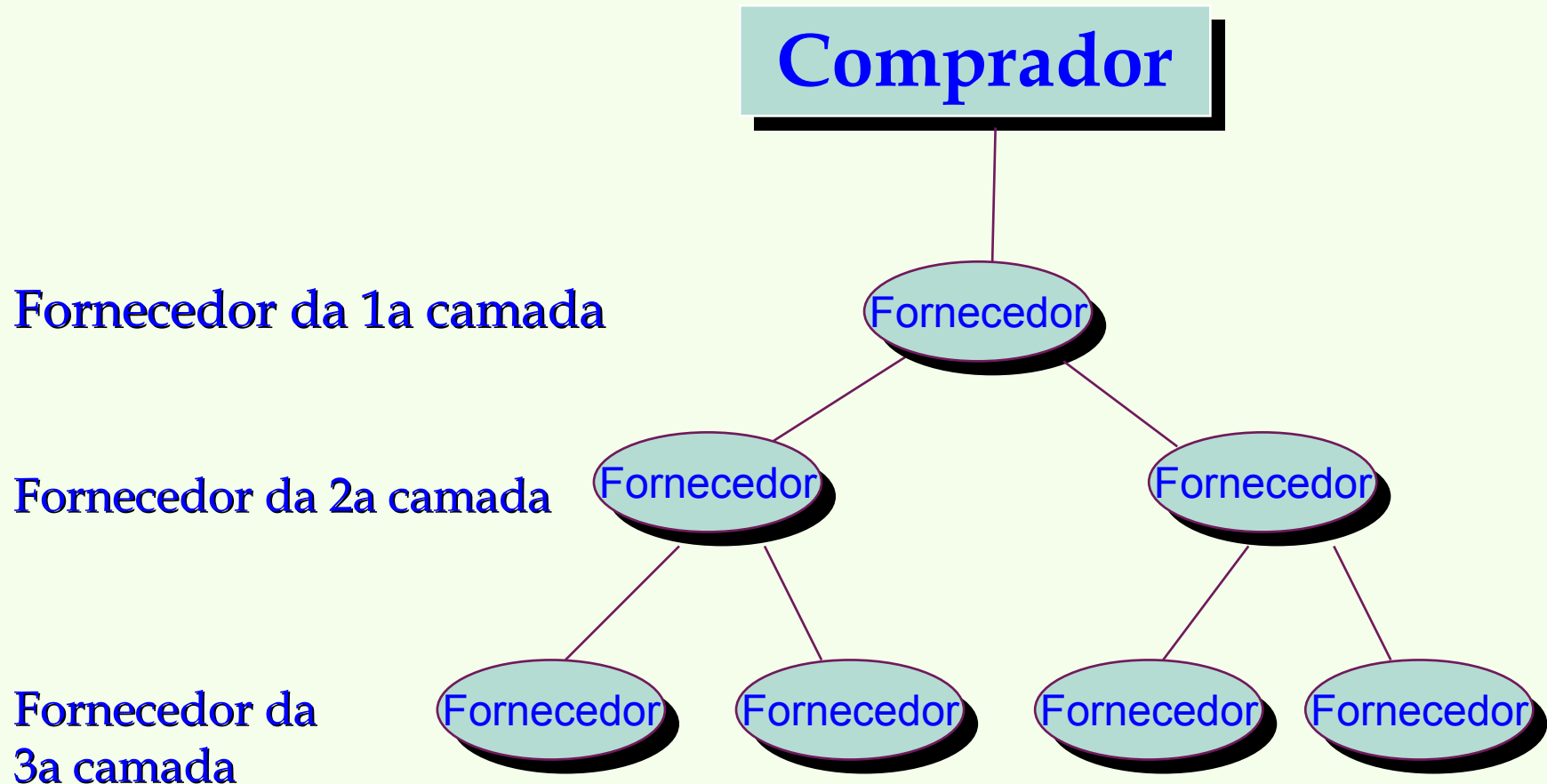
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

- 8º Passo: Estender o S.I.M. para Incluir os Fornecedores



*Enfoque tradicional*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Enfoque S.I.M. referente aos fornecedores*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

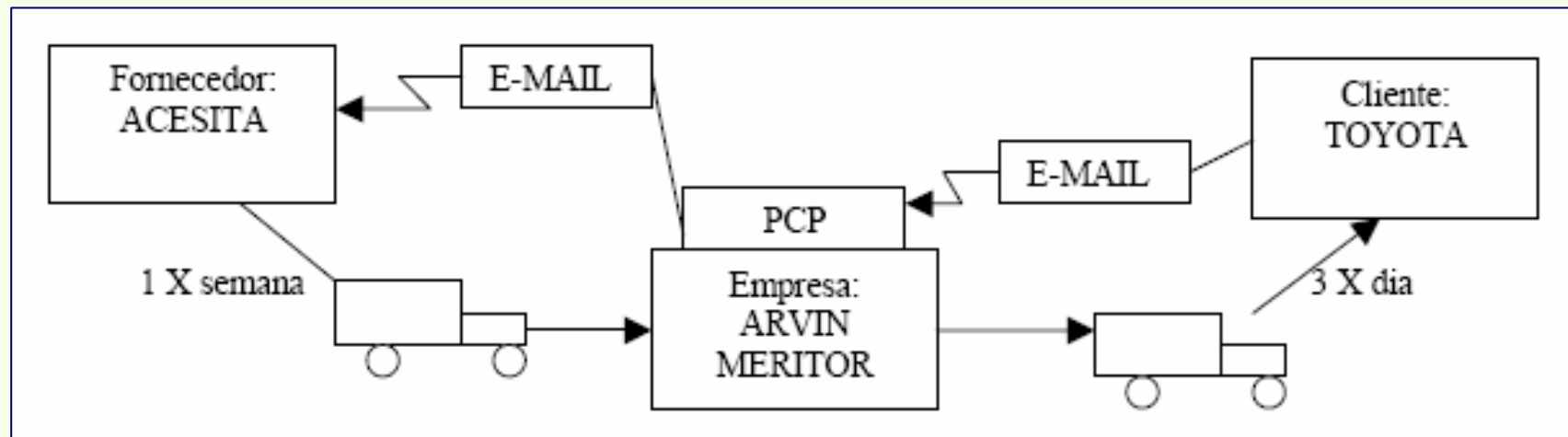
## • 9º Passo: Automatizar e Robotizar para Resolver os Problemas

- Conversão de células manuais para células automatizadas.
- Necessidade de resolver-se problemas de qualidade ou capacidade (para eliminar um gargalo).
- Começa com a mecanização de operações como preparar, carregar, fixar, descarregar, inspecionar ⇒ detecção e correção automática de problemas e defeitos.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

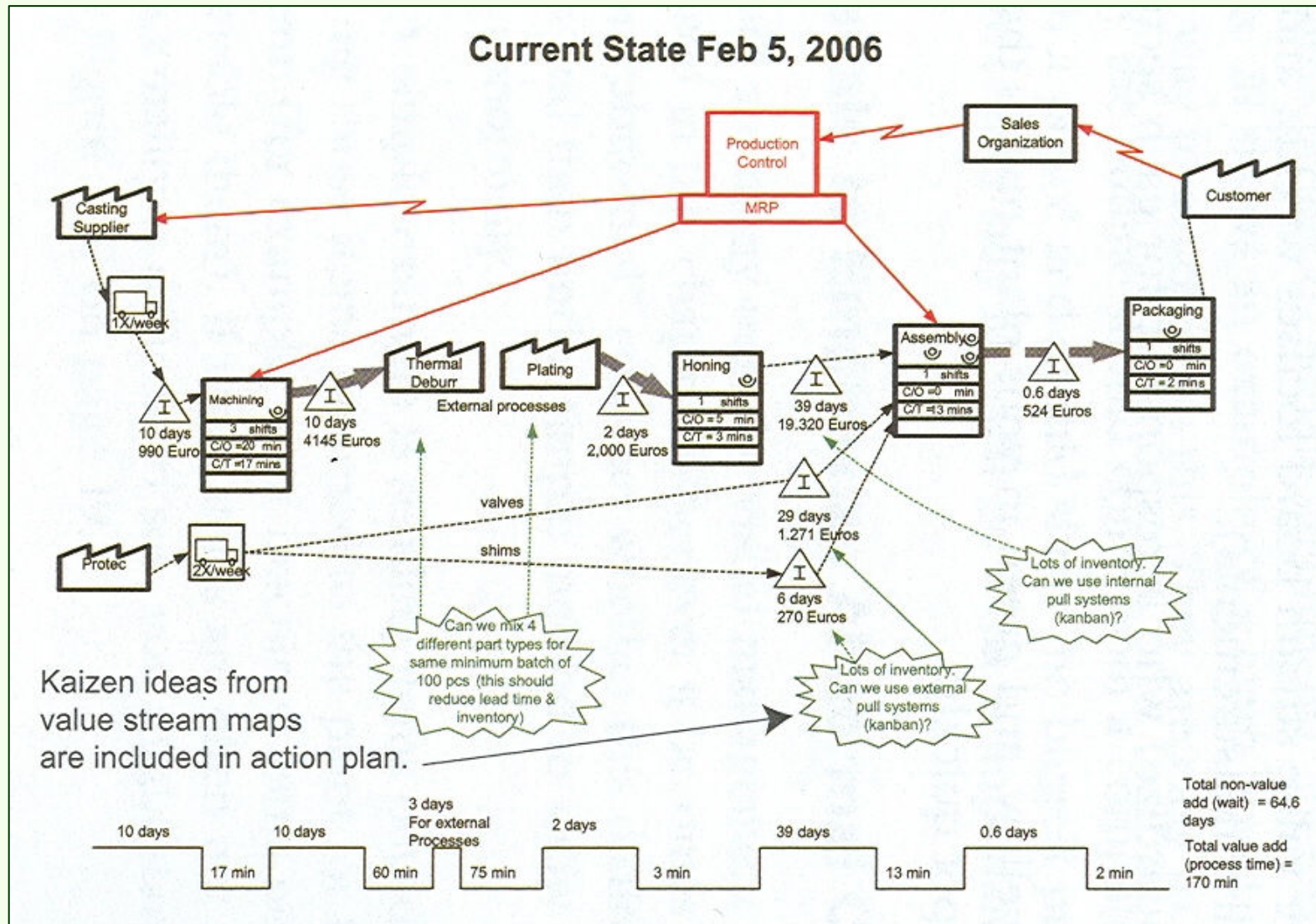
- 10º Passo: Uso de Computadores para Interligar o Sistema de Células Interligadas ao Sistema de Manufatura
  - Último passo na conversão → configuração do chão de fábrica é simples e flexível o suficiente para a implementação de computadores eficientes para o seu controle.
- Introduzir o computador no sistema integrado é mais fácil.

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



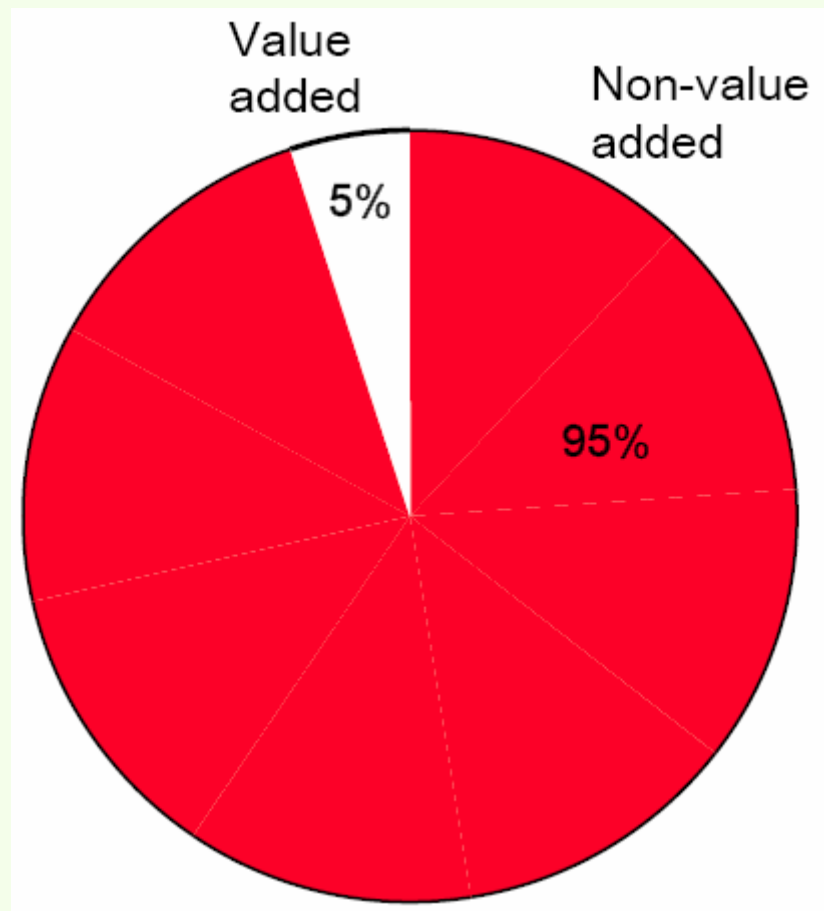
*Fluxo de Informação e de Material entre a Empresa, o Cliente e o Fornecedor*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



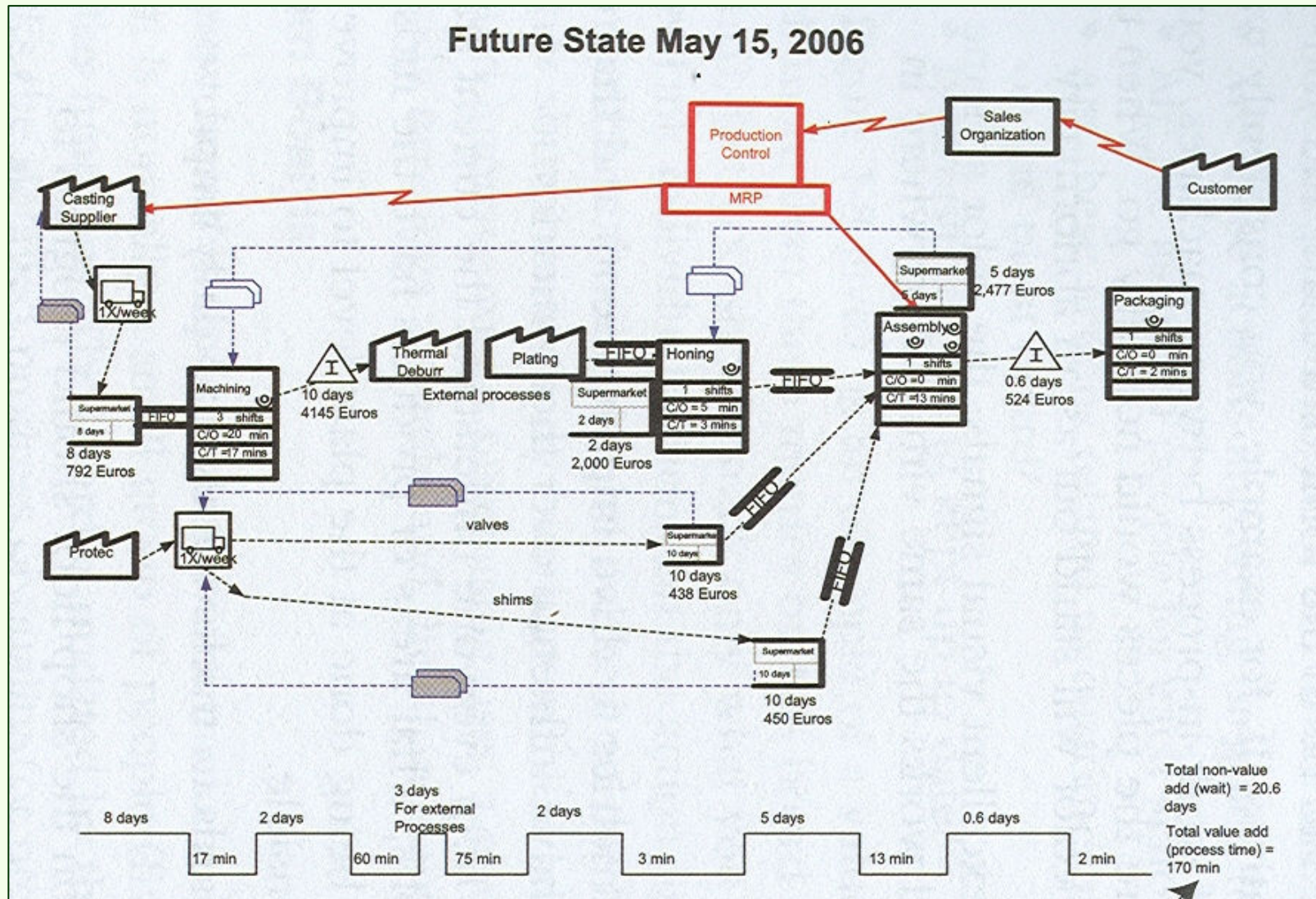
*Mapa do Fluxo de Valor ilustrando a situação atual de uma empresa*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



*Porcentagens de atividades que agregam valor e que não agregam valor*

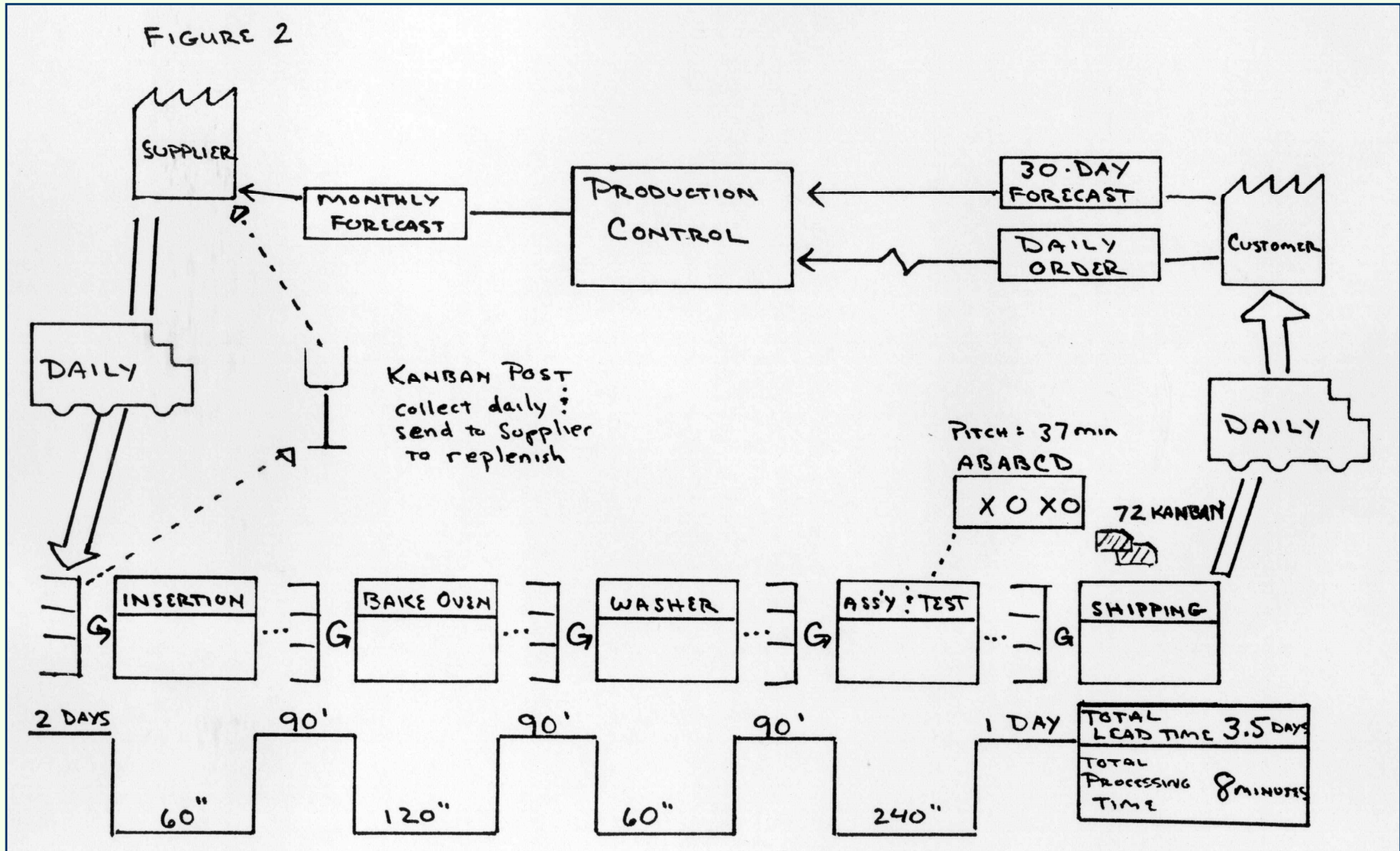
# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



Mapa do Fluxo de Valor (estado futuro)



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



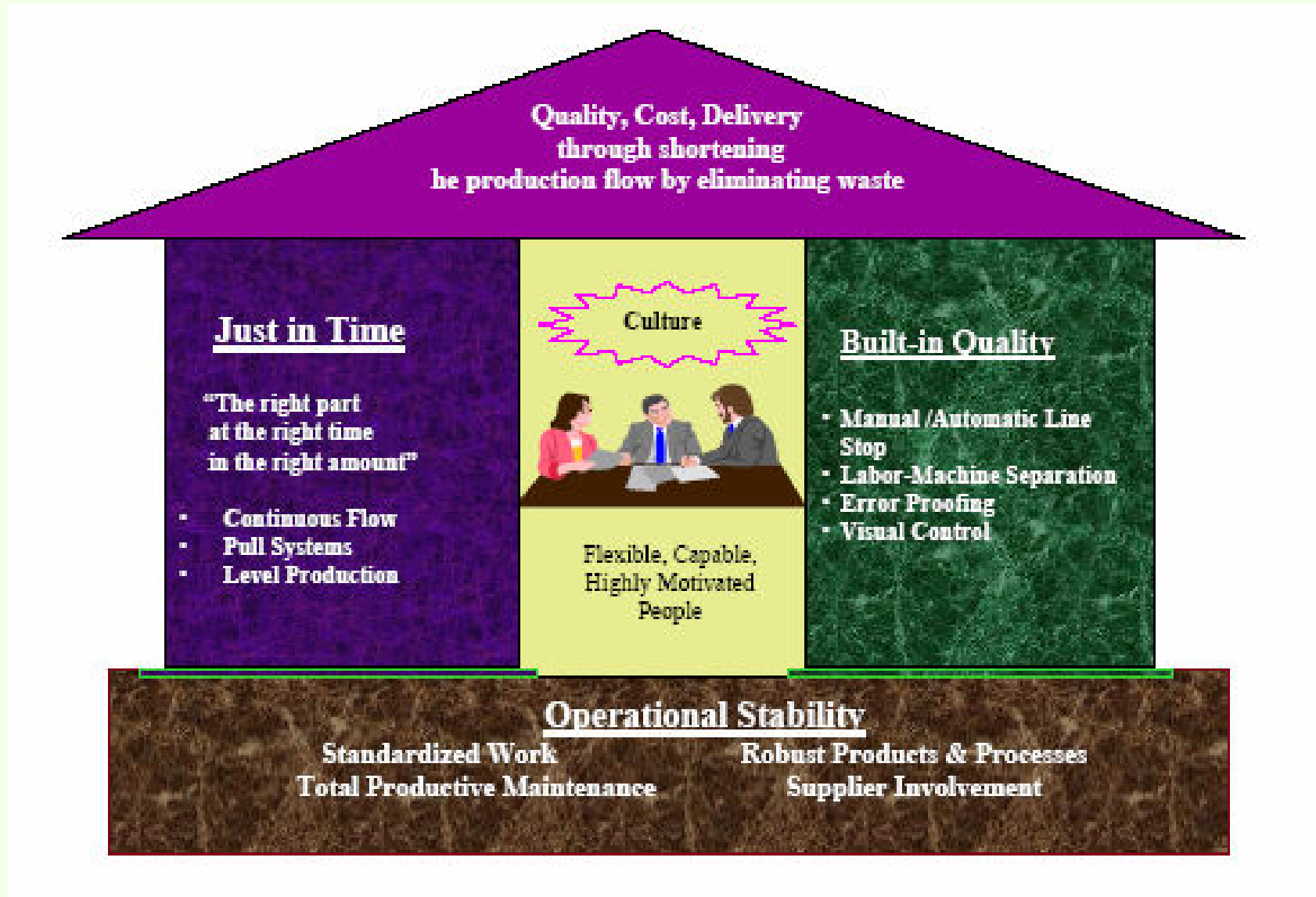
Mapa do Fluxo de Valor (estado futuro)

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

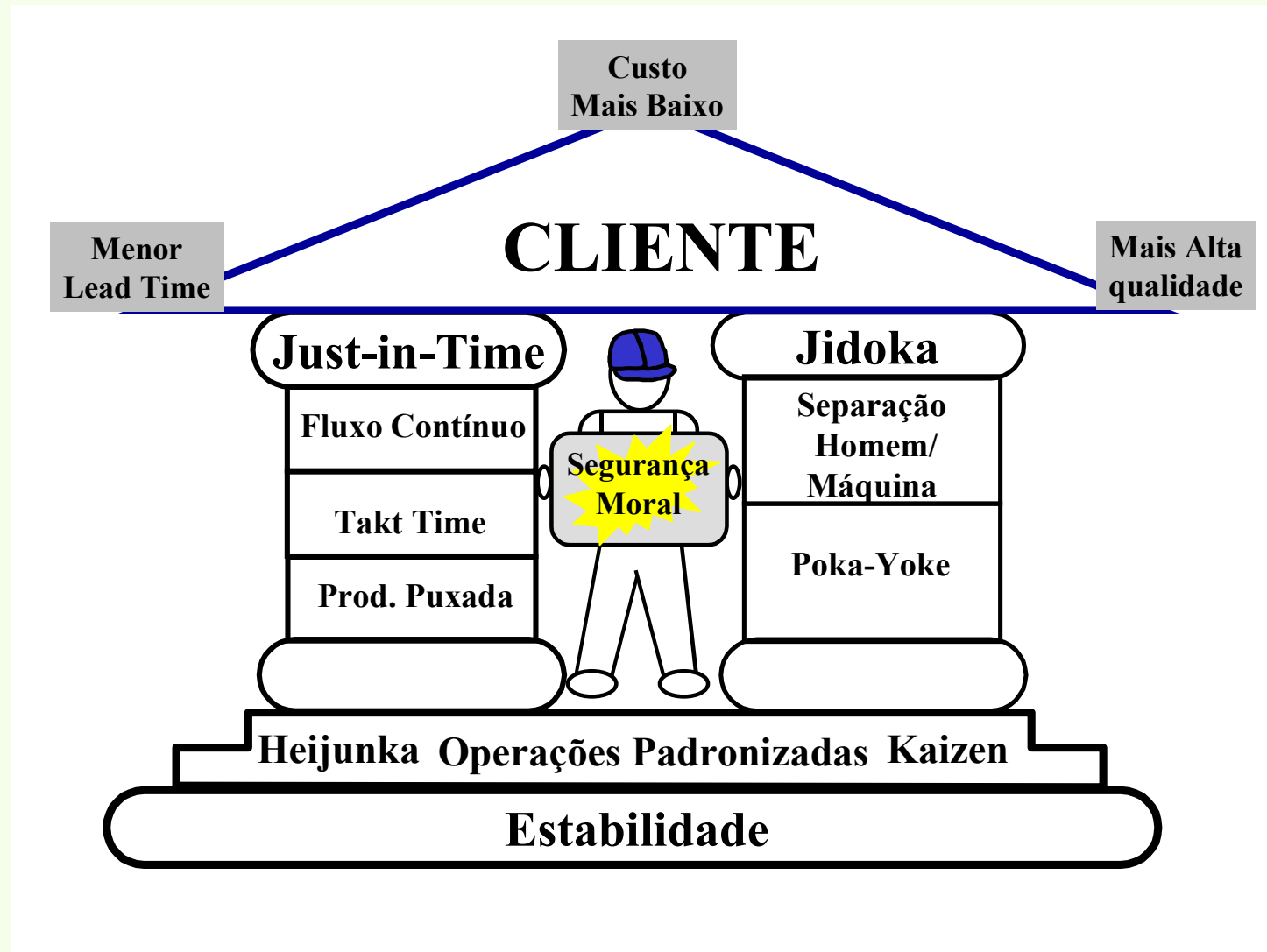
- Alguns videos:

- Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)
- Desenho ilustrando o Fluxo de Valor
- Sistema Kanban de 2 caixas
- Sistema Kanban com caixas de duas faces
- Melhoria nas operações de montagem (video francês)
- Just-In-Time (Toyota)
- Fabricação de Toyotas
- Poka-Yoke de espelhos retrovisores

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Figure 15: Benefits of Creating Flow

<b>A. Quality:</b> Work is passed directly to next Process with no defects	<b>B. Productivity:</b> Minimize wasted movement, warehouses, and double handling	<b>C. Productivity:</b> Problems are identified and solved real time
<b>D. Lead Time:</b> Shortest supply chain, highest flexibility to satisfy customer demand	<b>E. Team Member Morale:</b> Value of work is more visible, recognized	<b>F. Cost:</b> Reduced Inventory Levels

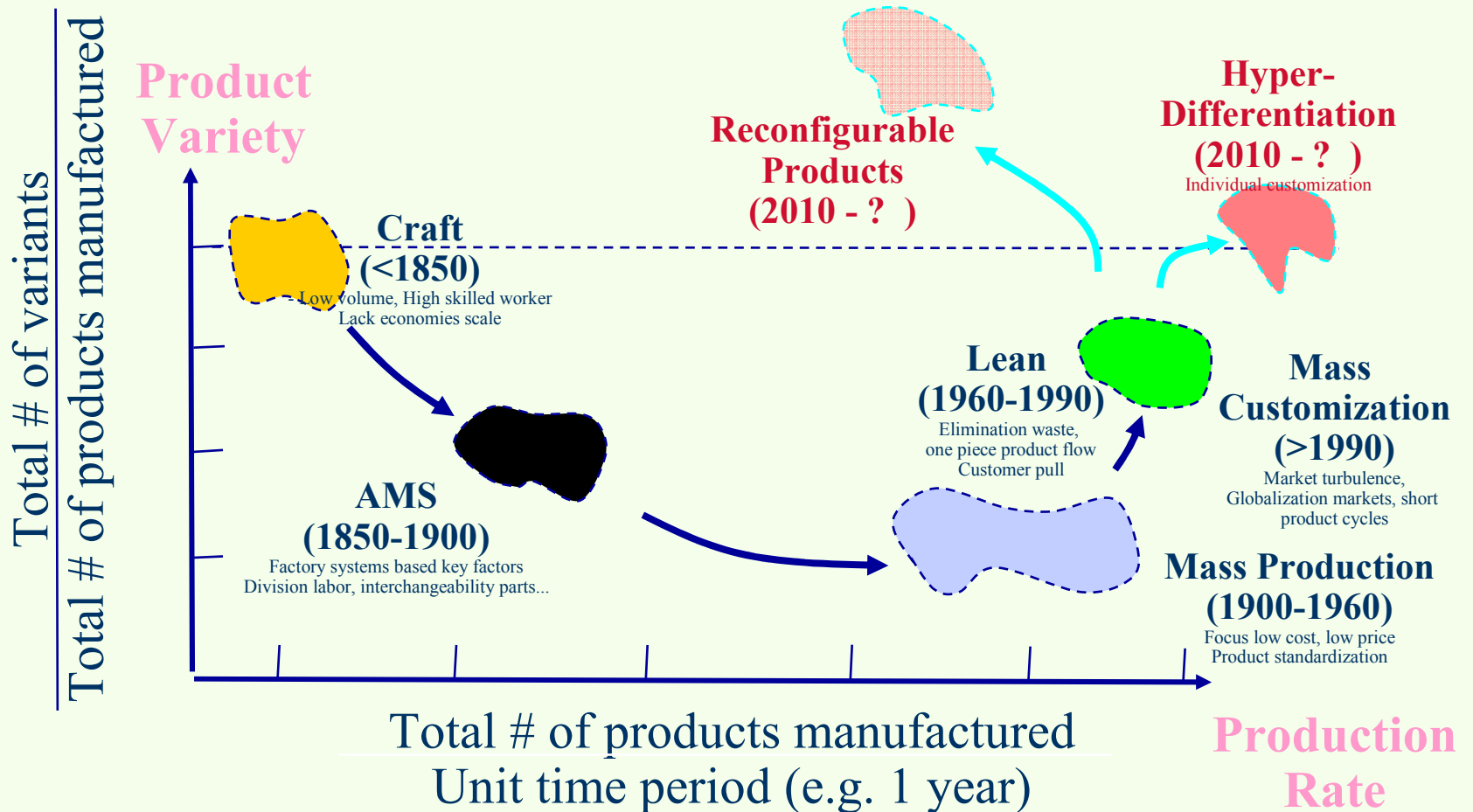
Source: Toyota

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

	Artesanal	"em Massa"	Enxuta
Produção	Uma peça por vez	"Em Massa"	Somente quando o cliente solicitar
Volume de Produção	Baixo Volume	Foco no Volume de Produção	Possibilita alto volume de produção, se existir demanda.
Ferramentas	Simples e Flexíveis	Máquinas caras e pouco versáteis	Right Sized Tools
Qualidade	O que puder ser feito!	Bom o suficiente!	Busca constante pela perfeição!
Cliente/Mercado	Produto definido pelo cliente	Produz uma opção padrão para o mercado.	Produz diversas opções de produtos para escolha.
Funcionário	Altamente especializado	Semi qualificado em trabalho monótono	Qualificado e Multifuncional (Responsável pelo seu trabalho)
Custo	Altíssimo	Baixo	Mais Baixo Ainda !!!

*Características de alguns sistemas de produção*

# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA



# SISTEMA INTEGRADO DE MANUFATURA

Setores em que o *lean* vem sendo aplicado:

- Automobilística (montadoras)
- Eletrodomésticos, eletrônica, etc. (outras montadoras)
- Autopeças e mecânica em geral (manufatura discreta)
- Química, tintas, farmacêutica, cosméticos, alimentos (processos)
- Aeronáutica, naval, bens de capital sob encomenda (projeto)
- Setor financeiro, cadeias de lojas, correios, *catering* (serviços)
- Hospitais, laboratórios (saúde)