

Produção Enxuta: Produção Puxada

(Planejamento e Controle *Just-in-Time*)

Depto. de Engenharia de Produção

Escola Politécnica da USP

Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

2023

Técnicas e ferramentas para a implantação de Sistemas de Produção Enxuta



- ▶ Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV)
- ▶ 5S
- ▶ Sistema JIT/*Kanban* para Produção Puxada
- ▶ Nivelamento da Produção (*Heijunka*)
- ▶ *Setup* Rápido
- ▶ Gerenciamento Visual/Sistema *Andon*
- ▶ Manutenção Autônoma

Sistema de Programação da Produção Empurrada

Quando o Planejamento e Controle da Produção (PCP) se baseia num sistema central que programa as atividades de produção a partir de previsões da demanda e emite Ordens de Produção (OP) ou Ordens de Fabricação (OF) para produzir estoques antecipadamente à real demanda do cliente, a programação da produção é **empurrada**.

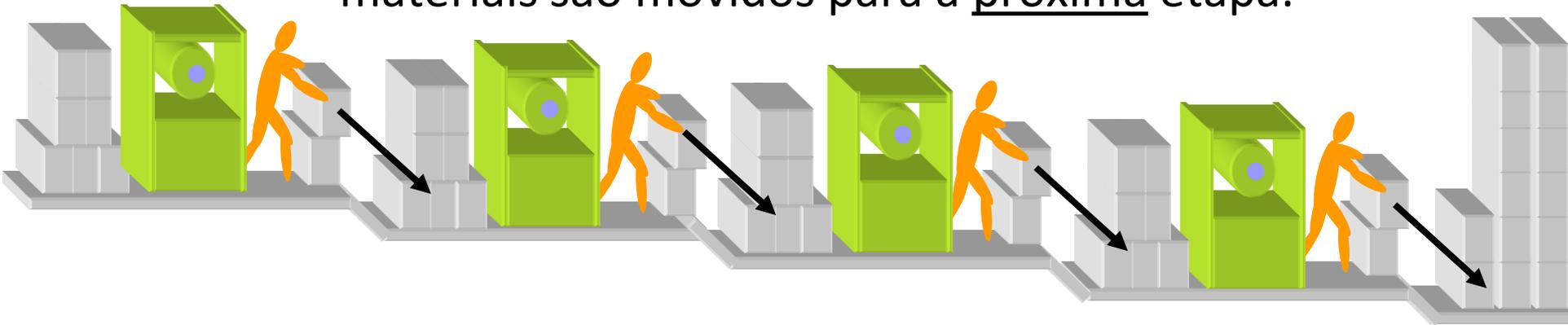
- ▶ Ao concluir sua parte do processo, cada centro de trabalho **empurra** o trabalho para a estação seguinte, independentemente da situação em que esta se encontra.
- ▶ Na prática, as condições reais podem diferir muito das planejadas → acúmulo de estoques, filas, ociosidade, falta de material a ser processado

Em sistemas de **produção em massa** tradicionais, a programação da produção baseia-se na lógica de **empurrar** a produção.

Produção Empurrada X Produção Puxada

(Push system) (Pull system)

Num sistema empurrado, após o término de cada etapa de processo, os materiais são movidos para a próxima etapa.



Os lotes são processados em cada etapa e empurrados “rampa abaixo” para a próxima etapa. Qualquer atraso ou problema numa etapa pode causar acúmulo de estoque.



Donde e como a produção é disparada no sistema empurrado?

Produção Empurrada X Produção Puxada

(Push system) *(Pull system)*

Num sistema puxado, após o término de cada etapa, os materiais somente avançam para a próxima se forem deliberadamente puxados pela mesma.



Os lotes processados em cada etapa não fluem naturalmente “rampa acima” para a próxima etapa de modo que não se acumulam estoques tão facilmente.

Donde e como a produção é disparada no sistema puxado?

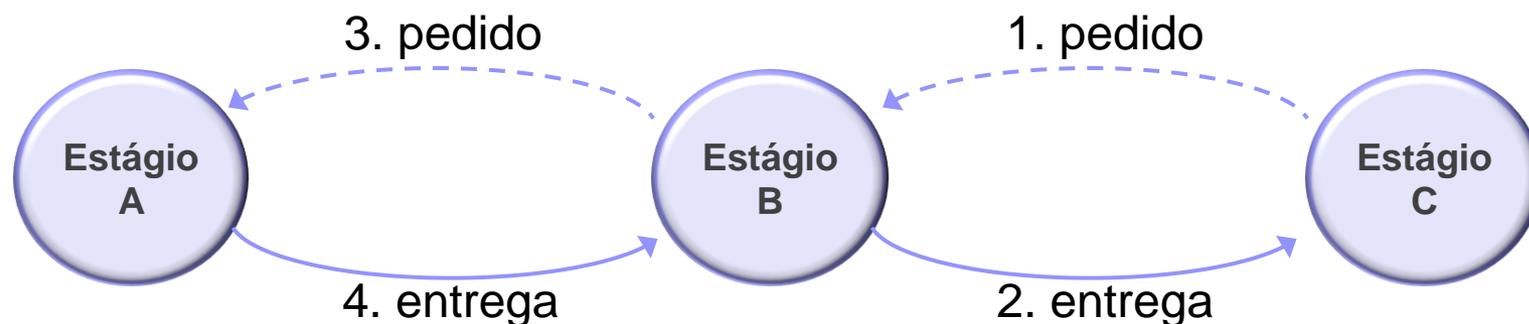


Abordagem tradicional



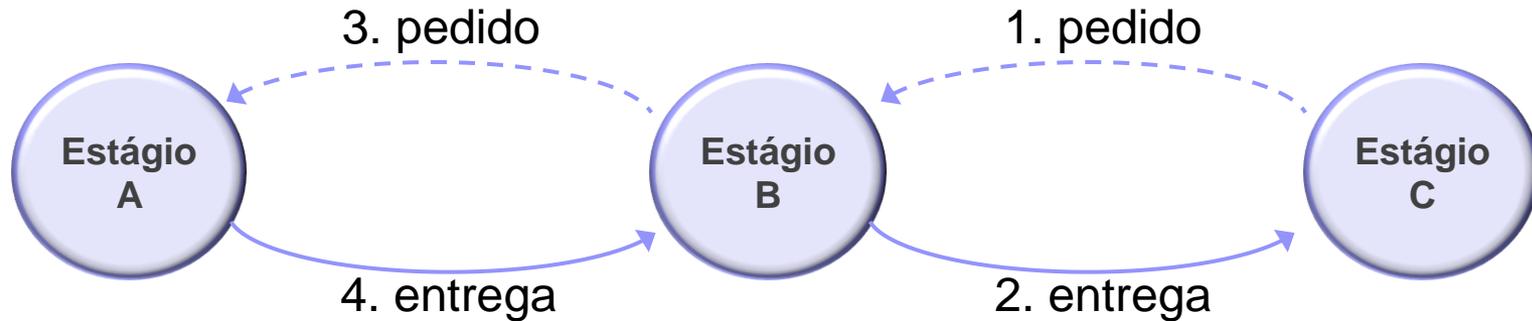
- ▶ Operacionalmente, os materiais estocados são comumente processados e disponibilizados no estoque com grande antecedência em relação à necessidade de seu consumo.
- ▶ Manutenção de estoques entre estágios de produção sucessivos isola cada estágio do estágio seguinte. Quanto maior o estoque isolador, maior é o grau de independência entre os estágios, portanto menor é o distúrbio causado quando ocorre um problema já que o estoque amortece seus efeitos.
- ▶ Busca-se a eficiência protegendo cada estágio de produção de possíveis distúrbios.
- ▶ Estoques elevados camuflam os efeitos dos problemas existentes.
- ▶ **DESVANTAGENS**: custo do estoque, *lead time* longo (resposta lenta ao mercado), os problemas que ocorrem num estágio não se tornam imediatamente aparentes para outros estágios.

Abordagem *Just-in-Time* (JIT)



- ▶ Componentes são produzidos e fornecidos ao próximo estágio conforme forem demandados por este.
- ▶ Quanto menor a quantidade de estoque existente entre os estágios, maior a sua dependência mútua. A abordagem **Just-in-Time (JIT)** promove maior **interdependência** entre os elementos que constituem um sistema de produção.
- ▶ Caso ocorra um problema num estágio causando a interrupção de sua produção, os estágios seguintes poderão ser rapidamente afetados e também parar.
- ▶ Os problemas que ocorrem num estágio são rapidamente expostos a todo o sistema.

O que o *Just-in-Time* (JIT) requer

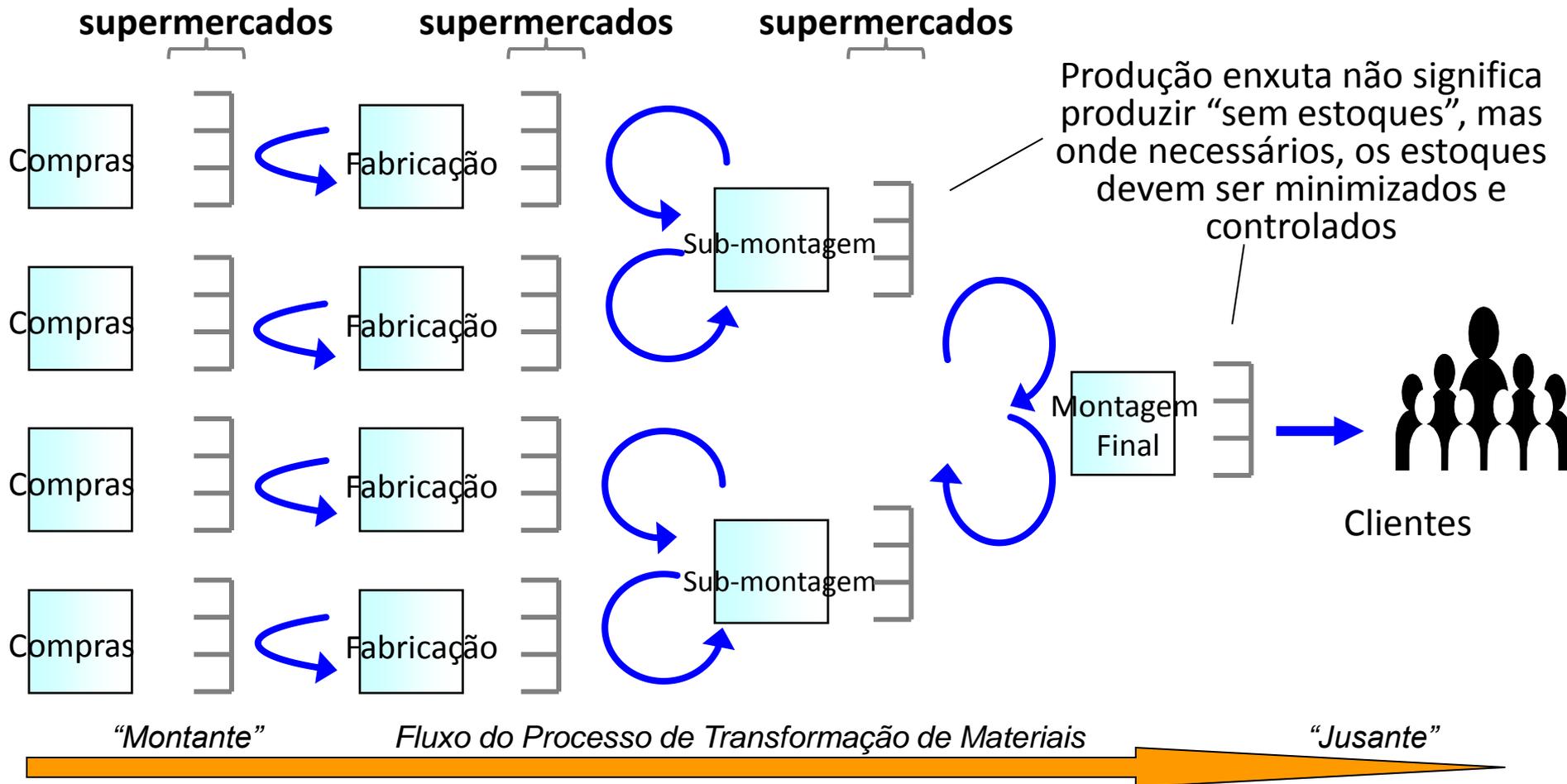


Para que a abordagem **Just-in-Time (JIT)** funcione bem é mandatório que o sistema de produção tenha alto desempenho em relação aos principais objetivos de desempenho, ou seja:

- ▶ sua **Qualidade** deve ser alta
- ▶ sua **Velocidade** deve ser alta
- ▶ sua **Confiabilidade** deve ser alta
- ▶ sua **Flexibilidade** deve ser alta

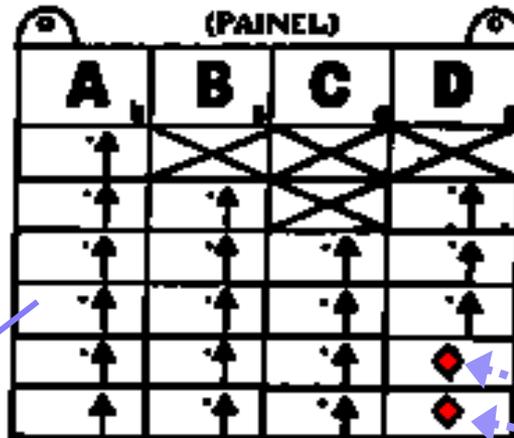
Sistema de Produção Puxada

Quando não for possível estabelecer fluxo contínuo entre 2 etapas consecutivas, pode ser necessário manter estoque entre os mesmos



Quadro *Kanban* e “Supermercado”

Quadro ou Painel de *kanbans*



Sequência de preenchimento do painel (neste exemplo: de baixo para cima)

kanbans retirados dos contentores puxados conforme a demanda do processo cliente

Cartões *kanban*

“supermercado”

Quando não há nenhum cartão referente a um dado produto (ex. A, B e C nesta figura), isso significa que todos os cartões estão acoplados a algum contentor com estoque físico

O estoque máximo para um dado item é limitado pela respectiva quantidade de *kanbans* (ex. Máx. 5 contentores de B)



Aplicável no controle do estoque de itens mais padronizados, que têm uma demanda elevada/média, são fabricados em processos repetitivos e que são solicitados em pedidos mais recorrentes ao longo de um tempo de vida mais longo

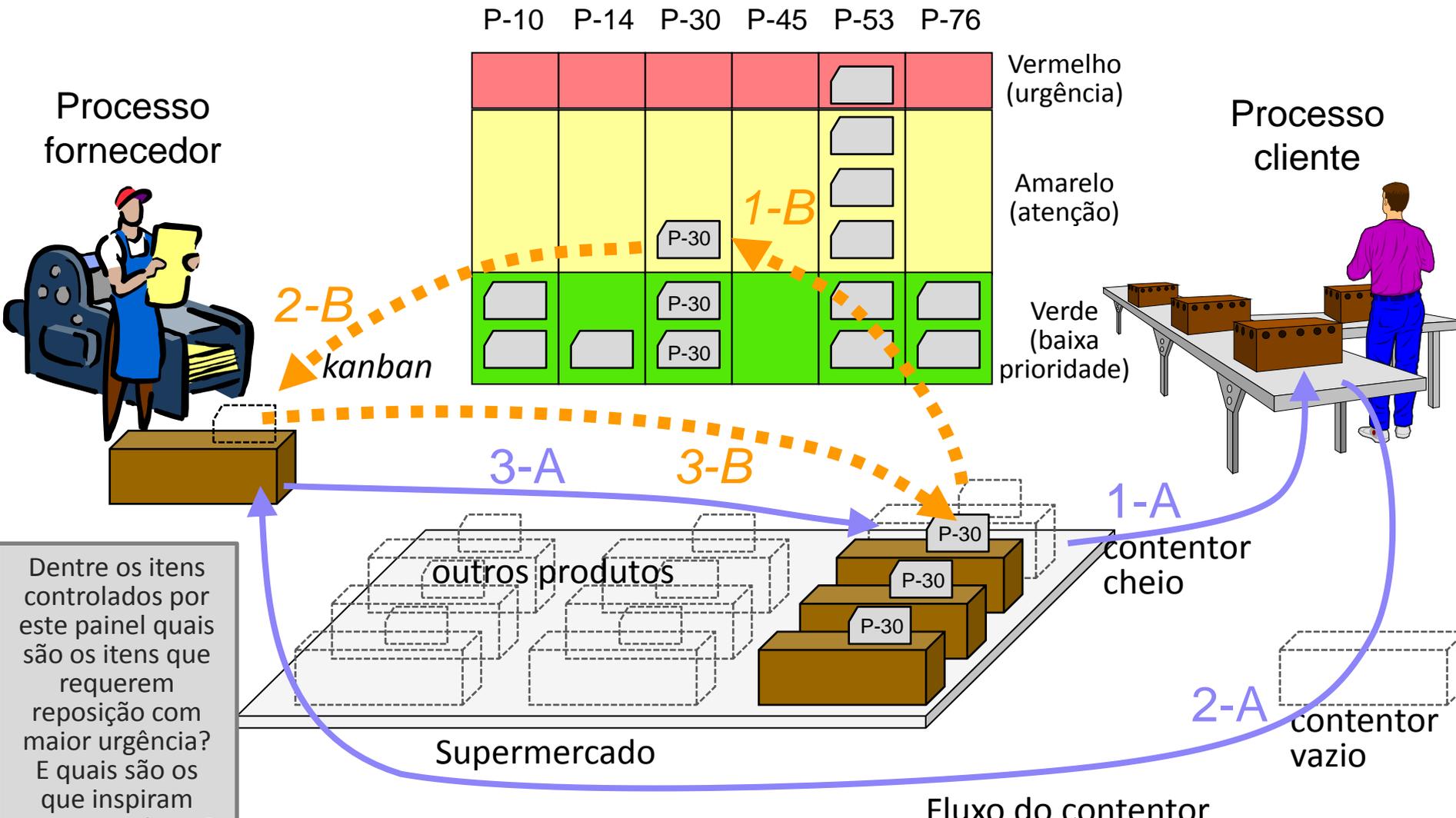
“Supermercado”

Em sistemas de produção puxada, a reposição de estoques do tipo “supermercado” é feita de modo puxado de forma análoga ao reabastecimento de estoques em prateleiras de supermercados de varejo, seguindo o procedimento abaixo:

1. Manter as prateleiras abastecidas (não perder vendas)
2. Só reabastecer se o cliente consumir (conforme a demanda)
3. Encher primeiro as prateleiras que estiverem mais vazias
4. Só repor a quantidade de mercadoria que cabe no espaço vago das prateleiras

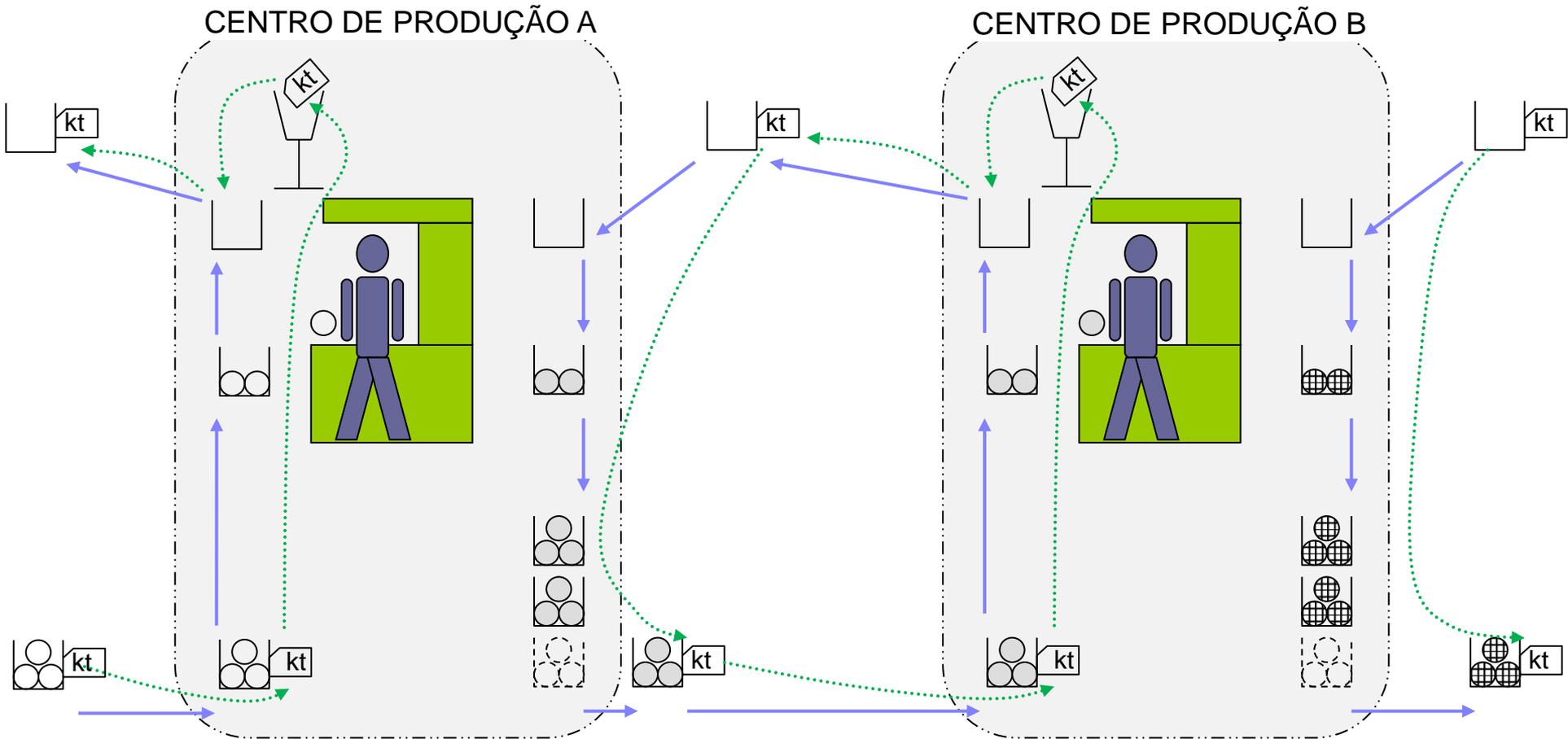


Ciclo do *Kanban* de Produção



Dentre os itens controlados por este painel quais são os itens que requerem reposição com maior urgência? E quais são os que inspiram menor urgência?

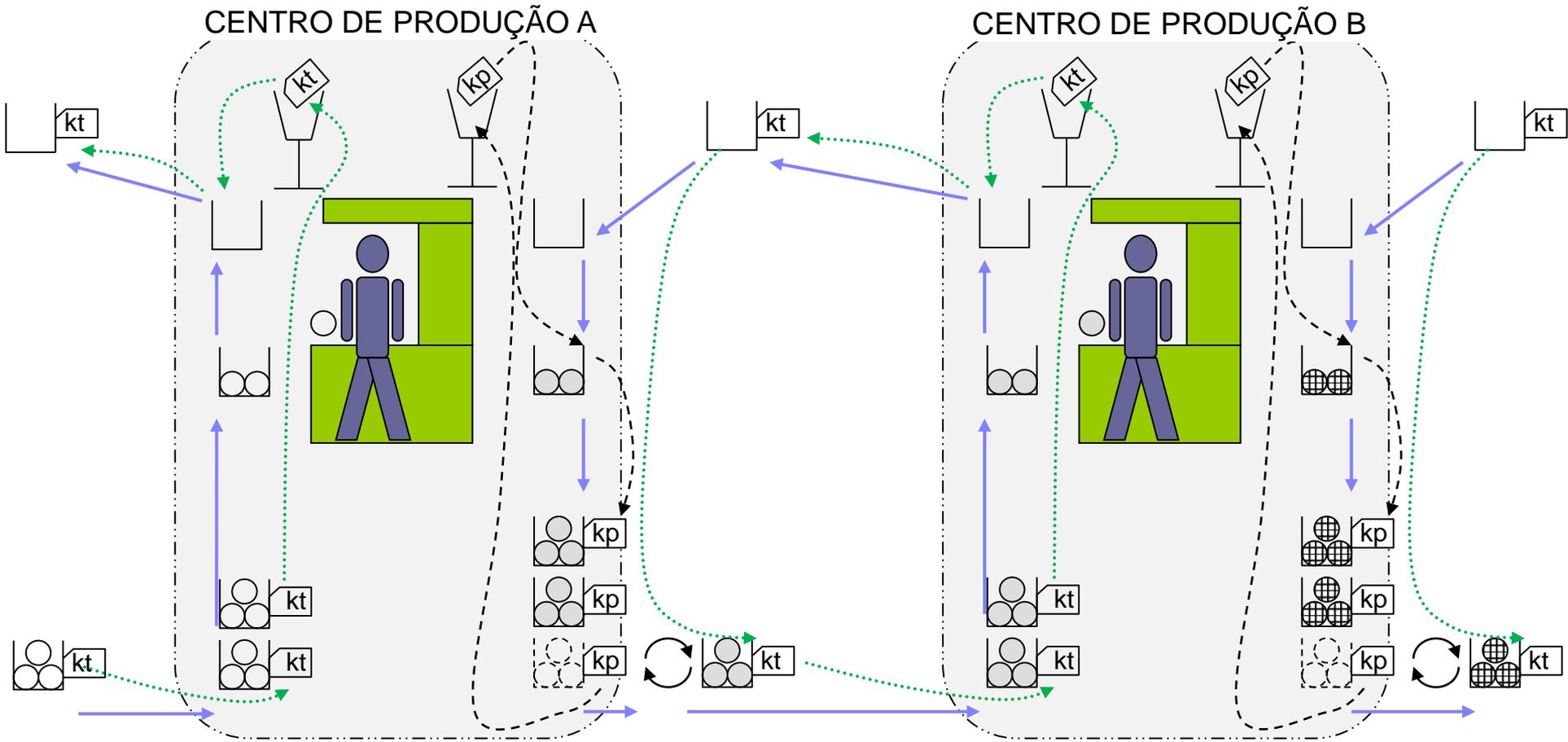
Sistema *Kanban* de cartão único



→ Fluxo do contêiner
⋯→ Fluxo do *kanban* de transporte (kt)

Fonte: adaptada da Fig. 15.8
 Nigel Slack et al. (1999)
 Administração da produção - Edição compacta, Cap.15.

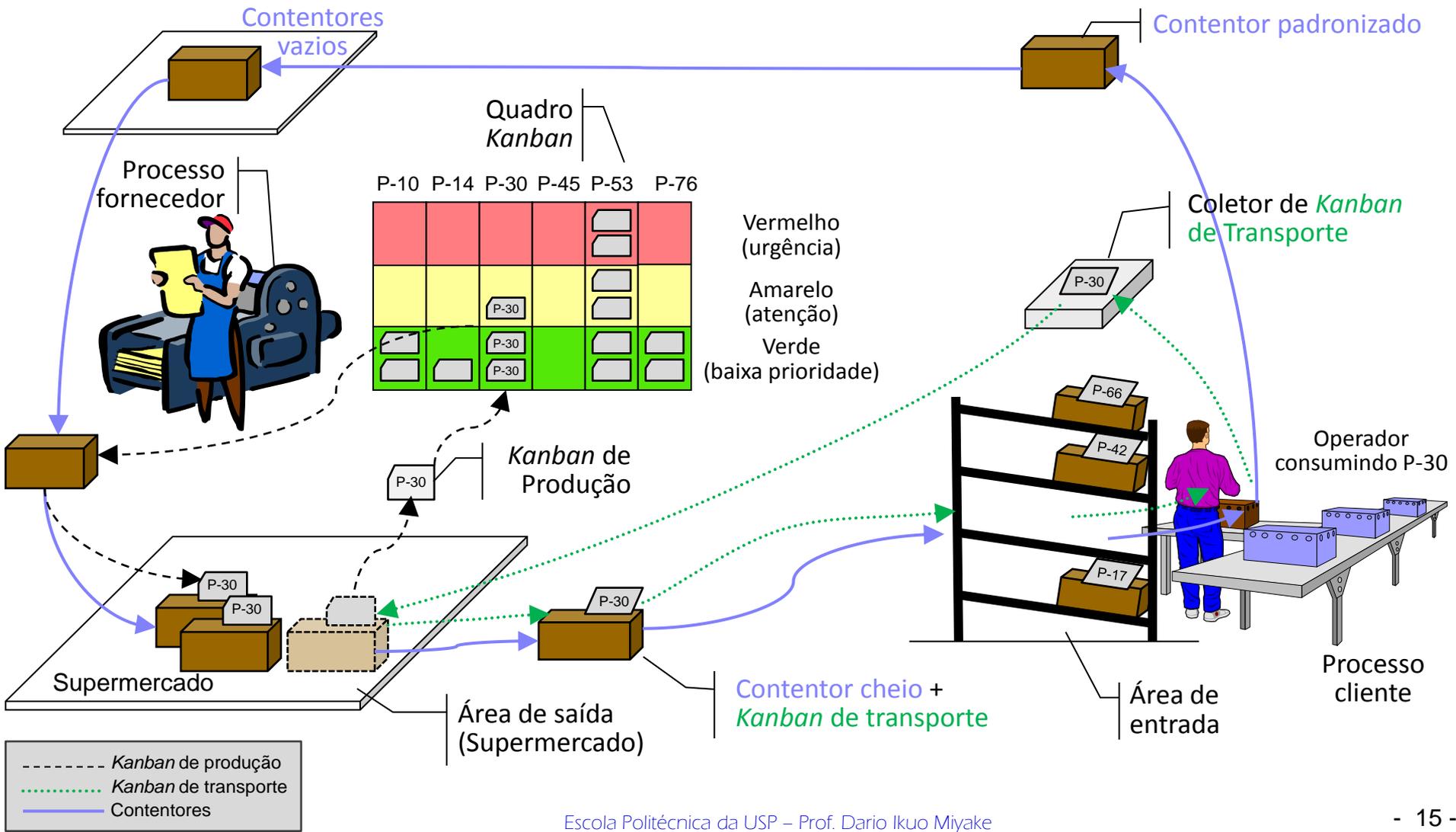
Sistema *Kanban* de 2 cartões



O sistema de cartão único pode ser usado quando um CP produz sempre o mesmo item. O *kanban* de produção (kp) como 2º cartão pode ser aplicado em CPs que produzem uma variedade de itens: ele informa que item deve ser produzido e em que quantidade

- > Fluxo do contêiner
-> Fluxo do *kanban* de transporte (kt)
- - -> Fluxo do *kanban* de produção (kp)

Principais elementos do Sistema JIT/*Kanban* para “puxar” a produção



Cálculo de *Kanbans*

Fórmula genérica para cálculo da quantidade de *Kanbans* (N_{kb}) entre um processo fornecedor e um processo consumidor

$$N_{kb} = \frac{D_{período} \times L \times (1 + \alpha)}{C_{cont}} = \frac{D_{período} \times (T_{fab} + T_{esp}) \times (1 + \alpha)}{C_{cont}}$$

N_{kb} = Número total de *kanbans* (soma dos *kanbans* de transporte e *kanbans* de produção)

$D_{período}$ = Demanda Média do processo consumidor num dado período

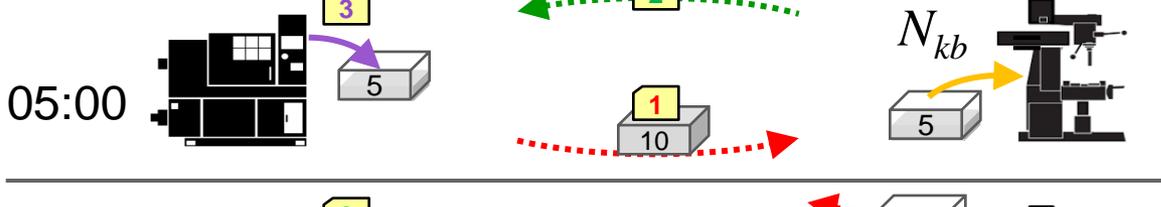
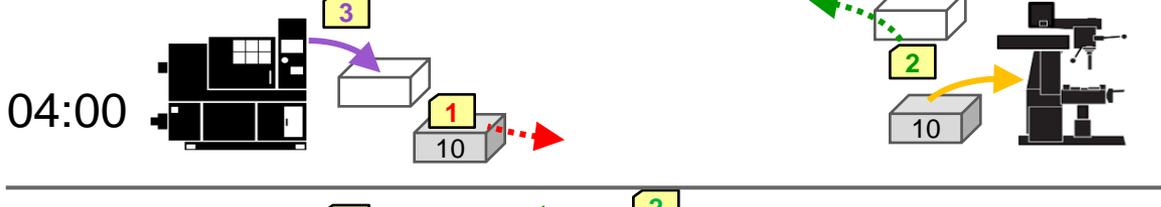
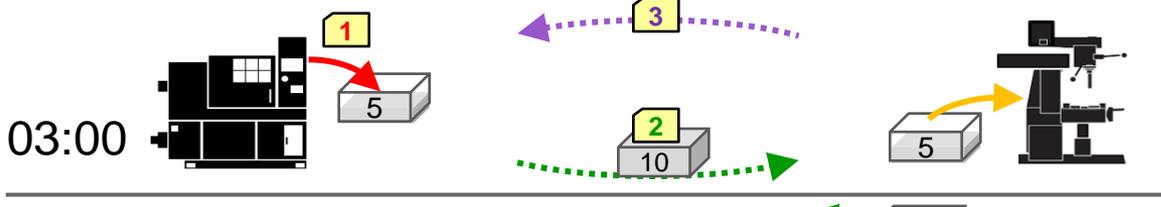
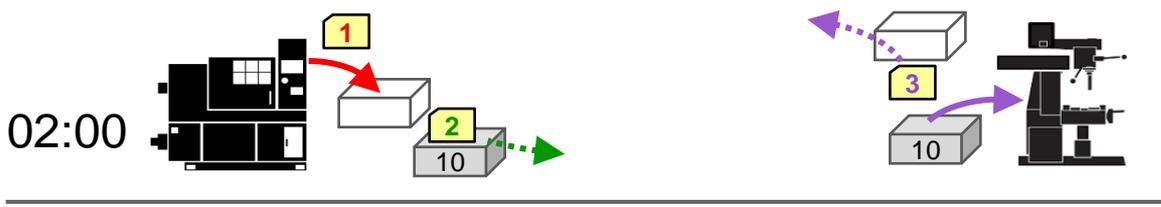
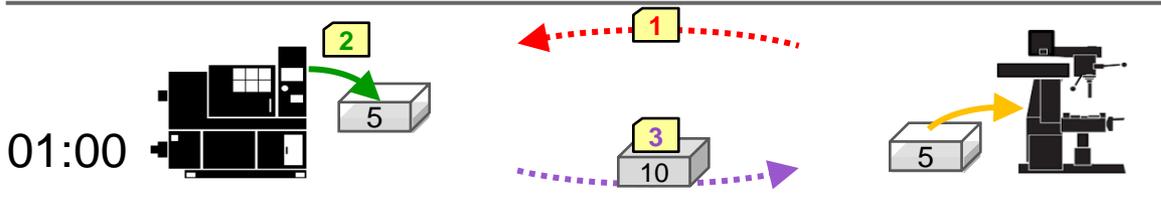
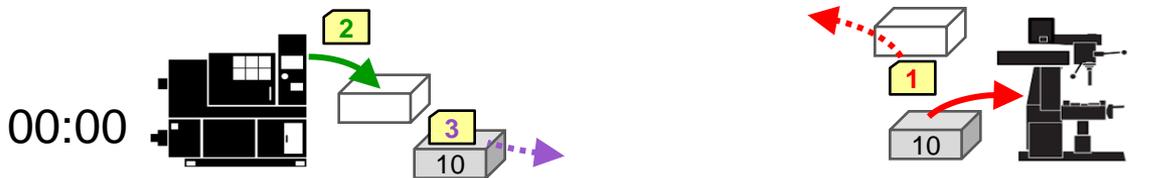
L = *Lead time* (tempo necessário para repor pedido de um contentor)

T_{fab} = Tempo de Fabricação para completar um contentor no processo fornecedor (proporção do período considerado)

T_{esp} = Tempo de Espera para um *kanban* completar o circuito (proporção do período considerado)

α = Coeficiente de Segurança (% da demanda no período)

C_{cont} = Capacidade do Contentor (quantidade de peças por *kanban*)



$$N_{kb, \min} = \frac{D_{\text{período}} \times (T_{\text{fab}} + T_{\text{esp}})}{C_{\text{cont}}}$$

- 1 dia = 8h (1h = 0,125 dia)
- $D_{\text{dia}} = 40$ peças/dia = 5 peças/h
- $T_{\text{fab}} = 0,25$ dia (ou 2h no processo fornecedor)
- $T_{\text{esp}} = 0,5$ dia (2h para o *kanban* ser coletado e transferido ao processo fornecedor + 2h para retornar com contentor cheio)
- $\alpha = 0\%$
- $C_{\text{cont}} = 10$ peças

$$N_{kb, \min} = \frac{40 \times (0,25 + 0,5)}{10} = \frac{30}{10} = 3$$

Cálculo de *Kanbans*

Alguns pontos sobre a fórmula genérica para cálculo da quantidade de *Kanbans*:

$$N_{kb} = \frac{D_{período} \times L \times (1 + \alpha)}{C_{cont}} = \frac{D_{período} \times (T_{fab} + T_{esp}) \times (1 + \alpha)}{C_{cont}}$$

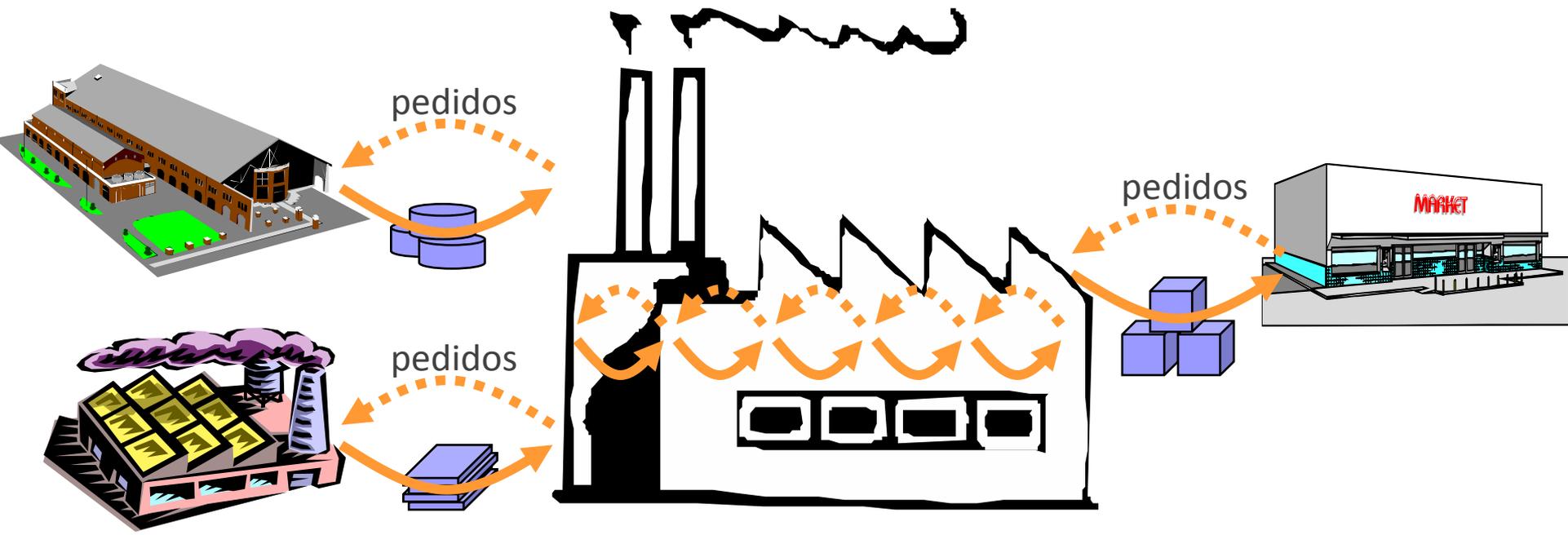
- ▶ N_{kb} limita o estoque das peças correspondentes
- ▶ Se o tempo L for encurtado, N_{kb} pode ser reduzido. Observar que em geral $T_{esp} \gg T_{fab}$ assim sendo, contramedidas que contribuem para reduzir o T_{esp} tendem a ser mais eficazes que esforços para comprimir o T_{fab}
- ▶ Quanto menor a previsibilidade no sistema de produção maior é o α e, conseqüentemente, o volume do estoque. Para um dado L , N_{kb} é minimizado se $\alpha = 0$
O que fazer para reduzir as incertezas que motivam $\alpha > 0$?

Escopo de sistemas puxados de produção ou suprimento *Just-in-time* (JIT)

JIT externo no recebimento

JIT interno na fabricação/montagem

JIT externo na distribuição



Exemplo de cálculo: *Kanban* Interno

Dimensionar N_{kb} considerando os seguintes dados:

1 dia = 8h (1h = 0,125 dia)

D_{dia} = 275 peças/dia

T_{fab} = 0,10 dia (48 minutos ou 0,8 h no processo fornecedor)

T_{esp} = 0,25 dia (1h para o *kanban* ser coletado e transferido ao processo fornecedor + 1h para retornar com contentor cheio)

α = 20 %

C_{cont} = 20 peças

$$N_{kb} = \frac{275 \times (0,10 + 0,25) \times (1 + 0,20)}{20}$$

$$N_{kb} = 5,775 \rightarrow 6 \text{ contentores} \rightarrow 6 \text{ cartões}$$

Exemplo de cálculo: *Kanban* Externo

Dimensionar N_{kb} considerando os seguintes dados:

1 semana = 5 dias (1 dia = 0,2 semana)

D_{semana} = 75 t/semana (a granel)

T_{fab} = 0 (premissa: disponibilidade de produto acabado assegurada pelo fornecedor externo)

T_{esp} = 0,40 semana (1 dia para o *kanban* ser coletado e transferido ao processo fornecedor + 1 dia para retornar com contentor cheio)

α = 30 %

C_{cont} = 2 t

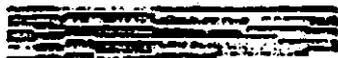
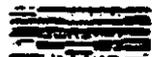
$$N_{kb} = \frac{75 \times (0 + 0,40) \times (1 + 0,30)}{2}$$

$$N_{kb} = 19,5 \rightarrow 20 \text{ contentores} \rightarrow 20 \text{ cartões}$$

Exemplos de *Kanban*

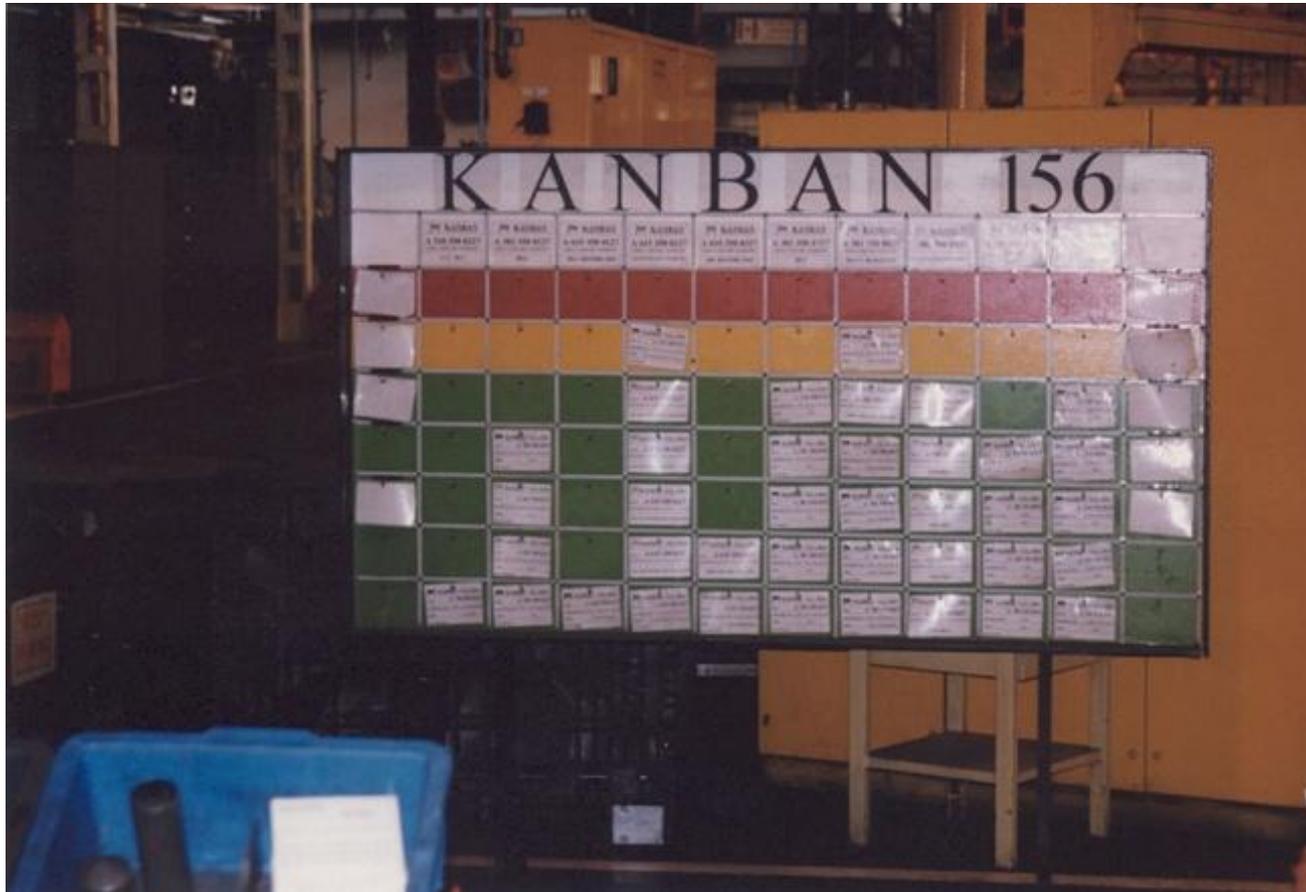
- Identificação do item (componente)
- Quantidade fixa (capacidade do contentor/embalagem)
- Função: Sinal para Produção ou Sinal para Transporte
- Indicação do processo cliente (interno ou externo)
- Indicação do processo fornecedor (interno ou externo)

CE 14		CARTÃO
VERMELHO		3/3
67140205		
2827232E	<input checked="" type="checkbox"/> COMPRADO <input type="checkbox"/> FABRICADO	
ALOJAMENTO		
QTD/EMB.	TIPO EMB.	
1728	8CX PAP	

HORÁRIOS DE ENTREGA: 8:00 24:00 11:00 4:00 19:00		POSIÇÃO DO ESTOQUE NA PRATELEIRA: 3S 8-3 (2-13)		FÁBRICA RECEBEDORA: XPTO DIADEMA	
					
(CÓDIGO DE BARRA)					
FORNECEDOR: INDÚSTRIA XYZ		CÓDIGO DO ITEM: 11367-31020-00		No. KANBAN $\frac{5}{20}$	
ESTOQUE NO FORNECEDOR: 4		ABREVIACÃO DO ITEM: 389		LOCAL PARA DESCARGA: MONTAGEM 36	
TIPO DO ITEM: BANCO DIANTEIRO DIREITO		TIPO DO CONTENTOR: S		CAPACIDADE DO CONTENTOR: 100	
CICLO DE ENTREGA: 1 - 6 - 2					

Exemplos de *Kanban*

Painel *Kanban* convencional



VERMELHO
(emergência)

AMARELO
(atenção)

VERDE
(prioridade
baixa)

O próprio operador pode decidir o ajuste fino da programação de produção em seu posto de trabalho simplesmente consultando o Quadro *Kanban*

Exemplos de *Kanban*

Sistema *Kanban* informatizado



1790L871A	3 Build now
MM4-FSB-PCB-ASY-VPOWER -400V-...	
Stock 14	Batch Size 27
Backlog 0	
Build in Progress	



(The Kanban Display available to operators on the shop-floor)

Fonte: Andrew Lee-Morimer, "A continuing lean journey: an electronic manufacturer's adopting of Kanban", Assembly Automation, v.8, n.2, 2008.

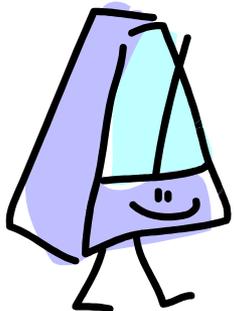
Exemplo de Sistema Puxado sem cartão *Kanban*



Supermercado de peças com controle visual

Produção conforme *Takt Time*

- ▶ *Takt* : palavra alemã para velocidade, compasso ou ritmo, figurativamente comparada à “batuta do maestro”
- ▶ Seu conhecimento permite avaliar se a produção está adiantada ou atrasada, ou se está entregando uma quantidade maior ou menor que a demandada
- ▶ Número de referência utilizado para vincular a taxa de produção em um processo puxador ao ritmo da demanda
 - ▶ Fluxo de Produção ↔ Demanda do Mercado
- ▶ Se cada posto de trabalho operar respeitando o *Takt Time*, o excesso de “Coisas” em processo (*Work in Process/WIP*) pode ser evitado



Produção conforme *Takt Time*

- Corresponde ao intervalo de tempo entre a conclusão de uma unidade de produto (ou peça) e a unidade seguinte para atender à demanda. Indica o ritmo com que as “saídas” de um sistema de produção precisam ser entregues para satisfazer a demanda:

$$\textit{Takt Time} = \frac{\textit{Tempo Líquido Disponível para Produção} \text{ (num dado período de tempo)}}{\textit{Quantidade de Unidades Demandadas} \text{ (num dado período de tempo)}}$$

- O inverso do *Takt Time* define o Ritmo *Takt*:

$$\textit{Ritmo Takt} = \frac{\textit{Quantidade de Unidades Demandadas}}{\textit{Tempo Líquido Disponível para Produção}}$$

Takt Time: Exemplos de cálculo

- **Exemplo 1:** Produção de uma usina para atender a demanda de 72000 t de aço recozido por mês (30 dias) em bobinas de 20 t, operando em regime contínuo de 24h/dia.

$$\text{Takt Time} = \frac{24 \text{ h/dia} \times 60 \text{ min/h}}{(72000 \text{ t/mês} : 30 \text{ dias/mês}) : 20 \text{ t/bobina}}$$

$$\text{Takt Time} = \frac{1440 \text{ min/dia}}{120 \text{ bobinas/dia}} = 12 \text{ min/bobina}$$

- **Exemplo 2:** Produção para atender a demanda de 575 unidades de um produto por semana operando 1 turno de 8 horas por dia, com 2 paradas de 10 min.

$$\text{Takt Time} = \frac{(8 \text{ h/turno} \times 60 \text{ min/h}) - (2/\text{turno} \times 10 \text{ min})}{115 \text{ unidades/turno}}$$

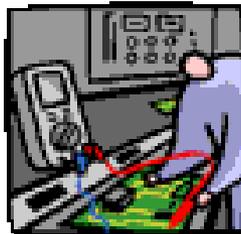
$$\text{Takt Time} = \frac{(460 \text{ min/turno}) \times 1 \text{ turno/dia}}{115 \text{ unidades/dia}} = 4 \text{ min/unidade}$$

Tempo de Ciclo x *Takt Time*

▶ Tempo de Ciclo



- Sinaliza a *Capacidade de Produção de um Recurso*
- Indica a quantidade de produtos que um recurso *consegue processar* num dado tempo
- É limitado pelas características e condições do(s) recurso(s) que executa(m) a operação



▶ *Takt Time*



- Sinaliza a *Demanda (de um produto ou serviço)* a ser atendida
- Indica o ritmo em que produtos devem ser *entregues* pela produção
- Representa uma meta a ser atingida

