

## Elementos Fundamentais do Sistema Toyota de Produção

### O que é o Sistema Toyota de Produção?

É uma filosofia de gerenciamento que procura otimizar a organização de forma a atender as necessidades do cliente no menor prazo possível, na mais alta qualidade e ao mais baixo custo, ao mesmo tempo em que aumenta a segurança e o moral de seus colaboradores, envolvendo e integrando não só manufatura, mas todas as partes da organização.

O Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System – TPS*) tem sido, mais recentemente, referenciado como “Sistema de Produção Enxuta”. A produção “enxuta” (do original em inglês, “lean”) é, na verdade, um termo cunhado no final dos anos 80 pelos pesquisadores do IMVP (*International Motor Vehicle Program*), um programa de pesquisas ligado ao MIT, para definir um sistema de produção muito mais eficiente, flexível, ágil e inovador do que a produção em massa; um sistema habilitado a enfrentar melhor um mercado em constante mudança. Na verdade, produção enxuta é um termo genérico para definir o Sistema Toyota de Produção (*TPS*).

### Um Pouco de História: Origens do Sistema Toyota de Produção

O TPS foi originalmente desenvolvido para a manufatura. Portanto, para o perfeito entendimento acerca do TPS, deve-se, antes de mais nada, compreender suas origens na manufatura, mais especificamente na indústria automobilística.

O entusiasmo da família Toyoda pela indústria automobilística começou ainda no início do século, após a primeira viagem de Sakichi Toyoda aos Estados Unidos em 1910. No entanto, o nascimento da Toyota Motor Co. deve-se mesmo a Kiichiro Toyoda, filho do fundador Sakichi, que em 1929 também esteve em visita técnica às fábricas da Ford nos Estados Unidos. Como decorrência deste entusiasmo e da crença de que a indústria automobilística em breve se tornaria o carro-chefe da indústria mundial, Kiichiro Toyoda criou o departamento automobilístico na Toyoda Automatic Loom Works, a grande fabricante de equipamentos e máquinas têxteis pertencente à família Toyoda, para, em 1937, fundar a Toyota Motor Co.

A Toyota entrou na indústria automobilística, especializando-se em caminhões para as forças armadas, mas com o firme propósito de entrar na produção em larga escala de carros de passeio e caminhões comerciais. No entanto, o envolvimento do Japão na II Guerra Mundial adiou as pretensões da Toyota.

Com o final da II Grande Guerra em 1945, a Toyota retomou os seus planos de tornar-se uma grande montadora de veículos. No entanto, qualquer análise menos pretensiosa indicava que a distância que a separava dos grandes competidores americanos era simplesmente monstruosa. Costumava-se dizer, há esta época, que a produtividade dos trabalhadores americanos era aproximadamente dez vezes superior à produtividade da mão-de-obra japonesa. Esta constatação

GHINATO, P. Publicado como 2º. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

serviu para “acordar” e motivar os japoneses a alcançar a indústria americana, o que de fato aconteceu anos mais tarde.

O fato da produtividade americana ser tão superior à japonesa chamou a atenção para a única explicação razoável: A diferença de produtividade só poderia ser explicada pela existência de perdas no sistema de produção japonês. A partir daí, o que se viu foi a estruturação de um processo sistemático de identificação e eliminação das perdas.

O sucesso do sistema de produção em massa Fordista inspirou diversas iniciativas em todo o mundo. A Toyota Motor Co. tentou por vários anos, sem sucesso, reproduzir a organização e os resultados obtidos nas linhas de produção da Ford, até que em 1956 o então engenheiro-chefe da Toyota, Taiichi Ohno, percebeu, em sua primeira visita às fábricas da Ford, que a produção em massa precisava de ajustes e melhorias de forma a ser aplicada em um mercado discreto e de demanda variada de produtos, como era o caso do mercado japonês. Ohno notou que os trabalhadores eram sub-utilizados, as tarefas eram repetitivas além de não agregar valor, existia uma forte divisão (projeto e execução) do trabalho, a qualidade era negligenciada ao longo do processo de fabricação e existiam grandes estoques intermediários.

A Toyota começou a receber o reconhecimento mundial a partir da crise do petróleo de 1973; ano em que o aumento vertiginoso do preço do barril de petróleo afetou profundamente toda a economia mundial. Em meio a milhares de empresas que sucumbiam ou enfrentavam pesados prejuízos, a Toyota Motor Co. emergia como uma das pouquíssima empresas a escaparem praticamente ilesas dos efeitos da crise. Este “fenômeno” despertou a curiosidade de organizações no mundo inteiro: Qual o segredo da Toyota?!!!

## **Princípios Fundamentais do Sistema Toyota de Produção**

Na verdade, a essência do Sistema Toyota de Produção é a perseguição e eliminação de toda e qualquer perda. É o que na Toyota se conhece como “princípio do não-custo”. Este princípio baseia-se na crença de que a tradicional equação Custo + Lucro = Preço deve ser substituída por Preço – Custo = Lucro

Segundo a lógica tradicional, o preço era imposto ao mercado como resultado de um dado custo de fabricação somado a uma margem de lucro pretendida. Desta forma, era permitido ao fornecedor transferir ao cliente os custos adicionais decorrentes da eventual ineficiência de seus processos de produção.

Com o acirramento da concorrência e o surgimento de um consumidor mais exigente, o preço passa a ser determinado pelo mercado. Sendo assim, a única forma de aumentar ou manter o lucro é através da redução dos custos.

Na Toyota, a redução dos custos através da eliminação das perdas passa por uma análise detalhada da cadeia de valor, isto é, a seqüência de processos pela qual passa o material, desde o estágio de matéria-prima até ser transformado em produto acabado. O processo sistemático de

GHINATO, P. Publicado como 2º. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

identificação e eliminação das perdas passa ainda pela análise das operações, focando na identificação dos componentes do trabalho que não adicionam valor.

Na linguagem da engenharia industrial consagrada pela Toyota, perdas (*MUDA* em japonês) são atividades completamente desnecessárias que geram custo, não agregam valor e que, portanto, devem ser imediatamente eliminadas. Ohno, o grande idealizador do Sistema Toyota de Produção, propôs que as perdas presentes no sistema produtivo fossem classificadas em sete grandes grupos, a saber:

- Perda por superprodução (quantidade e antecipada);
- Perda por espera;
- Perda por transporte;
- Perda no próprio processamento;
- Perda por estoque;
- Perda por movimentação;
- Perda por fabricação de produtos defeituosos.

## **Perda por Superprodução**

De todas as sete perdas, a perda por superprodução é a mais danosa. Ela tem a propriedade de esconder as outras perdas e é a mais difícil de ser eliminada.

Existem dois tipos de perdas por superprodução:

- Perda por produzir demais (superprodução por quantidade)
- Perda por produzir antecipadamente (superprodução por antecipação)

**Perda por Superprodução por Quantidade:** é a perda por produzir além do volume programado ou requerido (sobram peças/produtos). Este tipo de perda está fora de questão quando se aborda a superprodução no Sistema Toyota de Produção. É um tipo de perda inadmissível sob qualquer hipótese e está completamente superada na Toyota.

**Perda por Superprodução por Antecipação:** é a perda decorrente de uma produção realizada antes do momento necessário, ou seja, as peças/produtos fabricadas ficarão estocadas aguardando a ocasião de serem consumidas ou processadas por etapas posteriores. Esta é a perda mais perseguida no Sistema Toyota de Produção.

## **Perda por Espera**

O desperdício com o tempo de espera origina-se de um intervalo de tempo no qual nenhum processamento, transporte ou inspeção é executado. O lote fica “estacionado” à espera de sinal verde para seguir em frente no fluxo de produção.

Podemos destacar basicamente três tipos de perda por espera:

- Perda por Espera no Processo
- Perda por Espera do Lote

- Perda por Espera do Operador

**Perda por Espera no Processo:** o lote inteiro aguarda o término da operação que está sendo executada no lote anterior, até que a máquina, dispositivos e/ou operador estejam disponíveis para o início da operação (processamento, inspeção ou transporte);

**Perda por Espera do Lote:** é a espera a que cada peça componente de um lote é submetida até que todas as peças do lote tenham sido processadas para, então, seguir para o próximo passo ou operação. Esta perda acontece, por exemplo, quando um lote de 1000 peças está sendo processado e a primeira peça, após ser processada, fica esperando as outras 999 peças passarem pela máquina para poder seguir no fluxo com o lote completo. Esta perda é imposta sucessivamente a cada uma das peças do lote. Supondo que o tempo de processamento na máquina M seja de 10 segundos, a primeira peça foi obrigada a aguardar pelo lote todo por 2 horas e 47 minutos (999 pçs. x 10 segundos) desnecessariamente.

**Perda por Espera do Operador:** ociosidade gerada quando o operador é forçado a permanecer junto à máquina, de forma a acompanhar/monitorar o processamento do início ao fim, ou devido ao desbalanceamento de operações.

## **Perda por Transporte**

O transporte é uma atividade que não agrega valor, e como tal, pode ser encarado como perda que deve ser minimizada. A otimização do transporte é, no limite, a sua completa eliminação. A eliminação ou redução do transporte deve ser encarada como uma das prioridades no esforço de redução de custos pois, em geral, o transporte ocupa 45% do tempo total de fabricação de um item.

As melhorias mais significativas em termos de redução das perdas por transporte são aquelas aplicadas ao processo de transporte, obtidas através de alterações de *lay-out* que dispensem ou eliminem as movimentações de material.

Somente após esgotadas as possibilidades de melhorias no processo é que, então, as melhorias nas operações de transporte são introduzidas. É o caso da aplicação de esteiras rolantes, transportadores aéreos, braços mecânicos, talhas, pontes rolantes, etc.

## **Perda no Próprio Processamento**

São parcelas do processamento que poderiam ser eliminadas sem afetar as características e funções básicas do produto/serviço. Podem ainda ser classificadas como perdas no próprio processamento situações em que o desempenho do processo encontra-se aquém da condição ideal. Exemplos: a baixa velocidade de corte de um torno por força de problemas de ajuste de máquina ou manutenção; o número de figuras estampadas em uma chapa metálica menor do que o máximo possível devido a um projeto inadequado de aproveitamento de material.

## **Perda por Estoque**

É a perda sob a forma de estoque de matéria-prima, material em processamento e produto acabado. Uma grande barreira ao combate às perdas por estoque é a “vantagem” que os estoques proporcionam de aliviar os problemas de sincronia entre os processos.

No ocidente, os estoques são encarados como um “mal necessário”. O Sistema Toyota de Produção utiliza a estratégia de diminuição gradativa dos estoques intermediários como uma forma de identificar outros problemas no sistema, escondidos por trás dos estoques.

## **Perda por Movimentação**

As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimentos. Tipicamente, “a introdução de melhorias como resultado do estudo dos movimentos pode reduzir os tempos de operação em 10 a 20%”.

A racionalização dos movimentos nas operações é obtida também através da mecanização de operações, transferindo para a máquina atividades manuais realizadas pelo operador. Contudo, vale alertar que a introdução de melhorias nas operações via mecanização é recomendada somente após terem sido esgotadas todas as possibilidades de melhorias na movimentação do operário e eventuais mudanças nas rotinas das operações.

## **Perda por Fabricação de Produtos Defeituosos**

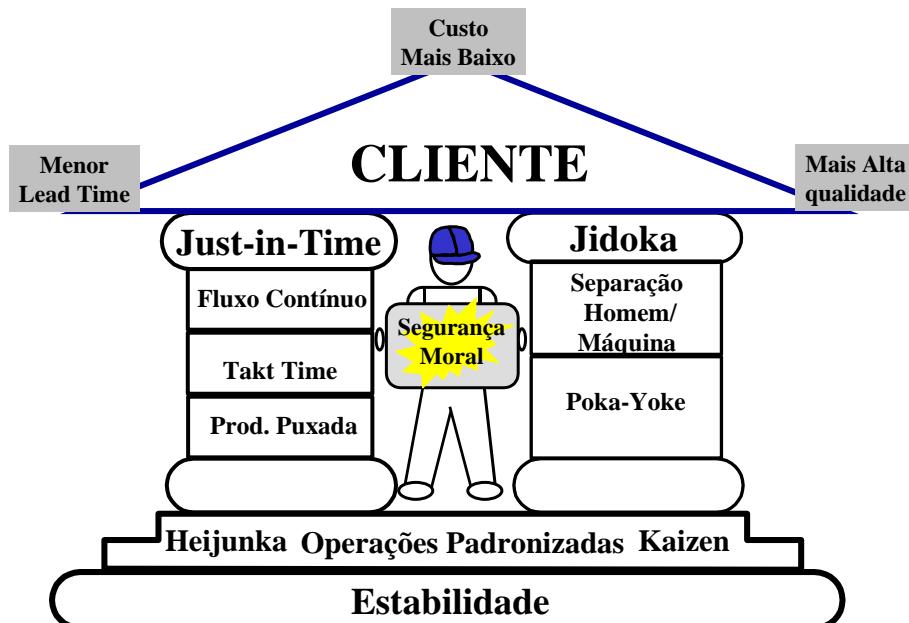
A perda por fabricação de produtos defeituosos é o resultado da geração de produtos que apresentem alguma de suas características de qualidade fora de uma especificação ou padrão estabelecido e que por esta razão não satisfaçam a requisitos de uso. No Sistema Toyota de Produção, a eliminação das perdas por fabricação de produtos defeituosos depende da aplicação sistemática de métodos de controle na fonte, ou seja, junto à causa-raiz do defeito.

## **Os Pilares de Sustentação do Sistema Toyota de Produção: JIT e Jidoka**

Não há qualquer novidade em afirmar que as “novas” condições concorrenciais que se abateram sobre o mercado mundial, sobretudo após as crises do petróleo da década de 70, impuseram severas restrições aos ganhos decorrentes da produção em larga escala. Contudo, deve ser dito que esta foi uma das causas fundamentais para que a Toyota Motor Co. emergisse como detentora de um poderoso e eficaz sistema de gerenciamento da produção, perfeitamente sintonizado com as novas regras. A urgência na redução dos custos de produção fez com que todos os esforços fossem concentrados na identificação e eliminação das perdas. Esta passou a ser a base sobre a qual está estruturado todo o sistema de gerenciamento da Toyota Motor Co.

É inegável que o *JIT* tem a surpreendente capacidade de colocar em prática o princípio da redução dos custos através da completa eliminação das perdas. Talvez, por seu impacto sobre os tradicionais métodos de gerenciamento, tenha se criado uma identidade muito forte com o próprio *TPS*. No entanto, o *TPS* não deve ser interpretado como sendo essencialmente o *JIT*, o que por certo limitaria sua verdadeira abrangência e potencialidade. O *JIT* é nada mais do que uma técnica de gestão incorporada à estrutura do *TPS* que, ao lado do *jidoka*, ocupa a posição de pilar de sustentação do sistema.

Existem diferentes formas de representar a estrutura do Sistema Toyota de Produção. A figura 1 apresenta o *TPS* com seus dois pilares – *JIT* e *Jidoka* – e outros componentes essenciais do sistema. Segundo este modelo, o objetivo da Toyota é atender da melhor maneira as necessidades do cliente, fornecendo produtos e serviços da mais alta qualidade, ao mais baixo custo e no menor *lead time* possível. Tudo isso enquanto assegura um ambiente de trabalho onde segurança e moral dos trabalhadores constitua-se em preocupação fundamental da gerência.



**Fig. 1 – A Estrutura do Sistema Toyota de Produção**

### **Just-In-Time**

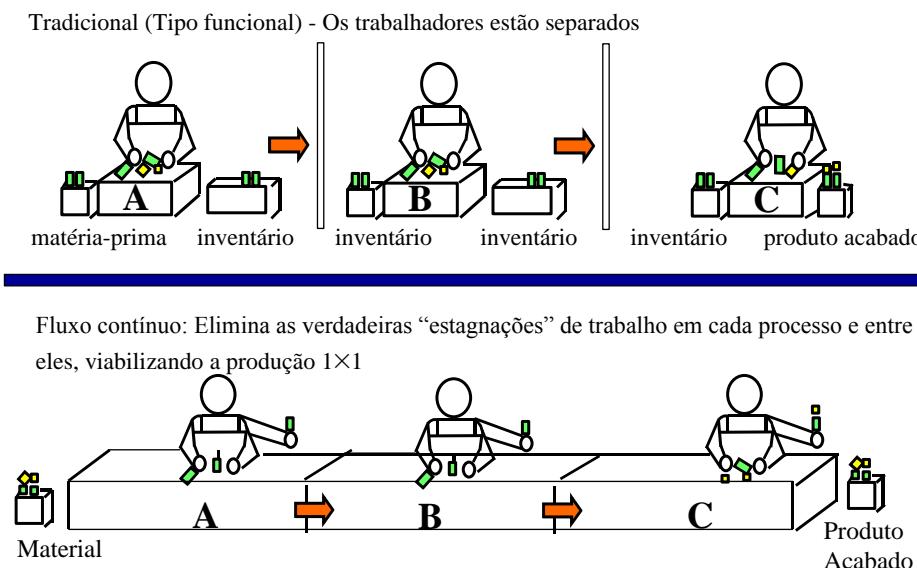
A expressão em inglês "Just-In-Time" foi adotada pelos japoneses, mas não se consegue precisar a partir de quando ela começou a ser utilizada. Fala-se do surgimento da expressão na indústria naval, sendo incorporada, logo a seguir, pelas indústrias montadoras. Portanto, já seria um termo conhecido e amplamente utilizado nas indústrias antes das publicações que notabilizaram o *JIT* como um desenvolvimento da Toyota Motor Co. No entanto, Ohno afirma que o conceito *JIT*

surgiu da idéia de Kiichiro Toyoda de que, numa indústria como a automobilística, o ideal seria ter todas as peças ao lado das linhas de montagem no momento exato de sua utilização.

Just-In-Time significa que cada processo deve ser suprido com os itens certos, no momento certo, na quantidade certa e no local certo. O objetivo do *JIT* é identificar, localizar e eliminar as perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção. A viabilização do *JIT* depende de três fatores intrinsecamente relacionados: fluxo contínuo, *takt time* e produção puxada.

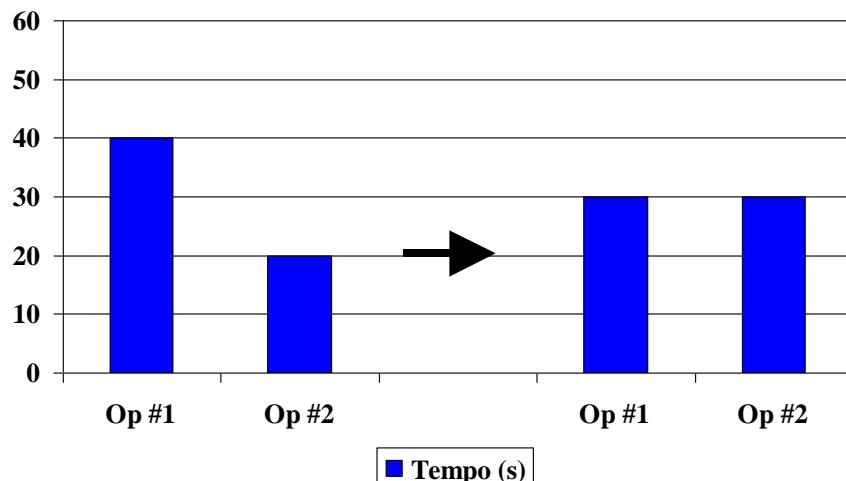
O fluxo contínuo é a resposta à necessidade de redução do *lead time* de produção. A implementação de um fluxo contínuo na cadeia de agregação de valor normalmente requer a reorganização e rearranjo do *layout* fabril, convertendo os tradicionais *layouts* funcionais (ou *layouts* por processos) – onde as máquinas e recursos estão agrupadas de acordo com seus processos (ex.: grupo de fresas, grupo de retíficas, grupo de prensas, etc.) – para células de manufatura compostas dos diversos processos necessários à fabricação de determinada família de produtos.

A conversão das linhas tradicionais de fabricação e montagem em células de manufatura é somente um pequeno passo em direção à implementação da produção enxuta. O que realmente conduz ao fluxo contínuo é a capacidade de implementarmos um fluxo unitário (um a um) de produção, onde, no limite, os estoques entre processos sejam completamente eliminados (vide representação da figura 2). Desta forma garantimos a eliminação das perdas por estoque, perdas por espera e obtemos a redução do *lead time* de produção.



**Fig. 2 – Fluxo de Produção Tradicional versus Fluxo Unitário Contínuo**

A implementação de um fluxo contínuo de produção torna necessário um perfeito balanceamento das operações ao longo da célula de fabricação/montagem. A abordagem da Toyota para o balanceamento das operações difere diametralmente da abordagem tradicional. Conforme demonstra a figura 3, o balanceamento tradicional procura nivelar os tempos de ciclo de cada trabalhador, de forma a fazer com que ambos trabalhadores recebam cargas de trabalho semelhantes. O tempo de ciclo é o tempo total necessário para que um trabalhador execute todas as operações alocadas a ele.



**Fig. 3 – Balanceamento de Operações Tradicional**

Na Toyota, o balanceamento das operações está fundamentalmente ligado ao conceito do *takt time*. O *takt time* é o tempo necessário para produzir um componente ou um produto completo, baseado na demanda do cliente. Em outras palavras, o *takt time* associa e condiciona o ritmo de produção ao ritmo das vendas. Na lógica da “produção puxada” pelo cliente, o fornecedor produzirá somente quando houver demanda de seu cliente. O *takt time* é dado pela seguinte fórmula:

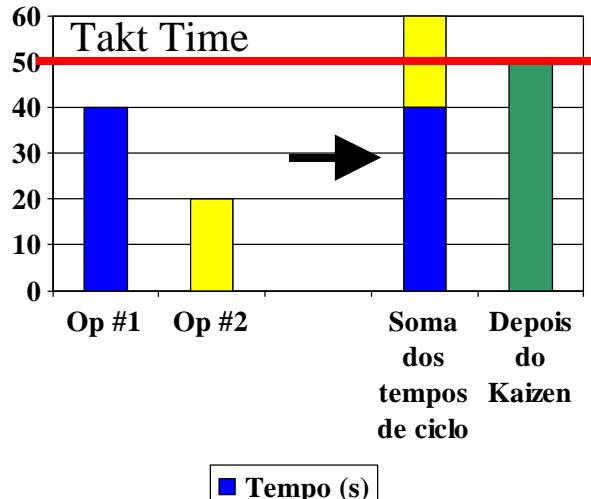
$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo total disponível}}{\text{Demanda do cliente}}$$

Portanto, no exemplo ilustrado na figura 4, o *takt time* = 50 segundos é calculado conforme segue:

Demand = 576 peças/dia

Tempo total disponível = 8 horas (28.800 segundos)

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



**Fig. 4 – Balanceamento de Operações na Toyota**

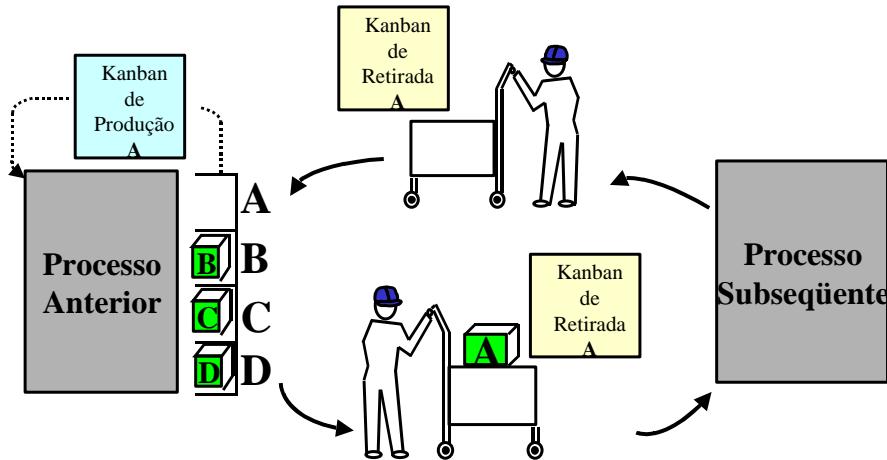
Logo, como a lógica é “produzir ao ritmo da demanda”, o tempo de ciclo de cada operador deve ser idealmente igual ao *takt time*. Portanto, ao invés de termos dois operadores com tempos de ciclo de 30 segundos, conforme o balanceamento da figura 3, procuramos alocar todas as operações a um único operador (vide coluna “soma dos tempos de ciclo” na figura 4) para, logo a seguir, como resultado de um processo de melhoria (*kaizen*), reduzir o tempo de ciclo deste operador até ficar compatível com o *takt time* de 50 segundos (coluna “Depois do Kaizen” da figura 4).

O conceito de produção puxada confunde-se com a própria definição de *Just-In-Time*, que é produzir somente os itens certos, na quantidade certa e no momento certo. No Sistema Toyota de Produção, o ritmo da demanda do cliente final deve repercutir ao longo de toda a cadeia de valor, desde o armazém de produtos acabados até os fornecedores de matérias-primas. A informação de produção deve fluir de processo em processo, em sentido contrário ao fluxo dos materiais, isto é, do processo-cliente para o processo-fornecedor.

Um sistema de produção trabalhando sob a lógica da produção puxada produz somente o que for vendido, evitando a super-produção. Ainda, sob esta lógica, a programação da produção é simplificada e auto-regulável, eliminando as contínuas reavaliações das necessidades de produção e as interferências das instruções verbais, características da produção empurrada.

A produção puxada na Toyota é viabilizada através do *kanban*, um sistema de sinalização entre cliente e fornecedor que informa ao processo-fornecedor exatamente o que, quanto e quando produzir. O sistema *kanban* tem como objetivo controlar e balancear a produção, eliminar perdas, permitir a reposição de estoques baseado na demanda e constituir-se num método simples de

controlar visualmente os processos. Existem diversos tipos de sistema *kanban*; o sistema representado na figura 5 é o sistema *kanban* de dois cartões, também conhecido como *kanban* do tipo A.



**Fig. 5 – Sistema Kanban: Produção Puxada**

Através do sistema *kanban*, o processo subseqüente (cliente) vai até o super-mercado (estoque) do processo anterior (fornecedor) de posse do *kanban* de retirada que lhe permite retirar deste estoque exatamente a quantidade do produto necessária para satisfazer suas necessidades. O *kanban* de retirada então retorna ao processo subseqüente acompanhando o lote de material retirado. No momento da retirada do material pelo processo subseqüente, o processo anterior recebe o sinal para iniciar a produção deste item através do *kanban* de produção, que estava anexado ao lote retirado.

## Jidoka

Em 1926, quando a família Toyoda ainda concentrava seus negócios na área têxtil, Sakichi Toyoda inventou um tear capaz de parar automaticamente quando a quantidade programada de tecido fosse alcançada ou quando os fios longitudinais ou transversais da malha fossem rompidos. Desta forma, ele conseguiu dispensar a atenção constante do operador durante o processamento, viabilizando a supervisão simultânea de diversos teares. Esta inovação revolucionou a tradicional e centenária indústria têxtil.

GHINATO, P. Publicado como 2º. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

Em 1932, o recém-formado engenheiro mecânico Taiichi Ohno integrou-se à Toyoda Spinning and Weaving, onde permaneceu até ser transferido para a Toyota Motor Company Ltd. em 1943. Tendo recebido “carta-branca” de Kiichiro Toyoda, então presidente do grupo, Ohno começou a introduzir mudanças nas linhas de fabricação da fábrica Koromo da Toyota Motor Company em 1947.

Ohno sabia que havia duas maneiras de aumentar a eficiência na linha de fabricação: aumentando a quantidade produzida ou reduzindo o número de trabalhadores. Em um mercado discreto como o mercado doméstico japonês há época, era evidente que o incremento na eficiência só poderia ser obtido a partir da diminuição do número de trabalhadores. A partir daí, Ohno procurou organizar o *layout* em linhas paralelas ou em forma de "L", de maneira que um trabalhador pudesse operar 3 ou 4 máquinas ao longo do ciclo de fabricação, conseguindo com isso, aumentar a eficiência da produção de 2 a 3 vezes.

A implementação desta nova forma de organização exigiu de Ohno a formulação da seguinte questão: “Porque uma pessoa na Toyota Motor Company é capaz de operar apenas uma máquina enquanto na fábrica têxtil Toyoda uma operadora supervisiona 40 a 50 teares automáticos?” A resposta era que as máquinas na Toyota não estavam preparadas para parar automaticamente quando o processamento estivesse terminado ou quando algo de anormal acontecesse.

A invenção de Sakichi Toyoda, aplicada às máquinas da Toyota Motor Company, deu origem ao conceito de *Jidoka* ou *autonomia*, como também é conhecido. Na verdade, a palavra *jidoka* significa simplesmente automação. *Ninben no aru jidoka* expressa o verdadeiro significado do conceito, ou seja, que a máquina é dotada de inteligência e toque humano.

Ainda que o *jidoka* esteja freqüentemente associado à automação, ele não é um conceito restrito às máquinas. No TPS, *jidoka* é ampliado para a aplicação em linhas de produção operadas manualmente. Neste caso, qualquer operador da linha pode parar a produção quando alguma anormalidade for detectada. *Jidoka* consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de parar o processamento sempre que for detectada qualquer anormalidade.

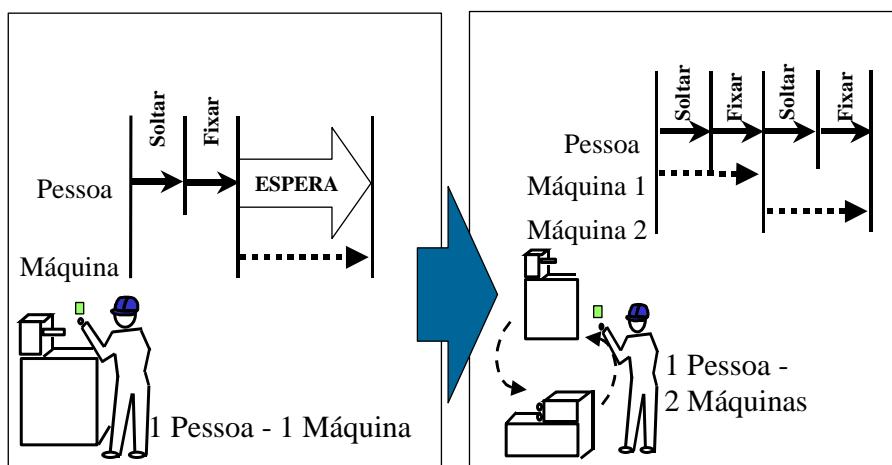
A idéia central é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e fluxo de produção. Quando a máquina interrompe o processamento ou o operador pára a linha de produção, imediatamente o problema torna-se visível ao próprio operador, aos seus colegas e à sua supervisão. Isto desencadeia um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e consequentemente reduzindo as paradas da linha.

Quando Ohno iniciou suas experiências com o *jidoka*, as linhas de produção paravam a todo instante, mas à medida que os problemas iam sendo identificados, o número de erros começou a diminuir vertiginosamente. Hoje, nas fábricas da Toyota, o rendimento das linhas se aproxima dos 100%, ou seja, as linhas praticamente não param.

## A Separação entre a Máquina e o Homem

A relação entre a máquina e o homem, caracterizada pela permanência do operador junto à máquina durante a execução do processamento, não é tão fácil de ser rompida, pois é uma prática característica da indústria tradicional. No entanto, o aprimoramento de dispositivos capazes de detectar anormalidades promoveu a separação entre a máquina e o homem e contribuiu para o desenvolvimento de funções inteligentes nas máquinas (automação com funções humanas).

A separação entre a máquina e o homem é um requisito fundamental para a implementação do *jidoka*. Na prática, a separação que ocorre é entre a detecção da anormalidade e a solução do problema. A detecção pode ser uma função da máquina, pois é técnica e economicamente viável, enquanto a solução ou correção do problema continua como responsabilidade do homem. Desta forma, a transferência das atividades manuais e funções mentais (inteligência) do homem para a máquina, permite que o trabalhador opere mais de uma máquina simultaneamente (vide figura 6).



**Fig. 6 – Separação entre o Homem e a Máquina**

No Sistema Toyota de Produção, não importa se a máquina executa as funções de fixação/remoção da peça e de acionamento, automaticamente. O importante é que, antes disto, ela tenha a capacidade de detectar qualquer anormalidade e parar imediatamente.

## Poka-Yoke

O segundo componente do pilar *jidoka* é o dispositivo *poka-yoke*. O *poka-yoke* é um mecanismo de detecção de anormalidades que, acoplado a uma operação, impede a execução irregular de uma atividade. O *poka-yoke* é uma forma de bloquear as principais interferências na execução da operação.

Os dispositivos *poka-yoke* são a maneira pela qual o conceito do *jidoka* é colocado em prática. A aplicação dos dispositivos *poka-yoke* permite a separação entre a máquina e o homem e o decorrente exercício do *jidoka*.

Na Toyota, os dispositivos *poka-yoke* são utilizados na detecção da causa-raíz dos defeitos, ou seja, os erros na execução da operação. Para tanto, são aplicados em regime de inspeção 100% associados à inspeção na fonte. A utilização de dispositivos *poka-yoke* associados à inspeção sucessiva ou auto-inspeção somente se justifica em casos de inviabilidade técnica ou econômica para a aplicação na fonte.

## Operações Padronizadas

Os pilares *JIT* e *Jidoka* estão assentados sobre uma base formada pelo *heijunka* (nivelamento da produção), operações padronizadas e *kaizen* (melhoria contínua). O primeiro desses elementos – a operação padronizada – pode ser definido como um método efetivo e organizado de produzir sem perdas.

A padronização das operações procura obter o máximo de produtividade através da identificação e padronização dos elementos de trabalho que agregam valor e da eliminação das perdas. O balanceamento entre os processos e a definição do nível mínimo de estoque em processamento também são objetivos da padronização das operações.

Os componentes da operação padronizada são: o *takt time*, a rotina-padrão de operações e a quantidade-padrão de inventário em processamento (vide figura 7).



**Fig. 7 – Componentes da Operação Padronizada**

A rotina-padrão de operações é um conjunto de operações executadas por um operador em uma seqüência determinada, permitindo-lhe repetir o ciclo de forma consistente ao longo do tempo. A determinação de uma rotina-padrão de operações evita que cada operador execute aleatoriamente os passos de um determinado processo, reduzindo as flutuações de seus respectivos tempos de ciclo e permitindo que cada rotina seja executada dentro do *takt time*, de forma a atender a demanda.

A quantidade-padrão de inventário em processamento é a mínima quantidade de peças em circulação necessária para manter o fluxo constante e nivelado de produção. Este nível pode variar de acordo com os diferentes *layouts* de máquina e rotinas de operações. Se a rotina de operações segue na mesma ordem do fluxo do processo, é necessário somente uma peça em processamento em cada máquina, não sendo necessário manter qualquer estoque entre as máquinas. Se a rotina é executada em direção oposta à seqüência de processamento, é necessário manter no mínimo uma peça entre as operações.

Na determinação da quantidade-padrão de inventário em processamento, devem ser considerados os pontos de teste e verificação do produto. Pequenas quantidades podem ser requeridas nestes pontos. Outra questão importante é a influência da temperatura. Deve-se considerar a quantidade necessária para que a elevação de temperatura provocada pela operação anterior seja compensada.

## **Heijunka – Nivelamento da Produção**

*Heijunka* é a criação de uma programação nivelada através do seqüenciamento de pedidos em um padrão repetitivo e do nivelamento das variações diárias de todos os pedidos para corresponder à demanda no longo prazo. Dito de outra maneira, *heijunka* é o nivelamento das quantidades e tipos de produtos.

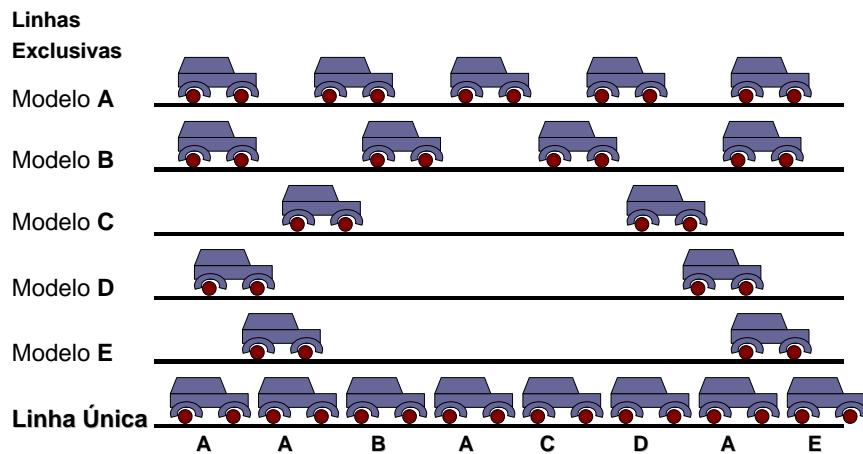
A programação da produção através do *heijunka* permite a combinação de itens diferentes de forma a garantir um fluxo contínuo de produção, nivelando também a demanda dos recursos de produção. O *heijunka*, da forma como é utilizado na Toyota, permite a produção em pequenos lotes e a minimização dos inventários.

O exemplo a seguir ilustra de forma clara a mecânica do *heijunka*. A Tabela 1 apresenta as demandas para 5 diferentes modelos de automóveis. A última coluna apresenta os *takt times* para cada modelo, assumindo que a fábrica tivesse condições de dedicar uma linha de montagem para cada um dos modelos. No entanto, sabe-se que na prática os diferentes modelos devem ser montados em uma única linha de montagem. Neste caso, se todas as 480 unidades forem montadas nesta linha, o *takt time* deve ser de 1 minuto ( $480 \text{ minutos} \div 480 \text{ unidades}$ ). Como, então, satisfazer diferentes demandas se o ritmo da linha é único e constante?

**Tabela 1 – Nivelamento da Produção de 5 Modelos**

Modelo	Produção Mensal (20 dias)	Produção Diária (480 min.)	Takt Time (minutos)
Modelo A	4.800 unid.	240 unid.	2 min.
Modelo B	2.400 unid.	120 unid.	4 min.
Modelo C	1.200 unid.	60 unid.	8 min.
Modelo D	600 unid.	30 unid.	16 min.
Modelo E	600 unid.	30 unid.	16 min.
Total	9.600 unid.	480 unid.	1 min.

A resposta é proporcionada pelo *heijunka*, que define uma determinada seqüência de montagem (neste caso hipotético, AABACDAE) que, se repetida ciclicamente, é capaz de atender a demanda de cada um dos diferentes modelos como se estivessem sendo montados em linhas exclusivas, conforme representado na figura 8.



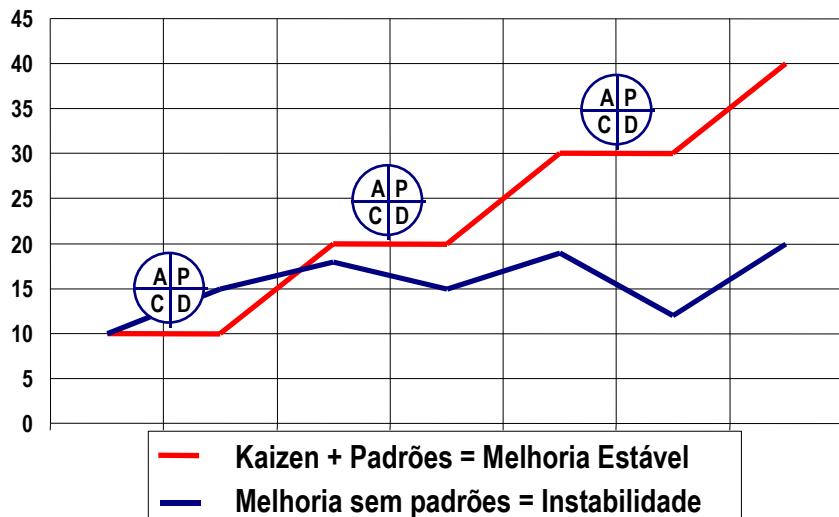
**Fig. 8 – Linha de Montagem Nivelada**

## Kaizen: Melhoria Contínua

O terceiro componente da base sobre a qual estão assentados os pilares do *TPS* é o *kaizen*. *Kaizen* é a melhoria incremental e contínua de uma atividade, focada na eliminação de perdas (*muda*), de forma a agregar mais valor ao produto/serviço com um mínimo de investimento.

A prática do *kaizen* depende do contínuo monitoramento dos processos, através da utilização do ciclo de Deming (ciclo PDCA). Este processo desenvolve-se a partir da padronização da melhor solução e subsequente melhoria deste padrão, garantindo que os pequenos e incrementais ganhos sejam incorporados às práticas operacionais.

A figura 9 apresenta a importância da relação entre padronização e o *kaizen*. A melhoria estável, que permitirá lançar o processo no próximo nível, só pode ser alcançada a partir de processos padronizados. A subida pela escada (processo de *kaizen*) só pode ser considerada segura e contínua se todos os degraus (padronização das operações), um após o outro, forem construídos de forma sólida e consistente. A prática do *kaizen* sem padronização corresponde a tentativa de subir a escada, depositando-se todo o peso do corpo sobre um degrau mal estruturado; o risco do degrau ruir e com ele nos levar escadaria abaixo é iminente.



**Fig. 9 – Kaizen e Padronização**

## Estabilidade

A “estabilidade” dos processos é a base de todo o Sistema Toyota de Produção. Somente processos capazes, sob controle e estáveis podem ser padronizados de forma a garantir a produção de itens livres de defeitos (resultante do pilar *Jidoka*), na quantidade e momento certo (resultantes do pilar *JIT*).

A estabilidade dos processos é um pré-requisito para a implementação do *TPS*. O planejamento da produção e das próprias ações de melhoria só pode ser executado em um ambiente sob controle e previsível. O processo de identificação da *muda* ao longo da cadeia de valor deve ser conduzido em condições estáveis, caso contrário o que se verifica não é solução de problemas de forma sistemática mas a prática de “apagar incêndio”

## Considerações Finais

Passaram-se mais de 50 anos desde que o revolucionário engenheiro Taiichi Ohno começou a implementar suas idéias no chão-de-fábrica da Toyota. Ainda assim, todos os colaboradores da Toyota entendem que o *TPS* ainda está em processo de aprimoramento, uma vez que o *kaizen* deve continuar a ser aplicado na melhoria da estrutura do próprio sistema.

O Sistema Toyota de Produção é, inegavelmente, o *benchmark* para as organizações industriais no mundo inteiro. Contudo, o Sistema Toyota de Produção não deve e nem pode ser simplesmente “copiado” por outras indústrias. O processo de “enxugamento” (tornar outras

GHINATO, P. Publicado como 2º. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

empresas tão “enxutas” quanto a Toyota) de outros sistemas de produção deve ser conduzido a partir de um profundo e perfeito entendimento acerca dos conceitos, princípios fundamentais e componentes do Sistema Toyota de Produção pois este é um processo de adaptação do modelo original.

É fundamental, também, que se perceba o desempenho superior da Toyota Motor Co. em relação aos seus competidores como resultado da aplicação sistemática e concatenada dos elementos componentes do *TPS*. A rápida resposta à demanda do mercado não é consequência do uso do *kanban*; nem a mais alta produtividade da mão-de-obra resulta da utilização de células em “U”. Também não é por causa do uso de dispositivos *poka-yoke* que a qualidade dos automóveis Toyota é superior à de seus concorrentes. Os resultados obtidos pela Toyota decorrem da aplicação de um sistema de gerenciamento focado no atendimento das necessidades do cliente via eliminação total das perdas presentes na cadeia de agregação de valor.

## Bibliografia

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Bookman, Porto Alegre, 1998.

COLEMAN, B. Jay & VAGHEFI, M. Reza. Heijunka(?): A Key to the Toyota Production System. **Production and Inventory Management Journal**, Fourth Quarter, 1994, p. 31-35.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção - Mais do que Simplesmente Just-In-Time**. Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1996.

GHINATO, P. The Role of Mistake-proofing Systems in Zero-defect-oriented Environments, **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress of Industrial Engineering - ENEGEP'96**, Brasil, 1996.

GHINATO, P. Quality Control Methods: Towards Modern Approaches Through Well Established Principles, **Total Quality Management Journal**, England, v. 9, n. 6, December, 1998.

HALL, Robert W. **Zero Inventories**. Homewood, Illinois, Dow Jones-Irwin, 1983.

HARMON, Roy L. **Reinventando a fábrica II: conceitos modernos de produtividade na prática**. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1993.

KATO, Tetsuro & STEVEN, Rob. **An International Debate - Is Japanese Management Post-Fordism ?** Tokyo, Japan, Mado-Sha, 1993.

MONDEN, Yasuhiro. What makes the Toyota Production System really tick? **Industrial Engineering**, [S.l.], p. 36-46, Jan. 1981.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. Editora do IMAM, São Paulo, 1984.

GHINATO, P. Publicado como 2º. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção** – Além da Produção em Larga Escala, Porto Alegre, Editora Bookman, 1997.

OHNO, Taiichi & MITO, Setsuo. **Just-in-time for today and tomorrow**. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1988.

PRODUCTIVITY PRESS. **Kanban and just-in-time at Toyota; management begins at the workplace**. Cambridge, MA, 1986.

PRODUCTIVITY PRESS. **Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects**. Cambridge, Massachusetts, 1988.

ROTHER, Mike & SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício**. Lean Institute Brasil, São Paulo, 1998.

SCHROEDER, D. M. & ROBINSON, A. G. America's most successful export to Japan: continuous improvement programs. **Sloan Management Review**, vol. 32, no. 3, 1991.

SEKINE, Kenichi. **One-Piece Flow: Cell Design for Transforming the Production Process**. Portland, Oregon, Productivity Press, 1992.

SEPERI, Mehran. **Just-in-time, not just-in-Japan: Case studies of American pioneers in JIT implementation**. Falls Church, USA, APICS, 1986.

SHINGO, Shigeo. **Study of Toyota production system from industrial engineering viewpoint**. Tokyo, Japan Management Association, 1981.

SHINGO, Shigeo. **Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system**. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1986.

SHINGO, Shigeo. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System**. Cambridge, Mass., Productivity Press, 1987.

SHINGO, Shigeo. **The sayings of Shigeo Shingo: key strategies for plant improvement**. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.

SHINGO, Shigeo. **Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement**. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1988.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T. & ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1992.

WOMACK, James P. & JONES, Daniel T. **Lean Thinking**. Simon & Schuster, New York, 1996.