Considerações críticas sobre a eficiência nos sistemas produtivos industriais – uma abordagem a partir do Sistema Toyota de Produção e da Teoria das Restrições

Anselmo Passos (UNISINOS) Anselmo.passos@dana.com.br
José Antonio Valle Antunes Júnior (UNISINOS) junico@produttare.com.br
Marcelo Klippel (UNISINOS) marcelo@klippel.com.br

Resumo

O presente artigo sugere a necessidade de explicitar os diferentes conceitos possíveis de medição da eficiência nos Sistemas Produtivos. Partindo dos conceitos e princípios básicos do Sistema Toyota de Produção – Mecanismo da Função Produção e Autonomação – e da Teoria das Restrições – Gargalos Produtivos, o artigo propugna a necessidade de explicitar três medidas de eficiência: i) Índice de Eficiência Operacional Global dos Equipamentos e seus dois desdobramentos gerais possíveis, a saber: o TEEP e o OEE; ii) o grau/índice de multifuncionalidade de operadores; iii) a eficiência da mão-de-obra. Finalmente, são apresentados três exemplos didáticos visando o esclarecimento dos conceitos de eficiências propostos no artigo.

Palavras chave:eficiência, multifuncionalidade, TEEP, OEE

1. Introdução

Um tema relevante a ser observado nas Empresas Industriais refere-se a análise da eficiência dos Sistemas Produtivos. Para uma análise consistente desta problemática parece necessário abordar de forma direta a construção dos conceitos de Eficiência dos Sistemas Produtivos tendo como pano-fundo os princípios do Sistema Toyota de Produção – em particular as noções do Mecanismo da Função Produção (Função Processo e Função Operação) e da Autonomação – e da Teoria das Restrições – em especial a noção de gargalos produtivos.

Através do cálculo e monitoramento constante da eficiência produtiva dos recursos, pode-se ter conhecimento de suas reais eficiências, com o objetivo de elaborar planos de ação e soluções para os principais motivos de ineficiência da produção.

O alcance de um número para a eficiência dos recursos é muito importante, pois na maioria das vezes os gerentes não sabem dizer qual a eficiência de seus equipamentos, apenas informam que a eficiência é ruim ou boa. A questão é que a eficiência não é ruim nem é boa, a eficiência deve ser um número calculado e não uma situação abstrata. Geralmente, as informações para o cálculo correto da eficiência dos recursos não estão disponíveis nos sistemas corporativos das organizações. Sendo assim, na maioria dos casos se faz necessário a coleta e análise dos dados dos recursos produtivos.

Para tanto, o presente artigo sugere uma análise mais detalhada com relação à eficiência dos recursos produtivos, principalmente no que tange o grau de multifuncionalidade e a eficiência da mão-de-obra.

2. Referencial Teórico

A seguir está apresentado o Referencial Teórico adotado para fins do desenvolvimento do presente artigo.

2.1 Aspectos Gerais

O crescimento observado na indústria japonesa a partir da segunda metade do século XX proporcionou modificações profundas em termos dos paradigmas adotados em termos da Engenharia de Produção. A principal quebra de paradigmas aos aspectos relativos a análise dos Sistemas Produtivos. Segundo Shingo (1996) para isso é necessário compreender em profundidade o chamado Mecanismo da Função Produção. De forma geral, Shingo mostra que um determinado processo – Função Processo - não se constitui em um conjunto linear de operações, mas sim o Mecanismo da Função:

> *"Produção constitui uma rede de processos e operações, fenômenos que se posicionam ao longo de eixos que se interseccionam. Em melhorias de produção, deverá ser dada prioridade máxima para os fenômenos de processo." (Shingo, 1996, p. 29).*

A partir desta nova análise proposta por Shingo observa-se que o *Processo* - a Função Processo - pode ser entendido como sendo o fluxo de materiais no tempo e no espaço. Sendo assim, o *processo* compreende todas as etapas pelas quais a matéria-prima se movimenta até se transformar em um produto acabado. A *Operação* – Função Operação - refere-se ao estágio distinto no qual um trabalhador/operador pode trabalhar em diferentes produtos, constituindo-se em um fluxo temporal e espacial, com foco no trabalhador. Desta maneira, a análise dos aspectos relacionados ao *processo* examina o fluxo de materiais ou produtos enquanto que a análise das *operações* possibilita examinar o trabalho realizado pelos equipamentos e trabalhadores para transformar este material/produto em um produto acabado.

A partir do entendimento do Mecanismo da Função Processo, enquanto uma rede de processos e operações, as Organizações podem focar seus esforços diretamente nos pontos mais frágeis do mesmo. Sem a visão sistêmica que procura analisar o todo, é muito difícil e complexo gerenciar de maneira diretamente voltada para os resultados. Observa-se que para se realizar melhorias significativas no processo de produção como um todo, deve se distinguir os aspectos relacionados aos *Processos* e às *Operações*. Ou seja, existem maneiras e alternativas distintas de tratamento para cada um destas duas Funções.

Ainda é possível observar uma ligação estreita com a teoria proposta por Goldratt, a Teoria das Restrições – TOC. Goldratt afirma que a realização de melhoria com foco local, visando o ótimo local não asseguram ganhos significativos globalmente. Ou seja, esforços centrados na melhoria das *Operações* (ótimo local) não asseguram ganhos em termos sistêmicos – ótica que privilegia as melhorias voltadas ao Processo (ótimo global) (GOLDRATT & COX, 1986).

Observa-se que a análise focada nas *Operações* contribui prioritariamente para a redução dos custos de produção. Por outro lado, a análise do *Processo* possibilita ganhos significativos do prisma do ótimo global, através de uma maior agregação de valor ao produto e eliminação daquelas *operações* que aumentam os custos, e geram perdas.

2.2 Conceitos Básicos Ligados a Eficiência Operacional

A seguir são apresentados os principais conceitos ligados a Eficiência nos Sistemas Produtivos, a saber: i) Índice de Rendimento Operacional dos Equipamentos; ii) Coeficiente de Multifuncionalidade; iii) Índice de eficiência da mão-de-obra.

a) O Índice de Rendimento Operacional Global dos Equipamentos - IROG

Em uma empresa industrial a capacidade de um determinado equipamento (posto de trabalho), que representa a oferta em termos de capacidade de produção e está intimamente ligada à Função Operação e é calculada, genericamente, através Equação 1:

$$C = T_t \times \mu_g \quad (1)$$

onde:

C = capacidade do equipamento
T_t = tempo total disponível para a produção
μ_g = índice de rendimento operacional global do equipamento

De acordo com o mesmo raciocínio, a demanda de produtos, está intimamente relacionada com a Função Processo, podendo ser calculada através da seguinte Equação 2:

$$D = \sum_{i=1}^{N} tp_i \times q_i \quad (2)$$

onde:

D = demanda de produtos no equipamento
tp_i = tempo de processamento da peça ***i*** no equipamento
q_i = quantidade produzida da peça ***i*** no equipamento

Intuitivamente, em um recurso crítico (gargalo) a capacidade de produção é igual à demanda por produtos no equipamento. Logo, se C = D, então se obtém a seguinte Equação 3:

$$T_t \times \mu_g = \sum_{i=1}^{N} tp_i \times q_i \quad (3)$$

Isolando-se o coeficiente de eficiência, pode-se obter a Equação 4 que define o Índice de Eficiência Operacional Global do equipamento (máquina):

$$\mu_g^{maq} = \frac{\sum_{i=1}^{N} tp_i \times q_i}{T_t} \quad (4)$$

Cabe ressaltar que a eficiência da máquina, calculada de acordo com a Equação 4, sempre será inferior a unidade, expressa em termos percentuais. A partir desta equação, pode-se concluir que o Índice de Eficiência Operacional Global do Equipamento é igual à razão entre o tempo de valor agregado em termos de peças ou produtos (numerador) pelo tempo total para se realizar a produção no equipamento (denominador). Cabe ressaltar que o tempo total pode ser de acordo com a necessidade de utilização do equipamento:

- Tempo Total Programado para Produção (TEEP – *Total Effective Equipment Productivity*). A eficiência do equipamento deve ser calculada utilizando-se o TEEP quando o equipamento monitorado for um recurso crítico para a produção. A idéia central é que o tempo total disponível para um recurso crítico (gargalo) seja o tempo total possível de ser alocado para o equipamento, ou seja, sem excluir nenhum tipo de parada programada.

Desta forma, a situação ideal seria 24 horas diárias, durante sete dias por semana, caso a demanda no mercado a justifique.

– Tempo Disponível para Produção (OEE – *Overall Equipment Efficiency*). A eficiência calculada de acordo com o OEE é indicada para os equipamentos não críticos, ou seja, neste caso o tempo total disponível é calculado pela subtração do tempo total das chamadas paradas programadas. Esta distinção é necessária, pois os recursos não críticos não precisam e não devem funcionar em tempo integral – isto levaria, segundo demonstra a Teoria das Restições, a constituição de estoques nos Sistemas Produtivos. O OEE deve indicar a maneira como o equipamento funcionou quando o mesmo foi requisitado para produção.

b) Medição do Grau de Multifuncionalidade – Uma Medida do Grau de Autonomação das Células de Produção, das Fábricas Focalizadas e das Unidades Produtivas

Uma medição também possível e sugerida diz respeito a medição do grau de multifuncionalidade existente em uma Célula de Manufatura, em uma Fábrica Focalizada, da Unidade Produtiva como um todo ou de qualquer parte delimitada de uma determinada Fábrica. Este indicador visa medir o grau de Multifuncionalidade dos operadores em um dado espaço delimitado da Fábrica (Células de Manufatura, Fábrica Focalizada etc..). Para isso é possível aplicar a Equação 5:

$$\mu_g^{mult} = \frac{\sum_{m=1}^{k}\left(\sum_{i=1}^{n} tp_{i,m} \times q_{i,m}\right)}{\sum_{m=1}^{k} N_m \times J_m} \qquad (5)$$

onde:

$tp_{i,m}$ = tempo de processamento da peça ***i*** no equipamento ***m***
$q_{i,m}$ = quantidade produzida da peça ***i*** no equipamento ***m***
N_m = número de trabalhadores ao equipamento ***m***
J_m = jornada de trabalho dos trabalhadores alocados ao equipamento ***m***
μ_{gmult} = grau de multifuncionalidade

Analisando-se a Equação 5, pode-se observar que o grau/coeficiente de multifuncionalidade é igual à razão entre o tempo de valor agregado em termos de peças ou produtos (numerador) nas máquinas da célula pelo total de horas pagas para as pessoas (denominador). Em outras palavras, o grau de multifuncionalidade é calculado levando-se em consideração o tempo de agregação de valor em relação à disponibilidade total de horas disponíveis dos trabalhadores.

No numerador tem-se um duplo somatório devido à existência de n máquinas/equipamentos na célula ao passo que no denominador tem-se um somatório da jornada de trabalho específica para cada operador (ou grupo de operadores) na máquina/equipamento.

Deve-se atentar para o fato de que o tempo de processamento/tempo de ciclo de uma peça em um equipamento é composto por um tempo de máquina (operação do equipamento) e por um tempo manual (por exemplo: o abastecimento e desabastecimento do equipamento). Para se calcular a eficiência da mão-de-obra é necessário separar o tempo manual do tempo de máquina. Para tanto, o conceito de Autonomação se torna significativamente importante, uma

vez que se pode apropriar do conceito de transferir "inteligência" para a máquina, para determinar o quanto do tempo total de ciclo é representando pelo tempo manual do operador.

O grau/coeficiente de multifuncionalidade mede como as pessoas estão sendo utilizadas em um determinado espaço da fábrica (por exemplo: uma célula de manufatura, uma dada minifábrica, a fábrica como um todo ou qualquer outro espaço que se queira delimitar). O valor corresponde ao grau/coeficiente de multifuncionalidade das pessoas, *deve ser idealmente superior a unidade*. Pode-se concluir que quanto maior o **grau de Autonomação** dos equipamentos, maior será o grau de multifuncionalidade. Isto porque com a elevação do **grau de Autonomação** ocorre a separação dos tempos manuais dos tempos de máquina, o que permite que um mesmo operador poderá se responsabilizar por um número maior de equipamentos. Devido à necessidade de se levar em consideração os aspectos relacionados ao ambiente externo e local das Organizações, este índice não pode (ou não deve) ser utilizado como termo de comparação entre empresas, segmentos industriais ou países, visto que cada empresa tem a sua própria realidade no que tange aos chamados custos dos fatores de produção (por exemplo, os custos do capital e do trabalho). A idéia central consiste em acompanhar a evolução do grau/coeficiente de multifuncionalidade na própria empresa, no sentido de avaliar a evolução da multifuncionalidade de seus colaboradores.

Intuitivamente, na medida que o coeficiente de multifuncionalidade aumenta, é possível reduzir a quantidade de pessoas alocadas em um determinado espaço delimitado da Fábrica, pois nesta situação os tempos manuais totais necessários para a realização do conjunto de operações em pauta. Porém, conforme colocado no parágrafo anterior, a causa de um aumento neste coeficiente em geral está relacionado com ações ligadas a **Autonomação dos diferentes Postos de Trabalho que constituem este espaço de trabalho (célula, minifábrica, etc..).** Ou seja, a aplicação do segundo princípio do Sistema Toyota de Produção – A Autonomação – é o centro nevrálgico do aumento do grau/coeficiente de multifuncionalidade dos trabalhadores.

c) Medição da Eficiência de Utilização da Mão-de-Obra

Para que seja possível medir a eficiência específica de utilização da mão-de-obra é necessário perceber que os tempos de processamento das peças, de forma genérica, são constituídos da soma dos tempos manuais com os tempos de processamento – tpi. Desta maneira, a eficiência da mão-de-obra pode ser calculada a partir da Equação 6:

$$\mu_g^{mobra} = \frac{\sum_{m=1}^{k}\left(\sum_{i=1}^{n} tpmanual_{i,m} \times q_{,mi}\right)}{\sum_{m=1}^{k} N_m \times J_m} \qquad (6)$$

onde:

$tpmanual_{i,m}$ = tempo de processamento manual da peça ***i*** no equipamento ***m***
$q_{i,m}$ = quantidade produzida da peça ***i*** no equipamento ***m***
N_m = número de trabalhadores alocados ao equipamento ***m***
J_m = jornada de trabalho dos trabalhadores alocados ao equipamento ***m***
μ_{gmobra} = grau de utilização da mão-de-obra

A análise específica da eficiência de utilização da mão-de-obra é muito relevante para certos casos como àqueles associados às Linhas de Montagem manuais.

3. Exemplo Diático da Aplicação do Cálculo das Eficiências Produtivas

Este tópico apresenta três exemplos didáticos no intuito de esclarecer os conceitos apresentados no Referencial Teórico, bem como os seus principais inter-relacionamentos.

EXEMPLO 1 - Considere em uma determinada empresa industrial, uma célula de produção com 1 produto e 4 postos de trabalho com os seguintes tempos de processamento: **Tp1 = 2 minutos**; **Tp2 = 2 minutos**; **Tp3 = 3 minutos** e **Tp4 = 2 minutos**. Para uma produção de **100 peças** e uma jornada de trabalho de **8 horas** com **1 operador**, que aloca **20 segundos** de seu tempo para cada posto de trabalho, deve-se calcular: i) a eficiência global da célula de produção; ii) o grau/coeficiente de multifuncionalidade da célula de produção. A Figura 1 apresenta a célula de produção com os 4 postos de trabalhos e seus respectivos tempos de processamento:

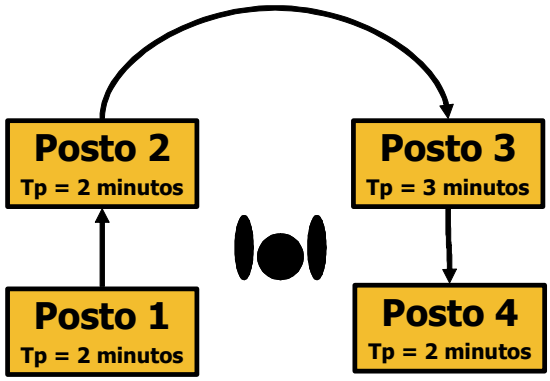

Figura 1 - Célula de Produção: 4 Postos de Trabalho e 1 Operador

Ao analisar-se a célula pode-se observar que o gargalo de produção é o Posto de Trabalho 3. Aplicando-se a Equação 4 para se calcular a eficiência global do Posto de Trabalho 3, e por conseguinte da célula, tem-se:

$$\mu_g^{maq} = \frac{(3\,\text{min} \times 100\,peças)}{480\,\text{min}} = 62{,}5\%$$

Na verdade, tem-se a medição do cálculo do TEEP do Posto de Trabalho 3 que corresponde a 62,5%. Ou seja, os Postos de Trabalho 1 e 2 (antes do gargalo) e 4 (depois do gargalo) tendem a necessitar que seus cálculos sejam feitos a partir do OEE por não se constituírem em gargalos produtivos – caso suas eficiências sejam similares a do Posto de Trabalho gargalo.

O próximo passo consiste em se calcular o grau/coeficiente de multifuncionalidade do operador para uma eficiência de máquina de 62,5%. Aplicando-se a Equação 5, tem-se:

$$\mu_g^{mult} = \frac{(2\,\text{min} + 2\,\text{min} + 3\,\text{min} + 2\,\text{min}) \times 100\,peças}{1 operador \times 480\,\text{min}} = 1{,}88$$

Como se pode observar o grau/coeficiente de multifuncionalidade do operador para uma eficiência de máquina de 62,5% é de 1,88. Conforme explicitado anteriormente, deve-se acompanhar este coeficiente ao longo do tempo, observando-se a evolução do grau/coeficiente de multifuncionalidade.

EXEMPLO 2 - O que aconteceria se fosse possível adicionar mais um posto de trabalho na célula de produção, mantendo-se apenas um operador com a mesma jornada de trabalho? A Figura 2 apresenta a situação a ser analisada:

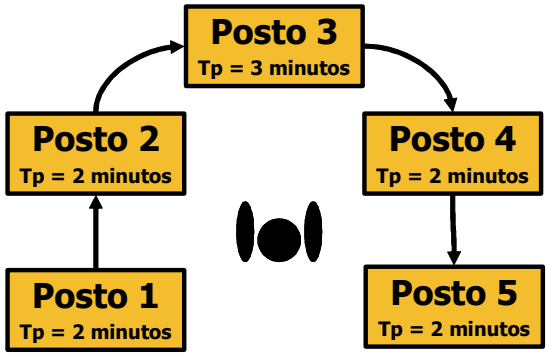

Figura 2 - Célula de Produção: 5 Postos de Trabalho e 1 Operador

Calculando-se respectivamente a eficiência global da célula e o coeficiente de multifuncionalidade tem-se:

$$\mu_g^{maq} = \frac{(3\,\text{min} \times 100\,peças)}{480\,\text{min}} = 62{,}5\%$$

$$\mu_g^{mult} = \frac{(2\,\text{min} + 2\,\text{min} + 3\,\text{min} + 2\,\text{min} + 2\,\text{min}) \times 100\,peças}{1 operador \times 480\,\text{min}} = 2{,}29$$

Analisando-se a situação acima, observa-se que a eficiência global da célula permanece inalterada, uma vez que a restrição da mesma ainda continua sendo o Posto de Trabalho 3. Porém, pode-se observar que o grau/coeficiente de multifuncionalidade uma vez que o operador passou a ser responsável por mais um posto de trabalho, aumentando desta forma, o seu grau de multifuncionalidade.

EXEMPLO 3 - Considere em uma determinada empresa industrial, uma célula de produção com 4 postos de trabalho com os seguintes tempos de processamento: **Tp1 = 1 minuto**; **Tp2 = 1 minuto**; **Tp3 = 1 minuto** e **Tp4 = 1 minuto**. Para uma produção de **300 peças** e uma jornada de trabalho de **8 horas** com **1 operador**, que aloca **10 segundos** de seu tempo para cada posto de trabalho. Propõe-se calcular: i) a eficiência global da célula de produção – a partir de qualquer Posto de Trabalho já que os tempos são os mesmos; ii) o coeficiente de multifuncionalidade da célula de produção; iii) e eficiência da mão-de-obra na célula de produção.

Aplicando-se as Equações 4, 5 e 6, respectivamente:

$$\mu_g^{maq} = \frac{1\,\text{min} \times 300\,peças}{480\,\text{min}} = 65\%$$

$$\mu_g^{mult} = \frac{(1\,\text{min} + 1\,\text{min} + 1\,\text{min} + 1\,\text{min}) \times 300\,peças}{1 operador \times 480\,\text{min}} = 2{,}5$$

$$\mu_g^{mobra} = \frac{\frac{40 segundos}{60 segundos} \times 300\, peças}{1 operador \times 480 \min} = \frac{200}{480} = 41{,}67\%$$

Desta forma, a partir da aplicação das três equações acima, conclui-se que a eficiência da mão-de-obra deve ser calculada separadamente da eficiência da máquina. Evidentemente, em havendo tempos manuais e de máquina na formação do tempo de processamento, a eficiência correta da mão-de-obra sempre será menor do que a eficiência de máquina conforme calculada acima, uma vez que esta não distingue entre tempo manual e tempo de máquina.

4. Conclusões

As considerações teóricas e os exemplos didáticos explicitados anteriormente sugerem uma maneira objetiva para a medição da(s) eficiência(s) dos sistema produtivo, levando-se em consideração o seu desdobramento em três índices básicos a saber: i) Índice de Eficiência Operacional Global dos Equipamentos e seus dois desdobramentos gerais possíveis, a saber: o TEEP e o OEE; ii) o grau/índice de multifuncionalidade de operadores; iii) a eficiência da mão-de-obra.

Os objetivos destes três índices de eficiência são distintos, devendo ser gerenciados de forma diferenciada, porém integrada. O Índice de Eficiência Operacional Global dos Equipamentos deve ser acionado no sentido de alavancar a produtividade dos recursos críticos da fábrica. O grau/índice de multifuncionalidade está diretamente relacionado ao conceito de Autonomação. Sendo assim, a idéia é que este índice seja acompanhado ao longo do tempo em um dado espaço da fábrica (célula de manufatura, minifábrica etc...), visando aumentá-lo. Quando o grau/índice de multifuncionalidade é incrementado, isto significa que tem-se uma maior agregação de valor ao produto com o mesmo efetivo de trabalhadores – ou que uma mesma quantidade de valor agregado ao produto pode ser obtido com uma utilização menor do Fator Trabalho. Já a eficiência da mão-de-obra relaciona-se com a eficácia da utilização da mão-de-obra em relação ao padrão teórico previamente estabelecido.

5. Referências

ANTUNES, J. A. V. & KLIPPEL, M. Uma Abordagem para o Gerenciamento das Restrições dos Sistemas Produtivos: A Gestão Sistêmica, Unificada/Integrada e Voltada aos Resultados do Posto de Trabalho. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção e VII International Conference on Industrial Engineering and Operations Managements, Salvador, 2001, Anais.

ANTUNES, José A.V. Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: Uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. Porto Alegre, 1998. Tese de Doutorado em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOLDRATT, E. M. & COX, J. F. A Meta. Educator: São Paulo, 1997.

KLIPPEL, Altair; ANTUNES, José Antonio; KLIPPEL, Marcelo; ROVARIS, Rafael. Estratégia de Gestão dos Postos de Trabalho – Um Estudo de Caso na Indústria de Alimentos, Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Ouro Preto, MG.

NAKAJIMA, S. Introduction to TPM - Total Productive Maintenance. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

SHINGO, S.: O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre, Bookman, 1996.