

Utilização do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) em células de manufatura considerando o *takt time*

Use of Overall Equipment Effectiveness (OEE) in manufacturing cells considering takt time

Leonardo de Carvalho Gomes¹ - Univ. Federal do Rio Grande do Sul - Dep. de Engenharia de Produção e Transportes
Ricardo Gonçalves de Faria Corrêa² - Centro Universitário Ritter dos Reis - Escola de Engenharia

RESUMO Dentre as formas de medição e de melhoria da eficiência de processos industriais, destaca-se a utilização do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) também conhecido como Índice de Eficiência Global. Este indicador de eficiência caracteriza-se por considerar no cálculo os fatores: utilização do tempo disponível; o ritmo; e a qualidade do produto. O OEE tem sido implementado largamente para o controle e melhoria de máquinas. Porém, quando o mesmo é implementado em células de manufatura, existem parâmetros que devem ser discutidos e ajustados, como, por exemplo, o tempo padrão utilizado, visto que as máquinas em uma célula possuem tempos padrões diferentes. A proposta do presente artigo é utilizar o *Takt time* como tempo padrão no cálculo do OEE como a forma mais correta de medir a eficiência em uma célula de manufatura. Através de um estudo de caso em uma empresa metalúrgica, foi demonstrado que a forma mais adequada para medição do OEE em uma célula de manufatura é usando o *takt time*.

Palavras-chave: Eficiência Global. *Takt time*. Tempo de Ciclo. Células de Manufatura.

ABSTRACT Among ways of measuring and improving the efficiency of industrial processes, we highlight the use of *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) also known as the *Global Efficiency Index*. This efficiency indicator is characterized by taking into account these factors in its calculation: available time; rhythm; product quality. OEE has been widely implemented for the control and improvement of machines. However, when it is implemented in manufacturing cells, there are parameters that must be discussed and adjusted, such as what standard time to use, because the machines in the cell have different standard times. The purpose of this paper is to use *Takt time* as standard time in OEE calculation as the most accurate way of measuring efficiency in a manufacturing cell. Through a case study at a metallurgical company, it has been demonstrated that the most appropriate way to measure OEE in a manufacturing cell is using *takt time*.

Keywords: Overall Equipment Efficiency. *Takt Time*. Cycle time. Manufacturing Cells.

1. Osvaldo Aranha, 99, Centro Histórico, Porto Alegre, RS, CEP: 90035-190, legomes.rs@gmail.com; 2. ricardo_correa@uniritter.edu.br

GOMES, L. C.; CORRÊA, R. G. F. Utilização do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em células de manufatura considerando o *takt time*. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 14, nº 3, jul-set/2018, p. 276-294.

DOI: 10.15675/gepros.v13i3.1960

1. INTRODUÇÃO

A determinação da capacidade produtiva de equipamentos e eficiência é normalmente definida, segundo Antunes et al. (2008), a partir dos tempos de ciclo ou do tempo padrão, que em geral são tabelados, e das paradas de máquinas. Porém, a realidade da manufatura pode se comportar diferente dos tempos cronometrados em certos momentos, bem como podem existir outros fatores que afetam a eficiência dos equipamentos. A utilização de um indicador de eficiência global tem a vantagem de considerar tanto as perdas nos equipamentos como também as perdas gerencias, como por exemplo, a falta de matéria prima, falta de operador e erros de programação (DAL; TUGWELL; GREATBANKS, 2000).

A medição da eficiência global proposta pelo *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) permite analisar como os equipamentos se comportam no dia-a-dia, através da contemplação no seu cálculo dos três fatores: paradas, ritmo e produtos defeituosos. Com isso, podem-se identificar as origens das perdas de eficiência (MUCHIRI; PINTELON, 2008). Estes fatores que compõem o OEE são denominados Disponibilidade, *Performance* e Qualidade.

Porém, qualquer forma de indicador de eficiência deve ser adaptada ao tipo de sistema produtivo que vai ser medido. O indicador OEE evoluiu com o trabalho de Suzuki (SUZUKI, 1994) e muitos outros adaptados às necessidades de diferentes sistemas produtivos em estudo. Conforme o mesmo autor, em indústrias de processamento contínuo, os produtos são manufaturados em plantas que são arranjos complexos de equipamentos conectados e integrados. Neste caso, o mais importante é maximizar a efetividade de toda a planta do que focar exclusivamente na eficiência de equipamentos individuais (ANTUNES et al., 2008).

A organização do sistema produtivo pode se apresentar de diversas formas, variando sua configuração de acordo com o Volume versus Variedade dos produtos (SLACK, 1997). Observa-se a utilização do OEE tanto em processos isolados como também em produção contínua. Filter (2004) utilizou o OEE obtendo bons resultados na indústria petroquímica. Já Chiaradia (2004) utilizou o indicador OEE para máquinas em processos de usinagem intermitentes, com grande variedade de produtos e pequenas quantidades de entregas, organizados por células e típicos do setor automotivo brasileiro.

No caso específico de células de manufatura, torna-se necessária uma reflexão sobre a utilização do OEE. O cálculo do OEE mede a eficiência em relação à capacidade do equipamento, independentemente da demanda. Porém, Ohno (1997) ao definir os sete diferentes tipos de perdas para análise da eficiência produtiva no Sistema Toyota de Produção (STP), destacou uma: a perda por sobreprodução. Considerada por este autor como a principal perda, caracteriza-se pela produção em quantidades acima do programado ou antecipadamente. Para Ohno (1997), as máquinas de alta velocidade conhecidas, erroneamente, como máquinas de alta produtividade são causadoras de desperdício quando programadas para produzir a mais do que a demanda. Da mesma forma, quando se utilizam máquinas com velocidades superiores a de velocidades projetadas para o trabalho.

Considerando o que foi dito anteriormente sobre a perda por sobreprodução e a necessidade de produzir nas quantidades e na sequência exata demandada pelos clientes, torna-se importante considerar o ritmo que a produção deve operar para, apenas, atender a demanda. Em termos práticos, deve-se considerar o tempo que cada máquina de uma célula ou linha de manufatura devem levar para atender a demanda do cliente. Este conceito chama-se *Takt Time* (ANTUNES, 2008).

Deste modo, o artigo tem como objetivo apresentar a utilização do OEE para a medição da eficiência em células de manufatura, mas tendo como base o *Takt time* no cálculo e não o tempo de ciclo (tempo padrão ou *standard*) da 'máquina gargalo', ou seja, a máquina mais lenta da célula e que define a capacidade da célula. Neste caso, o artigo investiga e busca responder, dentre as variáveis tempo de ciclo e *takt time*, qual é a mais apropriada para o cálculo do OEE em uma célula de manufatura.

A justificativa para tal estudo se dá nas consequências do uso do tempo de ciclo da máquina gargalo para o cálculo do OEE em uma célula de manufatura. Se for utilizado o tempo de ciclo da máquina gargalo, no cálculo do índice de *performance* ou IP, se estará controlando e melhorando a eficiência do equipamento, que não necessariamente será igual à eficiência da célula. Além disso, poderá se estar gerando sobreprodução, caso a demanda seja inferior a capacidade da máquina gargalo e poderá se estar utilizando mão de obra desnecessária. Sugere-se então utilizar o *takt time* ao invés do tempo de ciclo (tempo padrão ou *standard*) da máquina gargalo, para o cálculo do componen-

te *Performance* no cálculo do OEE, pois assim é possível controlar a eficiência na saída da célula, e a meta torna-se atender a demanda do cliente e não em atingir a máxima produção da célula.

O artigo está estruturado, após a introdução, em: um capítulo contendo um referencial teórico sobre *Layout* celular, OEE e *Takt time*, que permitiram o desenvolvimento teórico da pesquisa; um capítulo sobre os procedimentos metodológicos; um capítulo apresentando os resultados da pesquisa; um capítulo com as discussões sobre os resultados da pesquisa, ponderações teóricas, entre outros; e um capítulo final com as conclusões, através de uma síntese do objetivo do artigo e como ele foi alcançado. Além de destacar a contribuição acadêmica e sugerir pesquisas futuras.

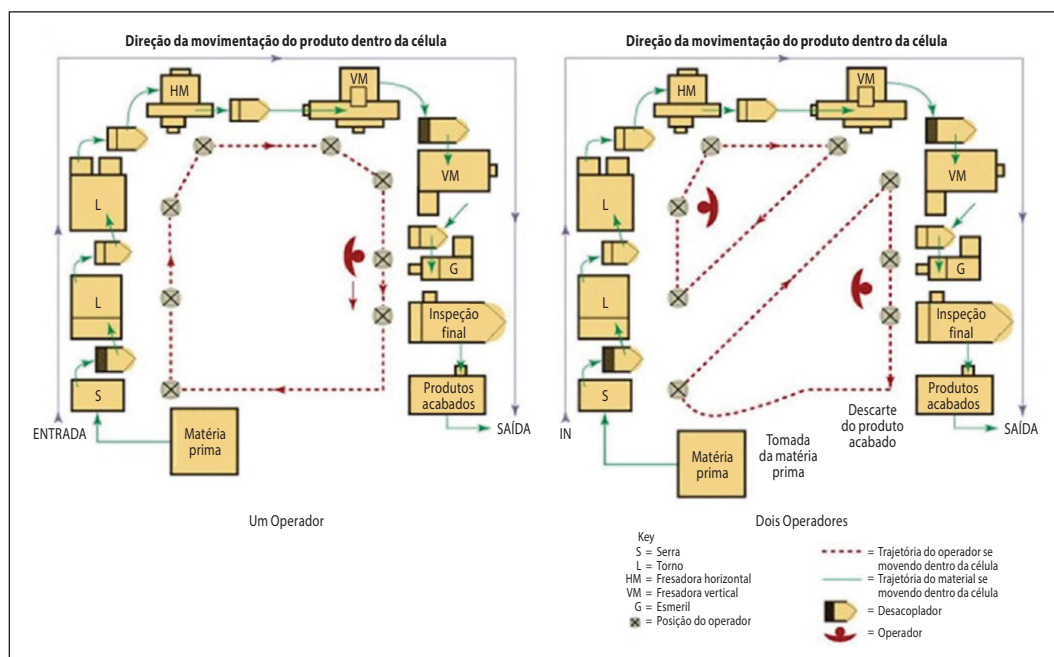
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados resumidamente os conceitos de *layout* celular, OEE e *Takt time* para a fundamentação e embasamento teóricos utilizados na presente pesquisa.

2.1. *Layout* celular

O arranjo físico celular é aquele em que os recursos necessários para uma determinada classe ou família de produtos são agrupados (SLACK, 2009). As máquinas são arranjadas em grupos de tipos diversos, destinadas a atender inteiramente a fabricação de uma família de peças (LORINI, 1993). O agrupamento em famílias é determinado por meio de metodologias, identificando processos ou produtos com características semelhantes. A vantagem é obtida quando estes produtos considerados de pequeno lote são tratados no planejamento produtivo como família de peças ou como produção seriada (RANJAN; MISHRA, 2016). Desta maneira, os recursos transformados são pré-selecionados de maneira a agruparem-se com os recursos transformadores (CORRÊA; CORRÊA, 2004). A célula em si pode ser arranjada segundo um arranjo físico por processo ou por produto, normalmente em forma de 'U' (SLACK, 2009). A Figura 1 ilustra uma célula de manufatura onde possui uma situação onde opera apenas um operador e outra situação onde opera com 2 operadores.

Figura 1 - Arranjo Físico Celular.



Fonte: DeGarmo et al. (2003).

Essa situação se explica porque, conforme a demanda aumenta, é necessário um número maior de operadores e, respectivamente, um balanceamento da mão de obra para dividir a quantidade de tarefas na célula (DeGARMO et al., 2003).

Para determinar a capacidade de produção de uma célula utiliza-se a conceito de gargalo ou restrições de capacidade, conforme Goldratt (1990). O gerenciamento de restrições é uma abordagem que reconhece o papel que representa a restrição no desempenho final do sistema produtivo de maneira global, envolvendo todas as funções de uma empresa (GOLDRATT, 1990). A restrição ou o gargalo limita a capacidade produtiva da organização. Desta maneira, a capacidade de uma célula equivale à capacidade do recurso restritivo.

2.2. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE surgiu do aprimoramento da metodologia TPM (*Total Production Maintenance*) desenvolvida por Nakajima (1993). O TPM permite que as empresas analisem as reais condições de eficiência e utilização de seus equipamentos a partir da identificação das seis grandes perdas existentes no funcionamento de qualquer equipamento, causadoras de queda na eficiência (NAKAJIMA, 1989).

O OEE foi definido e disseminado então por Nakajima (1989) como uma ferramenta para medir e aumentar eficiência e permitir a análise de perdas. A medição do OEE pode ser usada em vários níveis de uma planta industrial. Este indicador é mensurado através da estratificação das seis grandes perdas existentes nos equipamentos e calculada através do produto dos índices de Disponibilidade, *Performance* e Qualidade (NAKAJIMA, 1993). Segundo o mesmo autor, o Índice de Disponibilidade (ID) representa a relação entre o tempo total disponível e o tempo efetivo em operação. O Índice de *Performance* (IP) representa o percentual que o equipamento produziu relativo ao tempo teórico calculado pela engenharia. Por último, o Índice de Qualidade (IQ) indica o percentual de peças boas de todas as produzidas no período de análise. Estes três índices são calculados através das Equações 2, 3 e 4 e são relacionados através da Equação 1 (CORRÊA; CORRÊA, 2004).

$$OEE = ID \times IP \times IQ \quad (1)$$

Sendo,

$$ID = \frac{(\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas})}{\text{tempo de produção planejado}} \quad (2)$$

$$IP = \frac{(\text{tempo de ciclo padrão} \times \text{quantidade de produtos processados})}{(\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas})} \quad (3)$$

$$IQ = \frac{(\text{quantidade de produtos processados} - \text{quantidade de produtos refugados})}{\text{quantidade de produtos processados}} \quad (4)$$

Para melhor entendimento do cálculo do OEE, apresenta-se um exemplo ilustrativo: Considera-se um equipamento em um processo produtivo qualquer. Durante um dia qualquer de produção normal ocorreu os seguintes eventos:

- Turno de trabalho: 8 horas ou 480 minutos.
- Duas paradas de 15 minutos cada uma.
- Parada para refeição: 30 minutos.
- Paradas não planejadas: 47 minutos.
- Tempo de ciclo (tempo padrão): 0,0167 minuto/peça.
- Peças produzidas: 19.271
- Peças rejeitadas: 423

Baseado nestes dados tem-se:

$$\begin{aligned}\text{Tempo de operação} \\ &= \text{Tempo de produção planejado} - \text{Paradas não programadas} \\ &= 480 - (47) = 373\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tempo de produção planejado} &= \text{Turno de trabalho} - \text{Paradas} \\ &= 480 - (15 + 15 + 30) = 420\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Peças aprovadas} &= \text{Peças produzidas} - \text{Peças rejeitadas} = 19.271 - 423 \\ &= 18.848\end{aligned}$$

Neste exemplo salienta-se que, caso ocorra uma falta de trabalho por falha de uma operação antecessora, esta falta de trabalho entra como parada não planejada. Caso seja falta de demanda, não será planejado 8 horas de funcionamento ou será considerado parada planejada da célula.

Com as informações anteriores calcula-se o OEE, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo do OEE.

Indicador	Cálculo realizado	Resultado
ID =	$(420 - 47) / 420$	88,8 %
IP =	$(0,0167 \times 19271) / 373$	86,3 %
IQ =	$(19271 - 423) / 19.271$	97,8 %
OEE = ID \times IP \times IQ =	$0.888 \times 0.861 \times 0.978$	74,8 %

Fonte: Os autores.

Os dados da Tabela 1 apontam para um índice de disponibilidade (ID) do equipamento de 88,8 %, isto é, representa a relação entre o tempo total disponível e o tempo efetivo em operação. O índice de *performance* (IP) do equipamento de 86,3 % representa o percentual que o equipamento produziu relativo ao tempo teórico calculado pela engenharia. O índice de qualidade (IQ) indica que 97,8 % de peças boas foram produzidas no período de análise. Neste exemplo, o equipamento possui uma eficiência global de 74,8 % tendo uma ineficiência ou perda na utilização de recursos de 25,2 %. Antunes et al. (2008) consideram um OEE acima de 75% como de alto desempenho.

2.3. Takt Time

O *Takt time* é o espaço de tempo no qual uma unidade de produto deve ser produzida para atender a demanda do cliente em um determinado período (BLACK, 1991). Segundo Antunes et al. (2008), *takt* é uma palavra alemã que significa batida ou ritmo musical. Então *takt time* ou *takt zeit* significa a batida da demanda do cliente, isto é, a taxa com que a empresa deve produzir para atender a demanda. O *takt time* é determinado pela Equação 5.

$$Takt\ time = \frac{\text{tempo de operação efetiva diária}}{\text{quantidade de produção requerida diariamente}} \quad (5)$$

Supondo-se que a demanda do cliente é de 8400 peças por mês e que trabalha-se 20 dias mensais, então a quantidade de produção diária é 420 peças por dia. Supondo-se agora que o tempo de produção diária é 480 minutos e descontando paradas resultam em 420 minutos/dia, ou seja, 25.200 segundos/dia de efetiva produção. Logo, *Takt time* é igual a $25.200/420 = 60$ segundos/peça. Neste caso a cada 60 segundos uma peça deve ser produzida. Este é o tempo limite que cada operação deve fazer uma peça. Se cada operação enviar para a operação subsequente uma peça a cada 60 segundos, tem-se uma produção nivelada e contínua, atendendo a demanda do cliente.

É importante observar que para uma produção variada com pequenos lotes objetiva-se produzir e entregar os lotes nas quantidades e sequências demandadas pelos clientes. A produção diferente do *Takt time* implica em produzir maiores ou menores quantidades demandadas e poderá afetar o desempenho no atendimento de prazos. O cliente poderá receber uma quantidade maior do que demandou para um determinado produto e uma quantidade menor para outro produto.

2.4. Utilização do OEE em células de manufatura

A origem do OEE está relacionada ao controle da eficiência nos equipamentos e não diretamente a eficiência do sistema de manufatura (CHIARADIA, 2004). Porém, com o advento de configurações mais modernas do sistema de manufatura que visam uma maior produtividade, como o exemplo do *layout* celular, a utilização do OEE passa a não ser tão simples.

Analisando o fator Índice de *Performance* (IP) no indicador OEE, verificou-se que o mesmo utiliza o tempo de ciclo ou tempo padrão do equipamento. Isto indica um resultado do OEE em relação à capacidade do equipamento. No conceito de célula de manufatura, as máquinas são agrupadas, normalmente em forma de U ou L. Tem-se um fluxo contínuo das peças e reduz-se o estoque em processo. Como as máquinas e operações normalmente têm tempos de ciclo diferentes deve-se adotar um tempo de ciclo para o cálculo do fator eficiência. No caso da presente pesquisa e se tratando de célula de manufatura, utilizou-se o tempo de ciclo da máquina mais lenta (restrição ou gargalo) da célula, pois segundo Goldratt (1990), a produção do sistema produtivo é igual à produção do gargalo.

Porém, sob a ótica do STP, se ocorrer produção acima da demanda do cliente, ocorrerá uma perda por superprodução e só haverá desperdícios de recursos (OHNO, 1997). Nesta mesma visão, a produção da fábrica, do equipamento ou da célula teriam que ser igual a produção que o cliente solicita e o ritmo ser ditado pelo ritmo do cliente, ou seja, pelo *Takt time*.

A partir da ótica do STP, a presente pesquisa, através de um estudo de caso, propõe a consideração do *Takt time* no cálculo do OEE como forma mais correta de medir a eficiência em uma célula de manufatura, através deste indicador.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados desta pesquisa, considerada de natureza aplicada (GIL, 1994), bem como o estudo de caso são detalhados nas subseções seguintes.

3.1. Objeto de estudo

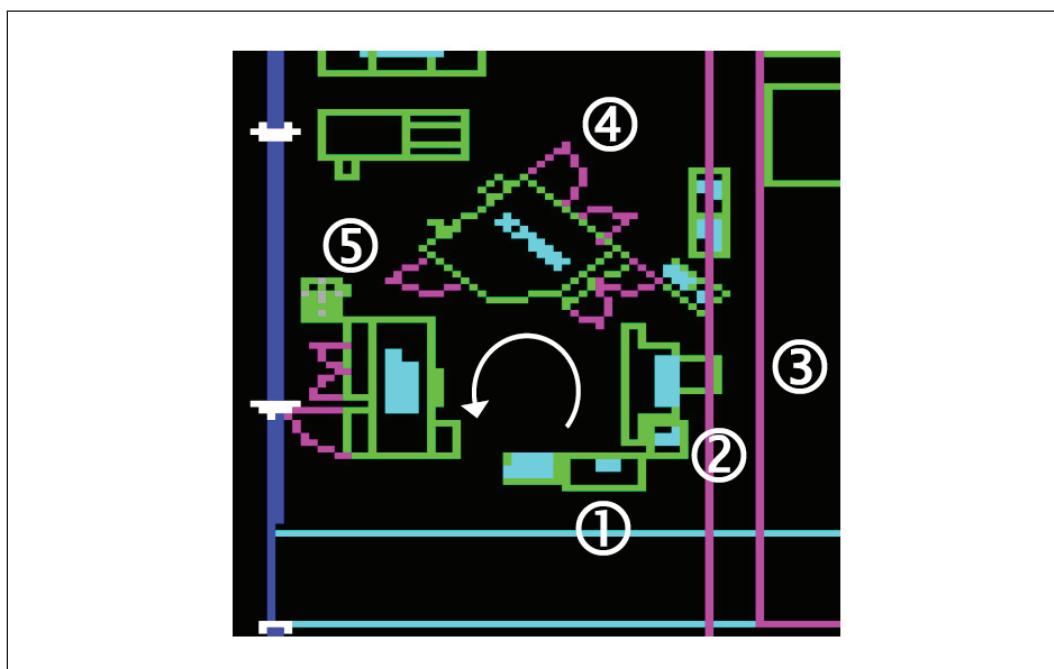
Conforme comentado anteriormente, se for utilizado o tempo de ciclo da máquina restritiva para o cálculo do IP, se estará controlando e melhorando a eficiência do equipamento, que não necessariamente será igual à eficiência da célula. Além disso, provavelmente se estará gerando superprodução, caso a demanda seja inferior à capacidade da máquina gargalo, e poderá estar se utilizando mão de obra desnecessária. Com a utilização do *takt time*, ao invés do tempo de ciclo da máquina gargalo, é possível controlar a eficiência na saída da célula e a meta torna-se atender a demanda do cliente e não em atingir a máxima produção da célula de manufatura.

O estudo de caso foi realizado em uma célula de manufatura, em uma empresa multinacional fabricante de componentes automotivos, na cidade de Gravataí/Brasil. Este objeto do estudo de caso foi escolhido devido a existir um movimento, interno na empresa, de implementação dos conceitos e ferramentas do STP, em específico a implementação do OEE em diversas máquinas e experimentos em células de manufatura. A célula em questão já possui o OEE

implementado e o tempo de ciclo considerado no cálculo do IP é o tempo da máquina gargalo. A máquina já estar com o OEE implementado é uma vantagem, pois permite ao estudo obter resultados sem a interferência de problemas oriundos da implementação do OEE.

A célula de produção investigada é representada pela Figura 2, onde são mostradas cinco máquinas (destacadas pelos números circulados) e sua ordem de processamento (sentido anti-horário).

Figura 2 – *Layout* da célula.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A sequência das operações de usinagem e os seus tempos de ciclos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de ciclo de cada uma das operações da célula de produção.

Sequência	Operação (Máquina)	Tempo de Ciclo Padrão (min/peça)
1	Torneamento (Torno) 1	0,08
2	Lavagem/Secagem (Lavadora)	0,09
3	Torneamento (Torno) 2	0,049
4	Aplicação de cobertura superficial (Plasma)	0,085
5	Retificação (Retífica)	0,092

Fonte: Elaborado pelos autores.

A célula funciona com movimentação de uma carga de peças (quantidade processada ao mesmo tempo) e somente esta carga é considerada estoque em processo dentro da célula. De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que a operação 5 é o gargalo da produção, pois apresenta o maior tempo de processamento. A seguir destacam-se maiores detalhes de produção desta célula:

- A demanda é 180.000 peças/mês;
- A célula trabalha três turnos de 8 horas e 22 dias por mês;
- A célula para 1 hora por turno para refeição;
- A célula trabalha com 2 operadores por turno;
- A célula trabalha com 5 tipos de peças;
- O tempo gasto com *setup* é de 32 horas por mês em média.

Considerando o tempo trabalhado no mês e o tempo da máquina restritiva multiplicado tem-se a capacidade da célula em produção mensal:

$$\text{Capacidade} = \frac{((8 - 1) \times 60 \times 3 \times 22)}{0,092} = 301.304 \text{ peças por mês}$$

Para calcular o *takt time* utiliza-se a Equação 5 que resulta em 0,154 minutos por peça (27.720/180.000). Observa-se que o *takt time* (0,154 min/peça) é maior do que a capacidade da máquina restritiva da célula, a operação retífica que tem o tempo de ciclo igual a 0,092 min/peça. Então, a capacidade da célula é superior à demanda.

3.2. Procedimentos de coleta de dados

Selecionada a célula de manufatura, objeto do estudo de caso, foram coletados os dados necessários para o cálculo do indicador OEE. Como o OEE já está implementado nesta célula, foram coletados os dados normais de um mês de atividade. Então foi colocado em relatório padrão os resultados do OEE com o tempo de ciclo da máquina gargalo, forma que foi implementado o OEE nesta célula, e posteriormente calculado o OEE utilizando o *takt time*. As informações resultantes foram discutidas com os operadores envolvidos, com a chefia de produção e com o responsável pelo programa de produção enxuta da organização.

Os dados que formam o cálculo do OEE são coletados e estratificados: os dados de paradas de máquinas, quantidade produzida, tempo de produção, perdas, entre outros. As perdas constatadas foram: tempo de *setup*, tempo de ajustes, paradas de manutenção, de reunião e ginástica laboral, entre outros.

3.3. Procedimentos de análise de dados

Conforme comentado no tópico anterior, a célula escolhida para o presente estudo possui o OEE implementado e os dados foram coletados durante um mês de trabalho. Para o cálculo do indicador OEE utilizou-se dois cenários: Cálculo do OEE com o tempo de ciclo da máquina gargalo da célula e o cálculo do OEE com o *takt time*. Os dois cenários serão comparados e discutidos nos tópicos seguintes.

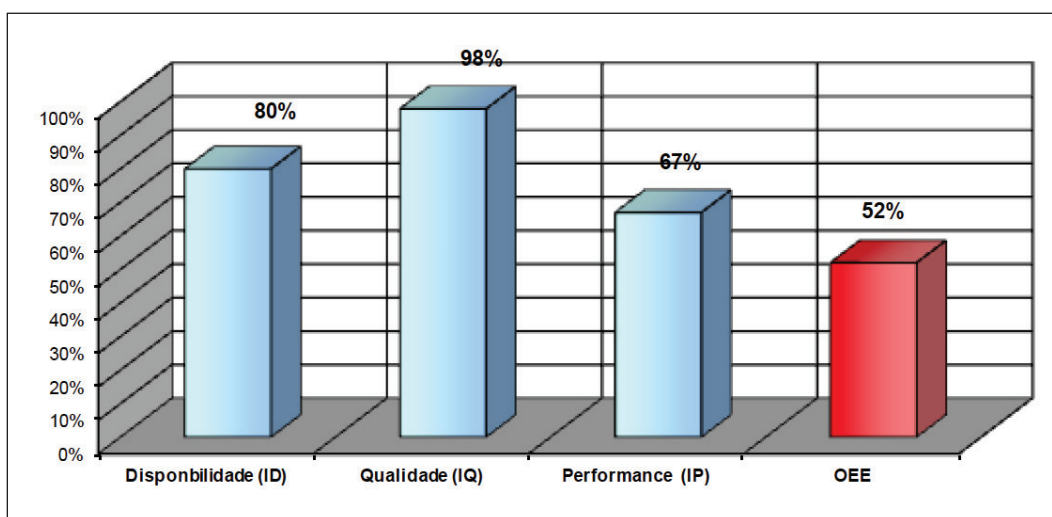
4. RESULTADOS

O OEE foi então calculado considerando-se dois cenários: (1) com tempo de ciclo e (2) com *takt time*. A célula é dimensionada, em termos de mão de obra, para atender a demanda necessária no mês por meio de operadores multifuncionais. Os resultados dos cenários são apresentados e referentes a um mês de operação e observação pelos autores do artigo.

4.1. Cenário 1: cálculo do OEE com o fator tempo de ciclo da máquina gargalo

A Figura 3 apresenta o gráfico que considera o tempo de ciclo no cálculo do indicador de eficiência do OEE. Na Figura 3, encontram-se os dados coletados e tabulados durante um mês. O reporte da Figura 4 mostra o sistema de controle do OEE da empresa estudada. Os dados para os dois cenários são os mesmos.

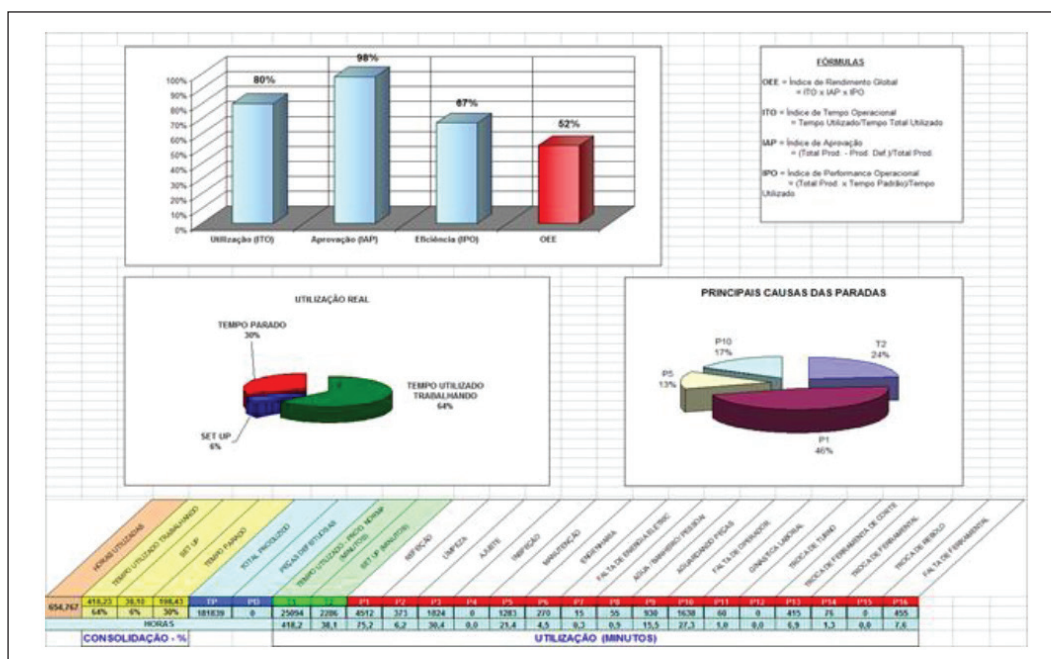
Figura 3 - OEE considerando o tempo de ciclo da máquina gargalo no cálculo do IP.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que neste caso o OEE tem um valor que estimula sua melhoria, pois 52% de eficiência representa um desempenho regular. Mas, na verdade, os objetivos em termos de produção foram atingidos (na Figura 4 pode-se verificar 181.839 peças feitas no mês). Neste caso, a eficiência está sendo comparada com a capacidade da máquina mais lenta. Por este motivo tem-se uma eficiência global de 52%. Para aumentar-se a eficiência neste caso, necessita-se de mais recursos como mão de obra ou automações na célula.

Figura 4 - Planilha de controle do OEE baseada no tempo de ciclo.

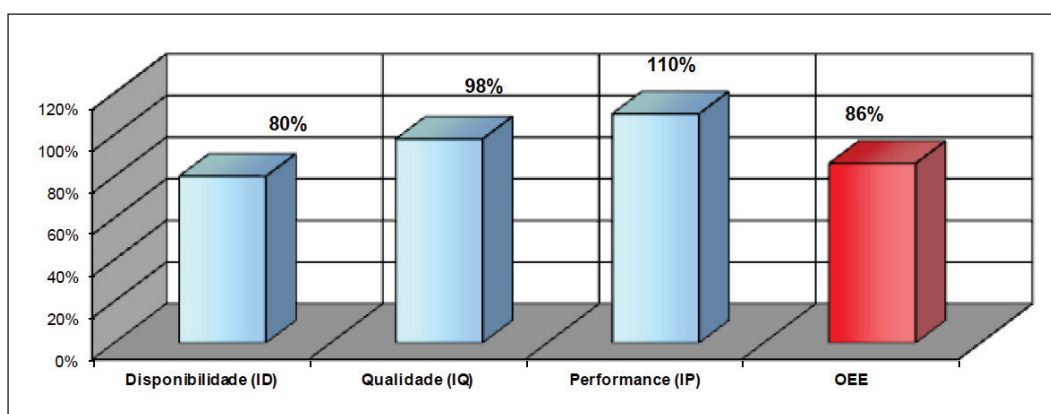


Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2. Cenário 2: cálculo do OEE com o fator *takt time*

A Figura 5 apresenta o gráfico que considera o fator *takt time* no cálculo da eficiência do OEE.

Figura 5 - OEE considerando o *takt time* no cálculo do IP.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que neste caso o OEE tem um valor que concorda com a situação vivida na célula. A célula está atingindo seus objetivos e aparecem possibilidades de melhorias (OEE menor que 100%). Neste cenário, foi revisada a condição de trabalho na célula e o operador, a partir disto, consegue visualizar corretamente o seu desempenho. Antes, o operador não entendia como ele estava atendendo a quantidade requisitada e, mesmo assim, a eficiência estava abaixo de 85%, pois a célula estava projetada para atingir uma eficiência de 85%. Aqui a meta claramente foi atender a demanda do cliente, ou seja, está sendo controlado a eficiência em relação ao ritmo para atender a demanda e não em relação ao ritmo da capacidade da célula.

5. DISCUSSÕES

Baseado nos resultados do OEE, nos dois cenários (tópicos anteriores), percebeu-se que a única diferença entre eles ocorreu no fator IP, o qual considera o tempo padrão (ritmo) que a célula deve ter e compara com o que foi produzido. Esta diferença entre os IPs dos dois cenários foi o responsável pela diferença no OEE: 52% no cenário 1 para 86% no cenário 2.

Do ponto de vista do controle e gestão da produção, o cenário 2 se mostrou mais coerente devido os recursos para a manufatura, tais como quantidade de materiais, de operadores e turnos trabalhados são dimensionados para atender a demanda do cliente, através de ordens de produção geradas pela área de PCP (Planejamento e Controle da Produção). No caso da célula em questão, os recursos eram justamente dimensionados para atender uma demanda média. Fato que comprova que o *takt time* deveria ser considerado.

Do ponto de vista da gestão de pessoas, o cenário 2 também se mostrou mais adequado devido o operador não entender como ele estava atendendo a quantidade requisitada nas ordens de produção e, mesmo assim, sua eficiência (IP) e OEE estavam abaixo de 85%, valor disseminado na fábrica como aceitável e meta geral. Neste caso, ficou evidente que a meta estava em atender a demanda do cliente, mas a eficiência estava sendo controlada em relação ao ritmo da capacidade da célula e não em relação a demanda (*takt time*).

6. CONCLUSÃO

Este estudo de caso comparou a utilização dos fatores *takt time* e tempo de ciclo no cálculo do OEE em uma célula de manufatura. O uso de fatores distintos produziu resultados diferentes no OEE. O OEE, na situação atual, medido com o tempo de ciclo da máquina gargalo da célula foi de 52% e com o *takt time* foi de 86%. Isso com os mesmos dados coletados durante um mês de produção.

A partir do objetivo do presente artigo, que é investigar se a utilização do *Takt time* no cálculo do OEE para a medição da eficiência em células de manufatura, ao invés do tempo de ciclo da máquina gargalo, é mais adequado, pode-se concluir-se que sim, é mais adequado quando se utilizar o *takt time*. Conforme mostrado no cenário 2 do estudo de caso, ao controlar a eficiência de uma célula, deve-se observar se a meta planejada está de acordo com o parâmetro de medição da eficiência, pois no estudo em questão existe a meta de acordo com a demanda, mas a eficiência estava sendo calculada pela capacidade da célula (tempo de ciclo da máquina gargalo). Para este cenário 2, a utilização do *takt time* no cálculo do OEE se mostrou mais adequado. Também, verificou-se que, o cálculo do OEE considerando o tempo de ciclo da máquina gargalo (cenário 1), pode ocorrer ou ser induzida a célula a perdas por sobreprodução, conforme aponta Ohno (1997).

No caso da demanda oscilar e diminuir, se a eficiência (IP) estiver sendo calculada pelo *takt time*, é possível reavaliar os recursos, equilibrando a capacidade da célula ao *takt time*, inserindo ou retirando recursos, normalmente mão de obra.

Este caso se restringiu a analisar a situação onde a demanda é inferior à capacidade da célula ou máquina gargalo. Ao se optar por utilizar o *takt time* no cálculo do IP em situações diversas, onde a demanda pode ser maior ou menor do que a capacidade da célula, também será obtido um resultado satisfatório. Por exemplo, se a demanda for maior que a capacidade e continuarmos a utilizar o *takt time*, o OEE e o seu índice de *performance* serão menores do que 100%. Desta maneira, a eficiência de 100% indica que está sendo realizado o que foi programado. Então, isto mostrará que será necessário avaliar, melhorar ou adequar o processo produtivo.

A principal contribuição acadêmica do presente artigo está em apresentar esta nova proposta de medição da eficiência de uma célula de manufatura, através do OEE.

Para trabalhos futuros, sugere-se testar as hipóteses e pressupostos gerados neste artigo em outros ambientes produtivos onde o OEE já está implementado, como por exemplo, em fabricantes de commodities ou ainda com estratégias de produção alternativas como produção para estoques.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; PELLEGRIN, I; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 326 p.

BLACK, J. T. **The design of the factory with a future**. New York, McGraw-Hill, 1991.

CHIARADIA, A. J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: Um estudo de caso na indústria automobilística**. Dissertação. 133f. 2004. (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo. Editora Atlas, 2004.

DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement-A practical analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 12, p. 1488-1502, 2000.

DeGARMO, E. P.; BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. **Materials and Process in Manufacturing**. Ninth Edition. John Wiley & Sons, Inc, 2003.

FILTER, E. **Melhoria na utilização da capacidade instalada de uma indústria petroquímica do RGS através da utilização de indicadores de desempenho pelos seus funcionários**. Dissertação. 152f. 2004. (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.
- GOLDRATT, E. M. **What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?** Massachusetts: North River. Press, 1990.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 316 p. ISBN 85-363-0495-2.
- LORINI, F. J. **Tecnologia de grupo e organização da Manufatura**, Editora UFSC. Florianópolis, 1993.
- RANJAN, R.; MISHRA, A. J. A. Y. Evaluation and Optimization of Overall Equipment Effectiveness on a Pasting Machine in a Battery Manufacturing Industry. **International Journal of Performability Engineering**, v. 12, n. 6, 2016.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.
- NAKAJIMA, S. Introduction to TPM. **Productivity Press**. Cambridge: MA, 1993.
- NAKAJIMA, S. TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance. **Productivity Press**. Portland: OR, 1989.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Bookman. Porto Alegre, 1997.
- SHIROSE, K. **TPM for Workshop Leaders**. **Productivity Press**. Portland, 1992.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 703 p. ISBN 978-85-224-5353-5.
- SUZUKI, T. TPM in Process Industries. **Productivity Press**. Portland, 1994.