

DESEMPENHO EM CÉLULAS DE TRABALHO: MEDIR O GARGALO, CONSIDERAR A SOMA DOS ÓTIMOS LOCAIS OU MEDIR O DESEMPENHO GLOBAL DA CÉLULA?

Alaércio De Paris¹
Luis Maurício Braga²
Vagner Luis Bazzanello³
Charlize de Moraes Noval⁴
Sueli Maria Kolassa⁵
Marcel Brambatti⁶

RESUMO: A produtividade de células de trabalho é um fator competitivo fundamental para que as empresas possam desempenhar bem frente ao cenário em que atuam. Medir a produtividade, portanto, torna-se essencial para se obter o conhecimento necessário para realizar melhorias e aumentar a competitividade dessas empresas. Existem na literatura, diversas ferramentas e conceitos para se fazer essas medições de produtividade e o objetivo deste trabalho é analisar as interações e os conflitos, sob o ponto de vista da teoria das restrições, de duas dessas ferramentas amplamente difundidas no meio empresarial; o Overall Equipment Effectiveness (OEE) e o Overall Factory Effectiveness (OFE). O primeiro tem enfoque nos ótimos locais e o segundo se propõe a medir o ótimo global. Segundo a teoria das restrições, considerando que o gargalo de uma célula de produção esteja posicionado em qualquer ponto que não seja o primeiro ou o último processo dessa célula, quais seriam os resultados das medições com o uso de cada uma das ferramentas?

Palavras-chave: Teoria das restrições. OEE. OFE. Produtividade.

ABSTRACT: The productivity of work cells is a fundamental competitive factor so that companies can perform well in the scenario in which they operate. Measuring productivity, therefore, becomes essential to obtain the necessary knowledge to make improvements and increase the competitiveness of these companies. There are several tools and concepts in the literature to make these productivity measurements and the objective of this work is to analyze the interactions and conflicts, from the point of view of the theory of constraints, of two of these tools widely disseminated in the business environment; the Overall Equipment Effectiveness (OEE) and the Overall Factory Effectiveness (OFE). The first focuses on the great locations and the second one proposes to measure the overall optimal. According to the theory of constraints, considering that the bottleneck of a production cell is positioned at any point other than the first or last process of that cell, what would be the results of the measurements with the use of each of the tools?

Keywords: Theory of Constraints. OEE. OFE. Productivity.

¹Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos UNISINOS. Coordenador dos Cursos de Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, alaerციodeparis@gmail.com, Emilio Fiebig 08, Linho Erechim-RS.

²Mestre em Computação Aplicada pela Universidade de Passo Fundo/RS, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, R. Carlos Kehlers, 192 Ap.703, CEP 99700-400, Bairro Centro, Erechim/RS, mauriciobraga@ideau.com.br.

³Mestre em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI – Campus Itajaí/SC, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Germano Seller, 193, CEP 99718-000, Bairro Centro, Paulo Bento/RS, vagnerbazzanello@ideau.com.br.

⁴Mestra em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI - Campus Itajaí/SC, Professora Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Independência, 193, CEP 99920-000, Bairro Centro, Erebangó/RS, charlizenoval@ideau.com.br.

⁵Mestranda em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI - Campus Itajaí/SC, Professora Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Adolfo Testa, 21, CEP 99900-000, Bairro Champagnat, Getúlio Vargas/RS, suelikolassa@ideau.com.br.

⁶Mestrando em Administração pela UNIVALI – Campus Itajaí/SC, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, marcel@ideau.com.br, R. José Morganti, 56 Ap.302, CEP 99709-224, Bairro Fátima, Erechim/RS.

INTRODUÇÃO

Medir a produtividade é uma prática essencial para que as empresas possam entender sua situação frente ao cenário competitivo mundial. Para Rossi e Ferreira (1999), a produtividade vem ganhando cada vez mais enfoque devido à necessidade das empresas e dos países em assegurar a sua competitividade nesse cenário econômico globalizado. A nível de países, a produtividade foi ganhando cada vez mais enfoque, a partir do momento em que as economias foram sendo impactadas pela globalização e pelas flutuações cíclicas da economia, trazidas por essa interação da economia global. Nessa mesma linha, Considera (1995) aponta que a partir das flutuações da economia global, as economias locais foram obrigadas a estabelecer critérios de prioridade para o enfoque da produtividade para manterem seus níveis de emprego, renda e geração de valor econômico.

Em outros casos, a produtividade é citada como conceito adjacente à reestruturação industrial das economias. Carvalho e Bernardes (1996) analisam a conjuntura política brasileira nos anos 90, que trazia uma discussão entorno dos impactos que o aumento da produtividade nas organizações, oriunda dessa reestruturação tecnológica e conceitual, observados com acentuada elevação nessa época. Dentre os impactos sociais que estavam sendo observados, o aumento do desemprego era o tema mais polêmico e de maior custo para a sociedade.

Por outro lado, ainda nas décadas de 1980 e 1990, surgiam inúmeras teorias em todo o mundo, com o intuito de aumentar o desempenho das empresas, e essas teorias tornavam-se cada vez mais importantes à medida que a competição se tornava global, e não mais disputas entre players locais. O fato é que algumas dessas teorias tiveram enfoques e objetivos limitados e seus efeitos colaterais causaram novos problemas em todo o cenário econômico mundial. Exemplo disso ocorreu com o lançamento da reengenharia, que para Hammer (1990), deveria ser um processo de as empresas reformularem suas estruturas, reduzirem seus gastos, reestruturar seu modo de fazer negócios e manterem-se competitivas. A interpretação dessa teoria por parte das organizações ao redor do mundo gerou novos problemas e o downsizing, termo elaborado pelo mesmo autor, tornou-se um evento preconizador de demissões em massa em muitas empresas ao redor do mundo.

Outros autores buscavam tratar da reestruturação das empresas com o enfoque na melhoria do desempenho operacional e na reestruturação dos processos produtivos com o intuito de aumentar a produtividade, reduzir os custos operacionais, e manter a competitividade. A Teoria das Restrições foi um desses conceitos surgidos na década de 80 e amplamente difundidos a partir do lançamento da obra *A meta*, por Goldratt (1984). A TOC – Theory of

Constraints, busca, a partir da aplicação de princípios, alguns processos simples e do uso de ferramentas lógicas, levar as empresas a explorarem ao máximo as suas restrições e a partir disso, obterem os melhores resultados possíveis e alcançarem sua meta: a obtenção de lucro de forma permanente.

Uma nova abordagem que buscava melhorar a competitividade e a produtividade das empresas a partir do melhor aproveitamento possível dos seus ativos, principalmente equipamentos, surgida na década de 1970 e amplamente difundida por Nakajima (1989), foi a TPM – Total Productive Maintenance. Conforme Carrijo e Lima (2008), o TPM é um programa ou mesmo uma filosofia que vem se disseminando entre as empresas brasileiras desde a década de 1990 e tem se mostrado um poderoso método na busca de patamares de excelência e competitividade.

A TPM, segundo Tondato (2004), é um programa que auxilia as empresas na redução de ocorrência de falhas em instalações, máquinas e equipamentos, e com isso, a empresa tem a oportunidade de melhorar seus níveis de desempenho e manter-se competitiva. Para medir esses níveis de produtividade, surgiu juntamente com a TPM, o Overall Equipment Effectiveness – OEE, um indicador que apresenta o índice de utilização dos equipamentos por intermédio do produto de outros três índices: o índice de disponibilidade, o índice de performance e o índice de qualidade. O OEE é um indicador de fácil entendimento e aplicação, e por esse motivo, tornou-se amplamente conhecido e utilizado por grande parte das empresas a nível mundial (DE RON e ROODA, 2006).

Por se tratar de um indicador que mede a produtividade individual de equipamentos, alguns autores afirmam que o OEE não é aplicável a medições de produtividade de células de trabalho e propuseram outras ferramentas para realizar essas medições. Uma dessas ferramentas é o GPE – Global Production Effectiveness, que para Lanza et al (2013) baseia-se nos conceitos e princípios básicos do OEE, porém, busca aplicar esses princípios em um contexto de produção global que possui processos e equipamentos inter-relacionados. A principal diferença do GPE para o OEE, é que o indicador é calculado a partir dos resultados globais da empresa, do departamento ou da célula considerada. Essa ferramenta que também busca suprir essa insuficiência do OEE, também pode ser chamada de Overall Factory Effectiveness (OFE), que para Oechsner (2003) busca englobar os custos envolvidos nos processos de fabricação, algo que não é considerado pelo cálculo tradicional de produtividade.

Para se ilustrar a discussão deste trabalho, será tomada como base uma célula de trabalho fictícia, conforme ilustrado na Figura 01. Essa célula é composta de três equipamentos que trabalham em série fazendo, cada um desses equipamentos, uma etapa da produção de um

determinado produto. A célula em questão é composta pelo equipamento “A”, pelo equipamento “B” que é o gargalo da célula e pelo equipamento “C”. De acordo com a proposta de Goldratt (1986), para se obter a melhor produtividade dessa célula de trabalho bastaria apenas obter a melhor produtividade do gargalo, e, portanto, fazer o monitoramento e o gerenciamento da produção a partir dos seus resultados. Contudo, as ferramentas de medição em questão neste trabalho têm propostas diferentes para a medição da produtividade nesse contexto e esses conflitos de cada uma das ferramentas serão analisados sob a forma de se efetuar a medição da produtividade dessa célula.

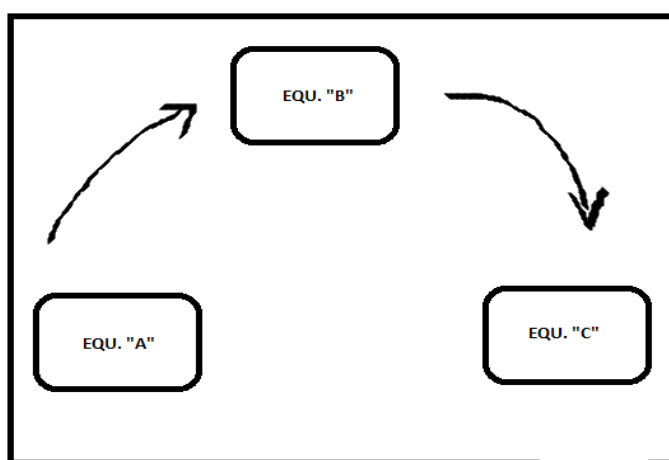


Figura 01: Célula de trabalho base para estudo
Fonte: Os autores, 2021.

Cada uma das ferramentas analisadas busca, sob diferentes enfoques, fazer medições da produtividade dessa célula tomada como exemplo. A questão, no entanto, é saber quais são as relações entre os resultados das medições e quais são os principais conflitos de cada uma dessas abordagens.

Na próxima seção serão discutidos conceitualmente o OEE e o OFE, suas proposições, seus conflitos e a relação desses indicadores com os conceitos da Teoria das Restrições relacionadas à gestão de gargalos e de células produtivas.

REVISÃO DA LITERATURA

OEE – Overall Equipment Effectiveness

O OEE surgiu a partir dos conceitos da TPM e seu papel fundamental é identificar e medir as principais perdas dos processos produtivos, que segundo Nakajima (1989), são seis:

1. Perdas por Quebra: são perdas por paradas não programadas dos equipamentos, geralmente ocorridas por problemas mecânicos e que requerem intervenção para restabelecer seu funcionamento. Essas paradas podem ser de curta ou de longa duração, porém são paradas drásticas e repentinas, que delimitam o poder de antecipação das ocorrências por parte das empresas.

2. Perdas por setup e regulagens: essas perdas são decorrentes das programações de produção e do mix de produtos que passam pelos equipamentos. Nesse caso, quando a variação do mix é alta e os lotes de produção são pequenos, as perdas por setup tendem a restringir a capacidade produtiva dos equipamentos. Da mesma forma, sempre que houver setups, existe a possibilidade de se fazer pequenas paradas para ajustes nos equipamentos para acertar as características dos produtos a serem produzidos.

3. Perdas por ociosidade e pequenas paradas: São pequenas paradas dos equipamentos, e diferentemente da primeira perda, são paradas muito menores e que necessitam de pouco tempo para que sejam sanadas e o funcionamento dos equipamentos sejam restabelecidos. Para alguns autores como Shirose (1992), para que sejam consideradas perdas por pequenas paradas, o restabelecimento do funcionamento dos equipamentos deve ser feito pelos próprios operadores, não necessitando da intervenção da manutenção. Já as perdas por ociosidade, segundo Suehiro (1992), podem ser configuradas por faltas ou interrupções no fornecimento de materiais, seja por processos de abastecimento automáticos como falhas em esteiras transportadoras ou mesmo por falta do material no posto.

4. Perdas por redução de velocidade: caracterizadas pela diminuição do ritmo de produção em relação à meta estipulada pela engenharia, essas perdas, mesmo que o equipamento esteja em funcionamento, causam baixa nos volumes produzidos. As causas das perdas por redução da velocidade podem ser várias, dentre elas, falhas nos equipamentos, falta de experiência dos operadores, matéria-prima de baixa qualidade ou não conforme padrões estabelecidos sendo processada, dentre outras.

5. Perdas por problemas de não qualidade e retrabalhos: nesses casos, os equipamentos podem ter passado o tempo certo produzindo na velocidade ideal, porém, os produtos obtidos podem não atenderem a qualidade esperada e isso se torna perdas. Essas perdas podem se transformar em descarte dos itens que não atenderem os padrões especificados ou em retrabalhos para aqueles itens que podem ser corrigidos. De qualquer forma essas perdas envolvem custos adicionais em relação ao planejamento inicial.

6. Perdas por queda de rendimento: essas perdas, segundo Shirose (1992), são ocasionadas geralmente nos processos de startup dos equipamentos, como nos casos de

lançamentos de novos produtos, retorno de férias coletivas, inícios de turnos de trabalho ou inícios de semanas, quando os equipamentos partem do status desligados e passam a iniciar a operação.

O indicador de OEE traduz para o nível do equipamento a diferença entre o ideal e o estado real, fazendo uma síntese das seis grandes perdas apresentadas, segundo Chiaradia (2004), através do produto de três outros índices:

a) Perdas de tempo (paradas):

Chamado de índice de disponibilidade. É a comparação entre o tempo de operação potencial (já descontadas paradas previstas como, por exemplo, manutenções programadas e finais de semana) e o tempo de operação real.

b) Perdas de velocidade (máquina operando abaixo do ideal):

Chamado índice de performance. Comparação entre a produção e a produção que deveria ter sido feita no mesmo tempo real (baseada nas características técnicas do equipamento e nas características de projeto de produto do componente que está em manufatura).

c) Perdas de qualidade (máquina produzindo peças com defeito):

Chamado índice de qualidade. Comparação entre o número total de produtos feitos e o número que realmente esteja dentro das especificações. O monitoramento das perdas referentes a qualidade implica controle/inspeção dos produtos e gera desdobramentos que vão além do equipamento estar funcionando corretamente, mas também a questões como qualidade da matéria-prima e grau de retrabalhos a ser gerado ou custo do desperdício.

Esses três índices podem ser diretamente ligados à cada uma das seis perdas relacionadas anteriormente neste trabalho. Chiaradia (2004) faz relação desses índices com suas respectivas perdas e isso pode ser visualizado na Figura 02.

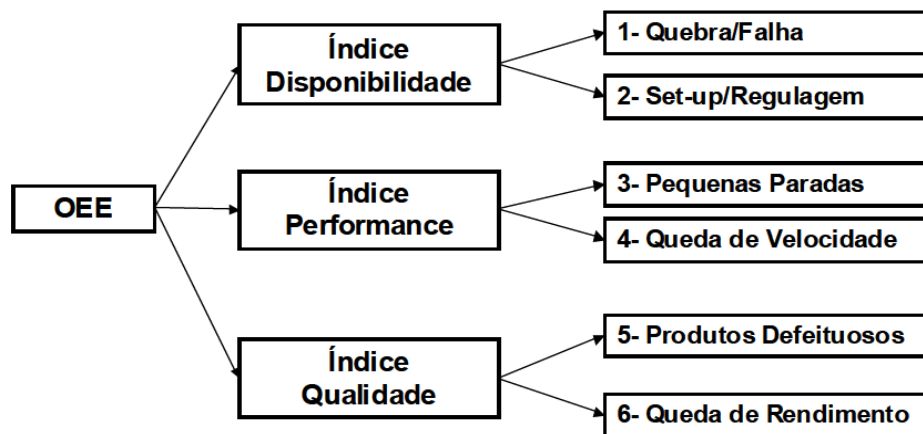


Figura 02: Relacionamento entre OEE e seus índices de perdas
Fonte: Chiaradia (2004)

Outra análise que pode ser feita a partir do indicador do OEE é sobre a sua relação entre os tempos e as perdas que vão configurando cada um dos indicadores. A Figura 03 representa de forma gráfica essa relação entre os componentes e cálculo do OEE.



Figura 03: Relação entre componentes de cálculo do OEE
 Fonte: Santos e Santos (2007).

Segundo Nakajima (1989), o OEE é uma medição que procura revelar os custos escondidos na empresa. Ljungberg (1998) aponta para o fato de que antes do advento desse indicador, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, o que resultava no superdimensionamento de capacidade. Para Jonsson e Lesshammar (1999), com a utilização deste indicador é possível identificar, por um lado, onde devem ser desenvolvidas melhorias, e por outro, quais as áreas que podem ser utilizadas como benchmark. De acordo com Nakajima (1989), deve-se buscar como meta um OEE de 85% para os equipamentos, ou seja, para se obter esse valor de OEE é necessário que seus índices sejam de 90% para disponibilidade, 95% para performance e 99% para qualidade.

O objetivo do OEE está ligado diretamente à medição dos equipamentos de forma individual, desconsiderando suas relações com os demais equipamentos ou mesmo com as pessoas envolvidas na sua operação. Com isso, não se pode tomar decisões que envolvam elementos maiores do que o próprio equipamento somente com base no resultado desse indicador.

Para Shirose (2002), a análise do OEE de um grupo de máquinas de uma linha de produção ou de uma célula de manufatura permite identificar o recurso gargalo, possibilitando focar esforços nesse recurso. Contudo, essa identificação não está de acordo com os critérios estabelecidos pela Teoria das Restrições para identificação de um recurso gargalo. Segundo a TOC, um recurso gargalo não é definido como sendo aquele em que o aproveitamento do seu tempo disponível, da sua performance ou da qualidade dos itens que por ele produzidos esteja abaixo do desejado, mas como sendo um recurso em que a demanda supera sua capacidade teórica. Portanto, as medições utilizando o OEE com o intuito de identificar gargalos de produção não constitui uma forma ideal para tal identificação.

O intuito do OEE é proporcionar dados suficientes para se tomar decisões com o intuito de obter o melhor aproveitamento possível em relação ao tempo total programado para a produção em cada equipamento, e não necessariamente o tempo total disponível para a produção nesse mesmo equipamento. Dessa forma, no caso da célula de trabalho apresentada na figura 01, a medição do OEE traria dados para se tomar decisões acerca do aproveitamento dos equipamentos em relação ao tempo de programação de cada um deles, mas o fator mais importante para se obter a melhor produtividade é a programação destinada para cada um dos três equipamentos. Se a programação estiver desbalanceada, não será obtida uma produtividade satisfatória.

Se o equipamento “A” tiver uma programação maior do que a capacidade do gargalo, e o OEE estiver maior ou igual à meta estipulada, haverá acúmulo de materiais antes do gargalo e isso, de acordo com a Teoria das Restrições, representa custos de inventário desnecessários e contrários à meta da organização. Da mesma forma, se a produção realizada no equipamento “B” estiver gerando baixo índice de qualidade, mesmo que o desempenho da célula esteja sendo monitorado pelo gargalo, a produtividade da célula não será igual à produtividade do gargalo, ou seja, o índice de produtividade da célula não pode ser medido apenas pelo gargalo.

OFE – Overall Factory Effectiveness

O termo OFE (overall factory effectiveness) foi criado por Scott e Pisa em 1998 apud Mathur (2011) e diz respeito à combinação de atividades e relações entre diferentes máquinas e processos, a integração de informações e decisões e ações ao longo de muitos sistemas e subsistemas independentes.

Um dos primeiros trabalhos acadêmicos a propor a utilização de uma forma alternativa de cálculo e mensuração da produtividade, que fugisse dos moldes que a OEE utilizava até

então, foi um grupo de pesquisadores liderados por Richard Oechsner, em 2003. Estes estudiosos do ramo de semicondutores propuseram uma forma alternativa ao cálculo até então predominante na indústria de semicondutores. Para Oechsner et al (2003), o método de cálculo do OEE só serve para calcular a produtividade de um posto de trabalho somente. Ou seja, se estivermos considerando a produtividade de uma linha de produção, ou mesmo de uma célula de trabalho composta por várias máquinas, o OEE não pode ser considerado como um indicador de produtividade da célula de trabalho inteira, uma vez que ela mede a produtividade de apenas um ponto da linha ou da célula, de forma isolada.

Ainda segundo Oechsner et al. (2003), não podemos considerar a produtividade de uma única máquina no sistema, pois nas fábricas nunca temos somente uma máquina trabalhando, sendo que ela depende de uma série de fatores, como logística, e outros fatores ambientais. Os materiais devem ser distribuídos por diferentes centros de trabalho, ser processados por ferramentas diferentes, ou seja, os fluxos de materiais pelo chão de fábrica estão cada vez mais complexos, sendo que esta complexidade do sistema de produção influencia diretamente o equipamento e vice-versa.

Conforme Muchiri e Pintelon (2008), o método OFE procura solucionar os seguintes problemas: sincronizar o programa de produção com os tempos de parada planejada, com os setups e com os treinamentos programados, através de uma maior conectividade com o sistema de planejamento das empresas, otimizar a sequência de ordens de produção e garantir uma linha de produção mais balanceada, com um fluxo de produção mais suave através da integração de micro-programação e a programação da planta como um todo.

Ainda segundo Muchiri e Pintelon (2008), não há uma abordagem consensual sobre a métrica da OFE, existindo várias abordagens sobre a temática, sendo que duas destas abordagens são mais frequentemente discutidas: a primeira delas é a abordagem proposta por Scott e Pisa (1998), onde estes consideram o fato de que diferentes plantas possuem diferentes metas e desta forma não é possível ter somente um indicador. Eles sugeriram a criação de um indicador composto (por exemplo, usando indicadores como eficiência de tempo de ciclo, quantidade de entregas dentro do prazo, percentual de capacidade utilizada, taxa de retrabalho e taxa de rendimento) composto por diferentes metas e objetivos. O importante neste caso é criar critérios de medição e a aplicação de pesos diferentes para cada um dos indicadores, de modo que se atinjam as metas da corporação como um todo. Para estas métricas, um resultado global é calculado.

A segunda abordagem foi proposta por Huang et al. (2003), considera a análise por simulação como o método mais confiável para o estudo sobre o desempenho dinâmico de um

sistema de fabricação. Ele define uma métrica de OFE, chamada de OTE, que é desenvolvida utilizando-se a mesma base do OEE porém para sistema de produção conectados de forma complexa. Estas métricas são integradas com a análise de simulação para a realização de melhorias na produtividade da manufatura.

Partindo do método de cálculo do OEE:

$$OEE = \frac{\text{Numero de peças boas produzidas}(P_g)}{\text{numero teórico de peças produzidasno tempo total}(P_{th})}$$

Onde:

$$P_{th} = \text{Taxa de produção teórica}(R_{th}) \times \text{Tempo total disponivel}(T_T)$$

Desta forma, pode-se definir a formula da OTE como a seguinte:

$$OTE = \frac{\text{Saída de produtos (em unidades) da fabrica com boa qualidade}(P_{g(f)})}{\text{Saída teorica de produtos Atingivel (em unid.) da fábrica no tempo total}(P_{F(th)})}$$

Ou, de forma similar:

$$P_{th(F)} = R_{th(F)} \times T_T$$

Aonde o $R_{th(F)}$ é a taxa de processamento teórico para o produto que atualmente está sendo produzido pela fábrica.

Desta forma, o OFE para qualquer sistema de manufatura pode ser calculado.

Muchiri e Pintelon (2008) concluem suas análises acerca do OFE dizendo que esta métrica de produtividade ainda está em seu estágio de desenvolvimento, sendo que o método de Huang de simulação ainda é a forma mais confiável de se estudar a performance dinâmica dos sistemas de manufatura. O conceito por trás da simulação é o de que os sistemas de manufatura podem ser tratados como uma combinação de números simples de subsistemas, que por sua vez é a combinação da produtividade dos equipamentos de forma individual.

A teoria das restrições – TOC

A ideia deste trabalho é, sob a ótica da Teoria das Restrições e da gestão de gargalos de produção, identificar os principais conflitos do OEE e do OFE, que são ferramentas de medição da produtividade, ambas com diferentes enfoques, em relação às propostas de gerenciamento dos gargalos defendida por Goldratt (1986), que enfoca os esforços da produção em garantir a produtividade no gargalo e com isso todo o sistema estaria obtendo a melhor produtividade.

A Teoria das Restrições, conhecida como TOC (Theory of Constraints), foi concebida na década de 1980, pelo físico israelense Eliyahu Goldratt e expandiu-se rapidamente, graças aos resultados obtidos. Segundo Watson et al. (2006), as técnicas da TOC foram aplicadas em algumas empresas citadas na Fortune 500, entre as quais a 3M, a Boeing, a Delta Airlines, Ford Motor Company, General Electric, General Motors e a Lucent Technologies que divulgaram publicamente melhoras significativas alcançadas através da implementação de soluções de TOC. Segundo CHOU et al. (2012) a TOC é baseada em três pressupostos:

1. Uma organização possui uma meta a ser atingida e uma série de condições deve ser atingida para que se alcance esta meta;
2. Uma organização é mais que a soma de suas partes;
3. O desempenho de uma organização é limitado por poucas variáveis, ditas restrições do sistema.

Quadro1: Resumo passos metodologia TOC

Passos	Procedimentos de acordo com alguns autores
1. Identificar as restrições do sistema.	Segundo Noreen et al. (1996), as restrições podem ser facilmente identificadas desde que a fábrica seja bem organizada, através da localização de inventários de material-em-processo. Esses inventários poderão ser localizados (concentrados) na fase anterior da restrição. Outra forma de identificar as restrições citada por Cogan (2007) é por meio da realização de cálculos da carga que cada máquina suporta versus a carga que é solicitada para produção.
2. Decidir como explorar as restrições	De acordo com Watson et al. (2006), nesta etapa é preciso identificar a melhor forma de explorar as restrições, é preciso conseguir atingir a melhor taxa de rendimento possível, dentro dos limites dos recursos atuais do sistema, atentando para o fato de que a saída do sistema é limitada pela taxa de transferência da restrição.
3. Subordinar os demais recursos	Csillag e Corbett (1998) colocam que subordinar os demais recursos, os outros recursos devem trabalhar no ritmo da restrição, e não mais rápido e nem mais devagar. O objetivo é proteger o conjunto de decisões relativas ao aproveitamento da restrição durante as operações diárias. Não podem deixar faltar material para a restrição trabalhar, pois assim ela pararia e o desempenho do sistema seria afetado negativamente. Por outro lado, os recursos não restritivos não devem trabalhar mais rápido que a restrição, pois não estariam aumentando o nível de produção da linha. Estariam apenas aumentando o nível do estoque em processo.
4. Elevar (Levantar) a restrição	Para elevar (levantar) as restrições do sistema segundo Noreen et al. (1996) deve-se “aumentar” a produção da restrição. Desta forma, parte do trabalho que rotineiramente passaria pela restrição pode ser enviado para fábricas externas e, se a restrição for uma máquina, outra pode ser adquirida. Para Cogan (2007) melhoramentos como redução do tempo de preparação de máquinas, redução do tempo de parada de manutenção preventiva ou aumento do nível de habilidade do operário podem ser realizados para melhorar o desempenho do sistema.
5. Elevar a Inércia do Sistema	No último passo, Csillag e Corbett (op. cit.) dizem que é preciso renovar o ciclo de melhoria para elevar a inércia do sistema. Se a restrição dos passos anteriores foi quebrada deve-se começar de novo.

Fonte: Adaptado de Noreen, et al. (1996), Csillag e Corbett (1998), Watson, et al. (2006), Cogan (2007, apud ALVES 2010.

De acordo com Pozo (2009), existem cinco etapas decorrentes desses pressupostos dentro da metodologia da TOC:

1. Identificar as restrições do sistema;
2. Decidir como explorá-las;
3. Subordinar tudo o mais à decisão anterior;
4. Elevar as restrições do sistema e
5. Voltar à primeira etapa sem permitir que a inércia cause uma restrição do sistema.

Abaixo, no Quadro 01, apresenta-se um resumo de cada um dos cinco passos.

Outra ferramenta importante da TOC é o pulmão tambor e corda (TPC, ou no inglês, DBR). Segundo Souza (2010), o método DBR inicia sua lógica localizando o elemento mais restritivo do sistema, denominado gargalo ou recurso com restrição de capacidade (RRC), e estabelece que o ritmo de produção de todo o sistema deve estar subordinado à taxa deste elemento restritivo. Por esta razão, o programa de produção do RRC (ou gargalo) é chamado de Tambor, estabelecendo a velocidade máxima que o sistema produtivo é capaz de manter sob as melhores condições, ou seja, sob baixos níveis de variabilidade ou interrupção. O Tambor é, portanto, um programa de produção formal e estabelecido segundo algoritmos criados para explorar a capacidade limitada do RRC.

O Pulmão, segundo Souza (2006), é o mecanismo de tempo usado para proteger a restrição contra interrupções. Essa proteção é criada liberando o material no processo para que chegue à frente da restrição com alguma antecedência de tempo. Essa antecedência de tempo é que a TOC chama de Pulmão. O pulmão tem a finalidade de manter a restrição ocupada. Sempre que possível, é expresso em tempo – é o estoque por tempo de segurança, ao invés de quantidade de peças.

Ainda conforme Souza (2006) a corda é o mecanismo de sincronização dos outros recursos e consiste na programação de liberação de matéria-prima de acordo com a programação da restrição. O material é liberado para as operações iniciais na mesma proporção que ocorre a produção na restrição. A programação de liberação de material, porém, deve fornecer um pulmão de tempo (antecedência) entre a liberação de material e a restrição. A corda deve prender o recurso restritivo de capacidade à operação inicial. O comprimento da corda é o tempo requerido para manter o pulmão cheio, mais o tempo de processamento até a chegada no início do pulmão.

Outra técnica importante a ser apresentada acerca da TOC é o OPT (Optimized Production Technology). Segundo Alves (2010) o OPT é um software voltado para otimização e programação de produção. Este software foi desenvolvido por Eliyahu Moshe Goldratt e

serviu de pilar para a posterior criação da técnica da TOC. Juntamente com este software, Goldratt desenvolveu o chamado as nove regras de programação da TOC, conforme o Quadro 02 apresenta abaixo.

Quadro 2: As 9 regras de programação da TOC

ORDEM	REGRAS DE PROGRAMAÇÃO DA TOC
1	Balancear o fluxo, não a capacidade.
2	O nível de utilização de um não-gargalo não é determinado por seu próprio potencial, mas por alguma restrição do sistema
3	Ativação e utilização de recursos não são sinônimos.
4	Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro.
5	Uma hora economizada em um não-gargalo é apenas uma miragem.
6	Os gargalos governam tanto o fluxo como os inventários.
7	O lote de transferência não precisa e, muitas vezes, não deve ser igual ao lote de processo.
8	O lote de processo deveria ser variável e não fixo.
9	A programação deveria ser estabelecida analisando-se todas as restrições simultaneamente. Os lead times são resultantes da programação e não podem ser predeterminados.

Fonte: Adaptado de Watson, et al. (2006).

CONCLUSÃO

Para identificar os conflitos existentes entre as ferramentas apresentadas e os conceitos da TOC será utilizada uma ARA – Árvore da Realidade Atual. A ARA busca identificar as relações de causa e efeito de uma série de efeitos indesejados EI, com intuito de identificar as causas-raiz. Segundo Souza et al. (2010), a proposta da ARA é a de diagnosticar uma determinada situação, extraindo desta análise as verdadeiras causas (problemas-raízes) responsáveis pela maioria dos sintomas observados (efeitos indesejáveis ou EIs).

Para construir uma ARA, deve-se seguir os seguintes passos, segundo Rodrigues (1995):

1. Fazer uma lista de 5 a 10 efeitos indesejáveis que descrevam a área a ser analisada.
2. Tentar conectar os efeitos, respeitando a relação de efeito-causa-efeito.
3. Conectar todos os efeitos desenvolvendo um processo de escrutinação
4. Ler a árvore de baixo para cima, escrutinando quando necessário.

5. Questionar a representatividade da árvore.
6. Expandir a árvore caso seja necessário.
7. Revisar a árvore buscando efeitos que não possuam causas aparentes.
8. Retirar as entidades desnecessárias.
9. Apresentar a árvore para alguém envolvido na situação.
10. Examinar os pontos de entrada da árvore e decidir qual problema atacar. Escolher o problema que contribui para um maior número de efeitos indesejáveis, o problema-raiz.

Com essa sequência de passos, é possível construir uma ARA, sendo que, no primeiro passo, tem-se um brainstorming dos sintomas observados. Em seguida, obtêm-se os relacionamentos de causa e efeito desses efeitos indesejados. Em seguida, passa-se a fazer perguntas sobre “por quê” acontecem esses efeitos e assim se refina a ARA até chegar à causa raiz dos problemas.

Para a construção da ARA os seguintes efeitos indesejados foram listados:

1. A medição da produtividade de uma célula utilizando o OEE, o OFE ou somente a medição pelo gargalo, não traduz a realidade para que se tomem decisões corretas;
2. As ferramentas mais comuns para medição de produtividade de equipamentos são incompletas;
3. Algumas ferramentas de medição de produtividade são divergentes;
4. A ferramenta OEE mede apenas as produtividades de equipamentos individuais;
5. A ferramenta OFE mede a produtividade geral da célula não mantendo o foco principal no gargalo;
6. Medir a produtividade da célula apenas pelo gargalo desconsidera as possíveis perdas nos processos seguintes;
7. As ferramentas OEE e OFE consideram a produtividade em relação ao tempo que foi programado e não ao tempo total disponível;
8. A medição da produtividade pelo gargalo considera o tempo total disponível para esse equipamento;
9. A medição da produtividade de uma célula precisa contemplar os ótimos locais e o gargalo simultaneamente;
10. Não há uma ferramenta de medição da produtividade que considere as produtividades individuais dos equipamentos e o gargalo de forma integrada;

O passo seguinte é fazer uma análise dos relacionamentos dos efeitos indesejados acima listados. Para essa análise será utilizada a ARA – árvore da realidade atual, conforme mostra a Figura 04.

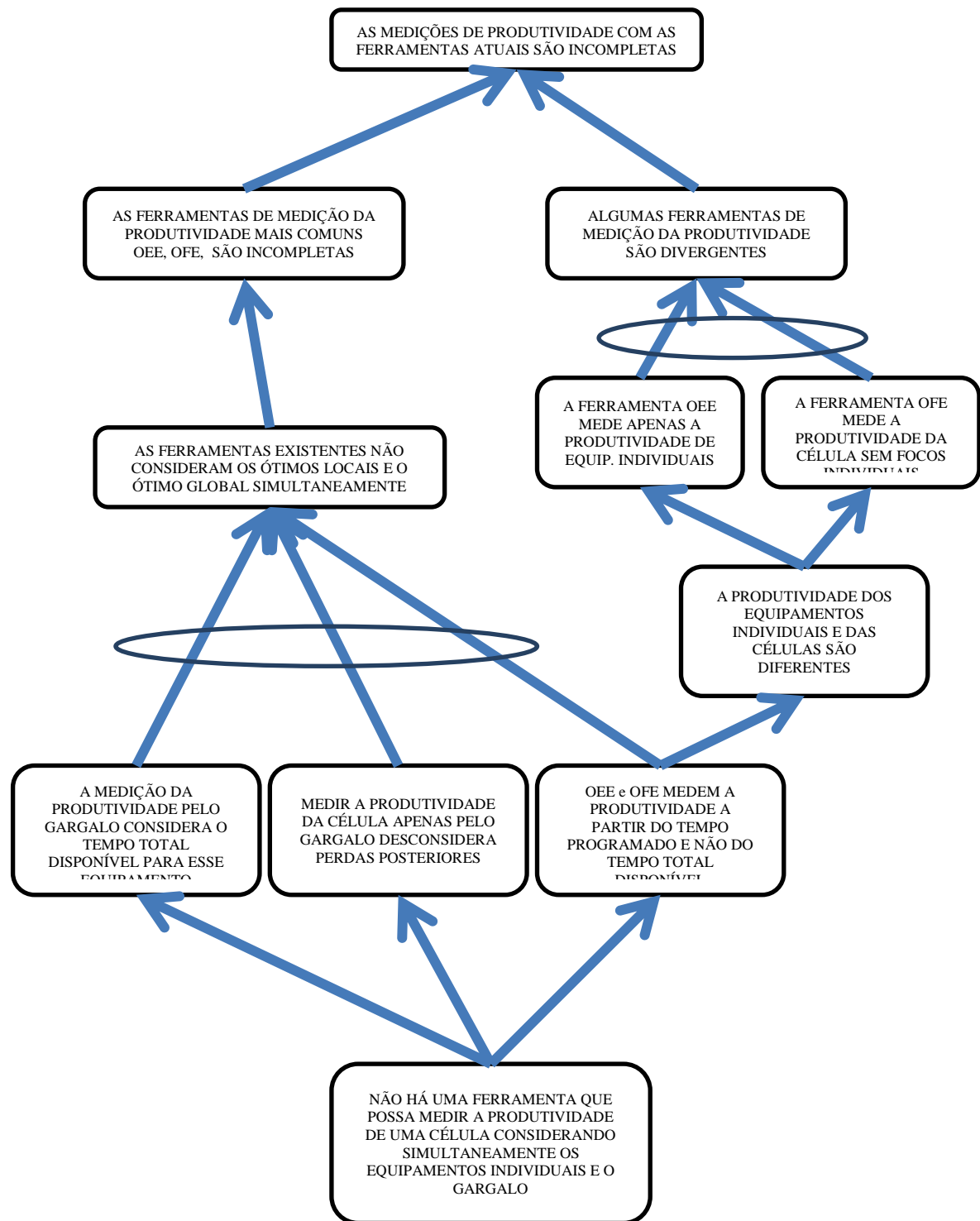


Figura 04: Árvore da Realidade Atual
 Fonte: Os autores (2021).

A ARA construída reflete com clareza os conflitos e problemas que não podem ser resolvidos através do uso das principais ferramentas de medição de produtividade para equipamentos e para células de produção.

O indicador OEE serve apenas para medir a produtividade individual dos equipamentos e além disso considera apenas o tempo total programado para cada um desses equipamentos.

Com os dados obtidos a partir das medições feitas pelo OEE não é possível identificar as relações entre os equipamentos e também a produtividade total da célula.

Já o OFE utiliza os mesmos conceitos do OEE, porém toma como base a produtividade esperada para uma célula de produção. Nesse caso, mesmo que a relação entre os equipamentos seja considerada, não é possível identificar se a produtividade está atendendo ao seu limite, pois é levado em consideração a programação feita para a célula e não a capacidade restrita do sistema ou o gargalo.

Na ARA apresentada na Figura 04 fica muito evidente que falta uma ferramenta que possa medir simultaneamente a produtividade individual dos equipamentos e a produtividade do gargalo, de forma que a medição da produtividade da célula possa fornecer dados reais para a tomada de decisão acerca das mudanças que precisam ser realizadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. P.; SILVA, T. G.; COGAN, S. Utilizando os passos da teoria das restrições para a melhoria contínua da produção: um estudo aplicado a uma fábrica de jeans. **Revista ADM.MADE**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 93-114, 2011. Disponível em:

<http://revistaadmmade.estacio.br/index.php/admmade/article/view/64> Acesso em: 10 jun. 2019

CARRIJO, José R. Scareli; LIMA, Carlos R. Camello. Disseminação TPM, Manutenção Produtiva Total nas Indústrias Brasileiras e no Mundo: uma abordagem construtiva. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27.*, 2008, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em:

<http://revistaadmmade.estacio.br/index.php/admmade/article/view/64> Acesso em: 17 jun. 2019

CARVALHO, R. Q.; BERNARDES, R. Reestruturação industrial, produtividade e desemprego. **São Paulo em perspectiva**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 53-62, 1996. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v10n01/v10n01_07.pdf Acesso em: 02 jul. 2019

CHIARADIA, Á. J. P. **Utilização do Indicador de Eficiência Global de Equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos**: um estudo de caso na indústria automobilística. 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4470/000457034.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 13 jul. 2019

CHOU, Y. C.; CHING-HUA, L.; TANG, Y. Identificando problemas de estoque na indústria aeroespacial usando a teoria das restrições. **Revista Internacional de Pesquisa de Produção**, [s. l.], v. 50, n. 16, p. 4686-4698, 2012. Disponível em: https://www-tandfonline-com.translate.google/doi/abs/10.1080/00207543.2011.631598?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc Acesso em: 20 jul. 2019

COGAN, S. **Contabilidade Gerencial: uma abordagem da teoria das restrições**. São Paulo: Saraiva, 2007.

CONSIDERA, C. M. Ideologia, globalização e emprego. **Jornal do Economista**, [s. l.], v. 83, 1995.

CSILLAG, J. M.; CORBETT, T. Neto. Utilização da Teoria das Restrições no Ambiente de Manufatura de Empresas no Brasil. **Relatório de Pesquisas**, [s. l.], n. 17, 1998. Disponível em:
https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/2971/P00140_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 26 jul. 2019

DE RON, A. J.; ROODA, J. E. OEE and equipment effectiveness: an evaluation. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 44, n. 23, p. 4987-5003, 2006. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/245331067_OEE_and_equipment_effectiveness_An_evaluation Acesso em: 28 jul. 2019

GOLDRAT, E.; COX, J. **A Meta administração dos gargalos de produção**. São Paulo: Imam, 1986.

HAMMER, Michael. Reengineering work: don't automate, obliterate. **Harvard business review**, [s. l.], v. 68, n. 4, p. 104-112, 1990. Disponível em:
<https://hbr.org/1990/07/reengineering-work-dont-automate-obliterate> Acesso em: 11 de jun. 2019

HUANG, Samuel H.; DISMUKES, John P.; SHI, J.; SU, Qi Ken.; RAZZAK, M. A.; BODHALE, R. ROBINSON, D.E. Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. **International journal of production research**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 513-527, 2003. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/252366786_Manufacturing_productivity_improvement_using_effectiveness_metrics_and_simulation_analysis Acesso em: 03 jul. 2019

JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 55-78, 1999. Disponível em:
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443579910244223/full/html> Acesso em: 15 jul. 2019

LANZA, G. *et al.* Measuring global production effectiveness. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 7, p. 31-36, 2013. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113002138> Acesso em: 15 jul. 2019

LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998. Disponível em: <https://typeset.io/papers/measurement-of-overall-equipment-effectiveness-as-a-basis-16ylqzohs> Acesso em: 01 jul. 2019

MATHUR, Alok; DANGAYACH, G. S.; MITTAL, M.L.; SHARMA Milind K. Performance measurement in automated manufacturing. **Measuring business excellence**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 77-91, 2011. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13683041111113268/full/html> Acesso em: 05 jul. 2019

MUCHIRI, Peter; PINTELON, Liliane. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International journal of production research**, [s. l.], v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245331265_Performance_measurement_using_overall_equipment_effectiveness_OEE_Literature_review_and_practical_application_discussion Acesso em: 26 jun. 2019

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC, 1989.

NOREEN, E. W.; SMITH, D.; MACKEY, J.T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial: um relatório independente**. São Paulo: Educator, 1996.

OECHSNER, Richard; PFEFFER, Markus; PFITZNER Lothar; BINDER, Harald; MULLER, Eckhard; VONDERSTRASS, Thomas. From overall equipment efficiency (OEE) to overall Fab effectiveness (OFE). **Materials Science in Semiconductor Processing**, [s. l.], v. 5, n. 4-5, p. 333-339, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369800103000118> Acesso em: 03 jul. 2019

POZO, Hamilton; TACHIZAWA, Takeshy; PICCHIAI, Djair. The theory of constraints and the small firm: an alternative strategy in the manufacturing management. **Revista de Administração e Inovação**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 5-25, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/973/97312500002.pdf> Acesso em: 07 jun. 2019

RODRIGUES, L. H. **Apresentação e análise crítica da tecnologia da produção otimizada e da teoria das restrições**. Porto Alegre: Atlas, 1995.

ROSSI JÚNIOR, J. L.; FERREIRA, P. C. Evolução da produtividade industrial brasileira e abertura comercial. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, [s. l.], v. 29, n. 1, 1999.

Disponível em:

http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5034/1/PPE_v29_n01_Evolucao.pdf Acesso em: 10 jul. 2019

SANTOS, A. C. O.; SANTOS, M. J. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – um estudo de caso. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. foz do Iguaçu: UFP, 2007. Disponível em:

<https://abepro.org.br/internasub.asp?m=508&ss=8&c=482> Acesso em: 22 jun. 2019

SHIROSE, K. **TPM for workshop leaders**. Portland: Productivity Press, 1992.

SILVA, A. O.; DOELLINGER, C.; CONSIDERA, C.; HORTA, M. H.; LEVY, P. M.; SOUZA, F. B.; BAPTISTA, H. R. Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda. **Gestão & Produção**, [s.

l.], v. 17, p. 735-746, 2010. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/gp/a/CYW8dy7nQLyxBvMjm6VQRcL/abstract/?lang=pt> Acesso em :
02 jul. 2019

SOUZA, A. A. C. **Aplicação da metodologia tambor-pulmão-corda (tpc) com supermercado na gestão de manufatura de eletrodos de grafite das unidades de candeias, e Monterrey da graftech international ltd.** 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) – Faculdade de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/8954> Acesso em: 10 de jul. 2019

SUEHIRO, K. **Eliminating minor stoppages on automated lines.** Boca Raton: Productivity Press, 1992.

TONDATO, R. **Manutenção produtiva total: estudo de caso na indústria gráfica.** 2004. 119f. Dissertação (Mestrado em Gerência de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C. The evolution of management philosophy: The theory of Constraints. **Journal of operations Management**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1016/j.jom.2006.04.004> Acesso em: 21 jun. 2019