

Mensuração de Desempenho e a Indústria 4.0

Rafael Arthur Wippel (UFPR) rafael_wippel@hotmail.com

Fabiano Oscar Drozda (UFPR) fabiano.drozda@gmail.com

Marcos Augusto Mendes Marques (UFPR) marquesammarcos@gmail.com

Mariana Kleina (UFPR) marianakleina@ufpr.br

Resumo:

A crescente necessidade das organizações em melhorar continuamente seus processos e resultados organizacionais, trazem a necessidade, de mensurar seu desempenho. Para tal, a utilização de indicadores chave de desempenho e sistemas de mensuração de performance é amplamente conhecido e discutido. Atualmente, conceitos e tecnologias que fazem parte da expressão Indústria 4.0, tem chamado bastante atenção, devido ao potencial de impactar diretamente na maneira como as organizações gerenciam seus processos. O objetivo desse estudo foi de compreender de que forma a Indústria 4.0 pode impactar na mensuração de performance das organizações. O estudo foi realizado através da análise de diversos artigos relacionados aos benefícios trazidos pela Indústria 4.0, comparando-os com a estrutura do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Ao final do trabalho, é possível perceber que a Indústria 4.0 pode não somente impactar nos resultados obtidos pelos indicadores, como também impactar em como esses resultados serão obtidos e gerenciados.

Palavras chave: Indicadores chave de performance, Mensuração de performance, OEE, Indústria 4.0, Benefícios.

Performance Measurement and the Industry 4.0

Abstract

The growing necessity to continuously improve their processes and organizational results cause the necessity to organizations to measure their results. For that, the utilization of Key performance indicators and performance measurement systems is widely known and discussed. Recently, concepts and technologies known as Industry 4.0 has called significant attention, due to its potential directly impact on how the companies managed their processes. The aim of this study was to comprehend the way the Industry 4.0 can impact in the performance measurement of the organizations. The study was realized through an analysis of many academic articles related to the benefits regarding the Industry 4.0 and then comparing these benefits with the Overall Equipment Effectiveness's (OEE) structure. By the end of the study, it is possible to understand that the Industry 4.0 can not only have a direct impact in the indicators results, but also have a impact on how these results will be obtained and managed.

Key-words: Key performance Indicator, Performance Measure, OEE, Industry 4.0, Benefits.

1. Introdução

A competitividade das empresas de manufatura dependem, de acordo com Muchiri e Pintelon (2008), da disponibilidade e produtividade de suas plantas fabris, e por causa do aumento na

competitividade global, as empresas estão batalhando para aprimorar suas operações para poderem se manter competitivas.

Kang et al (2016) cita que a seleção apropriada e melhor entendimento da mensuração de performance pode ajudar uma organização a atingir o sucesso desejado e que tal mensuração ocorre já há algum tempo, através de indicadores chave de performance (KPI), definida como uma combinação de mensurações estratégicas e quantificáveis que refletem os fatores críticos de sucesso de uma organização e fazem parte de um sistema de mensuração de performance. Tal sistema é conceituado por Toni e Tonchia (2001), como um sistema que tem o papel de formalizar, integrar e garantir a utilização dos KPIs dentro da organização.

A indústria 4.0, tema amplamente discutido atualmente, tem potencial não somente para impactar diretamente nos resultados obtidos pelos KPIs mas também na obtenção desses indicadores.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é fazer uma relação teórica entre o que os autores citam como benefícios da Indústria 4.0 com a mensuração de desempenho das organizações, usando como exemplo o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que de acordo com Muchiri e Pintelon (2008) é um indicador que tem como força, integrar importantes aspectos da manufatura em um só KPI.

Para tal, uma revisão sobre o que é mensuração de performance, o OEE e a Indústria 4.0 é feita no capítulo 2. No capítulo 3 uma compilação e comparação entre os benefícios da Indústria 4.0 citados por diversos autores é realizada e comparada com as grandes perdas do OEE, por último o trabalho é concluído com a opinião dos autores e sugestões de estudos futuros.

2.1 Indicadores chave de performance (KPI)

Indicador chave de performance é um número ou valor que pode ser comparado com metas internas ou com concorrentes, para dar um indicativo de desempenho. Tal valor pode estar relacionado a dados coletados ou calculados através de um processo ou atividade. (AHMAD e DHARF, 2002).

Mathur et al (2011), comenta que mensurações de performance apropriadas podem levar a adoção de uma perspectiva de longo prazo, além da alocação dos recursos de uma maneira mais efetiva, de acordo com os objetivos planejados de melhoria. Para Rakar, Zorzut e Jovan (2004), a implementação de KPIs na produção pode auxiliar na obtenção de resultados como, cumprir o cronograma de produção, garantir a qualidade de produtos e processos, melhorar a produtividade e aumentar a qualificação, motivação e satisfação dos funcionários. Bauer et al (2016) cita que KPIs quantificam o sucesso de um processo de negócio ou atividade.

De acordo com Khadem, Ali e Seifoffini (2008), para um KPI ser efetivo e confiável, ele deve ter cinco características chave: (1) Estar alinhado com os objetivos do negócio, (2) ser passível de ação e predição, (3) ser consistente, (4) ser temporalmente rastreável para comparação interna e (5) ser comparável em pares para comparação externa.

White (1996) cita que existem duas questões básicas a serem respondidas, em qualquer situação de mensuração: (1) O que vai ser mensurado? e (2) Como isso vai ser mensurado? O autor ainda cita que essas respostas influenciam diretamente na validade, confiabilidade e praticidade de qualquer medida e que dentro do ambiente manufatureiro, existem diversas maneiras de se responder isso, assim como um diverso número de métricas de performance.

Sistemas de mensuração de *performance* (PMS), definido por Guenther e Heinicke (2018), como sistemas de mensuração que englobam métricas financeiras e não financeiras, utilizadas para operacionalizar os objetivos estratégicos, podem auxiliar na resposta dessas perguntas.

Tung, Baird e Schoch (2011) citam que um PMS é importante por três motivos principais: (1) Ele encoraja congruência para um objetivo. (2) Fornece informações precisas que permitem a rastreabilidade sua própria performance de maneira eficiente e efetiva. (3) Pode prover para a organização, um indicativo de como ela está com relação ao mercado e auxiliar no desenvolvimento de estratégias futuras.

De acordo com Kang et al (2016), dentro de um PMS, os objetivos estratégicos são primeiro determinados de acordo com as necessidades da organização, em seguida, cada objetivo é suportado por uma série de indicadores que contribuem para seus atingimentos. White (1996), corrobora com essa ideia e exemplifica dizendo que companhias que competem com base na flexibilidade, devem selecionar métricas que tem como foco a flexibilidade.

Já que diferentes aspectos da *performance* não são independentes e não podem ser separados, os KPIs tem relacionamento mutuo. Alguns KPIs podem ter correlação positiva ou negativa e alguns podem ser derivados ou substituídos por outros. (KANG ET AL, 2016)

De acordo com Neely, Gregory e Platts (1995), mensuração de desempenho tradicionalmente usadas pelas organizações são inapropriadas, principalmente devido a:

- a) Encorajamento de pensamento a curto prazo;
- b) Encorajamento de otimização local, sem pensar no sistema todo;
- c) Encorajamento de minimização de variações do padrão, ao invés da busca pela melhoria continua;
- d) Falha em fornecer informação sobre o que os clientes desejam e o que os competidores estão fazendo;

Kang et al (2016), comenta que, atualmente, identificadores de radiofrequência, sensores e redes sem fio, assim como computadores, tablets e smartphones vem sendo usados no chão de fábrica, possibilitando, entre outras coisas, a fácil obtenção de dados relacionados aos KPIs.

2.3. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), é uma métrica quantitativa que vem sendo cada vez mais utilizada na indústria, não somente como controle e monitoramento da produtividade dos equipamentos, mas também como um indicador e direcionador de melhorias de processo e performance (GARZA-REYES, 2010). Braglia, Frosolini e Zammori (2008) descrevem o OEE como a relação entre o que a manufatura realmente produziu com o que teoricamente poderia ter sido produzido.

A origem desse indicador, de acordo com diversos autores, entre eles Muchiri e Pintelon (2008), Muthiah e Huang (2007), Huang et al (2003) e Mathur et al (2011), foi inicialmente desenvolvida por Nakajima (1988) dentro do conceito de *Total Productive Maintenance* (TPM).

O mais importante objetivo do OEE, de acordo com Jonsson e Lesshammar (1999), não é somente obter uma mensuração, mas sim servir como guia para com relação a escolha de onde investir recursos para melhorias. Muchiri e Pintelon (2008) cita que o OEE é utilizado para auxiliar na identificação de perdas, categorizando-as e até mesmo provendo um direcionamento com relação a identificação das causas raízes e na definição de prioridades.

Tais perdas são definidas por Muchiri e Pintelon (2008) e Jonsson e Lesshammar (1999), como atividades pertencentes ao processo, que consomem recursos, porém não geram nenhum valor.

Ranteshwar et al (2013), Dal, Tugewell e Greatbanks (2000), Muchiri e Pintelon (2008), Braglia, Frosolini e Zammori (2008) classificam as perdas em seis grupos e as categorizam em Perdas de Disponibilidade, Perdas de Velocidade e Perdas de Qualidade.

Perdas de Disponibilidade

- a) Falhas no equipamento – Tempo e quantidade perdida causada por falhas ou quebras em equipamentos;
- b) *Setup* e ajustes – Ocorre quando a produção de um produto é finalizada e o equipamento é ajustado para ser possível iniciar a produção de outro produto;

Perdas de Velocidade

- c) Ociosidade e pequenas paradas – Ocorre quando a produção é interrompida por falhas temporárias ou quando a mesma está ociosa;
- d) Redução de velocidade – Se refere a diferença entre a velocidade planejada para o equipamento e a velocidade real;

Perdas de Qualidade

- e) Defeitos no processo – Refugos ou retrabalhos causados por mau funcionamento dos equipamentos;
- f) Defeitos no *setup* – Perdas de produção que ocorrem entre o *setup* da máquina e a estabilização da produção;

Jeong e Phillips (2001), discordam das seis grandes perdas descritas acima e citam que na realidade existem dez grandes perdas, também categorizados como Perdas de Disponibilidade, Perdas de Velocidade e Perdas de Qualidade:

Perdas de Disponibilidade

- a) Tempo não planejado – Tempo em que o equipamento está planejado para não ser utilizado, incluindo feriados, férias, finais de semana;
- b) Tempo planejado para manutenção – Tempo usado para manutenção preventiva;
- c) Tempo não planejado para manutenção – Tempo usado para conserto de máquinas com problemas;
- d) Tempo para pesquisa e desenvolvimento - Tempo de máquina utilizada para pesquisa e desenvolvimento;
- e) Tempo para Engenharia – Tempo de máquina utilizado para análises de engenharia
- f) Tempo para *Setup* e ajustes – Tempo utilizado para realizar *setup* e pequenas ajustes nos equipamentos;

Perdas de Velocidade

- g) Tempo aguardando matéria-prima – Tempo na qual o equipamento não está operando pela falta de insumos a serem processados;
- h) Tempo ocioso aguardando operador – Tempo no qual existe insumos, porém o equipamento não está em utilização devido à falta de um operador;
- i) Perda de velocidade – Tempo perdido devido a diferença entre a velocidade planejada para o equipamento e a velocidade real;

Perdas de Qualidade

- j) Perda de qualidade – Tempo no qual o equipamento está produzindo peças com defeito;

Ranteshwar et al (2013), Dal, Tugewell e Greatbanks (2000), Muchiri e Pintelon (2008), Braglia, Frosolini e Zammori (2008) e Jeong e Phillips (2001) concordam que a obtenção do

OEE se dá pelo produto entre os componentes Disponibilidade (D), Performance (P) e Qualidade (Q).

$$OEE = D \times P \times Q$$

Sendo,

$$\text{Disponibilidade} = (\text{Tempo real de operação} / \text{Tempo planejado de operação}) \times 100$$

Onde o Tempo planejado de operação se dá pelo tempo total disponível, descontado o tempo planejado para paradas; e o Tempo Real de Operação se dá pelo Tempo Planejado de Operação descontando-se as perdas de disponibilidade citadas anteriormente.

$$\text{Performance} = ((\text{Número produzido} * \text{tempo de ciclo teórico}) / \text{tempo real de operação}) \times 100$$

$$\text{Qualidade} = ((\text{Total produzido} - \text{Total de Defeitos}) / \text{Total Produzido}) \times 100$$

Ao analisar as formulas, é possível perceber que as seis grandes categorias de perdas impactam diretamente no resultado do OEE, as Perdas de Disponibilidade impactam na variável D, de forma a transformar o Tempo Planejado de Operação em Tempo Real de Operação. Já as Perdas de Velocidade impactam na variável P de forma a transformar o Tempo Real de Operação em Tempo Líquido de Operação. E as Perdas de Qualidade impactam na variável Q de forma a transformar o Tempo Líquido de Operação em Tempo Valioso de Operação. Tais relações podem ser observadas na figura 1.

De acordo com Braglia, Frosolini e Zammori (2008) um grande problema surge quando problemas de uma linha de produção não podem ser facilmente classificados dentro das grandes perdas, já que essa falta de alinhamento pode gerar adoções de iniciativas inapropriadas.

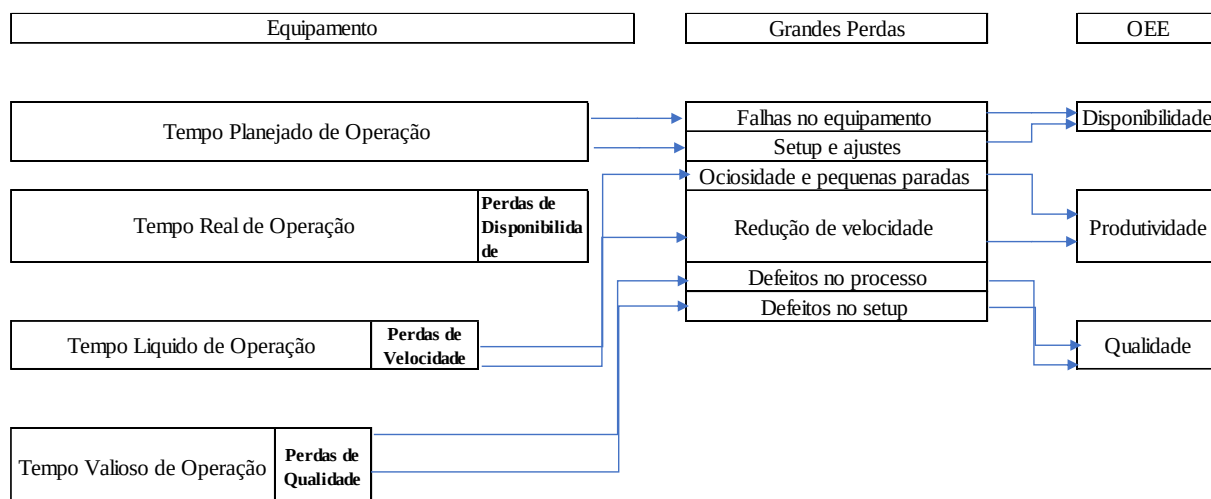
Já Johnsson e Lesshammar (1999), citam dois problemas com essa maneira de se calcular o OEE: Primeiro, que ao excluir o tempo planejado para manutenção do Tempo Planejado de Operação, naturalmente se pode levar ao aumento de tempo investido em manutenção, já que isso não impactaria no resultado do OEE, se o tempo planejado de manutenção estivesse incluído no Tempo Planejado de Operação, a variável Disponibilidade (D) seria menor, porém encorajaria ações de melhoria para diminuição do tempo necessário para manutenção, ou seja, manutenções mais eficientes. Segundo, que a variável qualidade (Q), leva em consideração somente os produtos defeituosos identificados durante a operação, excluindo os defeitos que podem ser identificados na continuação do processo.

Outra limitação da mensuração provida pelo OEE é a falta de consideração de outros fatores que impactam no ambiente de produção, que podem impactar a performance de uma máquina, processo ou linha de produção. Como por exemplo, utilização de mão de obra, custos e outros. (GARZA-REYES, 2015)

Braglia, Frosolini e Zammori (2008) citam que o OEE somente mede individualmente a eficiência de cada equipamento, ainda que normalmente tais equipamentos atuam conjuntamente em uma linha de produção, por exemplo, movimentação de materiais, buffers e filas tem impacto direto na eficiência do processo. Desta forma, pode-se dizer que o OEE sozinho não é suficiente.

Alguns autores propuseram diferentes indicadores baseados no OEE. Nachiappan e Anantharam (2006) descrevem o OLE (*Overral Line Effectiveness*), indicador que avalia a eficiência de uma linha de produção, não somente dos equipamentos individualmente. Braglia, Frosolini e Zammori (2008) definem o OEEML (*Overral Equipment Effectiveness of a*

Manufacturing Line), também com o objetivo de mensurar a performance do processo e não somente de equipamentos individuais. Oeshsner et al (2003) desenvolveu o OFE (*Overral Fab Effectivenss*), com o intuito de mensurar a performance de toda uma fábrica. Garza-Reyes (2015) apresentou o ORE (*Overral Resource Effectiveness*), que considera, além das variáveis comuns do OEE, a eficiência de material, o custo do processo, e a variação de custo do material. Já Muthiah e Huang (2007) descrevem o OTE (*Overral Throughput Effectiveness*) para detecção de gargalos e monitoramento da performance da fábrica.



Fonte: Adaptado de Nachiappan e Anantharaman (2006)

Figura 1 – Estrutura OEE

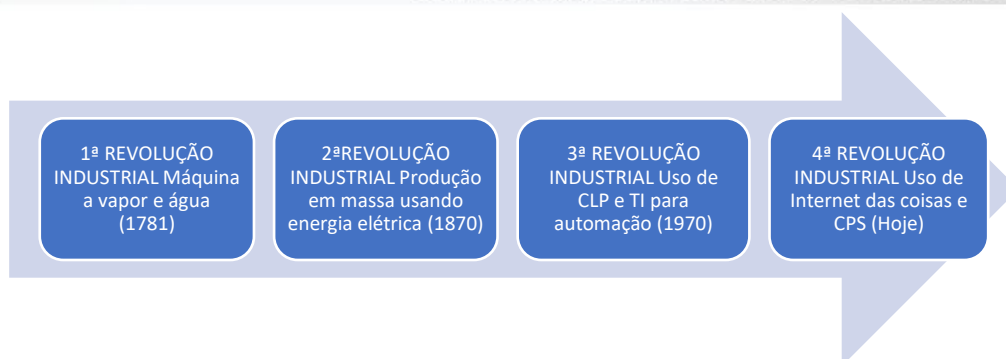
Jonsson e Lesshammar (1999) citam que um ponto crítico para a mensuração de performance e melhoria continua é a coleta de dados, que deve ser detalhada suficientemente para atingir os objetivos sem que seja exigido recursos de maneira desnecessária, uma vez que isso pode causar desmotivação na mão de obra e reações negativas contra as mensurações. Já Jeong e Phillips (2001), comentam que o sucesso da utilização do OEE se dá pela habilidade em se coletar dados.

Os parâmetros das seis grandes perdas requerem dados de performance detalhados, o que pode resultar em requisitos iniciais demasiados complexos (DAL, TUGWELL E GREATBANKS, 2000). Jeong e Phillips (2001) argumentam que a qualidade dos dados coletados determina a precisão do OEE e que tal coleta deve ser feita de maneira computadorizada, apesar da necessidade de investimentos.

2.4. Indústria 4.0

Para compreender o conceito de Indústria 4.0 (I4.0), é preciso entender primeiramente a origem de seu nome. O termo Indústria 4.0, de acordo com Vasja, Mesko e Krapez (2016), foi usado a primeira vez pelo governo alemão em 2011 como um programa para desenvolvimento de uma nova política econômica, baseada em estratégias de alta tecnologia.

Ela é denominada I4.0, por ser considerada por muitos, a quarta revolução industrial. A figura 2 sumariza as principais revoluções industriais, citando as suas principais características e os períodos que ocorreram.



Fonte: Adaptado de Vaidya, Ambad e Bhosle (2018)

Figura 2 – Revoluções Industriais

Para que ocorra a implementação da indústria 4.0, de acordo com Wang et al (2016) e Pereira e Romero (2017), três fatores chaves precisam ser considerados: (1) Integração horizontal através da cadeia de valor, (2) integração vertical e sistemas de manufatura integrados e (3) integração digital da engenharia da cadeia de valor de “ponta a ponta”. Oesterreich e Teuteberg (2016) descrevem esses três fatores-chave da seguinte maneira:

Integração horizontal se refere a integração de diversos sistemas de TI, processos, recursos e fluxos de informação entre diferentes organizações. A Integração vertical se refere a integração de diversos sistemas de TI, processos, recursos e fluxos de informação através dos departamentos e níveis hierárquicos de uma organização, desde a estratégia e desenvolvimento do produto até a manufatura. E a Integração digital da cadeia de valor de “ponta a ponta”. Se dá pela integração da engenharia dentro de toda a cadeia de valor, tendo como foco facilitar a customização de produtos e reduzir custos operacionais com o uso de sistemas *cyber*-físicos.

Lu (2017), cita que, além da integração, a indústria 4.0 tem outro fator chave, a interoperabilidade, que é definida pelo autor como a habilidade de dois sistemas se compreenderem e usarem as funcionalidades de cada um, através da troca de dados e compartilhamento de informações e conhecimento.

O objetivo da indústria 4.0, de acordo com Santos et al (2017) é a aplicação de dados em tempo real, com o intuito de conectar todos os elementos individuais de maneira a reduzir complexidade enquanto aumenta eficiência e reduz custos das operações. Ahuett-Garza e Kurfess (2018) citam que tecnologias como a Internet das Coisas, *Big Data* e sistemas *Cyber*-físicos estão alinhados com esse objetivo.

Wang et al (2016) descreve as principais diferenças entre os sistemas de produção tradicionais e os sistemas de produção da Indústria 4.0 através da tabela 1.

De acordo com Vogel-Heuser e Hess (2016), diversos autores concordam que dois dos principais princípios para a Indústria 4.0 são:

- a) Capabilidade em tempo real, através de algoritmos e tecnologias *Big Data*;
- b) Otimização de processos de manufatura baseados nessas informações para aumento do OEE.

Oesterreich e Teuteberg (2016) citam que o resultado dos princípios da Indústria 4.0, passam pelo planejamento simultâneo de produtos e processos de produção, que levarão ao aumento na qualidade dos produtos e diminuição do tempo para comercializar.

Sistemas de Produção Indústria 4.0	Sistemas de Produção Tradicionais
Recursos Diversos. Para produzir diferentes tipos de produtos em lotes pequenos, recursos de diferentes tipos devem coexistir no sistema. Rotas Dinâmicas. Quando alterando entre diferentes tipos de produtos, os recursos necessários a suas rotas devem ser reconfigurados automaticamente. Conexões compreensivas. As máquinas, produtos, pessoas e sistemas de informação devem estar conectados e interagir através da rede. Convergência profunda. A fábrica deve operar em um ambiente de rede conectada, onde a internet se integra a todos os artefatos físicos e sistemas de informação. Organização autônoma. A função de controlar é distribuída entre múltiplas entidades. Essas entidades inteligentes devem se comunicar entre elas e cooperar com a dinâmica do sistema Big Data. Os artefatos inteligentes podem produzir grande quantidade de dados que podem ser transferidos pela rede e processados.	Recursos Limitados. Para construir linhas fixas de produção em massa, recursos específicos precisam ser calculados, adaptados e configurados de maneira a minimizar redundâncias de recursos. Rotas Fixas. A linha de produção é fixa, a não ser que seja manualmente reconfigurada por pessoas, com o sistema desligado. Controle de chão de fábrica. As redes <i>fieldbus</i> podem ser usados para conectar o controlador com as estações “escravas”, porém uma comunicação entre máquinas não é necessária. Camadas separadas. Os dispositivos de campo são separados dos sistemas de informações superiores. Controle independente. Cada máquina é pré-programada para realizar uma certa função. Qualquer problema com um único dispositivo irá prejudicar toda a linha de produção. Informações Isoladas. A máquina pode gravar seus próprios processos de informação. Mas essas informações são raramente utilizadas por outros.

Fonte: Adaptado de Wang et al (2016)

Tabela 1 – Comparação dos Sistemas de Produção

Shrouf e Miragliotta (2015) comentam além de diversos benefícios relacionados a melhoria de eficiência energética, a Indústria 4.0, pode melhorar a precisão e confiabilidade de equipamentos, garantindo sua boa condição através de dados em tempo real. Oesterreich e Teuteberg (2016) citam também que através da comunicação entre máquinas e equipamento, os dados de performance podem ser enviados em tempo real para análise de engenheiros, possibilitando manutenções preditivas mais eficientes e consequente reparos nas máquinas antes que danos ocorram.

Wang et al (2016) cita diversos benefícios da Indústria 4.0, entre eles:

- Flexibilidade. Os equipamentos podem ser reconfigurados automaticamente de maneira a além de aumentar a capacidade de atender a demanda dos clientes, aumentar a robustez do processo, já que as máquinas poderão se juntar ao sistema através do conceito *plug-and-play*, de maneira que falhas não afetaram o processo, devido a redundância das máquinas;
- Produtividade. O tempo de *setup* é minimizado e o processo de produção otimizado através do enxugamento das rotas de manufatura e do aumento do nível de utilização dos equipamentos;
- Eficiência energética e de recursos. Baseado no *Big Data*, é possível ter conhecimento suficiente do processo de maneira a estabelecer um sistema com um nível de qualidade do produto e taxa de produção estável;
- Transparência. Com informações completas e em tempo real de todos os aspectos da fábrica, é possível quantificar a mensuração de performance de máquinas, produtos e sistemas, possibilitando uma tomada de decisão mais efetiva e facilitando a identificação de possibilidades de melhoria no processo;
- Amigável a equipe. Através do uso de *Big Data*, *softwares* e interfaces de mensuração mais flexíveis, manutenção e diagnósticos são facilitadas, do ponto de vista dos operadores.

Lee e Kao (2013) comenta que através da transparência na manufatura, gestores terão a informação correta para determinar o OEE de toda a fábrica.

Todo o ciclo de vida do produto pode ser facilitado através de sensores inteligentes, modelos de tomada de decisão adaptáveis, materiais avançados, dispositivos inteligentes e análise de dados. Eficiência da produção, qualidade do produto e nível de serviços serão aprimorados (ZHONG ET AL, 2017)

Geissbauer et al (2014) cita que alguns dos benefícios oriundos da quarta revolução industrial através da digitalização de processos e cadeias de valor podem ser a redução de redundâncias no processo, minimização de perdas de qualidade e processos mais flexíveis. Já Lu (2017), comenta que a Indústria 4.0 pode prover mais flexibilidade, reduzir *lead times* e reduzir custos.

3. Impacto da Indústria 4.0 no OEE

Através da análise dos conceitos relacionados a Indústria 4.0, feita pelos diversos autores citados nesse trabalho, é possível identificar quais são os principais benefícios que a Indústria 4.0 pode trazer a manufatura, a Tabela 2 faz uma compilação desses benefícios.

Numero	Autores	Benefício Citado
1	Vogel-Heuser (2016)	Capabilidade em tempo real, através de algoritmos e tecnologias Big Data e otimização de processos de manufatura baseados nessas informações para aumento do OEE.
2	Oesterreich e Teuteberg (2016)	Aumento na qualidade dos produtos e diminuição do tempo para comercializar e Maior disponibilidade de maquinas através do aprimorando da manutenção
3	Shrouf e Miragliotta (2015)	Aumento da precisão e confiabilidade de equipamentos
4	Wang et al (2016)	Aumento da robustez do processo, minimização tempo de setup, aumento do nível de utilização dos equipamentos, estabilidade do nível de qualidade dos produtos e da taxa de produção, informações mais confiáveis e precisas.
5	Lee (2013)	Maior precisão e confiabilidade da informação e consequente dos indicadores.
6	Zhong et al (2017)	Aprimoramento da Eficiência da produção, qualidade do produto e nível de serviços
7	Geissbauer et al (2014)	Redução de redundâncias no processo, minimização de perdas de qualidade e processos mais flexíveis
8	Lu (2017)	Aumento de Flexibilidade, redução de lead times e reduzir custos.

Fonte: O autor (2018)

Tabela 2 – Benefícios Industria 4.0

A figura 3 relaciona os benefícios da indústria 4.0 com os principais grupos de perdas que fazem parte da formulação do OEE, ficando clara a relação entre ambos os conceitos. Tal relação foi feita com os seis grandes grupos de perdas, citados por diversos autores.

Outro ponto importante é com relação a obtenção de dados dos processos de manufatura, tema abordado por diversos autores, entre eles Jonsson e Lesshammar (1999), Dal, Tugwell e Greatbanks (2000) e Jeong e Phillips (2001) e citado como essencial para uma mensuração de performance confiável. A indústria 4.0, através de suas diversas tecnólogas habilitadoras, podem contribuir para a melhoria dessa confiabilidade, por exemplo, Wang et al (2016) cita que com a utilização de tecnologias da indústria 4.0, como por exemplo o *Big Data*, os

envolvidos com a manufatura terão acesso a dados mais precisos e em tempo real, de maneira a facilitar a identificação de problemas e oportunidades e a consequente tomada de decisão. Vogel-Heuser (2016) e Lee (2013) também corroboram com a tese de que essa precisão e confiabilidade das informações será um benefício relevante da Indústria 4.0.



Fonte: O autor (2018)

Figura 3 - Benefícios / Grandes Perdas

Alguns autores já vêm trabalhando com estudos relacionados a mensuração e monitoramento de performance em tempo real, Hwang et al (2016) desenvolveu um sistema de mensuração de performance baseado na Internet das Coisas, Saez (2018) desenvolveu um *framework* para monitoramento da manufatura em tempo real também através da Internet das Coisas. Já Liu et al (2010) citou, através de um estudo de caso, a possibilidade de se monitorar todo o sistema de produção através da tecnologia RFID e Snatkin (2013) abordou a mensuração da produção em tempo real do ponto de vista das pequenas e médias empresas.

4. Conclusão e sugestão de estudos futuros

Indústria 4.0 e mensuração de performance são dois temas atuais e bastante abordados pela literatura. A implementação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas e *Big Data*, tendem a impactar não somente no resultado obtido na mensuração de performance, mas também na maneira na qual se é obtida, conforme os benefícios destacados na tabela 2.

Através da figura 3, foi possível identificar que existe relação direta entre os benefícios esperados pela indústria 4.0 e os indicadores de desempenho, nesse trabalho exemplificado pelo OEE, essa relação traz um indício que os KPIs podem servir como guia para priorização da implementação da Indústria 4.0.

Como complemento a este estudo, é sugerido a realização de uma análise mais detalhada sobre os principais KPIs utilizados na manufatura, assim como as principais tecnologias da Indústria 4.0, de maneira a identificar como esse relacionamento pode impactar positiva ou negativamente nos resultados organizacionais.

Tal análise pode gerar, por exemplo, um *framework* de apoio para definição de quais tecnologias e conceitos devem ter sua implementação priorizada, de acordo com a necessidade e oportunidades de melhoria dos processos de manufatura indicadas através dos KPIs.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao PPGE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná e ao GIMa – Grupo de Inteligência em Manufatura, pela concessão das bolsas de estudo e estrutura para pesquisa.

Referências

- AHMAD, M. M.; DHAFFR, N.** *Establishing and improving manufacturing performance measures*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 18, n. 3–4, p. 171–176, 2002.
- AHUETT-GARZA, H.; KURFESS, T.** *A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing*. 2018.
- BAUER, M. et al.** *KPIs as the interface between scheduling and control*. IFAC-PapersOnLine, v. 49, n. 7, p. 687–692, 2016.
- BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F.** *Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance*. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 20, n. 1, p. 8–29, 2008.
- 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, 2000.
- DE TONI, A.; TONCHIA, S.** *Performance measurement systems - Models, characteristics and measures*. International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 1/2, p. 46–71, 2001.
- GARZA-REYES, J. A.** *From measuring overall equipment effectiveness (OEE) to overall resource effectiveness (ORE)*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 21, n. 4, p. 506–527, 2015.
- GARZA-REYES, J. A. et al.** *Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: A relationship analysis*. International Journal of Quality and Reliability Management, v. 27, n. 1, p. 48–62, 2010.
- GEISSBAUER, R. et al.** *Industry 4.0 - Opportunities and Challenges of the Industrial Internet*. PricewaterhouseCoopers, p. 52, 2014.
- GUENTHER, T. W.; HEINICKE, A.** *Relationships among types of use, levels of sophistication, and organizational outcomes of performance measurement systems: The crucial role of design choices*. Management Accounting Research, n. May, p. 1–25, 2018.
- HUANG, S. H. et al.** *Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis*. International Journal of Production Research, v. 41, n. 3, p. 513–527, 2003.
- HWANG, G. et al.** *Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment*. International Journal of Production Research, v. 55, n. 9, p. 2590–2602, 2016.
- JEONG, K.-Y.; PHILLIPS, D. T.** *Operational efficiency and effectiveness measurement*. International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 11, p. 1404–1416, 2001.
- JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M.** *Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE*. International Journal of Operations & Production Management, 1999.
- KANG, N. et al.** *A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems*. International Journal of Production Research, v. 54, n. 21, p. 6333–6350, 2016.
- KHADEM, M.; ALI, S. A.; SEIFODDINI, H.** *Efficacy of lean metrics in evaluating the performance of manufacturing systems*. International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice, v. 15, n. 2, p. 176–184, 2008.
- LEE, J.; KAO, A.** *Industry 4.0 Factory in Big Data Environment*. tec. News, HARTING's Technology Newsletter, v. 26, p. 8–9, 2013.
- LU, Y.** *Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues*. Journal of Industrial Information Integration, 2017.
- MATHUR, A. et al.** *Performance measurement in automated manufacturing*. Measuring Business Excellence, v. 15, n. 1, p. 77–91, 2011.
- 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.

- MUTHIAH, K. M. N.; HUANG, S. H.** Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection. *International Journal of Production Research*, v. 45, n. 20, p. 4753–4769, 2007.
- NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N.** Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 17, n. 7, p. 987–1008, 2006.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K.** A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 1995.
- OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F.** Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, v. 83, p. 121–139, 2016.
- PEREIRA, A. C.; ROMERO, F.** A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 2017.
- RAKAR, A.; ZORZUT, S.; JOVAN, V.** Assesment of Production Performance by Means of KPI. *Proceedings of the Control*, p. 6-9, 2004.
- ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A.** A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 2016.
- NAKAJIMA, S.** *Introduction to Total Productive Maintenance*. Productivity Press, 1998.
- SAEZ, M. et al.** Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2018.
- SANTOS, C. et al.** Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Procedia Manufacturing*, 2017.
- SHROUF, F.; MIRAGLIOTTA, G.** Energy management based on Internet of Things: Practices and framework for adoption in production management. *Journal of Cleaner Production*, 2015.
- SINGH, R. et al.** Overall equipment effectiveness (OEE) calculation - Automation through hardware & software development. *Procedia Engineering*, v. 51, p. 579–584, 2013.
- SNATKIN, A. et al.** Real time production monitoring system in SME. *Estonian Journal of Engineering*, v. 19, n. 1, p. 62, 2013.
- TUNG, A.; BAIRD, K.; SCHOCH, H. P.** Factors influencing the effectiveness of performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 31, n. 12, p. 1287–1310, 2011.
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S.** Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 2018.
- VOGEL-HEUSER, B.; HESS, D.** Guest Editorial Industry 4.0 - Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 13, n. 2, p. 411–413, 2016.
- WANG, S. et al.** Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- WHITE, G. P.** A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturin. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 3, p. 42–61, 1996.
- ZHONG, R. Y. et al.** Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 2017.