

INDÚSTRIA 4.0: uma análise sob o enfoque da ergonomia cognitiva

Mateus Faraj Marques da Rocha (IC) e Alessandra Cristina Santos Akkari (Orientadora)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO A quarta revolução industrial traz consigo um novo paradigma, pautado na manufatura avançada e internet industrial, de modo que muito tem sido debatido sobre conhecimento e habilidades do Engenheiro 4.0. Entretanto, os aspectos cognitivos intrínsecos a esse novo paradigma não são considerados nessas análises. Portanto, esse trabalho teve como objetivo estudar a Indústria 4.0 sob uma visão macro, baseada na padronização de informações, e uma micro visão centrada na ergonomia cognitiva. Os atributos da Indústria 4.0 apontavam para uma crescente complexidade da indústria em meio a um processo de virtualização tecnológica, exigindo decisões mais rápidas e assertivas diante de uma ampla gama de informações. Constatou-se que o Engenheiro 4.0 estará encarregado da solução de problemas cada vez mais interdisciplinares em um ambiente digital, exigindo esforços cognitivos mais densos e habilidades sócio-emocionais mais precisas, como comunicação, motivação, autonomia, perseverança, resiliência, colaboração e criatividade. O estudo de caso desenvolvido apontou como destaque a Manutenção Preditiva Online, que visa obter uma previsibilidade de falha para cada componente monitorado em máquinas e equipamentos. A rotina de operação vinculada com essa nova tecnologia confirma o quanto os processos mentais serão requeridos diante do cenário da Indústria 4.0, uma vez que foi constatado um alto fluxo de informação associado à célere tomada de decisão diante do uso das novas tecnologias.

Palavras-chave: Ergonomia Cognitiva. Indústria 4.0. Engenheiro 4.0

ABSTRACT The fourth industrial revolution brings a new paradigm, based on advanced manufacturing and industrial internet. So much has been debated about the knowledge and skills of Engineer 4.0. However, the cognitive aspects that are intrinsic to this new paradigm are not considered in these analyses. Therefore, this work aimed to study the Industry 4.0 under a macro, based on standardization of information, and a micro vision focused on cognitive ergonomics. Industry 4.0 attributes pointed to an increasing industry complexity during a technological virtualization process, requiring faster and assertive decisions in the face of a wide range of information. It was found that the Engineer 4.0 will oversee the solution of increasingly interdisciplinary problems in a digital environment, requiring denser cognitive efforts and more accurate social-emotional skills, such as communication, motivation, autonomy, perseverance, resilience, collaboration and creativity. The case study pointed out as a highlight the Online Predictive Maintenance, which aims to obtain predictability of failure

for each component monitored in machines and equipment. The operating routine linked to this new technology confirms how much mental processes will be required in the face of the Industry 4.0 scenario, since a high flow of information was verified, associated with the rapid decision-making in the use of new technologies.

Keywords: Cognitive Ergonomics. Industry 4.0. Engineer 4.0

1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT), na qual as pessoas, os processos e os produtos fazem parte do mesmo sistema, conduziu ao surgimento da Indústria 4.0, na qual, de forma similar, a oferta, a fabricação, a entrega e o cliente estão conectados em tempo real. O termo *Indústria 4.0* surgiu a partir do relatório do grupo *Industry-Science Research Alliance*, que foi apresentado ao Chanceler alemão e lançado na Hannover Messe, em 2013. Segundo a literatura, embora existam novas soluções decorrentes dos campos da IoT e Indústria 4.0, uma clara definição dos múltiplos aspectos e perspectivas advindos da manufatura avançada e sistemas ciber-físicos ainda não é observada, especialmente no escopo acadêmico (SHAFIQ et al., 2015; HERMAN; PENTEK; OTTO, 2015). Portanto, revisões sistemáticas da literatura, bem como estudos exploratórios e descritivos, são ferramentas importantes para fornecer evidências para a tomada de decisão em práticas da Indústria 4.0 e para permitir uma investigação mais aprofundada sobre o tema, por parte da comunidade científica.

A tendência mundial de implantação da Indústria 4.0, segundo Toro, Barandiaran e Posada (2015), segue em países industrializados avançados e está definindo uma nova era da produção, na qual há o englobamento de sistemas ciber-físicos que, por sua vez, são as bases para que máquinas inteligentes, instalações de indústrias e sistemas de armazenamento sejam capazes de trocar informações e tomar decisões independentemente de controladores. Assim, espera-se que essa “inteligência” se torne a responsável por revolucionar a produção industrial e serviços associados.

No escopo da Indústria 4.0, a automação de plantas fabris, por exemplo, parte de palavras-chaves como “informação” e “integração”, ou seja, diferentes tecnologias, como IoT; *Big Data*; *Intelligent Robotics*; *Industrial Automation*; *Analytics*; entre outras permitem uma interligação fabril, incluindo uma interligação entre as próprias tecnologias e entre estas tecnologias e o trabalho, os insumos, a energia e os dados de produção. Assim, a computação convencional terá dificuldade em escalonar-se com o grande fluxo de dados e com a complexidade da análise, devendo tornar-se cognitiva para processar, analisar e otimizar as informações (BRETTEL et al., 2014).

A partir da Indústria 4.0, devido as suas características singulares e inovadoras, pode vir a exigir um novo tipo de trabalhador, especialmente na área de Engenharia, necessitando de uma formação otimizada de profissionais capacitados e habilitados para atuar neste tipo de organização, de forma ainda a garantir a saúde, segurança e satisfação no ambiente laboral, conforme preconizado pela Ergonomia.

Nesse sentido, por parte do Engenheiro 4.0, as exigências mentais e cognitivas também serão muito maiores, incluindo o domínio e operacionalização das diversas tecnologias, bem como análise de uma variedade de informações de fluxos de trabalho, processo e ambiente para impulsionar a qualidade, aprimorar operações e acelerar a tomada de decisão de forma assertiva. Logo, o estudo processual tecnológico da Indústria 4.0 sob o enfoque da Ergonomia Cognitiva, a qual é um domínio de especialização da Ergonomia, se faz de grande valia, uma vez que desafios surgirão das novas exigências intelectivas vinculadas a sistemas inteligentes.

Vale ressaltar que ainda há poucos estudos na literatura que se propõe a investigar a Indústria 4.0 sob uma lógica processual; tampouco há pesquisas que almejam analisar esse novo conceito sob o enfoque da ergonomia no seu domínio cognitivo, sendo algo de grande valia uma vez que desafios surgirão das novas exigências mentais vinculadas a sistemas inteligentes. Assim, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar a Indústria 4.0 sob uma visão macro, baseada na padronização de informações, e sob uma visão micro, pautada na ergonomia, particularmente no domínio da ergonomia cognitiva.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Indústria 4.0: elementos e atributos

A fim de se melhor compreender o conceito de Indústria 4.0, faz-se válida uma breve análise, sob o ponto de vista histórico, embasada nas ondas de revoluções industriais. Primeiramente, na segunda metade do século XVIII, teve-se a 1° Revolução Industrial, que mobilizou a mecanização da produção por meio do uso de água e de energia a vapor, seguida pela 2° Revolução Industrial, no final do século XIX, na qual a produção em massa, com a ajuda da energia elétrica, foi o principal meio de modificação dos processos industriais. Na metade do século XX, a 3° Revolução Industrial trouxe o avanço da eletrônica e da robotização da manufatura e, atualmente, já se considera a nova era do século XXI, a 4° Revolução Industrial, na qual a revolução digital e o uso tecnologia da informação irão automatizar ainda mais a manufatura, adentrando no escopo de Manufatura Avançada e Internet Industrial (TORO; BARANDIARAN; POSADA, 2015).

Segundo Kagermann (2014), a integração da Internet das Coisas (IoT) e da Internet de Serviços (IoS) no processo de fabricação iniciou a quarta revolução industrial. A IoT permite que sistemas e objetos, como sensores, atuadores e telemóveis, interajam e cooperem com seus vizinhos através de componentes "inteligentes", para alcançar objetivos comuns, pode ser definida como uma rede onde

sistemas ciber-físicos cooperam entre si por meio de esquemas de endereçamento exclusivos. A Internet de Serviços (IoS), por sua vez, permite que empresas ofereçam seus serviços através da Internet, sendo constituída por indivíduos, infra-estrutura de serviços, modelos de negócio e os próprios serviços. É concebível que este conceito seja transferido desde fábricas únicas até redes de valor agregado, no futuro (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2013).

Inserido na quarta revolução industrial, surge o conceito de Indústria 4.0, criado por pesquisadores alemães. Em outubro de 2012, um grupo de trabalho na Indústria 4.0, presidido por Siegfried Dais, vice-presidente do Conselho de Administração da *Robert Bosch Healthcare*, e Henning Kagermann, membro da *German Academy of Science and Engineering*, apresentaram, ao governo federal alemão, o conceito para a integração de sistemas de controle avançados com a internet, permitindo a comunicação entre pessoas, produtos e sistemas complexos (ASTARLOA et al., 2016)

A abordagem principal, presente neste novo conceito de indústria, parte do ponto de tornar direta a cooperação e comunicação entre pessoas, máquinas, equipamentos, produtos e sistemas logísticos, utilizando-se de sistemas de produção com tecnologia embarcada, composta por sensores já integrados a atuadores inteligentes, contando ainda com a comunicação direta com o controle de operação, chamado de sistema ciber-físico (BAUERNHANSL, 2014; BRETTEL et al., 2014).

De fato, um componente importante da Indústria 4.0 é a fusão do físico com o mundo virtual (KAGERMANN, 2014), sendo essa integração possível pelo Sistema Ciber-Físico (CPS, do inglês *Cyber-Physical System*). Segundo Lee (2008), os CPS referem-se à integralização de computadores e sistemas físicos em um único processo, no qual ambos se retroalimentam e interagem, exercendo papel chave na Indústria 4.0, que depende de conexões ciber-físicas para desempenhar seu papel. O desenvolvimento de CPS caracteriza-se por três fases: (1) a primeira geração de CPS incluiu tecnologias de identificação como, RFID tags, que permitiram identificação única, sendo que armazenamento e análise devem ser fornecidos como um serviço centralizado; (2) a segunda geração de CPS está equipada com sensores e atuadores com uma gama limitada de funções; (3) os CPS da terceira geração podem armazenar e analisar dados, sendo equipados com vários sensores e atuadores e são compatíveis com a rede (BAUERNHANSL, 2014).

Logo, a indústria 4.0 pode ser entendida como uma fábrica inteligente que engloba a tecnologia de automação e a troca de dados em tempo real, utilizando-se de sistemas de internet, computação em nuvem e ciber-físico para executar, prever e

corrigir erros do processo da maneira mais rápida e eficiente (TORO; BARANDIARAN; POSADA, 2015).

A fim de caracterizar esse conceito emergente de indústria, vale a pena refletir sobre os principais atributos da Indústria 4.0. A interoperabilidade é um elemento muito importante da desse novo tipo de indústria, pois os CPS e os seres humanos estão ligados ao IoT e ao IoS, de modo que os padrões serão um fator chave de sucesso para a comunicação entre os CPS de vários fabricantes. Assim, a interoperabilidade significa que todos os CPS dentro da planta são capazes de comunicar uns com os outros através de redes abertas. A virtualização, como outro atributo, expressa que os CPS são capazes de monitorar processos físicos, de modo que esses sensores e dados estão ligados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação. (SMARTFACTORYKL, 2014).

A descentralização, por sua vez, parte do ponto que a crescente demanda por produtos individuais torna cada vez mais difícil o controle central dos processos. Os computadores incorporados permitem que os CPS tomem decisões próprias e, somente em casos de falha, as tarefas serão delegadas a um nível superior. No entanto, para garantir a qualidade e rastreabilidade é necessário acompanhar todo o sistema a qualquer momento.

A capacidade em tempo real também é fundamental para Indústria 4.0, pois para tarefas organizacionais, é necessário que os dados sejam coletados e analisados em tempo real, assim a rastreabilidade do processo pode ser verificada e as devidas providencias imediatamente executadas.

Outro atributo, a orientação de serviço, expressa que os CPS e outros recursos estão disponíveis através do IoS e podem ser utilizados por outros participantes, sendo oferecidos tanto internamente quanto através das fronteiras da empresa. Por fim, tem o atributo modularidade, na qual os sistemas modulares são capazes de se adaptar com flexibilidade às mudanças e expansões por módulos individuais. Portanto, os sistemas modulares podem ser adequados em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto (BAUERNHANS, 2014; SHAFIQ et al., 2015; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015; ASTARLOA et al., 2016). O quadro 1 apresenta esses principais atributos de forma sumarizada.

Quadro 1: Principais atributos da Indústria 4.0

Atributo	Características
Interoperabilidade	Comunicação e conectividade dos sistemas ciber-físicos, fábricas inteligentes e humanos

Virtualização	Cópia virtual das Fábricas Inteligentes (dados, simulações, modelos)
Descentralização	Decisões sem intervenção humana
Capacidade em Tempo Real	Coleta, análise e resposta a dados em um curto espaço de tempo
Orientação Serviço	Oferecimento dos serviços através da Computação em Nuvem

Fonte: Adaptado de HERMANN; PENTEK; OTTO (2015).

2.2. A Ergonomia e seu domínio de especialização cognitivo

Segundo a *International Ergonomics Association* (IEA, 2000), Ergonomia é a disciplina científica que trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos a projetos, visando otimizar o bem-estar humano e a performance global dos sistemas. Já a *Ergonomics Society* (Inglaterra) define Ergonomia como sendo o estudo do relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento, ambiente e, particularmente, a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas que surgem desse relacionamento.

Historicamente, em 1857, Jastrebowisky publicou um artigo intitulado "Ensaio de Ergonomia ou Ciência do Trabalho" e o tema foi retomado quase cem anos depois, quando em 1949 um grupo de cientistas e pesquisadores se reuniram interessados em formalizar a existência desse novo ramo de aplicação interdisciplinar da ciência. Em 1950, durante a segunda reunião deste grupo, foi proposto o neologismo "Ergonomia", formado pelos termos gregos Ergon (trabalho) e Nomos (regras). Funda-se, assim, no início da década de 50, na Inglaterra, a Ergonomics Research Society. Em 1959, representando um grande avanço na área, foi fundada a International Ergonomics Association - IEA e, no contexto brasileiro, em 1983 foi criada a Associação Brasileira de Ergonomia – ABERGO (MORAES; MONFALVÃO, 1998).

A Ergonomia é uma ciência orientada a uma abordagem sistêmica e que se estende, atualmente, por todos os aspectos da atividade humana e que tem como objetivo estudar os fatores que podem influenciar o sistema produtivo, buscando reduzir suas consequências para o trabalhador. Como domínio de especialização da ergonomia, tem-se ergonomia física, ergonomia organizacional e a ergonomia cognitiva (IIDA, 2003; FALZON, 2007).

A ergonomia física busca o estudo da relação dos aspectos físicos com o trabalho, englobando a análise de características de anatomia humana,

antropometria, fisiologia, biomecânica, entre outros. Sob esse domínio, pode-se citar alguns tópicos de estudo: análise de postura; levantamento de carga; movimentos repetitivos e projeto de posto de trabalho (IIDA, 2003; FALZON, 2007).

No escopo da ergonomia organizacional, tem-se a otimização dos sistemas sociotécnicos, que envolvem seres humanos e técnicas de gestão, estruturas organizacionais, políticas e processos. São tópicos de estudo desse domínio o projeto do trabalho, o trabalho cooperativo, a cultura organizacional e a gestão da qualidade (IIDA, 2003; FALZON, 2007).

Por fim, a ergonomia cognitiva, objeto de estudo do presente trabalho sob o enfoque da indústria 4.0, estuda como os seres humanos interagem com diversos elementos de um sistema, analisando os aspectos dos processos mentais, como percepção, memória, resposta motora, raciocínio, entre outros. Assim, a carga mental de trabalho; a tomada de decisão; a interação homem-computador e o stress são tópicos da ergonomia cognitiva (IIDA, 2003; FALZON, 2007). Percebe-se que muitos dos itens citados estão diretamente relacionados com as novas demandas da Indústria 4.0, devido ao fluxo e rapidez de transmissão das informações, necessidade de tomada de decisão acelerada, abordagens baseadas em informações inteligentes, desencadeando no profissional uma alta exigência dos processos mentais, de modo a adentrar no escopo de estudo da Ergonomia Cognitiva.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser considerado um estudo exploratório, integrando pesquisa bibliográfica e coleta e análise de dados. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura para identificar os princípios e os conceitos norteadores da Indústria 4.0 a fim de, então, poder desenvolver um mapeamento tecnológico e analisar os potenciais desafios de implementação. Foram utilizadas as seguintes bases de dados acadêmicas: Web of Knowledge, Scopus, SAGE Journals e Scielo; os principais campos de pesquisa englobaram Engenharia, Manufatura Avançada, Internet Industrial, Tecnologia de Produção, Sistema Cyber-Físico, Segurança da Informação e Computação em Nuvem. Critérios de inclusão e exclusão de artigos, definição das informações a serem extraídas dos artigos, análise, discussão e apresentação dos resultados foram considerados como etapas da revisão bibliográfica.

Para o desenvolvimento do mapeamento processual tecnológico, foi desenvolvido um estudo de caso único utilizando como modelo uma empresa multinacional do interior do estado de São Paulo que oferta produtos e serviços para

o mercado e montadoras automotivas, da mesma maneira para ferramentas elétricas e soluções em segurança, entre outros, e que já aplica os preceitos da Indústria 4.0 em sua linha de produção. O estudo de caso foi escolhido a fim de possibilitar uma análise em profundidade e com fontes de informações variadas de um contexto que se deseja estudar (CRESWELL, 1998). A escolha pela utilização de um único caso, estudo de caso único, é apropriado quando deseja-se determinar o que se propõe sobre uma teoria é correto, quando não existem muitas situações semelhantes para que seja feitos outros comparativos, ou ainda se as informações sejam de difícil acesso (STAKE, 2000).

Um dos processos da organização foi tomado como exemplo para estudo. O referido processo tem por base a manutenção e acompanhamento dos indicadores da linha de produção de sistemas para motores a gasolina, de modo a abrengrer processos essenciais para o funcionamento da linha através dos sistemas integrados pelos conceitos da Indústria 4.0.

A análise sob o ponto de vista da ergonomia cognitiva baseou-se na identificação dos requisitos mentais para trabalhar em meio a sistemas inteligente, entendendo as qualificações necessárias para o Engenheiro 4.0. Ademais, foram identificados os atributos da Indústria 4.0 e sua potencial relação com a ergonomia cognitiva.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Utilizando como modelo de estudo a planta de sistemas a gasolina da referida empresa, sobre a qual foi realizado um estudo de caso, foi observado que a indústria 4.0, em relação ao desenvolvimento industrial, abrange os quatro aspectos que compartilham o que se tem hoje, porém com o enfoque e perspectiva do futuro da fabricação, conforme abaixo.

- (1) **Fábrica:** como um dos principais componentes da Indústria 4.0, a futura fábrica envolverá uma nova integração, onde não apenas todos os recursos de fabricação (sensores, atuadores, máquinas, robôs, transportadores, etc.) estarão conectados e trocarão informações automaticamente, mas também ficará consciente e inteligente o suficiente para prever e manter as máquinas, para controlar a produção, bem como processar e gerenciar o sistema de fabricação. Além do que, muitos processos de fabricação, como design do produto, planejamento de produção, produção e serviços, serão simulados modularmente e, em seguida, conectados, de modo que, além de descentralizados, esses processos são controlados independentemente (LUCKE et al., 2008).

- (2) **Negócios:** Kagermann et al. (2013) afirmam que a Indústria 4.0 implica em uma comunicação completa entre várias empresas, fábricas, fornecedores, logística, recursos, clientes, etc. Cada seção otimiza sua configuração em tempo real, dependendo da demandas e status das seções associadas na rede, que faz o lucro máximo para todas as cooperativas com os recursos de compartilhamento limitado. Assim, a futura rede comercial é influenciada por cada seção cooperante, que poderia alcançar um status de auto-organização e transmitir o tempo real respostas.
- (3) **Produtos:** Abramovici (2013) apresenta que produtos serão integrados com sensores, componentes identificáveis e processadores que carregam informação e conhecimento para transmitir a funcionalidade, orientando os clientes e transmitindo o *feedback* para o sistema de fabricação, contribuindo, assim, para o desenvolvimento em tempo real de toda a cadeia produtiva.
- (4) **Clientes:** um novo método de compra será fornecido aos clientes, podendo alterar o seu pedido e ideias a qualquer momento durante a produção, mesmo no último minuto sem nenhum custo. Por outro lado, o benefício de produtos inteligentes, permitem ao cliente, não só conhecer as informações de produção do produto, mas também receber informações de utilização dependendo de seus próprios comportamentos (SCHLECHTENDAHL et al., 2015).

Logo, na empresa em estudo, observou-se que esses quatro aspectos são trabalhos de forma a se harmonizar com os preceitos da Indústria 4.0. Assim, tem-se que a integração e interoperabilidade das linhas é apenas uma parte do sistema da Indústria 4.0, que deve ser integrado de ponta a ponta, do cliente ao fornecedor, para assim se otimizar a cadeia como um todo. Observou-se a melhora expressiva do fluxo de produção e informações ao implementar sistemas da Indústria 4.0 na empresa em estudo.

Para orientar o desenvolvimento da indústria 4.0, foi observado, no presente trabalho, a adequação da proposta preconizada por Lee et al. (2015) por meio da arquitetura 5C (Quadro 2). Essa arquitetura é dividida em cinco níveis: nível de conexão; nível de conversão; nível cibernético; nível de cognição; e nível de configuração.

O *nível de conexão* concentra-se no desenvolvimento de hardware, que é realizado pela rede de sensores e comunicação sem fio, e os outros quatro níveis prestam atenção ao controle do sistema e implementação de software. No *nível de conversão*, os dados brutos são transformados em informações úteis usando

tecnologias de análise de dados. O 'Cyber Level' controla toda a rede através do CPS. O *nível de cognição* e *nível de configuração* envolvem a inteligência artificial na rede, que são considerados como atributos futuros da fabricação. A inteligência de fabricação é o principal alvo de muitos pesquisadores interessados em Indústria 4.0, que é representado por esses dois níveis. Comparando os atributos desses dois níveis e os da Indústria 4.0, o *nível de cognição* é considerado como um nível mais baixo da Indústria 4.0, enquanto que o *nível de configuração* tende a revelar características niveladas superiores da Indústria 4.0 que são consideradas como a realização da indústria.

Quadro 2: Arquitetura 5C para implementação do setor 4.0

Arquitetura 5C	Atributo principal	Função principal
Nível de conexão	Comunicável	Conexão de Hardware
Nível de Conversão	Informacional	Descoberta de informações
Nível Cibernético	Controlável	Sistema Automatizado
Nível de Cognição	Auto-cognição	Manutenção Preditiva
Nível de configuração	Auto-configuração	Produção inteligente

Fonte: Adaptado de HERMANN; PENTEK; OTTO (2015).

Portanto, quando esses vários tipos de ideias (visões futuras, exemplos de pesquisa e arquitetura de implementação) são mesclados e resumidos, sob a Indústria 4.0, vários conceitos de fabricação futura foram abstraídos. Esses conceitos são os principais princípios de design da Indústria 4.0, que se resumem em interoperabilidade e consciência. Estes dois principais princípios de design incluem muitos subconjuntos, de modo que a interoperabilidade consiste em digitalização, comunicação, padronização, flexibilidade, responsabilidade em tempo real e personalização. Por sua vez, a manutenção preditiva, a tomada de decisão, a apresentação inteligente, a autoaprovação, a autootimização e a autoconfiguração compreendem a consciência.

Analisando o sistema de fabricação atual e comparando-os com os conceitos da Indústria 4.0, constatou-se que apenas os sistemas de fabricação recentemente automatizados (célula automatizada de uma estação, sistema de montagem automatizada, sistema de fabricação flexível, sistema de fabricação integrado por computador e sistema de fabricação reconfigurável) estão envolvidos no escopo da quarta revolução industrial, conforme colocado por Kowal (2014). Cada sistema é detalhado abaixo.

No estudo de caso desenvolvido, a empresa em estudo adota o sistema de fabricação com células automatizadas de estação única, montagem automatizada, adotando o controle e integração por computador da fabricação, necessário para a Indústria 4.0, e possui células flexíveis, adaptando-se as variações de demanda quando necessário.

- Células automatizadas de estação única: em contraste com a célula tripulada, a célula automatizada é totalmente automatizada. As máquinas utilizadas não são atendidas por nenhum trabalhador durante mais de um ciclo de máquina. O custo da mão-de-obra diminuiu e a produtividade aumentou em comparação com a célula tripulada. No entanto, esse sistema também tem como alvo lotes de produtos constantes. Uma célula automática de estação única típica é composta por uma ou mais máquinas automatizadas (um conjunto de máquinas) e um sistema automático de carga e descarga, como robôs, transportadores, etc. O sistema de centro de máquinas CNC é um exemplo comum desse sistema, que pode mudar a ferramenta, posicionar o produto e alterar o eixo automaticamente (GROOVER, 2007).
- Sistema de montagem automatizada: a produção de fabricação aumentada foi construída na automação de montagem. Em comparação com o sistema de montagem manual, esse sistema usa um sistema de manuseio (geralmente robôs industriais) para substituir as tarefas dos trabalhadores. Um sistema de montagem totalmente automatizado é fixo, que é projetado para realizar uma ordem fixa de programação de montagem em um produto específico. Isso exige que o sistema seja altamente estável sem alterar o design do produto durante a produção, o que significa que os componentes do sistema são limitados. No entanto, este sistema compromete-se com produtos de elevada demanda, normalmente considerada em milhões. Os componentes do sistema são semelhantes aos do sistema manual, mas com duas partes importantes que substituem os trabalhadores: o sistema de manuseio e o sistema de alimentação. Além disso, o controle inclui controle de seqüência, monitoramento de segurança e controle de qualidade, que também é automatizado. Uma das aplicações mais comuns dos sistemas de montagem automatizada é a usinagem de laminação e fabricação de chapas, laminação operações, soldagem por pontos, operação de chapeamento, etc. (GROOVER, 2007).
- Sistema de fabricação flexível: é uma aplicação altamente automatizada de "tecnologia de grupo", na qual a flexibilidade é o recurso principal. No entanto,

um sistema de fabricação flexível é projetado para uma família de peças específicas, o que não é completamente flexível. Neste sistema, várias estações de trabalho estão conectadas a um sistema de alimentação de transporte automatizado, controlado por um sistema de computador distribuído. Toda peça de trabalho é identificada durante todo o ciclo de produção, que é capaz de alterar o processamento imediatamente. Portanto, neste sistema, a máquina e a utilização de materiais melhoram cada vez mais com um pequeno número de funcionários e espaço do sistema, o que também reduz os requisitos de inventário. Além disso, com a alta flexibilidade, o sistema pode fazer a rápida capacidade de resposta necessária para a mudança (GROOVER, 2007).

- Sistema de fabricação integrado por computador: foi primeiro reivindicado, em 1973, por Joseph Harrington. No entanto, não atraiu a atenção dos engenheiros até 1984, quando o computador e o sistema automatizado começaram a ser desenvolvidos na fabricação. O computador integrado ao sistema de fabricação conduz a uma fabricação completamente automatizada, onde os computadores controlam todas as funções. Um sistema de fabricação integrado de computador ideal implica a automação de nível de fábrica, desde o design, gerenciamento de materiais até a linha de produção e distribuição. Além disso, no sistema mais simples, são necessários pelo menos dois computadores integrados que trocam a informação. Neste sistema, a produção pode responder rapidamente com menos erro. Além disso, a capacidade mais importante deste sistema é a automação cooperativa (ALAVUDEEN; VENKATESHWARAN, 2008).

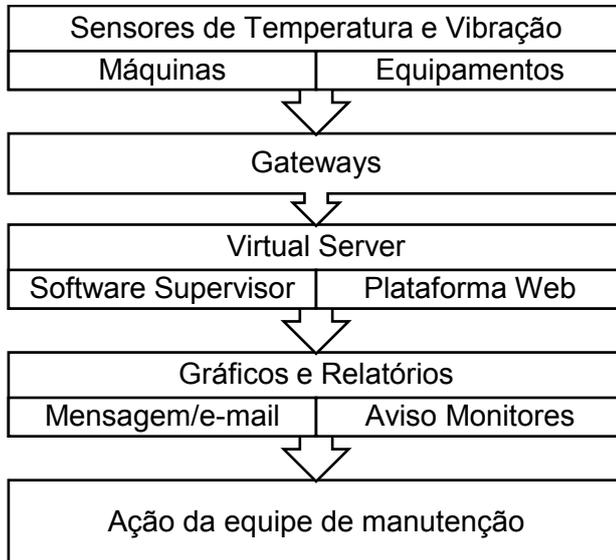
A identificação e análise das melhores práticas aplicadas pela empresa em estudo, no tocante às novas tecnologias que estão sendo implementadas para a Indústria 4.0, apontou como destaque a Manutenção Preditiva Online que visa obter uma previsibilidade de falha para cada componente monitorado em máquinas e equipamentos.

Utilizando sensoriamento por vibração e temperatura para o monitoramento das máquinas e equipamentos de interesse, envia-se dados em tempo real através de dispositivos de coleta e leitura dos sensores chamados de gateways, para softwares supervisórios e plataformas webs que são responsáveis pela consolidação e exibição dos dados de forma a facilitar a leitura e interpretação através de gráficos e relatórios.

Para o monitoramento de falhas críticas avisos são enviados por e-mail, mensagens para dispositivos móveis, e por meio dos gráficos exibidos nos monitores

assim, aumentando a eficiência da manutenção preditiva e reduzindo as atividades de manutenção corretiva, como observado no fluxograma abaixo. A Figura 1 mostra o fluxograma correspondente ao processo de Manutenção Preditiva Online

Figura 1: Fluxograma correspondente ao processo de Manutenção Preditiva Online



Fonte: elaboração própria (2018)

Com o monitoramento específico das máquinas e equipamentos na empresa em estudo, pode-se observar padrões em seu funcionamento e através da conexão com CPS a análise imediata de dados permite a identificação de possíveis falhas futuras por meio de pequenas alterações em seus gráficos de funcionamento. Dessa forma, os operadores e chefes de manutenção conseguem visualizar, por seus dispositivos e por meios dos avisos emitidos, as informações necessárias dos relatórios. Ao mesmo tempo, o sistema mostra a peça defeituosa e já aciona a equipe de manutenção, que na próxima parada da produção se desloca com o componente a ser substituído em mãos e realiza a operação necessária, otimizando assim a manutenção sem que a produção seja interrompida de forma inesperada pela quebra de uma peça.

Essa rotina de operação confirma o quanto os processos mentais serão requeridos diante do cenário da Indústria 4.0, uma vez que foi constatado um alto fluxo de informação associado à celeridade tomada de decisão diante do uso das novas tecnologias, de modo que uma crescente complexidade industrial em meio a um processo de virtualização tecnológica vai necessitar novas competências desse profissional.

Percebe-se, assim, que a exigência cognitiva no escopo da indústria 4.0 certamente será distinta daquela requerida na indústria tradicional, devido ao fluxo e

rapidez de transmissão das informações, necessidade de tomada de decisão acelerada e abordagens baseadas em sistemas inteligentes, demandando, do profissional, muitas atividades intelectivas, de modo a adentrar na área de estudo da Ergonomia Cognitiva.

De fato, a correta aplicação de conhecimentos de engenharia traz à análise, de modo crítico, das qualificações exigidas do colaborador inserido no contexto de manufatura avançada e internet industrial, especificamente do denominado Engenheiro 4.0. permitindo elencar quatro requisitos essenciais: (1) formação interdisciplinar; (2) capacidade de adaptação; (3) senso de urgência; (4) e bom relacionamento interpessoal. De fato, o engenheiro terá que romper e ultrapassar a busca somente por soluções técnicas para um problema, necessitando da interação com profissionais de diversas áreas, de criatividade e da capacidade adaptativa (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015; SHAFIQ et al., 2015).

Diante do apresentado no estudo de caso, observou-se ainda uma dificuldade dos operadores em assimilar as novas tecnologias aplicadas, visto que antes eram utilizadas planilhas impressas e relatórios gerais, de modo que não lidavam com o volume de dados agora administrados, elevando a exigência cognitiva dos mesmos, gerando desconforto pelo desconhecido e receio de possíveis demissões por desempenho. Para a melhoria da ergonomia cognitiva, sugeriu-se o treinamento matricial por área, dividido em 4 etapas, de A até D, em que o escopo é adaptado por operação, ensinando-os o funcionamento do sistema de monitoramento geral chegando até a operação que deve ser executada.

Observou-se uma melhora significativa de operação e produtividade após a conclusão dos treinamentos; a carga de exigência cognitiva foi mantida, porém com a assimilação das novas tecnologias e o correto aprendizado do funcionamento das mesmas auxiliou os operadores na execução de suas atividades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quarta revolução industrial traz consigo um novo paradigma, pautado na manufatura avançada e internet industrial. Assim, constatou-se que a exigência de processos mentais e cognitivos no escopo da indústria 4.0 certamente será distinta daquela requerida na indústria tradicional, devido ao fluxo e rapidez de transmissão das informações, necessidade de tomada de decisão acelerada e abordagens baseadas em sistemas inteligentes, demandando, do profissional, muitas atividades intelectivas, de modo a adentrar na área de estudo da ergonomia cognitiva. Ademais, é consenso a ausência de padronização de informações sobre a temática exposta,

principalmente no meio acadêmico, dificultando investigações mais aprofundadas por parte da comunidade científica.

O estudo de caso desenvolvido apontou como destaque a Manutenção Preditiva Online, que visa obter uma previsibilidade de falha para cada componente monitorado em máquinas e equipamentos. A rotina de operação vinculada com essa nova tecnologia confirma o quanto os processos mentais serão requeridos diante do cenário da Indústria 4.0, uma vez que foi constatado um alto fluxo de informação associado à celeridade tomada de decisão diante do uso das novas tecnologias.

De fato, especificamente na área de Engenharia, muito tem sido debatido sobre a formação do Engenheiro 4.0 e, nesse estudo, foi constatado que o engenheiro estará conectado à solução de problemas cada vez mais complexos em um ambiente digital, requerendo esforços cognitivos mais densos e habilidades sócio-emocionais mais apuradas, tais como comunicação, motivação, autonomia, perseverança, autocontrole, resiliência, colaboração e criatividade.

6. REFERÊNCIAS

ABRAMOVICI, M. (Ed.). Smart Product Engineering, 2013.

ALAVUDEEN, A.; VENKATESHWARAN, N. Computer integrated manufacturing, PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.

ASTARLOA, A.; BIDARTE, U.; JIMÉNEZ, J.; ZULOAGA, A.; LÁZARO, J. Intelligent gateway for Industry 4.0-compliant production, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, p. 4902-4907, 2016.

BAUERNHANSL, T. Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, In: BAUERNHANSL, T., M.; HOMPEL, T.; VOGEL-HEUSER, B. (eds). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, p. 3–35, 2014.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, v. 8, p. 37-44, 2014.

GROOVER, M. Single-station manufacturing cells, Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing, Prentice Hall Press, pp. 383-393, 2007.

HERMAN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. Technical University of Dortmund, Faculty of Engineering, Audi Endowment Chair Supply Net Order Management, 2015. Disponível em: http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf. Acesso em: 4 mar. 2017.

FALZON, P. (ed.). Ergonomia. São Paulo: Editora Blücher, 2007 .

IEA. International Ergonomics Association. The Discipline of Ergonomics. 2000. Disponível em: www.iea.cc/ergonomics. Acesso em: 3 mar. 2017.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 9ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

KAGERMANN, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: BAUERNHANSL, T., M.; HOMPEL, T.; VOGEL-HEUSER, B. (eds). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, p. 603–614, 2014.

KAGERMANN, H.; HELBER, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion, 2013.

KOWAL, J. Industry 4.0 and industrial Internet of Things are automation investment opportunities. Control Engineering v. 61, p. 46- 47, 2014.

LEE, E. A. Cyber physical systems: design challenges. In 11th IEEE Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), p 363–369, 2008.

LUCKE, D.; CONSTANTINESCU, C.; WESTKAMPER, E. A Step towards the Next Generation of Manufacturing, in: Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Springer London, pp. 115-118, 2008.

MORAES, A. de; MONFALVÃO, C. Ergonomia: Conceitos e aplicações. Série Design: Rio de Janeiro, 1998.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. Plattform Industrie 4.0.: Industrie 4.0 - Whitepaper FuEThemen, 2013. Disponível em: http://www.plattform40.de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf. Acesso em: 20 fev. 2017.

SCHLECHTENDAHL, J.; KEINERT, M.; KRETSCHMER, F.; LECHLER, A.; VERL, A.; Making existing production systems Industry 4.0-ready. Prod. Eng. Res. Devel. 9 143-148, 2015.

SHAFIQ,I.; SANIN, C.; SZCZEBICKI, E.; TORO, C. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: Aspecialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0, Procedia Computer Science, v. 60, p. 1146 – 1155, 2015.

SMARTFACTORYKL. Keyfinder production line, 2014. Disponível em: <http://smartfactory.dfki.uni-kl.de/en/content/demo/technological-demo/plant-industry4>. Acesso em: 20 fev.2017.

STAKE, R.; Naturalistic generalization. Review Journal of Philosophy and Social Science, 7, 1-12, 1982.

TORO, C.; BARANDIARAN, I.; POSADA, J. A perspective on Knowledge Based and Intelligent systems implementation in Industrie 4.0, Procedia Computer Science, v. 60, p. 362 – 370, 2015.

Contatos:

mateus.faraj@gmail.com

alessandra.akkari@mackenzie.br