

# Pavimentando o caminho em direção à Indústria 4.0

POR **MICHAEL GOMES ROGANA, FERNANDO CASTRO ALVES DE SOUSA, ALAIR DIAS JÚNIOR, ANDRÉ LUÍS RESENDE MONTEIRO, LEONARDO DE BARROS SILVA E HUGO TADEU**

Com o rápido avanço tecnológico das últimas décadas, o conceito de "transformação digital" vem ganhando projeção e, além da discussão teórica e acadêmica, se materializa nos fenômenos contemporâneos da chamada Quarta Revolução Industrial – tecnologias de automação e troca de dados que utilizam conceitos de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas e computação em nuvem (Hermann, Pentek, Otto, 2015). Na indústria, a transformação digital se manifesta pelo avanço tecnológico da automação de processos e integração de diversos níveis de sistemas, máquinas e processos, que visam aumentar produtividade e eficiência operacional, reduzindo custos.

A utilização de computadores para dar suporte às tarefas em ambientes industriais começou por volta dos anos 1970 e vem crescendo expressivamente. Inicialmente, os computadores eram utilizados apenas para auxiliar as tarefas de projeto e produção (*computer-aided design* e *computer-aided manufacturing*). O termo Manufatura Integrada por Computador (CIM, do inglês *Computer Integrated*

*Manufacturing*) define uma nova tendência, de ampliação do uso do computador também em outras tarefas que abrangem as funções de negócio nas empresas (Alavudeen, 2008).

Entre os modelos de CIM existentes, um dos mais conhecidos é o PRM (Purdue Reference Model), proposto em 1989, pelo comitê de modelo de referência CIM, que serviu de base para o desenvolvimento do padrão S-95 da ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society). Esse padrão estabelece critérios para a integração do gerenciamento de informações da empresa com os sistemas do chão de fábrica. Segundo Yukio (2006), a leitura atual da sigla CIM dá ênfase ao "I", de integração, e para que as empresas de manufatura executem suas estratégias é preciso haver uma integração completa da manufatura, através da educação e da metodologia. Um sistema de automação integrado deve atender a uma série de requisitos, com funções bem definidas, e permitir a operação da planta com segurança, atendendo aos requisitos de máxima produtividade e mínima utilização de matéria-prima e energia.

## PARA QUE A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL SEJA BEM IMPLANTADA NO NÍVEL CORPORATIVO, ALÉM DA DIGITALIZAÇÃO DOS PROCESSOS, EXIGE UM MODELO DINÂMICO E GRADUAL DE MATURIDADE DIGITAL

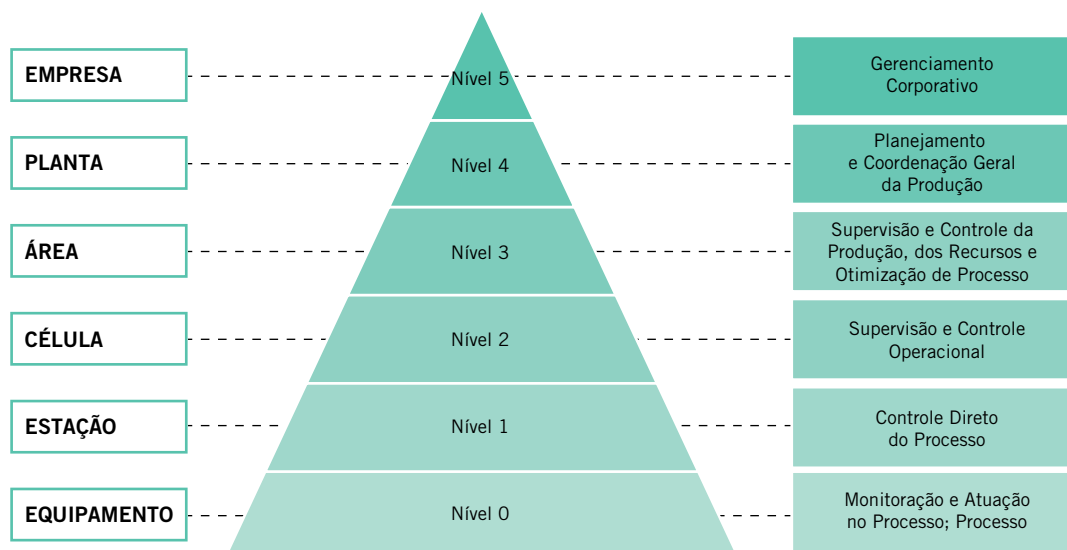
O PRM considera um modelo para automação industrial composto de seis níveis (Williams, 1989), mas exclui do CIM os níveis 0 e 5, sob o argumento de que “no nível 0 existe uma grande diferença entre equipamentos e funções nos diversos tipos de indústrias” que impediriam a interoperação entre os equipamentos e, “no nível 5, as tarefas são consideradas inovativas e não podem ser matematicamente modeladas utilizando tecnologias atuais”, dificultando as análises dos dados por meio do computador

(numa tradução livre). Observando o desenvolvimento das tecnologias digitais nas últimas décadas, em especial, as evoluções em redes de computadores e padrões de comunicação, que permitem a uniformização do tráfego de dados do chão de fábrica, e os avanços na teoria da informação, inteligência artificial e ciência dos dados, que permitem a modelagem e análise de uma maior quantidade de dados de alto nível, podemos extrapolar o modelo PRM e incluir níveis não considerados originalmente (**Figura 1**).

Williams (1989) descreve os níveis do modelo apresentado na Figura 1:

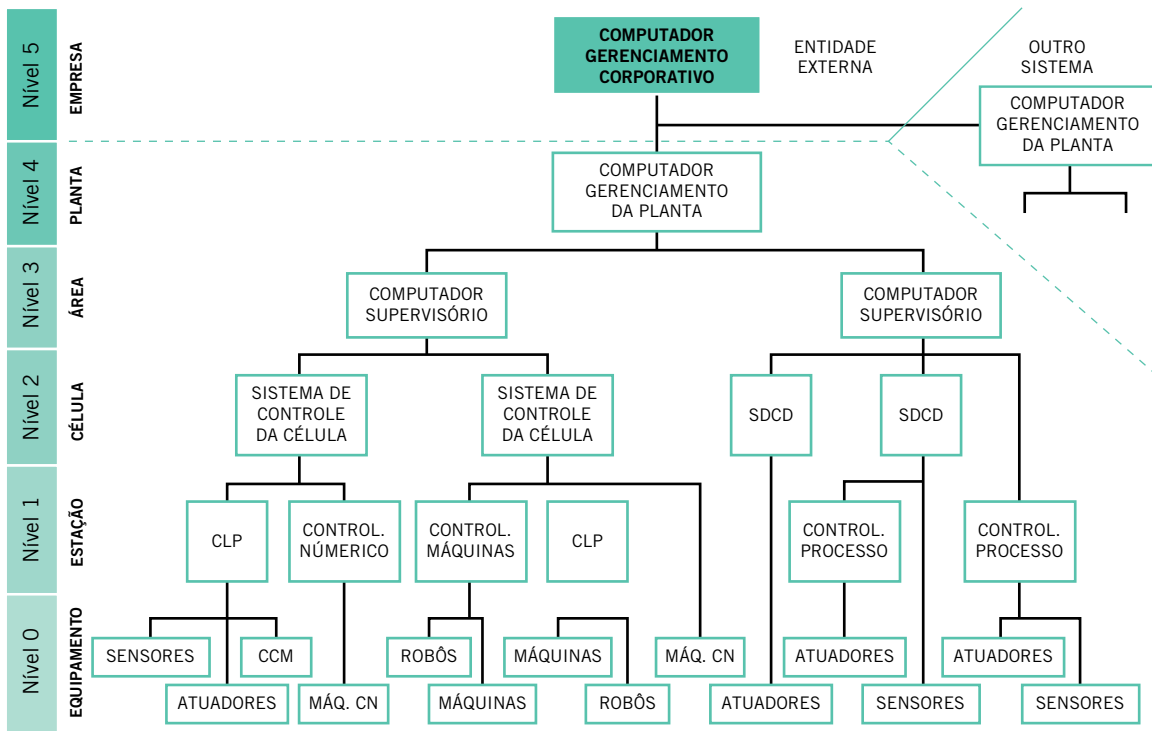
- **Nível 5** – Gerenciamento corporativo – integra informações financeiras, de marketing, vendas, pesquisa e desenvolvimento, descritas em alto nível, com o objetivo de gerenciar a empresa e direcioná-la de forma efetiva para o cumprimento de sua missão.
- **Nível 4** – Planejamento global da produção – responsável pelas funções de planejamento e escalonamento da produção, incluindo design de produtos, engenharia de produção e gerenciamento global da produção de recursos e insumos, e da manutenção.
- **Nível 3** – Alocação e supervisão de materiais e recursos – coordena a produção e oferece suporte

**FIGURA 1** | NÍVEIS FUNCIONAIS DA ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO



FONTE: YUKIO, 2006, P. 19.

FIGURA 2 | EXEMPLO DE ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO NUMA EMPRESA DE MANUFATURA



FONTE: YUKIO, 2006, P. 19.

a tarefas de produção, além da obtenção e alocação de recursos para essas tarefas. Nesse nível, ocorrem os gerenciamentos locais da produção, de recursos e insumos e da manutenção, tratamento de resíduos e expedição.

- **Nível 2** – Coordenação de múltiplas máquinas e operações – sequencia e supervisiona as tarefas do chão de fábrica e vários serviços de suporte.
- **Nível 1** – Comando de máquinas, sequências e equipamentos – direciona e coordena a atividade dos equipamentos do chão de fábrica.
- **Nível 0** – Ativação de sequências e movimentos – realiza comandos para os equipamentos do chão de fábrica.

A **Figura 2** apresenta um exemplo de estruturação hierárquica dos sistemas de automação numa empresa de manufatura, com os níveis em que os sistemas normalmente são empregados. Utiliza o modelo PRM original e considera o Nível 5 como entidade externa.

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL** Apesar de estar sendo desenvolvido no meio industrial há muitos anos, o conceito de CIM não podia ainda ser implementado em todos os seus níveis (de 0 a 5, considerando o PRM da Figura 1), devido a problemas no chão de fábrica, alguns deles já destacados por Williams (1989): equipamentos de fabricantes diferentes; várias redes e protocolos de comunicação; falta de integração entre áreas, devido ao custo de infraestrutura; ilhas de processos não interligados; controles manuais ainda não automatizados ou computadorizados; equipamentos obsoletos tecnologicamente.

A digitalização dos processos industriais tem atenuado esses problemas e, em alguns casos, eles não são mais obstáculos à implementação efetiva da CIM, permitindo a obtenção de melhores resultados em todos os níveis. No entanto, para que a transformação digital seja bem implantada no nível corporativo, além da digitalização dos processos, exige um modelo dinâmico e gradual de maturidade digital.

### DIMENSÕES DOS MODELOS DE MATURIDADE DIGITAL

Para que o processo de transformação digital aconteça, a empresa precisa implantar um “processo gradual, que deve ser desdobrado por toda a organização ao longo do tempo” (Kane et al., 2015) – a maturidade digital, processo evolucionário e não radical.

Tadeu et al. (2018) consideram que a maturidade digital é resultado de um processo relacionado a 10 dimensões (Figura 3). O primeiro passo é saber até onde a empresa quer chegar, no longo prazo, dentro da dimensão “Estratégia Organizacional e Processos Digitais”. Esse seria o grande direcionador das outras dimensões do processo de transformação digital. Novos modelos de negócios são, em geral, resultantes de ações em algumas ou muitas das dez dimensões apresentadas.

Assim, a transformação digital não pode ser tratada como um modelo instantâneo e radical, mas como forma de transformação que deve ser estudada, pois impõe novos desafios às organizações (Matt et al., 2015).

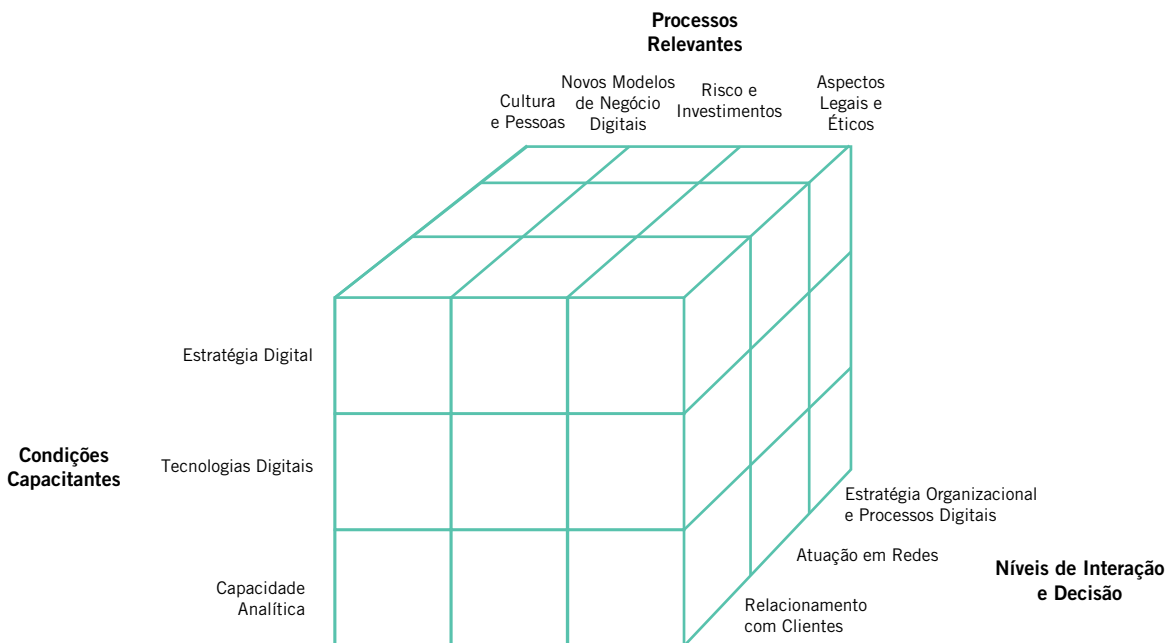
Neste artigo, vamos analisar as tecnologias digitais do grupo TCS que têm caráter inovador e podem ser aplicadas na indústria e no varejo. A partir de um

levantamento interno do grupo, apresentaremos aplicações, funcionalidades, arquiteturas e diferenciais dos produtos e soluções que remetem aos conceitos de transformação digital (Internet das Coisas, virtualização, visão computacional e infraestrutura em nuvem). Também vamos mostrar os resultados da implantação dessas tecnologias em clientes do grupo, como os principais avanços tecnológicos recentes podem alterar a organização do ambiente industrial e a transformação digital, quando adotada efetivamente dentro das organizações, levar a um efeito em cascata que se reflete em toda a cadeia produtiva.

### SOBRE O GRUPO TCS

O grupo TCS (Technologies and Creative Solutions) é composto por empresas divididas em várias verticais, com a proposta de atuar no mercado de inovação tecnológica para a indústria e varejo. Fundado, em 2004, e estabelecido no centro de inovação Raja Valley, em Belo Horizonte, o grupo passou por um processo de fusão com o próprio Raja Valley, por meio de uma *joint venture*. A equipe do TCS é composta por engenheiros eletricitas e de automação e cientistas da computação. Também conta com mestres, doutores e alunos de mestrado e doutorado, que trabalham em linhas de pesquisa

FIGURA 3 | DIMENSÕES DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL



FONTE: BRAGA TADEU, MOURA DUARTE, TAURION CEZAR, 2018.

sobre os pilares da quarta revolução industrial (IoT, Inteligência Artificial, *Big Data*, dispositivos móveis, impressoras 3D, sensores inteligentes, realidade virtual/aumentada e computação em nuvem).

Dentre suas principais atividades, estão os programas de pré e aceleração de startups, desenvolvimento de pesquisa e trabalhos, juntamente com grandes centros de referência (UFMG e CEFET), projetos de automação industrial (programação de controladores lógico-programáveis, sistemas de supervisão e controle, acionamentos elétricos, instrumentação, etc.), desenvolvimento de produtos e soluções, alinhados com a quarta revolução industrial, e desenvolvimento de produtos inovadores e customizados para o mercado de varejo.

Após a *joint venture*, o grupo TCS e o Raja Valley vêm se firmando como centro de inovação, unificando pesquisa, empreendedores, tecnologias e investidores, fechando todo o ciclo das startups (pré-aceleração, aceleração e mercado).

**ATUAÇÃO DO GRUPO TCS NO MODELO DE MATURIDADE DIGITAL** O grupo TCS desenvolve produtos, soluções, serviços e consultoria nas seguintes dimensões, considerando o modelo de maturidade digital da Figura 3:

- **Tecnologias digitais** – possui uma equipe com *know-how* e produtos/soluções para TI, instrumentação, automação industrial, visão computacional, IoT, inteligência artificial, sensores inteligentes, computação na nuvem, entre outros.
- **Capacidade analítica e preditiva (*Predictive Analytics*)** – conta com mestres e doutores na área de inteligência computacional, além de um doutorando com linha de pesquisa aplicada nesta área. Também possui ferramentas próprias e proprietárias para realizar a análise preditiva de processos e dados.
- **Relacionamento em redes** – com a *joint venture*, se estabeleceu como centro de inovação, interagindo e trabalhando de forma integrada com fornecedores, startups, universidades, fundos de investimento e empresas operacionais de tecnologia e inovação.
- **Estratégia organizacional e processos digitais** – no âmbito industrial, atua nas diversas áreas funcionais, integrando o chão de fábrica aos níveis corporativos, com tecnologia da informação, automação industrial e inteligência artificial.

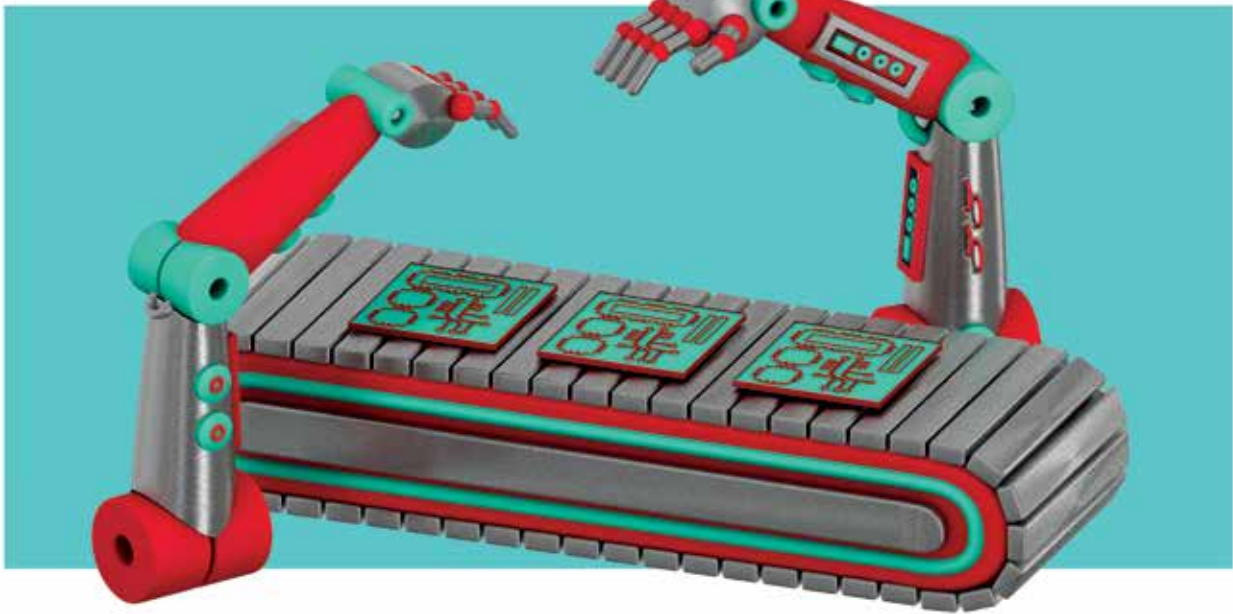
- **Novos modelos de negócio digitais** – atua num ecossistema digital – o Raja Valley – onde há um ambiente intenso de ofertas de produtos, serviços e soluções, por meio de plataformas digitais integradas, que constantemente possibilitam a criação de novos modelos de negócio.

#### **ESTUDO DE CASO DO GRUPO TCS: TECNOLOGIA QUE FOMENTA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL AO LONGO DA CADEIA PRODUTIVA**

Muitas das soluções oferecidas pelo grupo TCS aos seus clientes geram grandes transformações em suas estruturas. O sistema MMI, por exemplo, permite o controle mais completo dos parâmetros de produtividade. O MMI OEE foi aplicado em duas unidades de produção da Teksid, monitorando a produção e paradas de quatro máquinas. O resultado obtido permitiu melhorias no processo de produção e correções técnicas nos computadores industriais. O MMI Trends foi implementado na FCA com o objetivo de monitorar as variáveis analógicas e digitais de algumas máquinas, projeto denominado internamente de “Máquinas que Falam”, que está em expansão para outras áreas.

Sistemas de visão computacional, combinados com técnicas de *Machine Learning*, também permitem que sejam atingidos níveis de qualidade e eficiência que dificilmente seriam alcançados de outro modo. Na própria FCA, foram instalados diversos sistemas de visão computacional como, por exemplo, um sistema para verificar o cravamento da porca da linha de transmissões e para inspeção da arruela ondulada e espaçado da linha de transmissões. Todos esses sistemas permitiram expressivos ganhos de produtividade e redução de custos nas linhas.

A inovação e a transformação digital na cadeia produtiva podem ser iniciadas por necessidades de clientes, como nos casos apresentados, mas também por uma transformação interna. Por iniciativa do grupo TCS, foram disponibilizados veículos com o sistema Pick'n' Drive, para atender mais de 400 residentes vindos de várias empresas do ecossistema de inovação do Raja Valley. Trata-se de um produto modular que faz o controle inteligente de uma frota de veículos, permitindo o uso de frota compartilhada e a gestão da frota, de rotas e entregas. Utilizando rastreadores instalados nos carros, é possível aumentar a eficiência da frota, de forma que mais usuários possam ser atendidos pelo mesmo carro, aumentando a taxa de ocupação de cada carro e, assim,



reduzindo a frota imobilizada. No Raja Valley, os veículos são fornecidos por um consórcio entre o grupo TCS e a Pacto Locação de Veículos. Assim, na locação de um carro pelo residente, por hora, todo o processo de *check-in* e *checkout* é automatizado e, praticamente, não depende da intervenção humana. O residente paga apenas pelas horas de locação do carro e pode fazer, via web, o agendamento, a análise e controle de todas as faturas de uso do carro. Esse modelo, que foi adotado internamente, se tornou também um produto do grupo TCS, que tem como cliente, por exemplo, o grupo Carbel. O grupo Carbel possui uma frota de carros para entrega de peças a clientes, além de oferecer transporte de ida e volta àqueles que deixam seus carros para manutenção na concessionária. O módulo de gestão de entrega e rotas do Pick'n' Drive permite o controle em tempo real da frota, das rotas, das peças entregues e dos clientes deixados em suas residências.

Outro exemplo do efeito cascata de transformação digital ao longo da cadeia produtiva é o sistema *Trace*, que foi implantado na FCA (grupo Fiat), com o objetivo de monitorar a produção de peças em 10 linhas do setor de suspensão. O *Trace* realiza o rastreamento completo do processo de produção de manufatura. A partir da comunicação com computadores industriais, todos os dados das operações realizadas sobre determinada peça (aperto de parafusos ou prensagens, por exemplo) são obtidos em tempo real e posteriormente consolidados. A partir daí, o gestor da produção tem acesso detalhado a toda a rastreabilidade do equipamento, podendo obter informações sobre as estações de trabalho que a peça percorreu, operações aplicadas sobre ela, quais peças foram produzidas de forma incorreta e

estatísticas sobre a qualidade geral da produção, por exemplo. Assim, o sistema garante a confiabilidade dos dados coletados, além de permitir um controle preciso da produção de cada peça, otimizando o tempo de processos internos da área. Além disso, eventuais processos de *recall* tornam-se mais rápidos, eficientes e assertivos, com menor custo.

Os resultados obtidos com a instalação do *Trace* nessas linhas da FCA começam a fomentar a transformação ao longo da sua cadeia de fornecedores. Uma versão do *Trace* está sendo desenvolvida para a empresa Magneti Marelli, fornecedora da FCA. Essa transformação, em princípio espontânea, tende a se tornar uma obrigatoriedade, na medida em que o ator-chave da cadeia produtiva – no caso, a FCA – começa a exigir de seus fornecedores um nível de controle na produção equivalente. Outra tecnologia que pode acelerar o processo de obrigatoriedade de adoção de sistemas de rastreamento semelhantes ao *Trace* é o *Blockchain*.

Uma das principais tecnologias envolvidas no fenômeno das criptomoedas, a tecnologia *Blockchain* pode ser entendida como um banco de dados distribuído, mantido e gerenciado por uma base descentralizada, por meio de uma rede *peer-to-peer* (P2P), na qual todos os participantes são igualmente responsáveis por armazenar e manter os dados. Um *Blockchain* é uma lista crescente de registros, chamados blocos, que são vinculados e protegidos, usando criptografia. Cada bloco normalmente contém um *hash* criptográfico do bloco anterior, um registro de data e hora e dados de transação. Esse *hash* garante, por design, que o *Blockchain* seja resistente à modificação dos dados, pois uma alteração em algum dos blocos corrompe a cadeia.

Assim, a combinação de *Blockchain* e Internet das Coisas Industrial (IIoT) pode ser muito poderosa, pois fornece confiabilidade auditável para transações de vários tipos, importantes em uma cadeia de produção industrial. Além disso, o uso intenso da criptografia, uma característica fundamental das redes *Blockchain*, traz o alto nível de segurança para todas as interações na rede. Trata-se ainda de uma tecnologia nova e seus benefícios para a área industrial estão apenas começando a ser explorados, mas sua combinação com sistemas de rastreamento semelhantes ao *Trace* permitiriam maior controle dos eventos de produção, criando um registro imutável e indelével do histórico de fabricação de produtos.

Assim, a partir da aplicação de tecnologias em pontos chave na cadeia produtiva é possível iniciar a propagação da transformação digital ao longo dessa cadeia. Esse efeito é visível em algumas soluções oferecidas pela TCS aos seus clientes e acredita-se

que esses efeitos serão cada vez mais observados, na medida em que as tecnologias envolvidas na chamada Indústria 4.0 ganhem maturidade e aceitação na indústria brasileira.

---

**MICHAEL GOMES ROGANA** é empresário e fundador do grupo TCS.

---

**FERNANDO CASTRO ALVES DE SOUSA** é empresário e fundador do grupo TCS.

---

**ALAIR DIAS JÚNIOR** é sócio do grupo TCS. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG. Doutor e mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG, com estágio pós-doutoral na École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suíça.

---

**ANDRÉ LUÍS RESENDE MONTEIRO** é sócio do grupo TCS. Doutorando em visão computacional pela UFMG e mestre em visão computacional pela PUC-MG.

---

**LEONARDO DE BARROS SILVA** é engenheiro de *software* na Oracle e especialista com foco em processamento de alto desempenho em nuvem e inteligência artificial.

---

**HUGO TADEU** é professor de Inovação e Produtividade do Núcleo de Inovação e Empreendedorismo da Fundação Dom Cabral.

#### PARA SE APROFUNDAR NO TEMA

ALAVUDEEN, A.; VENKATESHWARAN, N. **Computer integrated manufacturing**. Nova Deli: PHI Learning, 2013. 440 p.

KANE, Gerald C. et al. **Strategy, not technology, drives digital transformation**. 2015. Disponível em: <<https://sloanreview.mit.edu/projects/strategy-drives-digital-transformation/>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

KHAN, Shahyan. **Leadership in the digital age: a study on the effects of digitalization on top management leadership**. 2016. 57 p. Dissertação (Master Thesis) - Stockholm Business School, Stockholm University, Estocolmo, 2016. Disponível em: <<https://su.diva-portal.org/smash/get/diva2:971518/FULLTEXT02.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review**. Dortmund: Technische Universität Dortmund, 2015. 15 p. Disponível em: <[http://www.thiagobranquinho.com/wp-content/uploads/2016/11/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.thiagobranquinho.com/wp-content/uploads/2016/11/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2018.

MATT, C.; HESS, T.; BENLIAN, A. Digital transformation strategies. **Business & Information Systems Engineering**, v. 57, n. 5, 2015. p. 339–343.

TADEU, Hugo Ferreira Braga; DUARTE, André Luís de Castro Moura; TAURION, Cezar. **Transformação digital: perspectiva brasileira e busca da maturidade digital**. 2018. Disponível em: <[https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/Materiais/White\\_Paper\\_Hugo\\_Andre%CC%81\\_Cezar.pdf](https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/Materiais/White_Paper_Hugo_Andre%CC%81_Cezar.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2018.

WILLIAMS, Theodore J. **Reference model for computer integrated manufacturing (CIM) computer integrated manufacturing: a description from the viewpoint of industrial automation**. Carolina do Norte: Instrument Society of America, 1989. 223 p.