

# UM MODELO CONCEITUAL PARA A INDÚSTRIA 4.0: O ATUAL DESAFIO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO NO BRASIL

*A CONCEPTUAL MODEL FOR INDUSTRY 4.0: THE CURRENT CHALLENGE OF MANUFACTURING ENGINEERING IN BRAZIL*

**Fernando Luiz Goldman<sup>1</sup>, Vitoria Lima Lau<sup>2</sup>, Larissa de Souza Monteiro<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Docente do Curso de Graduação em Engenharia de Produção do UNIFESO, Teresópolis, RJ, <sup>2</sup>Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Produção do UNIFESO, Teresópolis, RJ*

## Resumo

Em face das confusões conceituais entre inovações e tecnologias - envolvendo entender como as inovações fornecem novas tecnologias e, ao mesmo tempo, como essas tecnologias emergentes (especialmente as da informação e das comunicações - TIC) possibilitam diferentes tipos de inovações (incrementais, radicais e disruptivas) - busca-se um modelo conceitual para capturar o real impacto da digitalização e da automação da produção, na chamada Indústria 4.0. O artigo objetiva prospectar características para um modelo conceitual adequado a analisar a inovação radical - não linear e baseado em rotinas multiníveis - como uma capacitação (competência) gerenciável no contexto da Indústria 4.0. Esta pesquisa explora criticamente a teoria, fornecendo análises consistentes, capazes de elicitar e / ou apoiar futuras pesquisas empíricas, e novas perspectivas teóricas sobre a Indústria 4.0. Com base no referencial teórico pesquisado, focado na Economia Evolucionária Neoschumpeteriana, identificam-se quatro tipos de rotinas, que permitem a elaboração de um modelo conceitual para investigar - em diferentes empresas, em grupos de empresas, em programas governamentais, etc. - se a inovação é sistematizada, sendo realmente uma capacitação gerenciável, como esperado na verdadeira Indústria 4.0. Apesar da limitação de ainda haver poucas pesquisas empíricas já realizadas com o modelo construído, os elementos identificados permitem uma melhor compreensão dos fundamentos da Indústria 4.0. O modelo conceitual de análise, aqui identificado, lançará luz para melhores estudos futuros sobre a Indústria 4.0, possibilitando a modelagem e a simulação computacional para apoiar os tomadores de decisão, testando e implementando estratégias e políticas públicas do mundo real.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0. Inovação. Economia Evolucionária. Rotinas. Capacitações.

## Abstract

Given the conceptual confusions between innovations and technologies - involving understanding how innovations provide new technologies and, at the same time, how these emerging technologies (especially information and communication - ICT) enable different types of innovations (incremental, radical and disruptive) - a conceptual model is sought to capture the real impact of digitization and production automation in the so-called Industry 4.0. The article aims to prospect features for an appropriate conceptual model to analyze radical innovation - nonlinear and based on multilevel routines - as a manageable capability (competence) in the context of Industry 4.0. This research critically explores the theory, providing consistent analysis capable of eliciting and / or supporting future empirical research, and new theoretical perspectives on Industry 4.0. Based on the researched theoretical framework, focused on the Neoschumpeterian Evolutionary Economy, four types of routines are identified, which allow the elaboration of a conceptual model to investigate - in different companies, groups of companies, government programs, etc. - if innovation is systematized and is really a manageable capability, as expected in true Industry 4.0. Despite the limitation that there are still few empirical researches already performed with the built model, the identified elements allow a better understanding of the Industry 4.0 fundamentals. The conceptual analysis model identified here will shed light on better future studies on Industry 4.0, enabling modeling and computer simulation to support decision makers by testing and implementing real-world strategies and public policies.

**Keywords:** Industry 4.0. Innovation. Evolutionary economics. Routines. Capabilities.

## Introdução

A partir do último quarto do século XX, uma mudança teórica de enorme impacto vem sendo sentida sobre como as empresas e nações percebem a dinâmica da inovação tecnológica.

Dantas (2006, p. 44) assim define esta fase:

Os processos de valorização e acumulação do capital sustentam-se, hoje em dia, em regimes de trabalho que têm por origem e fim a obtenção, processamento, registro e comunicação da informação. O produto desse trabalho é conhecimento que, no capitalismo avançado, passou a ser objeto de processos de valorização e apropriação. Por escaparem ao princípio da escassez, informação e o conhecimento suscitam não poucos problemas para as teorias econômicas.

Há, assim, a necessidade de superar o paradigma da Organização Industrial, adotando novos elementos evolucionários e institucionais, capazes de lidar com o que vem sendo chamado de Sociedade da Informação e do Conhecimento (TIGRE, 2005).

Hoje, com o fortalecimento do uso da abordagem evolucionária e do pensamento complexo nos estudos sobre o desenvolvimento, as literaturas sobre Economia e Gestão estão prestando atenção crescente ao ambiente tecnológico, competitivo e institucional da chamada Indústria 4.0.

No Brasil, país de industrialização tardia, esta nova revolução industrial demanda intenso esforço de pesquisa qualitativa, quase sempre multidisciplinar, envolvendo as Engenharias e as Ciências Sociais, para uma melhor compreensão do papel, ou papéis que a competência para inovar precisará desempenhar.

No entanto, há ainda muitas confusões conceituais entre inovações e tecnologias - envolvendo entender como as inovações fornecem novas tecnologias e, ao mesmo tempo, como essas tecnologias emergentes (especialmente as da informação e das

comunicações - TIC) possibilitam diferentes tipos de inovações (incrementais, radicais e disruptivas).

Assim, para melhor entender as tecnologias emergentes - sejam elas técnicas (em produtos, processos ou serviços, mais ligadas às ciências naturais e da computação), modelos de negócios ou - cada vez mais - organizacionais e institucionais - duas dimensões devem ser reconhecidas: as próprias inovações - com suas tecnologias derivadas - e as capacitações para lidar com a inovação, que vêm sendo denominadas de Capacitações Dinâmicas. Estas duas dimensões afetam a dinâmica da inovação de diferentes maneiras.

Por um lado, os indivíduos e os arranjos organizacionais estão rapidamente se tornando mais aptos à inovação incremental, usando - principalmente, mas não apenas - as Tecnologias da Informação e das Comunicações (TIC), que, conforme vão se democratizando, passam a ser comumente designadas apenas por “tecnologias”. Alguns exemplos de tecnologias que propiciam inovações incrementais são: Inteligência Artificial (AI), algoritmos de “machine learning”, robótica avançada, manufatura aditiva, blockchain, sensores, Big Data, drones, Internet of things, crowdsourcing, dentre outras - que há poucos anos estavam disponíveis apenas a governos e grandes empresas.

Por outro lado, novas competências organizacionais são necessárias para lidar com as novas tecnologias - políticas de transformação digital, mudanças estratégicas e programas de parceria com startups são bons exemplos de inovações radicais.

Justifica-se, assim, que ainda mais pesquisas teóricas e empíricas sejam feitas para caracterizar uma gestão intencional da inovação tecnológica, apesar das décadas de atenção recebida pelo tema, tanto no âmbito da pesquisa acadêmica quanto dos consultores prescritivos. Além disso, há a necessidade de superar, teoricamente e empiricamente, as limitações das diretrizes para coleta e interpretação de

dados sobre inovação radical no Manual de Oslo (OECD, 2005, p. 70).

A partir do amplo contexto descrito, surge a seguinte questão de pesquisa: quais são os elementos que caracterizam a inovação radical como uma competência gerenciável na Indústria 4.0? O objetivo do artigo é analisar as características necessárias a um modelo conceitual para analisar a inovação radical – não linear e baseado em rotinas multiníveis – como uma capacitação (competência) gerenciável no contexto da Indústria 4.0 no Brasil.

Além desta introdução, este artigo tem quatro seções. A segunda, Referencial Teórico, traz os argumentos que fundamentam a pesquisa. A terceira, Aspectos Metodológicos, qualifica a pesquisa descrita quanto aos métodos e meios empregados. Os resultados são apresentados e discutidos na quarta seção e, finalmente, na quinta seção, algumas considerações finais são apresentadas juntamente com sugestões para pesquisas futuras.

### Referencial teórico

Na transição da Economia Industrial para a Sociedade da Informação e do Conhecimento, a Economia Evolucionária reforça as ideias de Schumpeter (1957 [1934], 1961 [1942]) sobre a importância da “competência para inovar” (STIGLITZ, 2014) nos estudos sobre desenvolvimento de economias de mercado. Um dos temas centrais da Economia Evolucionária diz respeito a como a mudança de conhecimento econômico se aplica à tecnologia e à produção (DOPFER, 2005, p. 3). “O reconhecimento [na Economia Evolucionária] das rotinas e das competências (capacitações), operacionais ou dinâmicas, leva à percepção da [competência para inovar] como uma competência possível de ser gerenciada” (GOLDMAN et al., 2018). Conforme afirmado por Baregheh et al. (2009, p. 1334), “Inovação, e como ela é gerenciada, é uma questão estratégica chave. É de interesse para os

profissionais e pesquisadores em uma série de disciplinas de negócios e gestão”.

O termo Indústria 4.0 foi cunhado na Alemanha - os Estados Unidos e a China preferem Manufatura Avançada (Advanced Manufacturing) - que busca capturar o impacto da digitalização e da automação na produção industrial. Foi usado pela primeira vez em 2011 para identificar novas propostas para as futuras políticas econômicas alemãs, sendo baseado em estratégias de alta tecnologia (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018), e tem sido muito mencionado na literatura, como algo que está por vir, mas que na prática já está acontecendo. Embora muitos julguem que, no contexto da Indústria 4.0, os “países desenvolvidos reforçaram suas apostas sobre a importância da manufatura, propondo um conjunto de políticas voltadas à primazia industrial e tecnológica em um cenário de forte competição” (DAUDT; WILLCOX, 2016), na verdade há algo muito mais profundo acontecendo, como alerta o President’s Council of Advisors on Science and Technology (PCAST) ao presidente dos Estados Unidos no encaminhamento do relatório que propõe as bases da Manufatura Avançada:

Não acreditamos que a solução seja a política industrial, em que o governo investe em empresas ou setores específicos. No entanto, acreditamos firmemente que a Nação exige uma política de inovação coerente para garantir que a liderança dos EUA apoie novas tecnologias e abordagens e forneça a base para empregos de alta qualidade para os americanos no setor manufatureiro. (President’s Council of Advisors on Science and Technology, 2011, Dear Mr. President, tradução nossa)

“A Indústria 4.0 influencia significativamente o ambiente de produção com mudanças radicais na execução das operações” (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016, p. 816), mas, infelizmente, inovações radicais têm sido muito confundidas com as inovações disruptivas,

originalmente propostas por Christensen em 1997 (CHRISTENSEN; RAYNOR; McDONALD, 2015). Como apontado por Kusiak (2016, p. 255), “não há uma compreensão profunda do processo de inovação, que é complexo e não foi bem capturado ou formalizado. Não há teoria unificada nem modelo confiável para inovação. Não há ciência da inovação”. A própria dificuldade de conceituar inovações incrementais, radicais e disruptivas é um traço dessa falta de uma teoria unificada (GOLDMAN, 2016).

Mancilha e Gomes (2018, p. 222) ressaltam que “o Brasil, país líder em alguns setores industriais, precisa se apressar e começar a corrida industrial de forma organizada e focada para surfar essa nova onda e manter ou aumentar seus mercados”. Certamente, um modelo conceitual de análise multinível não linear para estudar a inovação radical como uma capacidade gerenciável (competência) no contexto da Indústria 4.0 será uma ferramenta importante nesta corrida.

Vromen (2011) argumenta que as rotinas podem ser proveitosamente concebidas como mecanismos de vários níveis. Segundo ele, o mérito de ver as rotinas como mecanismos multiníveis é que isto ajuda a montar um quadro coerente do que as rotinas são, o que as rotinas fazem e como elas o fazem. Em particular, ajuda na obtenção de uma imagem mais clara de como as habilidades (skills) e as rotinas são ontologicamente (ao invés de apenas metaforicamente) relacionadas entre si. Para ele, esta abordagem multiníveis permite ver que as rotinas, se por um lado são mecanismos geradores, que produzem padrões recorrentes do comportamento das empresas, por outro lado, como mecanismos de vários níveis, são elas próprias, ao mesmo tempo, padrões recorrentes de interação dentro das empresas. Ainda segundo Vromen (2011), devido a seu espírito “comportamental”, ver rotinas como mecanismos de vários níveis facilitaria muito a realização de mais pesquisas empíricas sobre questões cruciais, ainda não resolvidas, tais

como: o quão estáveis e robustas as rotinas são e em que medida o comportamento da firma é rotina.

Conquanto seja fácil perceber um enorme interesse dos pesquisadores acadêmicos e prescritivos em pensar a Indústria 4.0 como o atual desafio da Engenharia de Produção no Brasil, há uma dificuldade de aprofundamento na compreensão do papel da digitalização na produção industrial, produção esta que rapidamente vai se transformando, perdendo suas características fundamentais, construídas a partir da chamada primeira revolução industrial, caracterizada pela mecanização da produção. Tal dificuldade de aprofundamento se deve à frágil base conceitual utilizada para análise, que, no caso brasileiro, muitas vezes embaralha conceitos relativos à 4ª revolução industrial com suas antecessoras, em especial, a simples automação dos processos.

Como destaca Maxwell (2013, p. 39-40), a coisa mais importante a entender sobre um arcabouço conceitual (conceptual framework) é que ele é basicamente uma concepção ou modelo do que se planeja estudar. Para ele a importância de tal modelo é informar o restante da pesquisa, ajudando a avaliar e refinar os objetivos, desenvolver perguntas de pesquisa realistas e relevantes, selecionar métodos apropriados e identificar possíveis ameaças de validade das conclusões.

Na mesma linha de raciocínio, Knudsen, Levinthal e Puranam (2019, p. 3) afirmam que “os modelos são ferramentas poderosas para impulsionar ainda mais nossa percepção”.

A pesquisa aqui descrita identifica como o principal atual desafio da Engenharia de Produção no Brasil a formulação de um modelo conceitual capaz de lidar adequadamente com a Indústria 4.0.

### Aspectos metodológicos

Esta pesquisa exploratória revisa criticamente a teoria com o objetivo de delinear as características necessárias de um modelo de pesquisa para inovação, especialmente a radical, fornecendo análises consistentes

capazes de elicitar e/ou apoiar pesquisas empíricas e novas perspectivas teóricas sobre a Indústria 4.0.

## Resultados e discussão

Com base no referencial teórico, é possível identificar as rotinas que permitem a elaboração de um arcabouço conceitual, permitindo investigar em empresas ou grupos de empresas se a inovação é sistematizada, sendo realmente uma competência gerenciável, como esperado na Indústria 4.0. Há, portanto, a necessidade de identificar: i) o que as empresas fazem diariamente, fornecendo-lhes seus resultados (rotinas estáticas ou operacionais); ii) como as empresas desenvolvem inovações incrementais, através das quais aprimoram continuamente suas rotinas operacionais (rotinas de melhoria); iii) rotinas focadas na estruturação de como as empresas desenvolvem processos, programas e políticas voltadas ao Conhecimento Organizacional, através das quais criam, influenciam, corrigem e aprimoram as bases conceituais de suas rotinas operacionais (Organizational Knowledge Structures); e iv) identificar como as empresas fazem inovações radicais através de reflexões críticas para melhorar suas Estruturas de Conhecimento Organizacional (rotinas evolutivas).

## Considerações finais

Algumas inovações tecnológicas vêm se apresentando como a face mais visível da chamada quarta revolução industrial, podendo-se destacar: inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, manufatura aditiva, nanotecnologia, biotecnologia, armazenamento de energia e computação quântica. No entanto, é a prevalência dos fatores imateriais que caracteriza essa revolução da inteligência demandando modelos de análise, representações simplificadas da realidade, capazes de permitir à Engenharia de Produção

brasileira lidar adequadamente com essa explosão digital.

Sem modelos de análise adequados, as profundas mudanças nos modelos de produção industrial e nos modelos de negócios, com seus consequentes efeitos transformadores do mercado de trabalho, buscando tornar as empresas brasileiras mais competitivas, já vem acarretado novos desafios, que já não podem ser ignorados e demandarão novas soluções em termos de regimes tributários.

Conclui-se que os elementos coletados (rotinas estáticas ou operacionais, rotinas de melhoria, Estruturas Organizacionais de Conhecimento e rotinas evolutivas) são uma possível resposta à Questão de Pesquisa, fornecendo uma estrutura conceitual para a inovação radical, que identifica Capacitações Dinâmicas como uma integração de diferentes tipos de rotinas, primeira e segunda ordem, e nem um único processo, como de costume. O quadro proposto visa ajudar os pesquisadores a entender os fundamentos da Indústria 4.0. Ao mesmo tempo, pode ajudar os gerentes a elaborar considerações estratégicas sobre a Gestão da Inovação Tecnológica. A estrutura identificada deve ser aplicada como um Modelo de Pesquisa Conceitual em estudos futuros sobre a Indústria 4.0

## Referências

- BAREGHEH, A., ROWLEY, J., SAMBROOK, S. Towards a multidisciplinary definition of innovation. *Management decision*, v. 47, n. 8, p. 1323–1339, 2009.
- CHRISTENSEN, C.M.; RAYNOR, M.; MCDONALD, R. What is disruptive innovation? *Harvard Business Review*, v. 93, n. 12, p. 1-17, 2015.
- DANTAS, M. Informação como trabalho e como valor, *Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política*, Rio de Janeiro, n. 19, p. 44-72, 2006.
- DAUDT G., WILLCOX L. D. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura

- avançada, BNDES Setorial, v. 44, p. 5–46, 2016.
- DOPFER, K. Evolutionary economics: a theoretical framework, in Dopfer, K. (ed.), *The Evolutionary Foundations of Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 3–55, 2005.
- GOLDMAN, F. L. Gestão da Inovação Tecnológica: a cultura organizacional da inovação superando as confusões conceituais com a criatividade e a invenção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 36., 2016, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABEPRO, 2016.
- GOLDMAN, F. L.; BRONSTEIN, M. M.; LAU, V. L.; MONTEIRO, L. S. A inovação radical como uma capacitação gerenciável: um framework baseado em rotinas, In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP), 25., 2018, Bauru-SP. Anais... Bauru-SP: UNESP, 2018.
- KNUDSEN, T.; LEVINTHAL, D. A.; PURANAM, P. Editorial: A Model Is a Model. *Strategy Science*, v. 4, n. 1, p. 1-3, 2019. Disponível em <https://doi.org/10.1287/stsc.2019.0077>
- KUSIAK, A. Put innovation science at the heart of discovery. *Nature*, v. 530, n. 7590, p. 255, 2016.
- MANCILHA, G., GOMES, J. Comparative analysis between challenges in a Brazilian perspective and worldwide initiatives in Advanced Manufacturing, *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 15, n. 2, p. 209-223, 2018. Disponível em: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/395> . Acesso em: 18 nov 2018.
- MAXWELL, J. *Qualitative Research Design: an interactive approach*. Thousand Oaks, CA: Sage, 2013.
- OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação*. 3. ed. Tradução de Finep. Rio de Janeiro: OCDE; Eurostat; Finep, 2005.
- PICCAROZZI M., AQUILANI B. AND GATTI C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review, *Sustainability*, v. 10, n. 3821, p. 1-24, 2018.
- PRESIDENT’S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY (2011), Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, Disponível em: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/pcast\\_june2011.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/pcast_june2011.pdf). Acesso em 21 nov 2018.
- SANDERS, A., ELANGESWARAN, C., WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing, *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 9, p. 811–833, 2016.
- SCHUMPETER, J. A. *The theory of economic development*, Cambridge, Harvard University, 1957 [1934].
- SCHUMPETER, J. A. *Capitalismo, socialismo e democracia*, Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961 [1942].
- STIGLITZ, J.E. A criação de uma sociedade do aprendizado, *O Globo*, 10 Jun 2014. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/opiniao/a-criacao-de-uma-sociedade-do-aprendizado-12711222>. Acesso em: 18 nov 2018.
- TIGRE, P. B. Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 4, n. 1, Janeiro / Junho 2005.
- VROMEN, J.J. Routines as multilevel mechanisms, *Journal of Institutional Economics*, v. 7, n. 2, p. 175–196, 2011.

---

**Contato:**

Nome: Fernando Luiz Goldman  
e-mail: [fernandogoldman@yahoo.com.br](mailto:fernandogoldman@yahoo.com.br)

**Apoio financeiro:** PICPq – Plano de Iniciação Científica e Pesquisa do UNIFESO