

**A aplicação dos seis princípios da Indústria 4.0 no Modelo Espiral do Conhecimento de Ikujiro Nonaka**

**DANIEL DE SOUZA SILVA JÚNIOR**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA (UDESC)

**JUCINEIA DE JESUS FERREIRA SOUZA**

# A aplicação dos seis princípios da Indústria 4.0 no Modelo Espiral do Conhecimento de Ikujiro Nonaka

## 1. Introdução

O fenômeno da digitalização das operações industriais está modificando o modo de geração de conhecimento dentro das organizações. Isto porque, as inovações tecnológicas que estão incorporando à estrutura produtiva preexistente carregam a promessa de um aumento exponencial na produtividade e capilaridade nas plataformas globais de produção, Filipov e Vasilev (2016), Feng *et. al.* (2017) e Kroll, Horvat e Jager (2018).

O advento da Indústria 4.0, viabilizado pela inteligência artificial, computação em nuvens e a internet das coisas, tem provocado profundas mudanças nas operações organizacionais trocando os modelos tradicionais de produção por uma forma digital em redes, que Schwab (2016), Burke *et. al.* (2017) e WEF (2017) têm denominado como a Quarta Revolução Industrial.

Esta digitalização que emerge de forma difusa interligando virtualmente indivíduos, grupos e organizações, tem se pautado sobre conceitos como interoperabilidade, virtualização, descentralização, Produção em Tempo Real, Orientação a Serviço e modularização, que a tais termos Hermann, Pentek e Otto (2015) identificaram como os seis princípios da Indústria 4.0.

Neste novo cenário digital as organizações precisam rever o processo de criação de conhecimento no instante em que integram novos artefatos tecnológicos em suas operações. Visando a contribuição no campo acadêmico e gerencial, o presente artigo toma o modelo Espiral de Conhecimento de Ikujiro Nonaka como foco de análise e aplicação no ambiente da Indústria 4.0, ponderando a sua capacidade de integrar em sua estrutura dos seis princípios da Indústria 4.0 como orientadores da transformação digital.

Assim, num primeiro momento será apresentado o problema de pesquisa e os objetivos deste ensaio. Em seguida a fundamentação teórica que dão base à temática em questão. Na terceira etapa busca-se discutir as correlações e pontos convergentes encontrados na literatura extraindo pressupostos e ponderações teóricas. E por fim, nas conclusões e contribuições finais, serão tecidos comentários que viabilizam o direcionamento das futuras pesquisas e tomadas de decisão estratégicas nas organizações.

## 2. Problema de Pesquisa e os Objetivos

O ensaio tem por orientação a relação criação de conhecimento organizacional, a partir dos conceitos de Ikujiro Nonaka e o fenômeno da Indústria 4.0 observado pelos seis termos identificados por Hermann, Pentek e Otto (2015). Desta relação é que se propõe a questão: *como a Espiral do Conhecimento de Ikujiro Nonaka pode contribuir para o processo de transformação digital tendo por referência os seis princípios da indústria 4.0?*

A pergunta requer um levantamento, de modo geral, de como a digitalização dos processos estão modificando a indústria, citados na introdução e pormenorizados na fundamentação teórica. Outro aspecto da pergunta exige a compreensão do modelo de Espiral do Conhecimento de Nonaka em termos de aplicação, considerando as críticas a ele direcionadas, bem como a sua aceitação em termos de relevância no processo de criação.

Além de correlacionar, analisar e compreender a amplitude da temática Espiral do Conhecimento aplicada ao processo de transformação digital na Indústria 4.0, este artigo tem

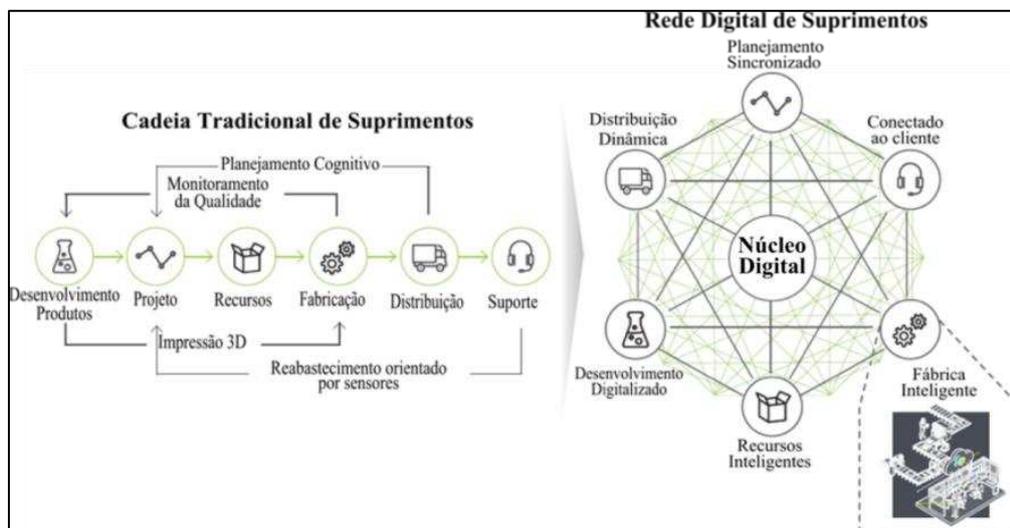
como objetivo específico trazer uma discussão capaz de extrair pressupostos norteadores para o desenvolvimento da gestão do conhecimento organizacional e para o avanço da Indústria 4.0. A problemática acima destacada, de certo modo, é um ponto de partida para o estabelecimento de uma teoria do conhecimento que contemple não apenas constructos epistemológicos de cunho teórico, mas também contribua para a formulação de modelos de gestão modernos orientados para ambientes digitais.

### 3. Fundamentação Teórica

#### 3.1. Transformação Digital

O processo de transformação digital é a mudança da plataforma tecnológica da indústria, introduzindo em suas operações um conjunto de dispositivos digitais que integram vertical e horizontalmente os dados disponíveis na cadeia de valor. Estes dados que eram apenas resultado de processos de fabricação como temperaturas, velocidades e vibrações, passaram a ser habilitadores de processo deliberando sobre preferências, desejos e necessidades dos clientes; operacionalizados em redes sociais, rastreados pelas memórias digitais dos produtos produzidos por plataformas inteligentes, concluem Burke *et. al.* (2017).

Schrauf e Bertram (2016) observaram que nesta nova dinâmica de produção centrada no fluxo de dados haverá um incentivo a rede colaborativas, a flexibilização no atendimento ao cliente trazendo rapidez e sincronia produtiva, melhorando a adaptabilidade dos processos. Esta rede modularizada, autônoma e responsiva, está quebrando a hierarquização tradicional da produção nas instâncias de trabalhos, enquanto é realimentada pelos diversos tipos de dados difundidos em rede ao longo da cadeia de valor, como se vê na Fig.1. O relatório do Fórum Mundial Econômico (WEF, 2019) destaca três importantes atributos que as tecnologias trazem como chave, sistemas inteligentes, disposição à conectividade e, por fim, mecanismos autônomos e flexíveis.



**Figura 1 - Mudança no modelo de Cadeia para Rede de Suprimentos. Burke *et. al.* (2017, tradução nossa)**

A principal diferença entre a Cadeia de Suprimentos Tradicional para o modelo em Rede Digital, demonstrado na Fig.1, concentra-se na simultaneidade dos processos e no fluxo descentralizado dos dados. A produtividade da Fábrica Inteligente é resultado de um perfeito desempenho da integração vertical e horizontal que a rede inteligente deve oferecer. Alinhados a demanda de mercado e conectados as necessidades dos clientes, os recursos se

tornam elementos ativos na construção de valor orientados e reorientados por meios digitais e inteligentes.

Lin, Ieromonachou e Sun (2016) pontuam que esta transformação pode ser analisada pela perspectiva de três proposições; a primeira diz que a *Smart Manufacturing* focaliza o desempenho total da cadeia de suprimentos e não somente a uma fábrica em particular. A segunda proposição observa que os dados cobrem não apenas as operações das fábricas, mas todos os pontos da rede de suprimentos. E em terceiro lugar, o modelo da rede de suprimentos deve privilegiar o conhecimento e habilidades dos profissionais de modo a equilibrar avanços tecnológicos e absorção de recursos humanos, como clarificado no relatório WEF (2017, p.8) “*the Fourth Industrial revolution changes not only the way in which we produce and manage the supply chain, but also paves the way for the creation of new value chains*”.

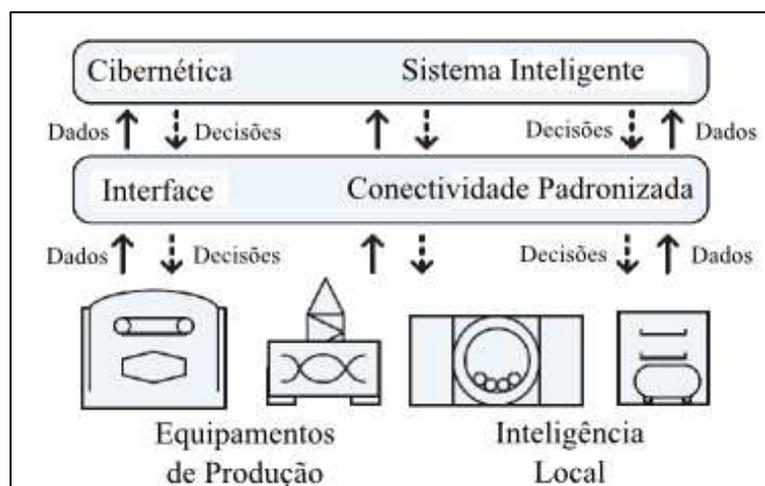
Os autores Thoben, Wiesner e Wuest (2017) destacam que seja o termo Indústria 4.0 ou Fabricação Inteligente (*Smart Manufacturing*), ambos visam à modelagem das estruturas produtivas, facilitando a harmonia nas instancias de operação entre homem e máquina. Esta modelagem fabril tem ocorrido por meio da fabricação distribuída; máquinas autônomas; integrações verticais e horizontais; simulações em ambientes virtuais; adoção de realidades aumentadas; manutenção preditiva inteligente; difusão de dispositivos móveis; armazenagem em nuvens e análise de big data em tempo real.

É importante mencionar o estudo de Feng *et. al.* (2017) que analisa o gerenciamento do conhecimento no processo de Fabricação Inteligente (*Smart Manufacturing*) que conceberam o avanço da arquitetura tecnológica como elemento integrador dos conhecimentos. Dito de outro modo, o conhecimento presente no design de produtos, planejamento, medição e controle dos processos foram combinados observando o contexto geral dos dados e informações, quebrando o conhecimento em pequenas unidades, e identificando as unidades relevantes para a aplicação na fabricação inteligente.

A Fabricação Inteligente está redirecionando a maneira de gerenciar a cadeia de valor da indústria. Aquela operação que até então era focado no processo produtivo apenas, está se dedicando a análise de dados e sua utilização como componente de valor ao longo da cadeia de suprimentos. Muitas indústrias lutavam para construir suas plantas fabris em locais onde a mão-de-obra era custo baixo e naturalmente com pouca qualificação, agora, no entanto, a automação associada com a digitalização obriga as empresas a buscarem profissionais altamente qualificados. Os autores Lin, Ieromonachou e Sun (2016, p.2, **grifo nosso**) assim descrevem esta transformação “*We could regard smart manufacturing is a combination of knowledge and intelligence. [...]The manufacturing process will not be labor-intensive anymore, but knowledge-intensive one.*”

Feng *et. al.* (2017) enfatizam que neste ambiente de transformação a Gestão do Conhecimento ganhará relevância frente à *Smart Manufacturing*, unificando dados e informações; que uma vez pulverizados ao longo da cadeia de valor e aplicados como um corpo de conhecimento ao longo do ciclo de vida do produto desde o seu planejamento, produção, inspeção e a gestão de sua cadeia de suprimentos; oferecendo vantagem competitiva ao empreendimento.

A *Smart Manufacturing*, segundo Kusiak (2018), pode ser apresentada esquematicamente em duas camadas tecnológicas dentro da organização. Uma estrutura presente nos equipamentos produtivos e outra identificada como Cibernética, presente no sistema corporativo como destaca a Fig.2 abaixo.



**Figura 2 - Conceito da *Smart Manufacturing* em uma empresa. Fonte: Kusiak (2018, tradução nossa)**

A Fig. 2 demonstra que a relação Equipamentos de Produção e Cibernética da empresa acontece através de uma Interface. Esta conecta a Inteligência Local, estacionada na memória virtual dos equipamentos, a uma Inteligência Sistêmica construída no ambiente virtual da rede industrial. Esta interação, de acordo com Kusiak (2018), foi estruturada no campo da Ciência da Computação, mas hoje está sendo utilizada pela *Smart Manufacturing* na tecnologia de fabricação e de processos, no desenvolvimento de materiais inteligentes, no processamento e interpretação de dados, Engenharia Preditiva, sustentabilidade dos materiais, produtos e processos.

### 3.2. Os Seis Princípios da Indústria 4.0 e os processos de fabricação

Diante deste ambiente de digitalização Hermann, Pentek e Otto (2015) identificaram seis termos que permitem pensar inovação tecnológica em termos de gestão na Quarta Revolução Industrial, são eles: interoperabilidade, virtualização, descentralização, Produção em Tempo Real, Orientação a Serviço e modularização. Estes princípios surgiram na tentativa de definir o que seria a Indústria 4.0, uma vez que, as empresas estavam remodelando seus processos e Hermann, Pentek e Otto (2015) observaram que nesse novo cenário tecnológico dinâmico e de natureza disruptiva era importante identificar alguns termos (*design principles*) basilares para melhor entendimento do quadro geral. Em termos gerais, a natureza difusa das tecnologias identificada por Kroll, Horvat e Jager (2018) pode ser, pelo menos compreendida, pela absorção destes seis princípios.

O princípio da **Interoperabilidade** é a combinação de dados da empresa, chão de fábrica e rastreabilidade do produto integrando vertical e horizontalmente a organização visando uma conectividade ótima. De acordo com Cheng *et. al.* (2015) a interoperabilidade dos vários componentes na rede informatizada de uma dada organização dependem do grau semântico que cada elemento está constituído no momento de sua fabricação. Hermann *et. al.* (2015) detalha que na Indústria 4.0 CPS e seres humanos se conectam via IoT e IoS colocando a padronização da comunicação como elemento chave.

A **Virtualização** é a modelagem digital alimentada por dados *inputs* e *outputs* do processo gerando valor, Segundo Brecher *et. al.* (2014) ela envolve três estágios a captação das características do objeto a ser virtualizado, o processamento destas variáveis virtualizadas junto a rede digital ligada a um sistema CPS e em terceiro lugar a produção de itens a partir do big Data da rede geral da produção. Composto por instâncias semiautônomas, o controle

de produção será orientado a escalabilidade baseado em auto ajustes, modelagem e adaptações, operando desde uma simples regulagem até uma operação mais inteligente (*Kognition*), buscando um equilíbrio entre recursos e complexidade das tarefas.

Marques *et. al.* (2017) caracterizam a **descentralização** como um sistema onde não se tem um nó central por onde passam todas as informações, mas vários nós tomando decisões individualmente de forma sincronizada mediante um mecanismo de colaboração entre eles. Esta rede de colaboração é formada de empreendimentos autônomos, heterogêneos e geograficamente distribuída, ideal para as PMEs. Odenbach *et. al.* (2017) reiteram que a Era Digital é marcada por uma tensão entre tecnologias que potencializam a descentralização e uma tendência de grandes corporações em liderar estas inovações, levando a uma centralização administrativa. **O controle em Tempo Real** pode ser desenvolvido a partir da combinação da transparência com o alto volume de informação, segundo Spath *et. al.* (2013). Estes consultores atribuem o elemento tempo, dentro do triângulo custo-qualidade-tempo, como o item chave dentro da cadeia produtiva.

A **Orientação a Serviço** é a disponibilidade de dados num sistema aberto que permitem a flexibilização e a customização dos produtos de modo a trazer eficiência no processo, isto é, a prontidão dos dados aumenta a velocidade de resposta às necessidades de mercado. Bauernhansl *et. al.* (2014) observam que nos três níveis do processo produtivo; automação tradicional, no MES (*Manufacturing Execution System*) e no ERP (*Enterprise Resource Planning*); cada componente precisa estar orientado ao serviço. Isto é, processos de planejamento e execução ocorrem simultaneamente alimentados por um *big data* estruturado em *Cloud*. A orientação ao serviço envolve a “*deshierarquização*” através de uma padronização aberta instalada numa estrutura em nuvens.

E por fim, a **Modularização**, que facilita a conexão e desconexão de dispositivos e tecnologias ao longo da rede trazendo rápidas respostas as sazonalidades da produção. O processo da modularização envolve orientar o software a serviço e não mais a hardware, destaca Bauernhansl *et. al.* (2014). Dentro de uma estrutura em que os dispositivos podem interagir com os diversos níveis produtivos sem as limitações de uma hierarquização rígida. Por exemplo, dentro de um sistema logístico o fluxo de material precisa ser operado dentro de uma lógica de adaptabilidade onde os dispositivos mecânicos e energéticos devem estar equipados com tecnologias de controle que possam circular com independência dentro do sistema global. Esta modularização trará escalabilidade, velocidade e adaptabilidade as sazonalidades do mercado global.

Hermann, Pentek e Otto (2015) observam que estes termos podem ser entendidos como uma sistematização do conhecimento do fenômeno da Indústria 4.0, que após um agrupamento de publicações organizados pelos autores, os seis princípios surgiram como representação que caracteriza quatro componentes importante para a Industria 4.0: Sistema Ciberfísico, Internet das Coisas, Internet dos Serviços e Fábricas Inteligentes. A Fig.3 demonstra a distribuição dos princípios por entre os principais elementos da Indústria 4.0.

	Sistema ciberfísico	Internet das coisas	Internet dos Serviços	Fábrica Inteligente
<b>Interoperabilidade</b>	X	X	X	X
<b>Virtualização</b>	X			X
<b>descentralização</b>	X			X
<b>controle em Tempo Real</b>				X
<b>Orientação a Serviço</b>			X	
<b>Modularização</b>			X	

**Figura 3 - Os seis princípios distribuídos entre os quatro principais componentes da Indústria 4.0. Fonte: Hermann et. al. (2015, tradução nossa)**

Ainda segundo Hermann, Pentek e Otto (2015) e confirmado por Wang e Wang (2016) o desenvolvimento dos seis princípios nos quatro componentes da Indústria 4.0 acontece com o apoio das tecnologias *Machine-to-Machine* (M2M), que é a comunicação inteligente entre máquinas viabilizando o princípio da interoperabilidade. A relação big data e computação em nuvem permite o desenvolvimento da Internet dos Serviços, a Fábrica Inteligente virtualizando, descentralizando toda a operação que pode ser monitorada em tempo real respondendo de forma ótima as sazonalidades da demanda e da produção.

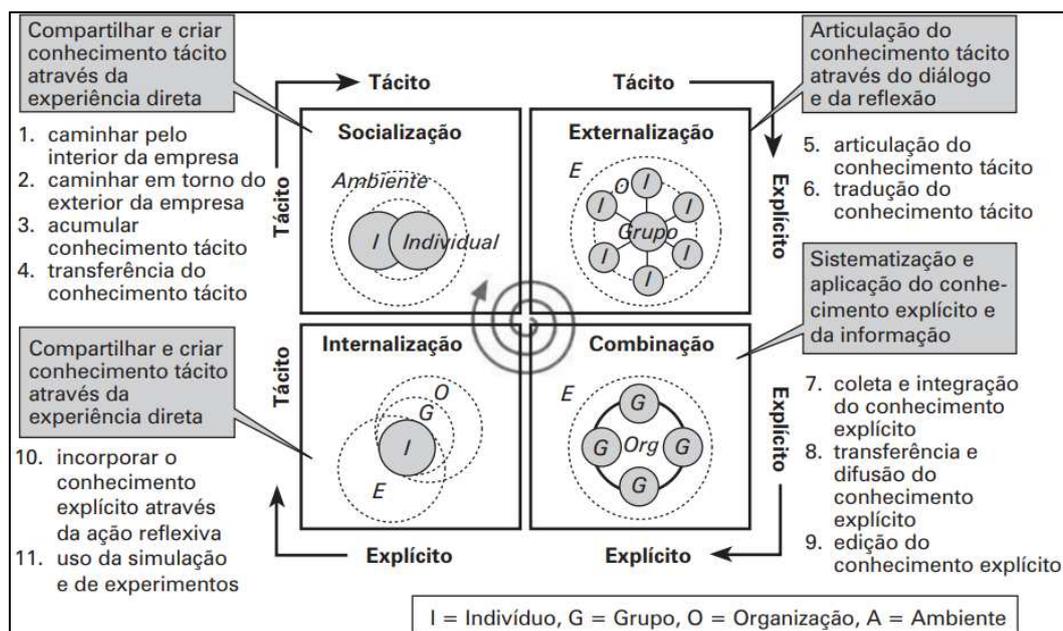
### **3.3. Espiral do Conhecimento**

O modelo Espiral do Conhecimento, desenvolvido por Ikujiro Nonaka no ano de 1991, foi um constructo importante para se compreender a criação e fluxo do conhecimento dentro das organizações, como detalhou Nonaka (2007). Desde a sua idealização o modelo tem sofrido críticas substanciais quanto a sua estrutura e aplicação, como pode ser conferido nos trabalhos de Tsoukas (2002), Bratinau (2010) e Nissen (2014). No entanto, consideráveis estudos têm confirmado a importância da aplicabilidade do modelo na gestão das organizações, como destacaram Goldman (2017) e Mohajan (2017).

A Espiral do Conhecimento teve como referência o conceito japonês denominado “*Ba*”, que quer dizer: “lugar de compartilhamento”, segundo Nonaka e Toyama (2003). Através de um processo dialético envolvendo conhecimento tácito e explícito é que se sintetiza num caminho espiral o conhecimento da organização. Nonaka (1994) já havia caracterizado estas duas dimensões do conhecimento como a natureza epistemológica da teoria, onde o conhecimento tácito (interno no indivíduo) estava em contraste ao conhecimento explícito (visualizado por todos).

A outra dimensão do modelo Espiral de Nonaka é de caráter ontológico, isto é, que diz respeito ao lugar onde se gera o conhecimento, podendo ser na mente, na interação dos indivíduos, ou ainda, numa dimensão organizacional em que vários departamentos trocam seus conhecimentos entre si.

Nonaka e Takeuchi (2008) dividem este caminho em espiral relacionando as dimensões epistemológicas com as ontológicas em quatro etapas, socialização, Externalização, Combinação e Internalização, como demonstrado na Fig. 4. Como está demonstrado na figura a espiral é uma resultante de forças que se amplifica do centro para as bordas e que devido a sua natureza sintética é direcionada ora ao indivíduo, ora a interação entre indivíduos.



**Figura 4 - Espiral do Conhecimento. Fonte: Nonaka e Takeuchi (2008)**

O processo de Socialização é a etapa em que o conhecimento tácito de um indivíduo é transmitido a outro por meio de observações, demonstração e Prática, compartilhando diretamente as experiências, como afirmaram Nonaka e Takeuchi (2008). A externalização é a transformação do conhecimento tácito em explícito, ou seja, o conhecimento pessoal, cognitivo e técnico, é transformado e externalizado racionalmente de modo a ser demonstrável em gráficos, textos e relatórios, e que segundo Nonaka e Takeuchi (2008) seria o conhecimento organizacional.

Na etapa Combinação acontece a troca de conhecimento entre explícito-explícito, uma coleção de dados e relatórios tratados internamente nos departamentos e grupos, agora combinam com outros conhecimentos explícitos que podem estar no ambiente externo ou interno da organização, levando a um realinhamento corporativo, ajustando estratégias de negócio frente a um novo panorama identificado, Nonaka e Toyama (2003). Neste estágio as contradições são solucionadas sintetizando o conhecimento e aplicando-o na organização. Este conhecimento explícito uma vez verbalizado na organização poderá ser internalizado pelos indivíduos em formato tácito absorvendo métodos, práticas e técnicas em suas operações individuais.

Assim afirmaram Nonaka e Takeuchi:

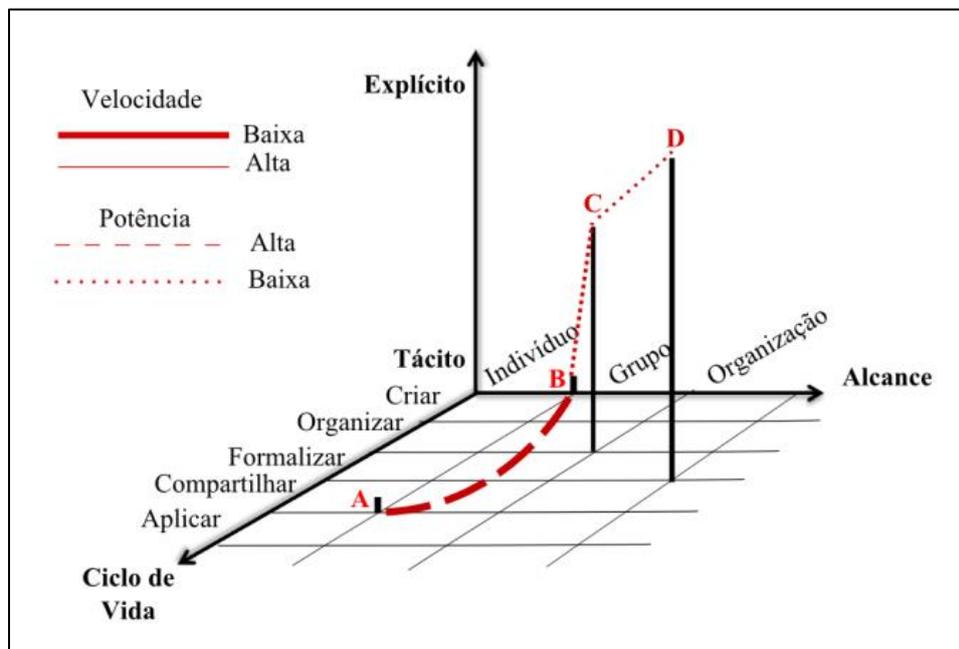
“Na nossa visão, no entanto, o conhecimento tácito e o conhecimento explícito não são totalmente separados, mas entidades mutuamente complementares. Eles interagem e se intercambiam nas atividades criativas dos seres humanos. Nosso modelo dinâmico de criação do conhecimento está ancorado no pressuposto crítico de que o conhecimento humano é criado e expandido através da interação social entre o conhecimento tácito e o conhecimento explícito. Chamamos essa interação de “conversão do conhecimento”. (NONAKA E TAKEUCHI, 2008, p.59)

De fato, o conhecimento criado pelos indivíduos de forma tácita segue um caminho desagregador através da racionalização, isto é, transformando em explícito, se desprovido de toda forma cognitiva e técnica ligada ao sujeito ou “dono do conhecimento”, como denominou Hendriks (1999). Goldman (2017) lembra que o grande feito de Nonaka e Takeuchi foi provocar uma discussão quanto a real capacidade de uma empresa em criar

conhecimento e que a construção do modelo espiral nada mais foi do que um suporte para entender este processo. Goldman (2017) observa e Mohajan (2017) reafirma este posicionamento de que, a Teoria do Conhecimento desenvolvida por Nonaka e Takeuchi não teve grandes aprofundamentos, mas redirecionou os estudos teóricos que envolvem as tomadas de decisões da organização.

Neste contexto que Bratinau (2010) e Nissen (2014) retomam ao conceito de massa leve e massa pesada na conversão do conhecimento ao perceberem que a transferência de conhecimento seja tácito-tácito ou explícito-explícito teriam similaridades rudimentares com as leis da termodinâmica. Ou seja, dentro da organização uma transformação tácito-tácito o conhecimento seria mais viscoso, pois estaria ligado as experiências dos indivíduos e a ligação deles a cultura corporativa, e, portanto, a transmissão seria mais demorada e pesada exigindo capacidade de absorção do receptor, além da própria natureza ambígua do conhecimento em curso. A combinação explícito-explícito, por outro lado seria a mais rápida, marcada por poucas ambiguidades, conhecimento racionalizado e meio de transmissão pouco subjetivo, portanto, o conhecimento seria menos viscoso e com alto grau de padronização.

Para que a Espiral do Conhecimento de Nonaka seja aplicável às operações internas das organizações, Nissen (2014) adaptou a espiral a um modelo penta dimensional acrescentando a dimensão de “Ciclo de Vida”, “Velocidade” e “Potência” do conhecimento, como se observa na Fig. 5. O foco do modelo de Nissen é demonstrar como o fluxo do conhecimento se processa dentro das organizações indo de dos indivíduos (donos do conhecimento) ao nível organizacional que posteriormente seria retransmitido a colaboradores denominados por Hendriks (1999) como “reconstrutores do conhecimento”.



**Figura 5 - Fluxo do Conhecimento. Fonte: Nissen (2014) adaptado pelos autores.**

A Fig.5 mostra o trajeto de A para B o fluxo do conhecimento acontece em baixa velocidade, mas com alta potência, isto porque envolve o compartilhamento de experiências através da observação, etapa denominada socialização. Em seguida, de B para C, acontece a externalização do conhecimento, a conversão do conhecimento tácito em explícito, ela

acontece em Velocidade Alta, mas com baixa potência. Esta perda de potencialidade é devido ao processo de organização do conhecimento que exige a sintetização do corpo material racionalizando-o eliminando aspectos pessoais cognitivos e técnicos, formulando categorias gerais e apresentáveis.

No avanço de C para D já se percebe a formalização do conhecimento no âmbito da organização com relatórios, manuais e check-list. Neste ponto é onde acontece o processo de Combinação com alta velocidade, mas como o conhecimento está racionalizado a sua potência é baixa, isto é, pouco denso se comparado com as experiências pessoais. A dimensão “velocidade” indicada pelas linhas finas e grossas, e a dimensão “potência” representada pelas linhas tracejadas e pontilhadas, revelam a complexidade de circulação de conhecimento dentro das empresas.

#### 4. Discussão

Como foi identificado na teoria, o conhecimento tácito está presente no indivíduo em forma cognitiva e técnica, este elemento tácito na Indústria 4.0 pode ser encontrado na percepção, experiência, modo de operação e interpretação dos dados de cada profissional em contato com as tecnologias disruptivas. O conhecimento explícito contido nos relatórios técnicos, regras de negócios, glossários semânticos, repositórios e métricas de produtos e processos, constituem o corpo de conhecimento racionalizado nas organizações, onde, inclusive, muitas publicações relacionadas à quarta revolução industrial estão sendo propagados desde a Alemanha até a China.

A correlação entre os princípios da Indústria 4.0 e a Espiral do conhecimento passa pela divisão de cada princípio nas duas categorias de conhecimento, a saber: tácito e explícito. A Fig.6 esboça esta separação em subcategorias para melhor compreender o desdobramento dos princípios dentro das organizações, sobretudo empreendimentos que tem a tecnologia como elemento estratégico.

Princípios	Conhecimento Tácito	Conhecimento Explícito
Interoperabilidade	A <b>experiência</b> na operação das tecnologias que cada profissional possui.	Estruturas formalizadas como terminologias, glossários e repositórios.
Virtualização	O conhecimento que cada técnico possui sobre as <b>nuanças da atividade</b> de produção dos produtos, também o conjunto de <b>percepções</b> que cada colaborador tem em relação as características do produto.	Relatórios técnicos de cada produto, especificações de ajuste de máquinas aplicáveis a cada processo e produto, além dos setups de máquinas e configuração dos softwares capazes de automatizar a produção.
Descentralização	<b>Percepção</b> dos indivíduos diante de um cenário diferente; <b>reação</b> dos profissionais frente a um problema inesperado; <b>modo de tomada de decisão</b> de cada profissional.	Regras comerciais pré-definidas; medições técnicas de serviços, produtos e processos; informações armazenadas no sistema ERP, ferramentas de análise e identificação de dados e informações.
Controle em Tempo Real	Interpretação do efeito das métricas sobre a produção.	Métricas de produto e processo; glossários de especificações de serviços e produtos.
Orientação a Serviço	Seleção das principais métrica e tecnologias aplicáveis a cada	Glossário semântico de padronização de indicadores,

	processo interno da empresa.	métricas e especificações aplicáveis a linguagem de programação e aos comandos lógicos programáveis.
Modularização	Conveniência de resposta a alguma demanda sazonal do mercado e tomada de decisão de continuar ou descontinuar algum dispositivo modular ao longo da cadeia produtiva.	Glossário semântico da linguagem de programação e dos comandos lógicos programáveis.

**Figura 6 - Relação de Princípios da Indústria 4.0 e seus respectivos conhecimentos tácitos e explícitos. Fonte: os autores**

O quadro da Fig.6 mostra que os princípios da interoperabilidade, descentralização e modularização, exigem a criação de um conhecimento explícito em termos de semântica de linguagem facilitando a adaptabilidade dos vários dispositivos dentro da rede global da empresa. Em outras palavras, embora a presença de profissionais com profundo conhecimento tácito em Sistema de Informação seja vital, a geração de conhecimento nestes três princípios destacados carece de congruência de outras áreas como a comercial e gerência de produção.

Da mesma forma a virtualização e a Orientação a Serviço (SOA) necessitam de relatórios técnicos abrangentes, conhecimento Explícito, que permitam uma sincronia ótima entre objetos, processamentos de produtos, serviço em Nuvem (Cloud Computing) e big data alimentado por sensores e comutando atuadores ao longo da cadeia produtiva. Em geral o conhecimento explícito, que segundo Nonaka e Takeuchi (2008) é aquele presente na organização prossegue sendo o norteador da Indústria 4.0. Como foi destacado na fundamentação as tecnologias da Indústria 4.0 carregam a promessa de melhor a produtividade da planta fabril, concluindo-se que, o fenômeno da digitalização instrumentaliza a gestão estratégica.

A lista apresentada na Fig.6 evoca a criação de um conhecimento organizacional dinâmico e responsivo as sazonalidades da tecnologia, em termos de novas funcionalidades e dispositivos; como também, um corpo de conhecimento que seja eficiente na resposta as dinâmicas de novos mercados e necessidades, colocando agentes estratégicos capazes de captar estas novas tendências semelhante aos gatekeepers – que na teoria sobre capacidade absorptiva do conhecimento de Cohen e Levinthal (1990) desempenhas o papel de tradutores do cenário externo para dentro das companhias. A digitalização oferece indicativos que as estruturas tradicionais de automação e de sistemas de gerenciamentos (ERPs) estão avançando para uma integração em rede completa.

Em termos de dimensões, epistemológica, alcance, ciclo de vida, potência e velocidade, os pontos de checagem do quadro da Fig.7 podem ser elementos norteadores para gestores e pesquisadores no contexto da operacionalização dos seis princípios nos processos organizacionais.

	Epistemológica	Ciclo de Vida	Alcance	Velocidade	Potência
<b>Interoperabilidade</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
<b>Virtualização</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
<b>descentralização</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
<b>controle em Tempo Real</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
<b>Orientação a Serviço</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
<b>Modularização</b>	Tácito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
	Explícito	C O F S A I G O		Baixa Alta	Baixa Alta
C- criar; O-organizar; F-formatar; S- compartilhar; A- aplicar; I- individual; G-grupo; O- organização					

**Figura 7 - Os seis princípios da Indústria 4.0 e as cinco dimensões do conhecimento. Fonte: os autores**

O quadro da Fig.7 pode ser aplicado no mapeamento dos conhecimentos presentes na organização, segundo as suas respectivas naturezas e estágios de implementação, e também, no diagnóstico do nível de transformação digital do empreendimento. A proposta deste quadro envolve o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de orientar as ações dos gestores e pesquisadores do fenômeno da indústria 4.0. Em matéria de teoria do conhecimento vocalizada por Ikujiro Nonaka e seus colaboradores, a relação conhecimento tácito e explícito pode ser concebida como uma conexão de complementariedade onde o primeiro tem a possibilidade de evoluir para o segundo. Neste caso, no quadro da Fig. 7 esta evolução pode ser considerada uma vez que a interoperabilidade, por exemplo, desenvolvida em softwares ou hardwares a partir dos conhecimentos tácitos presentes dos profissionais podem, num segundo momento, evoluir para uma linguagem semântica padronizada dentro da organização ou no mercado em geral.

Esta evolução do tácito para o explícito pode acontecer de uma forma natural, quando uma tecnologia se populariza nas economias de mercado, ou de um modo administrado quando uma organização se dedica a confeccionar relatórios, pareceres e métricas de monitoramento. Os autores Bratinau (2010) e Nissen (2014) entendem que o fluxo do conhecimento depende do ambiente propício e de indivíduos preparados para receber este ou aquele conhecimento. Os matizes do Ciclo de Vida de um determinado conhecimento precisam estar alinhados à estratégia da organização, bem como, a capacidade de seus colaboradores em criar, organizar, formatar, compartilhar e aplicar o conhecimento, considerando a velocidade e potência deste em detrimento das necessidades organizacionais. Em outras palavras, como visto no quadro da Fig.3, o princípio da interoperabilidade está presente nos quatro elementos-chaves da Indústria 4.0 denotando assim a importância deste termo no processo de digitalização. Os colaboradores da organização precisam estar munidos de habilidades que lhes permitam difundir este conhecimento nos vários departamentos estruturando um ambiente que busque a transparência, padronizações abertas e intuitivas.

## 5. Considerações Finais

Portanto, os seis princípios da Indústria 4.0 podem não somente compor a estrutura da Espiral do Conhecimento de Ikujiro Nonaka no processo de digitalização, como também, amplifica o campo de aplicação do Modelo Espiral na gestão do conhecimento e construção de estratégias corporativas. A relação conhecimento tácito e explícito oferece apenas um ponto de partida no processo de classificação do conhecimento que circula a Quarta Revolução industrial, como já foi detalhado, é preciso considerar a fluidez destes conhecimentos no interior da organização.

Para futuros estudos seria importante um maior aprofundamento na classificação dos princípios da indústria 4.0 no que tange a sua densidade e potência na aplicação sobre os processos da organização. A presente pesquisa se dedicou a teorizar uma estreita relação entre os seis princípios e o modelo de espiral, embora considerando as críticas e remodelagem da Espiral de Nonaka, neste artigo não foi possível pormenorizar as cinco dimensões desenvolvidas por Nissen (2014) o que traria mais profundidade na temática.

Por fim, a pergunta problema “*como a Espiral do Conhecimento de Ikujiro Nonaka pode contribuir para o processo de transformação digital tendo por referência os seis princípios da indústria 4.0?*” Pode ser respondida afirmando que a Espiral do Conhecimento em todos os seus quatro estágios permite visualizar as etapas que cada princípio “4.0” precisa passar para que a organização avance para uma plataforma produtiva 4.0. Embora algumas ponderações precisam ser estabelecidas no momento da aplicabilidade do Modelo Nonaka, a espiral pode ser um referencial na criação de um conhecimento organizacional na Quarta Revolução Industrial.

O princípio da interoperabilidade está presente nos quatro principais componentes da indústria 4.0, isto permite afirmar que a sua perseguição deve ser prioridade das organizações que tem como elemento estratégico a digitalização de suas operações. Esta interoperabilidade pode viabilizar os demais princípios trazendo vantagens competitivas e flexibilidade na cadeia de suprimentos gerando valor dentro das economias de mercados globalizadas.

## REFERÊNCIAS

- BAUERNHANSL, Thomas; HOMPEL, Michael ten; HEUSER, Birgit Vogel (org.).  
Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Vieweg: Munique, 2014.
- BRATIANU, Constantin. A Critical Analysis of Nonaka’s Model of Knowledge Dynamics.  
Electronic Journal of Knowledge Management, v. 8 n. 2, p.193 – 200.,2010. Disponível em <  
[https://www.researchgate.net/publication/256657754\\_A\\_Critical\\_Analysis\\_of\\_Nonaka's\\_Model\\_of\\_Knowledge\\_Dynamics](https://www.researchgate.net/publication/256657754_A_Critical_Analysis_of_Nonaka's_Model_of_Knowledge_Dynamics)> acessado em 22 de abr. 2019.
- BRECHER, C.; BEHNEN, D.; BRUMM, M.; CARL, C.; ECKER, C .; HERFS, W.;  
KLEMENT, R.; KÖNIGS, M.; KOMMA, T.; LOHSE, W.; MALIK, A.; MÜLLER, S.;  
ÖZDEMIR, D. Virtualisierung und Vernetzung in Produktionssystemen, 2014. Disponível em  
<  
[https://www.researchgate.net/publication/274634068\\_Virtualisierung\\_und\\_Vernetzung\\_in\\_Produktionssystemen](https://www.researchgate.net/publication/274634068_Virtualisierung_und_Vernetzung_in_Produktionssystemen)> acessado em: 10 de mai. 2019.
- BURKE, Rick; MUSSOMELI, Adam; LAAPER, Stephen; HARTIGAN, Marty;  
SNIDERMAN, Brenna. The Smart Factory: Responsive, Adaptive, connected manufacturing.  
Deloitte University Press, 2017. Disponível em:

<[https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051\\_The-smart-factory/DUP\\_The-smart-factory.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf)> Acessado em 06 de set. 2018.

CHENG, Chih-Hong; GUELFIRAT, Tuncay; MESSINGER, Christian; SCHMITT, Johannes; SCHNELTE, Matthias; WEBER, Peter. Semantic Degrees for Industrie 4.0: Deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate Technologies. ABB Corporate Research, 2015. Disponível em: < <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1505/1505.05625.pdf>> acessado em 10 de mai. 2019.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. Administrative Science Quarterly, v.35, n.1, Technology, Organizations, and Innovation, Mar., p.128-152. 1990. Disponível em < [https://www.researchgate.net/profile/Daniel\\_Levinthal/publication/220019726\\_Absorptive\\_Capacity\\_A\\_New\\_Perspective\\_on\\_Learning\\_and\\_Innovation/links/0fcfd5142b6a98e55500000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Levinthal/publication/220019726_Absorptive_Capacity_A_New_Perspective_on_Learning_and_Innovation/links/0fcfd5142b6a98e55500000.pdf)> acessado em 10 de nov. 2018.

FENG, Shaw C.; BERNSTEIN, William Z.; HEDBERG, Thomas.; FEENEY, Allison Barnard. Towards Knowledge Management for Smart Manufacturing, ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, Set. 2017. Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5615413/pdf/nihms899062.pdf> > Acessado em 07 de jul. 2019.

FILIPOV, Vladimir.; VASILEV, Plamen. Manufacturing Operations Management - The smart backbone of industry 4.0. Scientific Proceedings i International Scientific Conference "Industry 4.0", 2016. Disponível em< <http://industry-4.eu/winter/sbornik/2016/1/16.MANUFACTURING%20OPERATIONS%20MANAGEMENT%20-%20THE%20SMART%20BACKBONE%20OF%20INDUSTRY%204.0.pdf>> Acessado em 02 de set. 2018.

GOLDMAN, Fernando Luiz. Revisando Nonaka e Takeuchi: a inovação vista como criação de conhecimento organizacional. Revista de Ciência, tecnologia e inovação, n.2, abr., 2017.

HENDRIKS, Paul. Why Share Knowledge? The Influence of ICT on the Motivation for Knowledge Sharing. Knowledge and Process Management, v.6, n.2 p 91–100, 1999. Disponível em <[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/4158599/why\\_share\\_knowledge.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557325960&Signature=DROkKxREA3taznBKycjJsJL1tBc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DWhy\\_share\\_knowledge\\_The\\_influence\\_of\\_ICT.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/4158599/why_share_knowledge.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557325960&Signature=DROkKxREA3taznBKycjJsJL1tBc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DWhy_share_knowledge_The_influence_of_ICT.pdf)> > acessado em 20 de abr. 2019.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. 2015. Disponível em:< [http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.iim.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2019.

JANNUZZI, Celeste Sirotheau Corrêa; FALSARELLA, Orandi Mina ; SUGAHARA, Cibele Roberta . Gestão do conhecimento: um estudo de modelos e sua relação com a inovação nas organizações. Perspectivas em Ciência da Informação, v. 21, p. 97-118, 2016. Disponível em:

< <http://www.scielo.br/pdf/pci/v21n1/1413-9936-pci-21-01-00097.pdf>> acessado em 10 de jul. 2019.

KROLL, Henning; HORVAT, Djerdj; JÄGER, Angela. **Effects of Automatisation and Digitalisation on Manufacturing Companies' Production Efficiency and Innovation Performance**. Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, n.58, Feb., Karlsruhe, 2018. Disponível em:< [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cci/innovation-systems-policy-analysis/2018/discussionpaper\\_58\\_2018.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cci/innovation-systems-policy-analysis/2018/discussionpaper_58_2018.pdf)> acessado em 20 de jun. 2019.

KUSIAK, Andrew. **Smart Manufacturing**. International Journal of Production Research, v. 56, n. 1–2, 508–517, jan/2018. Disponível em:< <https://www.researchgate.net/publication/318430955/download>> Acessado em: 07 de set. 2018.

LIN, Yong; IEROMONACHOU, Petros; SUN, Wenxian. **Smart Manufacturing and Supply Chain Management**. Business School, University of Greenwich. Londres, 2016. Disponível em:< [http://gala.gre.ac.uk/16233/8/16233%20LIN\\_Smart\\_Manufacturing\\_2016.pdf](http://gala.gre.ac.uk/16233/8/16233%20LIN_Smart_Manufacturing_2016.pdf)> Acessado em 07 de set. 2018.

MARQUES, Maria; AGOSTINHO, Carlos; ZACHAREWICZ, Grégory; GONCALVES, Ricardo. Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry. JAISE - Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, IOS Press, v.9, n.3, pp.299-313. , 2017. Disponível em:< <https://pdfs.semanticscholar.org/59d4/b53e6994110ba15fe66e8941518c088beaac.pdf>> acessado em 25 de abr. 2019.

MOHAJAN, Haradhan. The Impact of Knowledge Management Models for the Development of Organizations. Journal of Environmental Treatment Techniques, v. 5, n. 1, p. 12-33, 2017.

NISSEN, Mark. Marine Forces Reserve: accelerating knowledge flow through asynchronous learning technologies. Dudley Knox Library. Monterey: 2014. Disponível em < <https://core.ac.uk/download/pdf/36736837.pdf>> acessado em 15 de abr. 2019.

NONAKA, Ikujiro. The Knowledge-Creating Company. Harvard Business Review, jul-aug., 2007. Disponível em:< <https://hbr.org/2007/07/the-knowledge-creating-company>> acessado em 10 de jul. 2019.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. Gestão do conhecimento [recurso eletrônico]. Trad. Ana Thorell. Porto Alegre: Bookman, 2008.

NONAKA, Ikujiro; TOYAMA, Ryoko. **The knowledge-creating theory revisited: knowledge creation as a synthesizing process**. Knowledge Management Research & Practice, n.1, p.2-10, 2003. Disponível em < <https://link.springer.com/article/10.1057/palgrave.kmrp.8500001>> acessado em 20 de fev. 2019.

ODENBACH, Jan; GÖLL, Edgar; BEHRENDT, Siegfried. ARBEITSPAPIER: Industrie 4.0 – digital-vernetzte dezentrale Produktion. 2017. Disponível em: <

[https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-industrie\\_4\\_0-izt.pdf](https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-industrie_4_0-izt.pdf)> acessado em 25 de abr. 2019.

SCHRAUF, Stefan; BERTTRAM, Philipp. Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. Strategyand. PWC. 2016. Disponível em < <https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industry4.0.pdf> > acessado em 10 de mai. 2019.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. Publicado em < <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond> > acessado em 20 de jan. 2019.

SPATH, Dieter (org.); GANSCHAR, Oliver; GERLACH, Stefan; HÄMMERLE, Moritz; KRAUSE, Tobias; SCHLUND, Sebastian. Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. FRAUNHOF IAO. 2013. Disponível em: < <https://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf> > acessado em 07 de fev. 2019.

THOBEN, Klaus-Dieter, WIESNER, Stefan, WUEST, Thorsten. **“Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples**. International Journal of Automation Technology. v.11, n.1. jan, 2017. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/312069858\\_Industrie\\_40\\_and\\_Smart\\_Manufacturing\\_-\\_A\\_Review\\_of\\_Research\\_Issues\\_and\\_Application\\_Examples](https://www.researchgate.net/publication/312069858_Industrie_40_and_Smart_Manufacturing_-_A_Review_of_Research_Issues_and_Application_Examples) > Acessado em 04 de set. 2018.

TSOUKAS, Haridimos. Introduction: Knowledge-Based Perspectives on Organizations: Situated Knowledge, Novelty, and Communities of Practice. Management learning, v.33, n.4, p.419-426, 2002. Disponível em: < <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1350507602334001#articleCitationDownloadContainer> > acessado em 07 de mai. 2019.

WANG, Lidong ; WANG, Guanghui. Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. I.J. Engineering and Manufacturing, v.4,jul., p.1-8, 2016. Disponível em: < <http://www.mecs-press.org/ijem/ijem-v6-n4/IJEM-V6-N4-1.pdf> > acessado em 20 de jun. 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM – WEF. System Initiative on shaping the Future of Production: Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains. WEF: 2017. Disponível em: < [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Impact\\_of\\_the\\_Fourth\\_Industrial\\_Revolution\\_on\\_Supply\\_Chains\\_.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Impact_of_the_Fourth_Industrial_Revolution_on_Supply_Chains_.pdf) > Acessado em 24 de fev. 2018.

\_\_\_\_\_. Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing. WEF: 2019. Disponível em: < [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_4IR\\_Beacons\\_of\\_Technology\\_and\\_Innovation\\_in\\_Manufacturing\\_report\\_2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf) > Acessado em 31 de mai. 2019.