

A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0

Guilherme Santos¹, Marco Nazaré², Álvaro Albuquerque³, Bruno Souza⁴

¹Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Caixa Postal 24 - CEP 35.931-008 – João Monlevade – MG – Brazil

²Department of Computing and Systems – ICEA
João Monlevade, B.R.

guilherme.os1@aluno.ufop.edu.br, marco.nazare@aluno.ufop.edu.br

bruno.js@aluno.ufop.edu.br, alvaro.quintao@aluno.ufop.edu.br

Abstract. *Supply chain organizations in today's global environment operate in an increasingly complex and dynamic marketplace. Sustainable supply chain becomes inevitable to meet aggressive changes in customer requirements. Based on the analyses, it is revealed that manufacturing companies need to accelerate the shift towards sustainability and utilize technology such as the "Internet of Things" (IoT) to achieve the organization's goals. The aim of this research paper is to review various aspects of SCM, ERP, IoT and Industry 4.0 and explore the opportunities available in sustainable supply chain created to IoT for Industry 4.0 transformation.*

Resumo. *As organizações de cadeia de suprimentos no atual ambiente global operam em um mercado cada vez mais complexo e dinâmico. A cadeia de suprimentos sustentável torna-se inevitável para atender às mudanças agressivas nas exigências do cliente. Com base nas análises, é revelado que as empresas de manufatura precisam acelerar na mudança de foco para a sustentabilidade e utilizar a tecnologia como o "Internet das coisas" (IoT) para alcançar os objetivos da organização. O objetivo deste trabalho de pesquisa é revisar vários aspectos da SCM, ERP, IoT e Indústria 4.0 e explorar as potenciais oportunidades disponíveis na cadeia de suprimentos sustentável incorporada à IoT para a transformação da Indústria 4.0.*

1. Introdução

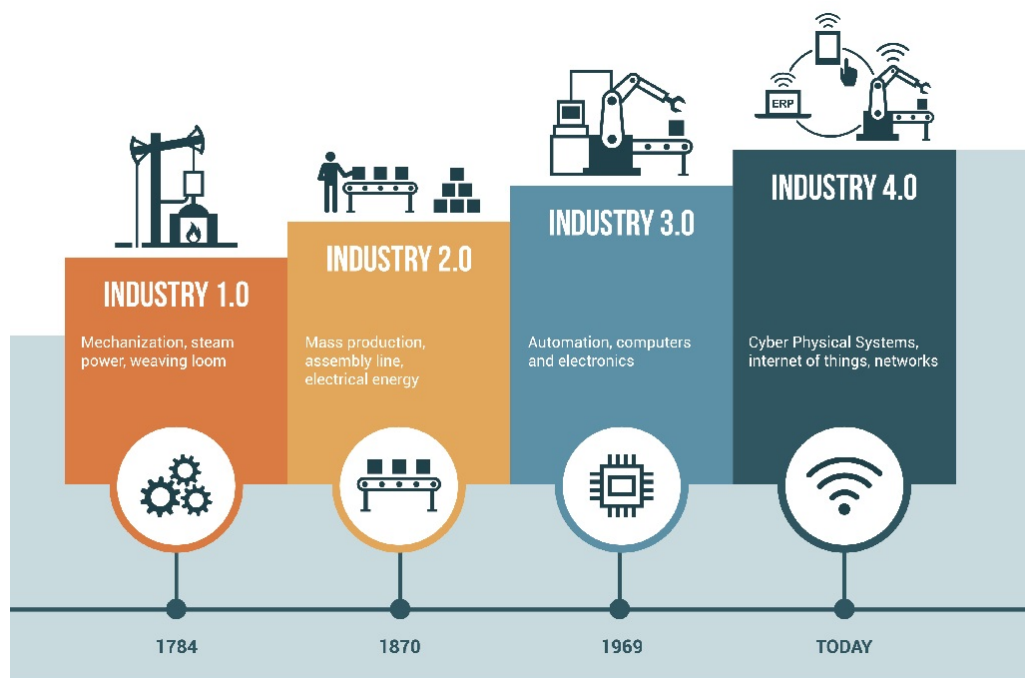
A cadeia de suprimentos sustentáveis é uma abordagem que tem como objetivo minimizar o impacto ambiental e social da produção e distribuição de produtos. Na indústria 4.0, a Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel importante na criação de cadeias de suprimentos sustentáveis, permitindo que as empresas monitorem e controlem seus processos de produção e distribuição de forma mais eficiente e responsável.

1.1. A indústria 4.0

A indústria 4.0 é uma nova fase da revolução industrial que se baseia na digitalização e automação de processos industriais, utilizando tecnologias como a Internet das Coisas

(IoT), inteligência artificial (IA) e robótica avançada. Essa transformação tem como objetivo aumentar a eficiência, a produtividade e a qualidade dos processos de produção, permitindo a criação de produtos personalizados em grande escala, de forma mais rápida e com menos desperdício.

A indústria 4.0 representa uma mudança significativa em relação aos modelos anteriores de produção industrial, que eram baseados em máquinas mecânicas e processos manuais. Com a indústria 4.0, as fábricas se tornam mais inteligentes e conectadas, permitindo que os processos sejam monitorados e ajustados em tempo real, e permitindo que as máquinas trabalhem de forma autônoma em certas tarefas.



1.2. A Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT), está revolucionando a maneira como as empresas operam na indústria 4.0. A IoT refere-se à conexão de dispositivos e sensores através da internet, permitindo que as empresas coletem e analisem dados em tempo real. Na indústria, a IoT é particularmente importante porque permite que as empresas melhorem a eficiência da produção, reduzam custos e aumentem a produtividade.

Isso representa uma mudança significativa na forma como as empresas fabricam e operam, incorporando tecnologias avançadas como a IoT, robótica avançada, inteligência artificial e outras tecnologias digitais. A IoT desempenha um papel crítico na indústria 4.0, pois permite a conectividade entre dispositivos e máquinas na linha de produção, bem como entre os sistemas de gerenciamento e controle.

Além disso, a IoT permite que as empresas monitorem e controlem seus processos de produção de forma mais precisa e eficaz. Através do uso de sensores e dispositivos conectados, as empresas podem coletar dados sobre as condições ambientais, como temperatura e umidade, bem como sobre o uso de matérias-primas e a qualidade do produto final. Com esses dados, as empresas podem tomar decisões mais informadas e adaptar seus processos de produção de acordo com as necessidades do mercado.

Em resumo, a IoT é uma tecnologia essencial para a indústria 4.0, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real, melhorando a eficiência, reduzindo custos e melhorando a qualidade do produto.

1.3. Cadeia de Suprimentos Sustentável

A cadeia de suprimentos sustentável é uma abordagem que busca integrar práticas sustentáveis em todas as etapas do processo de fornecimento de bens e serviços. Isso inclui desde a extração de matérias-primas até o descarte final de produtos. O objetivo é minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos da produção e distribuição de produtos, criando um modelo mais equilibrado e responsável.

A implementação de práticas sustentáveis pode envolver a seleção de fornecedores sustentáveis, a utilização de materiais e energia renováveis, a minimização do desperdício e a colaboração entre empresas e fornecedores para implementar práticas sustentáveis em toda a cadeia de fornecimento.



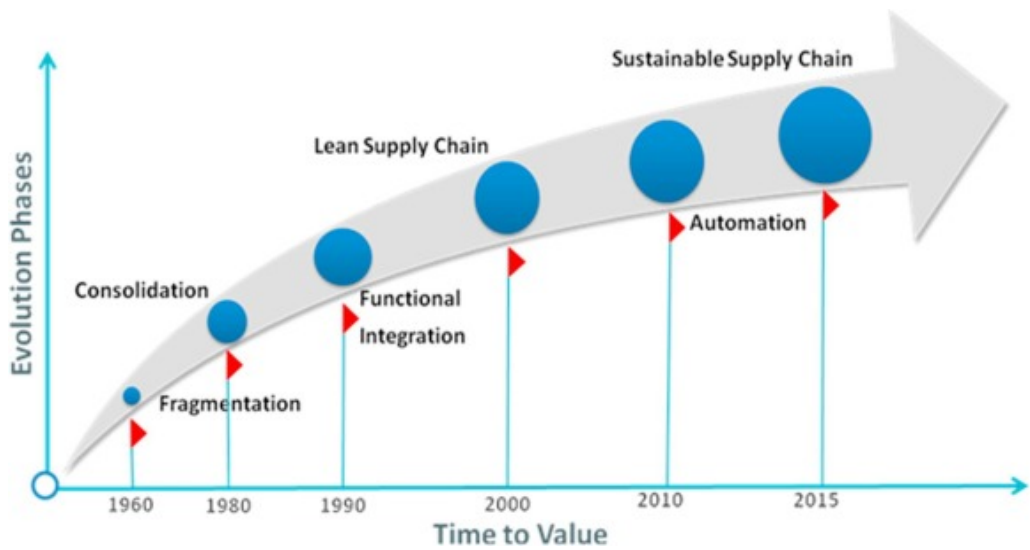
2. Tecnologias utilizadas pela (IoT) e a Indústria 4.0

O número de publicações sobre IoT e Indústria 4.0 aumentou consideravelmente nos últimos anos, com um aumento de 97,28% no número de publicações sobre IoT, no ano de 2012 eram 3.129 publicações e em 2017 eram 6.173; e 102,23% sobre Indústria 4.0 entre 2012 com 7.251 publicações e 2017 com 14.664 publicações. No entanto, a pesquisa sobre a aplicação de IoT na gestão da cadeia de suprimentos para atender à Indústria 4.0 ainda não recebeu muita atenção e é identificada como uma lacuna na literatura. A seguir iremos falar um pouco sobre a principal utilização dessas tecnologias atualmente.

2.1. SCM (Supply Chain Management)

Gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM), é o gerenciamento do fluxo de mercadorias, dados e finanças relacionados a um produto ou serviço, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega do produto em seu destino. O SCM teve um grande crescimento nas últimas seis décadas, passando do foco inicial em melhorar o processo de trabalho manual até a automação e a conexão efetiva da rede da cadeia de suprimentos. A Figura 4 demonstra a evolução do SCM ao longo das últimas seis décadas com um gráfico. Na década de 1960, os fabricantes se concentraram na fabricação em larga escala

para reduzir o custo de produção unitário como objetivo principal e o sistema não era contínuo.



2.1.1. Fatores que influenciam Cadeia de Suprimentos

O gerenciamento da cadeia de suprimentos (SCM) apresenta resultados melhores em termos de tempo de entrega, satisfação do cliente e relacionamento com fornecedores. Para uma melhor compreensão da cadeia de suprimentos e suas operações, é inevitável reconhecer os fatores que influenciam o SCM. Ilustrado na Figura 5, os fatores que influenciam o gerenciamento da cadeia de suprimentos são:



Desempenho - A capacidade de resposta à mudança é uma medida importante para avaliar o desempenho.

Tecnologia - A mudança dinâmica nas necessidades dos clientes, especialmente em tecnologia de ponta e eletrônicos de consumo, precisa ser levada em consideração.

Política ambiental - A influência das regulamentações governamentais sobre o meio ambiente é um dos principais fatores estratégicos a serem considerados.

Economia - As finanças são uma parte essencial que decide a força da gestão da cadeia de suprimentos (SCM).

Colaboração na cadeia de suprimentos - O Gerenciamento de Relacionamento com Fornecedores (SRM) e o Gerenciamento de Relacionamento com Clientes (CRM) são as principais funções das práticas empresariais.

Competição - A geração de receita é baseada na competição no mercado.

Envolvimento do cliente - Cada parte interessada tem uma visão diferente, por isso é necessário o engajamento do cliente para conhecer as expectativas reais.

Informações em tempo real - As empresas esperam que o planejamento e a execução do plano dependam do compartilhamento de informações em tempo real.

Aquisições - Prever a demanda e garantir que o suprimento seja pedido de forma ótima para evitar situações de excesso de estoque ou falta de estoque.

Zero erros - Em certas indústrias, como a cadeia de suprimentos de alimentos e aeroespacial, existe uma tolerância de zero por cento.

2.1.2. Avanços em Operações de Cadeia de Suprimentos

A tecnologia, incluindo IoT e automação, maximiza a efetividade das operações de gerenciamento da cadeia de suprimentos, que envolve processos, infraestrutura e sistemas para gerenciar o fluxo de informações, materiais e serviços do fornecedor ao consumidor final. Diversos estudos foram realizados para propor melhorias na performance da cadeia de suprimentos, como o sistema autônomo de processamento de pedidos sugerido por Khan, Hasan, Ray, Saha, e Abdul(2013) para a indústria de processamento de alimentos e a análise de Bienhaus e Haddud (2018) sobre o impacto da indústria 4.0 na aquisição, identificaram os gargalos potenciais e explorou maneiras de superá-los e transformar o negócio em uma organização totalmente digital. Dolgui, Ivanov, Sethi, e Sokolov (2018) em seus estudos analisaram o agendamento de produção, a cadeia de suprimentos e a indústria 4.0. Além disso, explicaram os métodos qualitativos para o controle ótimo da engenharia industrial e gestão da produção. Hou, Chaudhry, Chen, e Hu(2017) apresentaram a evolução do desenvolvimento sustentável na gestão da cadeia de suprimentos (SCM).

2.2. Visão geral sobre GSCM (Green supply chain management)

Mais de 300 artigos foram publicados sobre GSCM e SSCM nos últimos 15 anos. Tsang et al. (2018) propuseram um sistema de detecção de riscos embutido em IoT para qualidade do item e segurança do trabalhador em ambientes frios. Também foi desenvolvido um framework de ligação em Supply Chain de vários períodos para maximizar o valor líquido do investimento com tecnologia ecologicamente correta.

2.2.1. Método usado para a implementação de GSCM

Vários estudos foram realizados para avaliar o método adotado para implementar o GSCM. Diferentes abordagens são usadas para avaliar a indústria da cadeia de supri-

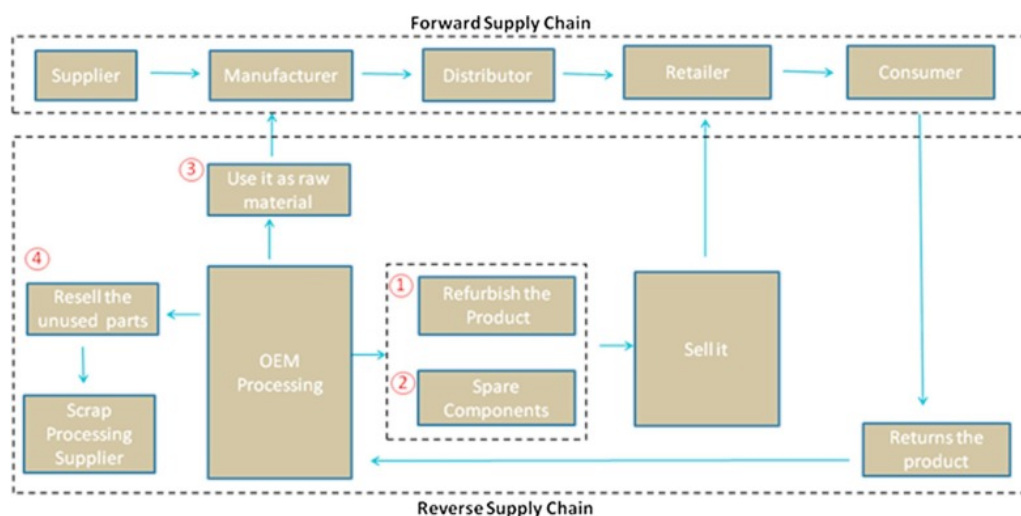
mentos para proteger o meio ambiente. O ecossistema digital SCM está se expandindo para o gerenciamento e integração de serviços que podem alimentar aplicativos da Internet industrial (Angeles, 2005). A CPS é vista como o próximo sistema de geração que integra sistemas de informação, RFID, sensores, dispositivos e equipamentos (Schirner, Erdogmus, Chowdhury, Padir, 2013). Sistemas Ciber-Físicos (CPS) monitoram processos físicos e comunicam o status aos seres humanos em tempo real, que podem acessá-los de qualquer lugar, o que melhora a interação humano-máquina (HMI) (Lee, 2008; Shafiq, Sanin, Szczerbicki, Toro, 2015). O SC digital deve ser considerado como um dos principais impulsionadores do GSCM.

2.3. Visão geral sobre SSCM

SSCM é um importante conceito em SCM que tem gerado várias discussões recentemente. Ele integra os sistemas de informação organizacionais para gerenciar os fluxos de bens, informações e finanças, levando em consideração aspectos socioeconômicos e ambientais. Kadambala, Subramanian, Tiwari, Abdulrahman, and Liu (2017) estudaram o CLSC, que envolve fornecedores, fabricantes, distribuidores, varejistas e clientes, e revisaram o ciclo de vida do transporte de contêineres.

2.4. Revisão sobre CLSC

As organizações começaram a adotar a CLSC recentemente para melhorar a agregação de valor e tornar o ambiente mais eco-friendly. A tecnologia permite a devolução de produtos bem manipulados e rastreados, resultando em economia de custos. A SSCM desenvolveu interesse no meio empresarial e acadêmico pelo impacto que causa ao meio ambiente. A CLSC tem duas fases: a Forward Supply Chain (FSC) e a Reverse Supply Chain (RSC) ou Reverse Logistics (RL). A FSC cuida do fluxo comercial em frente, onde o valor é adicionado em cada processo para atender às necessidades dos clientes (Govindan, Soleimani, Kannan, 2015). A RSC traz os produtos devolvidos pelo cliente e aplica os 6Rs, a saber: Recover, Reuse, Remanufacture, Recycle, Redesign e Reduce para estender o ciclo de vida do produto. Um modelo típico de CLSC é mostrado na Figura 7.



A SSCM é um tema de interesse para vários estudos de pesquisa. A revisão da literatura revela que várias organizações estão adotando medidas em direção à sustentabilidade e que a implementação de métodos SSC deve envolver toda a cadeia de suprimentos,

incluindo parceiros. Isso ocorre porque a SSCM afeta o desempenho e o crescimento da indústria da cadeia de suprimentos, que precisa atender às regulamentações governamentais em políticas ambientais e conformidade.

2.5. Visão Geral sobre Indústria 4.0

Industry 4.0 é uma tecnologia digital que transforma a produção industrial em um nível superior, através de plataformas como CPS, IoT e IoS, permitindo a interconexão de máquinas para produção de produtos personalizados. A literatura do Industry 4.0 foi revisada para entender o crescimento futuro da indústria da cadeia de suprimentos.

CPS é um sistema interconectado de objetos físicos e digitais que interagem e tomam decisões descentralizadas. Ele é composto por três camadas: a camada de percepção, a camada de processamento e a camada de aplicação. As revoluções industriais anteriores (movida a vapor, eletricidade e automação) culminaram na Indústria 4.0, que combina a tecnologia CPS com a tecnologia da informação para acelerar o crescimento industrial. As avaliações sugerem que toda a cadeia de suprimentos, incluindo os parceiros, deve começar a implementar métodos de Compartilhamento de Serviços Comuns (SSC) (Alblas, Peters, Wortmann, 2014; Foerstl, Azadegan, Leppelt, Hartmann, 2015; Lange, Driessen, Sauer, Bornemann, Burger, 2013; Leppelt, Foerstl, Reuter, Hartmann, 2013; Sarkis, Zhu, Lai, 2011; Sharma, Iyer, Mehrotra, Krishnan, 2010; Zhu, Sarkis, Lai, 2013).

2.5.1. Próxima onda da indústria 4.0

Para alcançar a Indústria 4.0, é necessário que as organizações se transformem digitalmente. Com essa transformação, a cadeia de suprimentos tradicional pode se tornar mais eficiente, conectando desde o desenvolvimento do produto até o serviço ao cliente. A inclusão da sustentabilidade na cadeia de suprimentos digital beneficiará todo o ecossistema. A figura 12 mostra a interconexão dos componentes, máquinas, sistemas e partes interessadas da cadeia de suprimentos para formar uma SCN digital com a Indústria 4.0.



2.6. Papel da IoT em varias Cadeias de Suprimentos

O IoT é uma tecnologia influente que impacta os negócios, com um crescimento exponencial de dispositivos conectados à internet até 2020. Com a IoT, é possível controlar

dinamicamente a cadeia de suprimentos e monitorar as operações logísticas. A revisão foi feita em vários métodos de cadeia de suprimentos, incluindo práticas de GSCM / SSCM. A IoT influencia o futuro da cadeia de suprimentos, permitindo o compartilhamento de informações, materiais e finanças entre os parceiros da cadeia de suprimentos. No entanto, estudos sobre a influência da IoT nas práticas de SSCM são insuficientes e mais pesquisas são necessárias nessa área.

2.7. Sistemas de SCM baseados em IoT

A tecnologia IoT oferece soluções eficientes e rápidas para atender aos desafios da cadeia de suprimentos, permitindo o uso de tecnologia baseada em sensores e compartilhamento de informações pela internet. Algumas soluções propostas incluem um sistema de transporte de fabricação com IoT, rastreamento de produtos agrícolas com tecnologia RFID e sistemas de monitoramento ao vivo da qualidade de alimentos pré-embalados. Essas tecnologias permitem que as partes interessadas tomem decisões dinâmicas com base em informações em tempo real e melhoram a eficiência da cadeia de suprimentos.

3. Implementação

A implementação da IoT na cadeia de suprimentos tem um impacto significativo na redução de custos e na otimização dos processos de produção. Além disso, a tecnologia IoT permite que ocorra a identificação de problemas em tempo real, possibilitando a implementação de soluções rápidas e efetivas. Um estudo publicado na revista Sustainability (Zhou et al., 2020) destacou a importância da IoT na cadeia de suprimentos como estratégia para melhorar a eficiência e a sustentabilidade e outro publicado na revista Computers Industrial Engineering (Sisodia et al., 2019), fez a análise de uma aplicação da IoT na gestão da cadeia de suprimentos e chegou a conclusão de que a tecnologia pode gerar uma significativa redução dos custos e no tempo de produção, demonstrando assim sua necessidade para a construção de uma cadeia de alimentos sustentável.

Porém, para que ocorra uma eficiente implementação da IoT na cadeia de suprimentos, é de suma importância que ocorra um planejamento adequado e uma mudança de mentalidade relacionada à sustentabilidade. A execução da IoT deve ser vista como uma oportunidade para melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos e a redução do impacto ambiental das operações.

É importante ressaltar que a implementação da IoT na cadeia de suprimentos não é uma solução que age por si só, mas sim parte de um processo contínuo de melhoria. É essencial que as empresas se mostrem dispostas a investir em tecnologia e no treinamento de funcionários para uma implementação bem-sucedida da IoT.

4. References

[Manavalan E. 2018], [Sundmaeker and Woelfflé 2010], [Ashton 2009], [Bagula and Erasmus 2015], [(2014)], [Gartner], [Jelly and Mukhopadhyay], [Chaouchi], [Fasolo and Zorzi], [Sundmaeker and Woelfflé], [Shelby and Bormann],

References

(2014), F. Internet of things by the numbers: Market estimates and forecasts.

- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. RFiD Journal.
- Bagula, B. and Erasmus, Z. (2015). Iot emulation with cooj. ICTPIoT Workshop.
- Chaouchi, H. The internet of things: connecting objects.
- Fasolo, E., R. M. W. J. and Zorzi. Network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey.
- Gartner, I. . Gartner's 2015 hype cycle for emerging technologies identifies the computing innovations that organizations should monitor.
- Jelly, S. D. T., S. N. K. and Mukhopadhyay, S. C. Towards the implementation of iot for environmental condition monitoring in homes.
- Manavalan E., J. K. (November 2018). A review of internet of things (iot) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. School of Mechanical Engineering, VIT University, Vellore, India.
- Shelby, Z. and Bormann, C. The wireless embedded internet.
- Sundmaeker, H., G. P. F. P. and Woelfflé, S. Vision and challenges for realising the internet of things.
- Sundmaeker, H., G. P. F. P. and Woelfflé, S. (2010). *Vision and challenges for realising the Internet of Things, volume 2*. UFMG, volume 20 edition.