

Arquitetura industrial para Indústria 4.0 – RAMI4.0

Industrial architecture for Industry 4.0 – RAMI4.0

RESUMO

Andrey Stanislavski da Luz
andrey1@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

Rui Tadashi Yoshino
ruiyoshino@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

Com o objetivo de emergir na quarta revolução industrial, muitos países deram início a iniciativas de desenvolvimento tecnológico e cunharam seus próprios termos para a nova onda de revolução industrial. Na Alemanha, o surgimento e disseminação do termo *Industrie 4.0* ocorreu com o apoio do governo alemão e consórcios industriais para o desenvolvimento de tecnologia. Para a implantação da Indústria 4.0, é necessário a padronização e normalização de recursos de comunicação e processamento de informações. Para isso, o projeto alemão RAMI4.0 foi criado. O objetivo deste trabalho é descrever os pontos chave da RAMI4.0, bem como fornecer ao leitor demais fontes de informação sobre o assunto. A pesquisa foi conduzida de forma qualitativa, com busca de periódicos em bases de dados, e estruturada de acordo com a metodologia PRISMA para revisão sistemática de literatura. O artigo apresenta uma explicação da arquitetura, como funcionam suas camadas e eixos, bem como uma explicação do ciclo de vida e hierarquia empresarial segundo o modelo. Ao final do trabalho, foi possível concluir os objetivos e ainda apontar trabalhos futuros para a arquitetura, como a integração de *digital twins* em seu modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0. RAMI 4.0. Arquitetura de referência.

ABSTRACT

In order to emerge in the fourth industrial revolution, many countries started their own technological development and coined their terms for this new industrial revolution wave. In Germany, the rise and dissemination of the *Industrie 4.0* initiative occurred with the help from the government and industrial consortiums for technological development. The transition into the Industry 4.0, must occur with the standardization of communication and data processing. For that, the RAMI4.0 model was created. This article aims to explain the key points of RAMI 4.0 and provide other information sources for the reader. The research was conducted qualitatively via databases search and structured according to the PRISMA methodology for systematic literature review. The article presents an explanation of the architecture, the life cycle and the industrial hierarchy according to RAMI4.0. In the end, the objectives were achieved and it was possible to point future works for the model, as including digital twins in the architecture.

KEYWORDS: Industry 4.0. RAMI 4.0. Reference architecture.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Com o avanço da Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) e dos Sistemas Cyber-Físicos (Cyber-Physical Systems – CPS) muitos governos e indústrias ao redor do mundo iniciaram planos de desenvolvimento e parcerias a fim de se beneficiar da nova onda de revolução industrial conhecida como Indústria 4.0. Com o passar do tempo, algumas áreas de prioridade puderam ser identificadas, sendo uma delas o desenvolvimento de um conjunto único de padrões e normas e também de uma arquitetura de referência a fim de apoiar a colaboração e a descrição técnica dessas normas (LIAO *et al.*, 2017).

Dentre as ações tomadas por governos e indústrias quanto ao desenvolvimento de tecnologias e normas para a Indústria 4.0, o projeto alemão *Industrie 4.0* recebeu amplo destaque e aceitação por demais países, e vem ganhando reconhecimento através do modelo de arquitetura de referência *RAMI4.0 - Reference Architectural Model Industrie 4.0*.

Embora seja grande o reconhecimento da iniciativa alemã, o grau de novidade da mesma acaba por dificultar seu entendimento e limita o leitor a poucas referências e exemplos práticos de aplicação da RAMI4.0. Sendo assim, este artigo propõe-se a explanar os principais temas que abrangem essa arquitetura em desenvolvimento e proporcionar ao leitor acesso a mais fontes de informação sobre o assunto.

MATERIAL E MÉTODOS

A fim de buscar informações sobre o tema, realizou-se pesquisa qualitativa em bases de dados, seguindo a metodologia PRISMA. As bases utilizadas foram Web of Science, Science Direct e SCOPUS. Para a busca, foram utilizados outros termos que se referem a Indústria 4.0, uma vez que diversos países adotam uma nomenclatura diferente para essa nova onda de revolução industrial, como mostrado por Liao, *et al.* (2017). Os termos *industry 4.0*, *industrie 4.0*, *smart factory* e *smart manufacturing*, foram combinados com o operador ‘OR’, pois se tratam de sinônimos, e somados aos termos *reference architecture*, *reference model* e *architecture model* através do operador ‘AND’. A busca resultou em 612 resultados, que foram posteriormente analisados segundo a metodologia PRISMA.

Após a remoção de duplicatas, obteve-se 255 artigos, sendo que destes, 85 foram excluídos devido aos títulos e resumos não apresentarem nenhuma ou pouca referência ao tema pesquisado. Após a triagem, foi realizada análise bibliométrica dos 170 artigos restantes, para averiguar a evolução de publicações acerca do tema e também analisar as características do portfólio quanto a autores e afiliações. Finalmente, após a leitura dos trabalhos, 127 artigos foram excluídos, sendo que destes, 92 faziam menção a arquitetura RAMI4.0 apenas como citação ou exemplo, e 35 discutiam sobre arquiteturas para sistemas industriais não voltados a indústria 4.0. Dessa forma, o portfólio totalizou 43 artigos a serem incluídos na análise qualitativa.

O gráfico abaixo apresenta a distribuição do número de publicações ao longo do tempo.

Figura 1 – Gráfico do número de publicações por ano



Fonte: Autoria própria (2020)

Como podemos ver, as arquiteturas industriais para indústria 4.0 recebem mais pesquisas a cada ano, sendo que no ano de 2019 o total de trabalhos encontrados foi de 57 artigos.

Quanto aos autores, poucos possuem mais de uma publicação sobre o tema, como ilustra o gráfico abaixo.

Figura 2 – Gráfico de autores e número de publicações

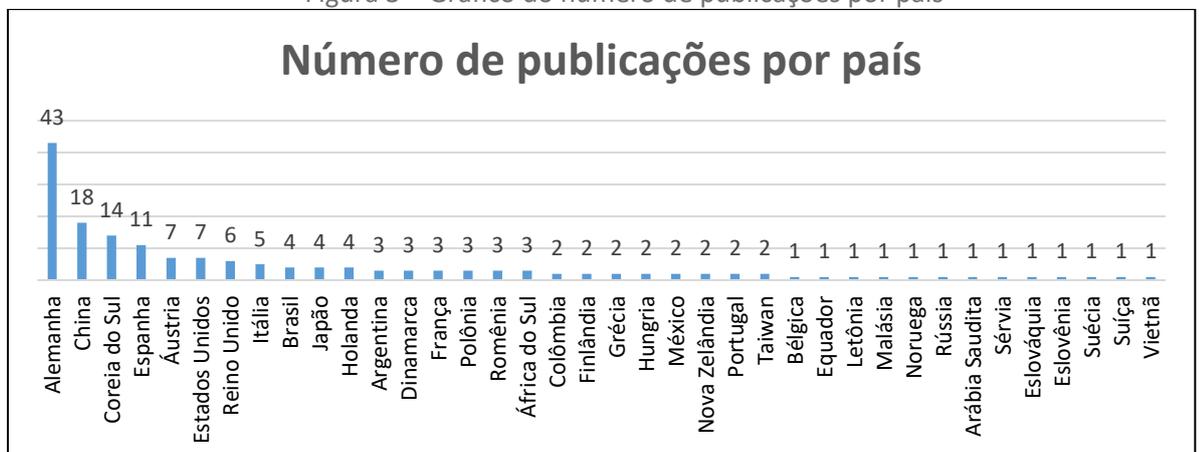


Fonte: Autoria própria (2020)

O gráfico mostra que, 113 autores possuem apenas uma publicação, 19 autores possuem 2 publicações, 9 autores possuem 3 publicações e 1 autor possui 4 publicações.

Finalmente, o gráfico abaixo apresenta a afiliação de autores, ou seja, o número de publicações por país.

Figura 3 – Gráfico do número de publicações por país



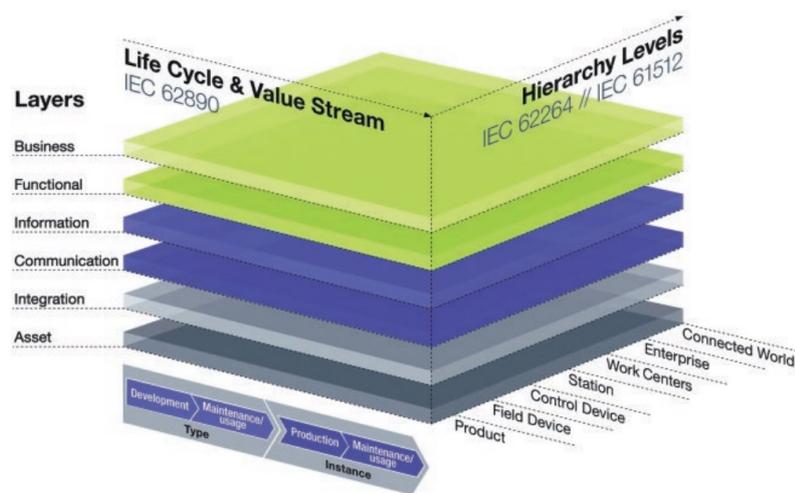
Fonte: Autoria própria (2020)

Como podemos ver, a maior concentração de publicações está na Alemanha com 43 artigos, cerca de 25% do total. Em segundo lugar dos países com maior número de publicações está a China, seguida da Coreia do Sul em terceiro e Espanha em quarto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo RAMI4.0 é um modelo tridimensional, composto por camadas, e eixos, representando todos os aspectos do negócio. No eixo horizontal, de acordo com Resman, *et.al* (2019), as camadas incluem diferentes visões, como ativos, descrição de funcionalidades, mapas de dados, etc. Outro critério, como mostram Juhász e Bányai (2018) são o ciclo de vida (*type*) e o tempo de serviço (*instance*) dos produtos e sistemas de produção. O eixo vertical representa o terceiro aspecto chave, a alocação das funções e responsabilidades entre fábricas ou plantas (PISCHING, *et. al*, 2018). A combinação entre ciclo de vida e a cadeia de valor com uma abordagem estruturada hierarquicamente é uma característica de destaque no modelo RAMI4.0 (RESMAN, *et. al*, 2019). A figura abaixo ilustra o modelo RAMI4.0.

Figura 4 – Arquitetura RAMI4.0



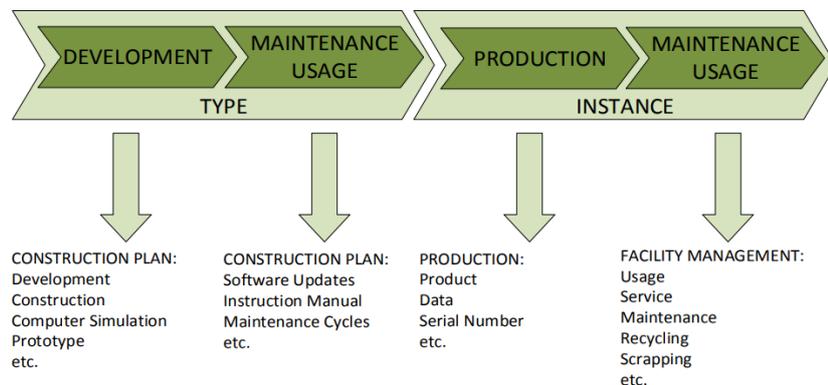
Fonte: ADOLPHS, *et. al*, 2015

Começando com as seis camadas do modelo, a camada *asset* contém os objetos do mundo físico, como partes em metal, documentos, arquivos, diagramas, pessoas, etc. Uma camada acima, *integration*, estão as interações e transformações necessárias para representar os objetos do mundo físico no mundo virtual. Essa camada envolve um controle computadorizado do processo, como drivers, RFID, etc (PISCHING, *et. al*, 2018). A camada *communication*, realiza a padronização da comunicação entre as camadas *integration* e *information*. De acordo com Mello e Godoy (2019), a padronização é alcançada com um formato de dados uniforme, utilizado pela camada *information* a fim de realizar o controle sobre a camada *integration*. A camada *information* faz o armazenamento de dados de maneira organizada. O objetivo aqui é prover informações sobre o número total de vendas, ordens de compra, fornecedores e locais. Ela armazena informações sobre todos os produtos e materiais que são manufaturados ou gerenciados na

indústria. Além disso, ela também dá informações sobre equipamentos e componentes que são utilizados para construir os produtos. Finalmente, envia informações aos clientes e armazena seu feedback (PISCHING, et. al, 2018). Essa camada é baseada em um software, na forma de dados, figuras ou arquivos. A camada seguinte, *functional*, é responsável por regras de produção, ações, processamentos e controle de sistemas, como apresentado por Adolphs, et. al, (2015). Ela envolve a coordenação de componentes, como ligar e desligar sistemas, testar elementos, entradas do usuário, alertas e autenticação biométrica. A última camada, *business*, é composta da estratégia, ambiente e objetivos do negócio. Em outras palavras, ela lida com promoções e ofertas, locais alvo, propaganda, gestão do relacionamento com o cliente, orçamentos e preços (MELLO, GODOY, 2019).

Quanto ao ciclo de vida, ele ocorre em duas fases: *type* e *instance*, como mostra a figura abaixo. De acordo com Resman, et.al (2019), quando o produto está sob desenvolvimento, então está na fase *type*. A partir do momento em que o produto está em produção, entra na fase *instance*. Quando o mesmo produto retorna para o desenvolvimento (atualizações), ele está novamente na fase *type*. Quando um cliente realiza a compra de um produto, ainda está na fase *type*. Quando o produto é instalado em um sistema, então retorna para a fase *instance*. A mudança de *type* para *instance* pode ocorrer inúmeras vezes durante o ciclo de vida de um produto.

Figura 5 – Ciclo de vida RAMI4.0



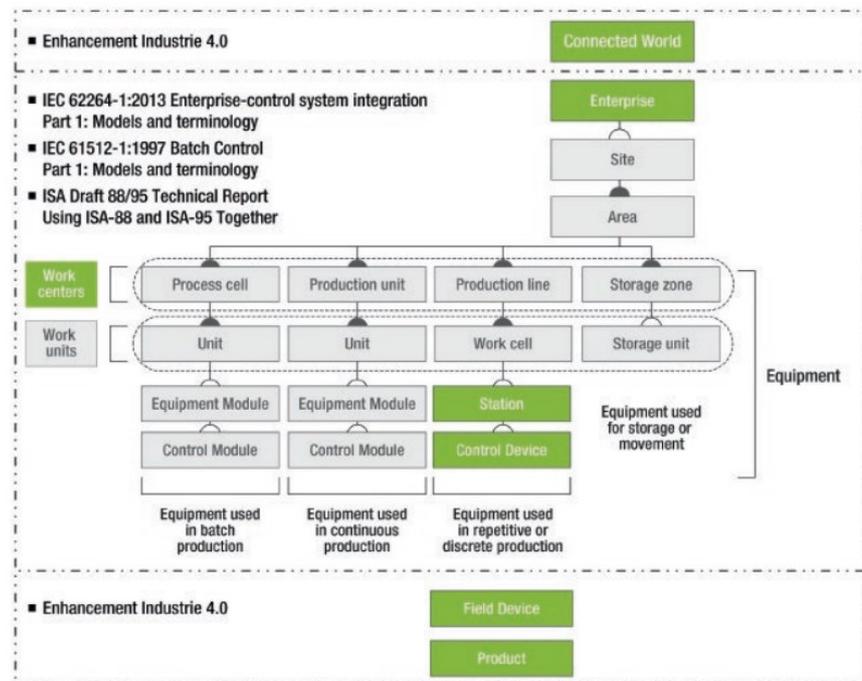
Fonte: Resman, et.al (2019)

As camadas *enterprise*, *work centers*, *station* e *control device*, ilustradas na imagem a seguir, abrangem desde o processo industrial até a automação da fábrica, porém, na indústria 4.0, um passo a mais deve ser dado. Na indústria 4.0, não apenas o dispositivo de controle (*control device*) é decisivo, como um controlador lógico programável, por exemplo, mas também considerações dentro de uma máquina ou sistema (BANGEMANN, et.al, 2016). Dessa forma, a camada *field device* foi adicionada ao modelo. Essa camada representa o nível funcional de um componente inteligente, como por exemplo, sensores inteligentes. Ainda, o próprio produto a ser manufaturado necessita ser considerado no sistema, assim, a camada *product* foi adicionada, permitindo uma consideração homogênea do produto e suas interdependências (ADOLPHS, et. al 2015).

Uma vez que as normas utilizadas para definir as camadas hierárquicas tratam apenas de níveis dentro de uma fábrica, outra adição foi feita para incluir o aspecto 4.0 no modelo. A camada *connected world*, como explicam Bangemann,

et.al (2016), representa o grupo de fábricas, e a colaboração com companhias externas, fornecedores, clientes e etc.

Figura 6 – Hierarquia empresarial RAMI4.0



Fonte: Bangemann, et. al (2016)

CONCLUSÕES

A iniciativa alemã, Indústria 4.0, definitivamente é um dos mais avançados polos de desenvolvimento para a próxima revolução industrial, contudo, nem tudo está definido. Os próximos passos, como mostram Flatt *et. al* (2016), envolvem a identificação de novos desafios relacionados a aplicação da Indústria 4.0 que são difíceis ou impossíveis de se alcançar com a abordagem atual. Isso deve ser realizado com o envolvimento no desenvolvimento de padronizações e melhores práticas, juntamente com outros países e instituições. Como apresentado por LIN, *et.al* (2017) outras arquiteturas vêm sendo desenvolvidas em outros países, como a iniciativa americana *Industrial Internet Consortium* com a arquitetura de referência para a internet industrial, e a iniciativa chinesa com a arquitetura para um sistema de manufatura inteligente (GAYKO, *et. al*, 2018). Trabalhos de alinhamento de conceitos e abordagens foram realizados entre as três arquiteturas, e certamente devem trazer grandes resultados para a consolidação de um modelo geral para a aplicação da Indústria 4.0. Ainda, com relação aos trabalhos futuros para a RAMI4.0, como mostrado por Resman, *et.al* (2019) é importante considerar a integração de *digital twins*, isto é, um modelo virtual completo de um equipamento distribuído em um sistema ao invés de sistemas descentralizados em cada camada no eixo vertical.

Com isso, finaliza-se este trabalho, atingindo o objetivo de explicar os principais pontos da arquitetura RAMI4.0. Algumas limitações a pesquisa realizada foram a existência de diversas nomenclaturas diferentes para arquiteturas de referência, e a própria diversidade de nomes para a nova onda de revolução

industrial, referenciada neste trabalho como Indústria 4.0. Além disso, não foi possível realizar um diagnóstico em uma indústria e propor uma arquitetura aplicada a essa indústria com base em RAMI4.0, devido à complexidade do tema e a necessidade de tecnologias avançadas de desenvolvimento de sistemas industriais e tecnologia da informação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao meu orientador e ao grupo de pesquisa em indústria 4.0 da graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção (UTFPR - Ponta Grossa) pela ajuda com as metodologias de pesquisa ensinadas a mim.

REFERÊNCIAS

ADOLPHS, P.; BEDENBENDER, H.; DIRZUS, D.; EHLICH, M.; et.al. Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0). **Status Report ZVEI**. 2015. Disponível em: https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/PI40/Forms/Listen/Downloads/EN/Downloads_Formular.html?cl2Categories_Typ_name=veroeffentlichung. Acesso em: Janeiro/2020.

BANGEMANN, T.; BAUER, C.; BEDENBENDER, H.; DIESNER, M.; et. al. Industrie 4.0 – Technical Assets Basic terminology concepts, life cycles and administration models. **Status Report ZVEI**. 2016. Disponível em: https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/PI40/Forms/Listen/Downloads/EN/Downloads_Formular.html?cl2Categories_Typ_name=veroeffentlichung. Acesso em: Janeiro/2020.

FLATT, H.; SCHRIEGEL, S.; JASPERNITE, J.; TRSEK, H.; ADAMCZYK, H. Analysis of the Cyber-Security of industry 4.0 technologies based on RAMI 4.0 and identification of requirements. **IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/etfa.2016.7733634>. Acesso em: Março/2020.

GAYKO, J.; LÉBOUCHER, Y.; WEI, S.; WANG, C.; et.al; Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture. **Sino-German Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing Standardisation Sub-Working Group**. 2018. Disponível em: <https://www.dke.de/resource/blob/1711304/2e4d62811e90ee7aad10eeb6fdeb33d2/alignment-report-for-reference-architectural-model-for-industrie-4-0-data.pdf>. Acesso em: Janeiro/2020

JUHÁSZ, J.; BÁNYAI, T.; What Industry 4.0 Means for Just-In-Sequence Supply in Automotive Industry? **Vehicle and Automotive Engineering**. 2018. 2, 226–240. Disponível em: http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-319-75677-6_19. Acesso em: Março/2020

LIAO, Y; DESCHAMPS, F; LOURES, E. F. R.; RAMOS, L. F.P.; Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>. Acesso em: Janeiro/2020.

LIN, S. W.; MURPHY, B.; CLAUER, E.; LOEWEN, U.; et.al. Architecture Alignment and Interoperability. **Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0**. 2017. Disponível em: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/whitepaper-iic-pi40.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Acesso em: Janeiro/2020.

MELLO, P. F. S.; GODOY, E. P. Controller Interface for Industry 4.0 based on RAMI 4.0 and OPC UA. **II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)**. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/metroi4.2019.8792837>. Acesso em: Março/2020.

PISCHING, M. A.; PESSOA, M. A. O.; JUNQUEIRA, F.; FILHO, D. J.; MIYAGI, P. E. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products. **Computers & Industrial Engineering**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.029>. Acesso em: Março/2020.

RESMAN, M.; PIPAN, M.; SIMIC, M.; HERAKOVIC, N. A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. **Advances in Production Engineering & Management**. 2019. Vol. 14, No. 2, 153-165. Disponível em: <https://doi.org/10.14743/apem2019.2.318>. Acesso em: Janeiro/2020.