

Indústria 4.0

Guia de maturidade Tecnológica de máquinas-ferramenta



Organizadores



Julho de 2023

Rede RS Indústria 4.0
(Organizadores)

Guia de maturidade Tecnológica de máquinas-ferramenta

Indústria 4.0

2023

Elaboração do guia de maturidade

O propósito deste guia de maturidade consiste em estabelecer uma série de requisitos preliminares para máquinas-ferramenta, os quais visam possibilitar processos interligados e colaborativos. Tais requisitos são organizados de acordo com os diferentes níveis de maturidade do modelo ACATECH, conferindo-lhes uma estrutura clara e coerente.

Este documento foi desenvolvido no contexto da Rede RS Indústria 4.0 através da colaboração de especialistas de diferentes ICTs e instituições ligadas ao setor de máquinas e equipamentos, conforme lista do a seguir.

Carlos Artur Trein	SENAI-RS-
Daniel Pacheco Lacerda	Unisinos
Denis Borges Maurício	ABIMAQ
Eduardo Augusto Martins	Unisinos
Giuliano Hoffmann	SindiMetal
Murilo Lopes Silva	ABIMAQ
Néstor Fabián Ayala	UFRGS
Rodrigo da Rosa Righi	Unisinos
Silvio Bittencourt da Silva	Unisinos
Victor Emmanuel de Oliveira Gomes	SENAI-RS

Destaca-se que este trabalho possui caráter meramente orientativo e voluntário. Tanto a Rede RS Indústria 4.0 quanto os autores não assumem qualquer responsabilidade pelo uso das informações aqui apresentadas, reservando-se o direito de atualizar e/ou readequar este manual sempre que necessário ou oportuno.

1 Introdução

Inúmeros estudos enfatizam as possibilidades oferecidas pela 4ª Revolução Industrial (Indústria 4.0) e pela crescente disseminação de tecnologias avançadas, capazes de promover um maior desenvolvimento e eficiência do setor produtivo. Essas tecnologias estimulam a inovação e o surgimento de novos negócios, além de aumentar a produtividade das empresas e criar empregos mais qualificados para a sociedade.

As principais tecnologias da Indústria 4.0 são resumidas no modelo proposto por Frank, Dalenogare e Ayala (2019) apresentado na Figura 1. Primeiramente, o modelo apresenta as tecnologias de base ou habilitadoras da Indústria 4.0, sendo estas a Internet das Coisas (IoT), a Computação em Nuvem, o Big Data e a Inteligência Artificial. Essas tecnologias quando combinadas com outras tecnologias já

consolidadas ou emergentes permitem o desenvolvimento de soluções avançadas em quatro grandes áreas de aplicações industriais representadas nessa figura. Essas áreas de aplicação industrial são: a) manufatura inteligente (smart manufacturing) – que integra aspectos como robótica avançada e tecnologias digitais para a fábrica; b) a utilização do trabalho suportado por tecnologias (smart working) para a oferta de serviços produtivos; c) a cadeia de suprimentos inteligente e conectada (smart supply chain) – que considera plataformas de conectividade da fábrica com fornecedores e clientes; e d) a oferta de produtos e serviços conectados (smart products and services) – que considera a maior agregação de valor e inclusive novos modelos de negócios através de serviços baseados em dados.

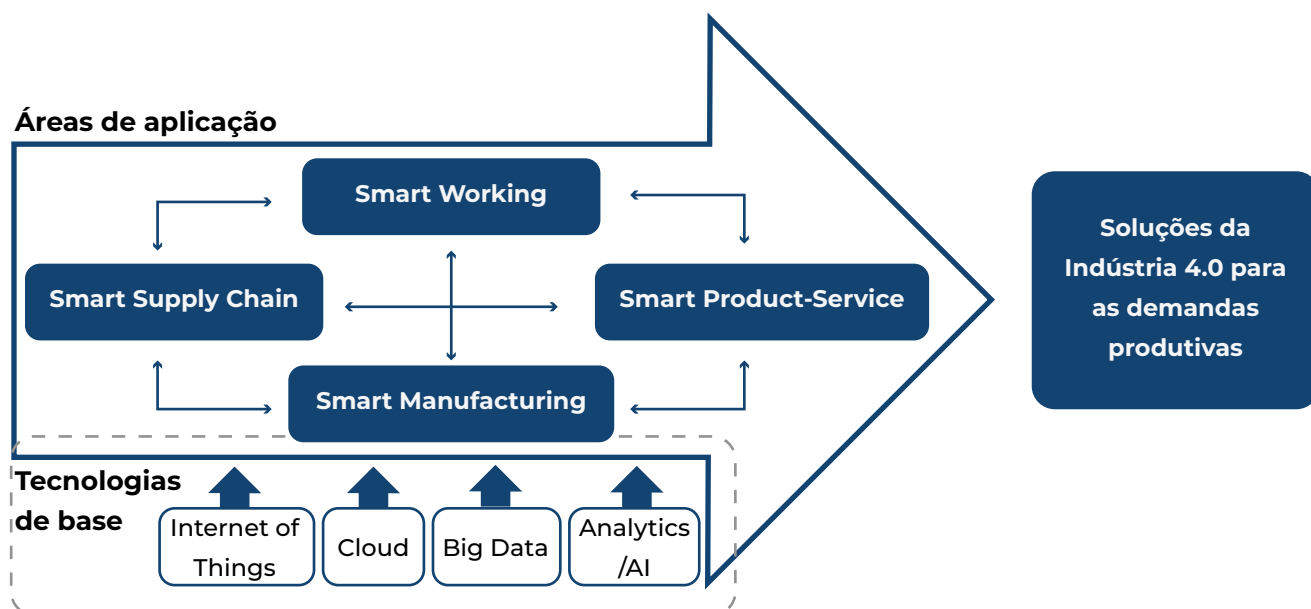


Figura 1. - Os 4 Smarts da Indústria 4.0.
Adaptado de Frank et al. (2019)

¹ Frank, A.G.; Dalenogare, L.S.; Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. Int. J. of Production Economics.

Este documento aborda especificamente a dimensão de produtos inteligentes. Máquinas e equipamentos industriais possuem um grande potencial de transformação em produtos inteligentes, mediante a inclusão de tecnologias, principalmente as chamadas tecnologias de base. Quando equipados com sensores conectados, os dados coletados podem ser disponibilizados por meio da nuvem para o gerenciamento dos ativos pelos proprietários da máquinas. Além disso, os fabricantes desses equipamentos podem coletar os dados para fornecer serviços de alto valor agregado aos seus clientes usuários.

O objetivo deste documento é apresentar um guia útil para as empresas de máquinas e equipamentos, visando compreender as tecnologias e funcionalidades envolvidas em cada um dos estágios de maturidade propostos pela ACATE-CH (2020), conforme descrito abaixo.



Modelo de níveis de Maturidade Tecnológica

A Figura 2 apresenta os níveis de maturidade propostos para máquinas e equipamentos, com base no modelo de maturidade de Indústria 4.0 desenvolvido pela ACATECH.

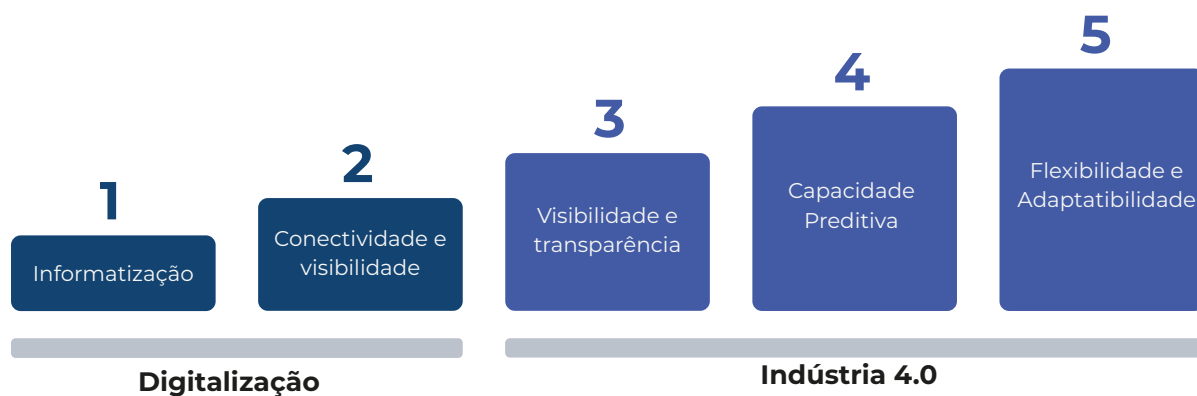


Figura 2 - Níveis de maturidade tecnológica para máquinas - ferramenta.
Adaptado de ACATECH STUDY – Industrie 4.0 Maturity Index 2020

1. No primeiro nível, **Informatização**, espera-se a inclusão de recursos programáveis nas máquinas e equipamentos.

2. No segundo nível, **Conectividade e Visibilidade**, espera-se a existência de sensores para geração de dados, a presença de alguma tecnologia de comunicação entre partes ou módulos, dados armazenados em bancos específicos e a possibilidade de geração de relatórios de produção.

3. No terceiro nível, **Visibilidade e Transparência**, espera-se que seja possível a geração de relatórios com ênfase em diagnósticos operacionais.

4. No quarto nível, **Capacidade Preditiva**, espera-se a geração de relatórios com ênfase em prognósticos através do uso de inteligência artificial (IA).

5. No quinto nível, **Flexibilidade e Adaptabilidade**, espera-se a presença de sistemas de autocorreção e/ou otimização do funciona-

mento das máquinas e equipamentos.

Com a finalidade de que os fabricantes de máquinas e equipamentos possam compreender claramente como cada nível de maturidade pode ser alcançado, a seguir são apresentadas listas de tecnologias e funcionalidades que devem, na medida do possível, ser incluídas nos equipamentos.

Cada máquina poderá ser referenciada em um dos 5 níveis de maturidade tecnológica. A classificação em determinado nível será atribuída à máquina que atender a, no mínimo, 80% dos itens de verificação do nível em questão, bem como o atendimento cumulativo de, no mínimo, 80% de cada nível anterior. Esta classificação se dará ao exemplar da máquina devidamente avaliado, ou ao conjunto de máquinas produzidas em série, desde que esta esteja devidamente padronizada, especialmente no que se refere aos itens avaliados e devidamente documentados em catálogo ou manual.

2.1



Nível 1: Informatização

1.1	Utilização de controlador programável (CLP ou PC) com código fonte editável;
1.2	Capacidade de visualização de sua variação de parâmetros e sua visualização através de interface homem máquina (IHM);
1.3	Possibilidade de automação de processo(s) de fabricação;
1.4	Existência de sistema que permita a rastreabilidade de produtos produzidos;
1.5	Possibilidade de visualização da condição operacional do equipamento (log de falha);
1.6	Capacidade de rotinas automatizadas para diagnóstico da calibração e aferição dos sensores e atuadores do equipamento (log de calibração e erro);
1.7	Capacidade de gerar alertas de níveis (gatilhos) da variação dos parâmetros utilizados no processo (log de alertas e alarmes).

2.2



Nível 2: Conectividade e visibilidade

- | | |
|------|---|
| 2.1 | Uso intensivo de sensores para envio de dados; |
| 2.2 | Utilização de dispositivos reconfiguráveis através de protocolos como IOLink, Modbus, AS-I, etc; |
| 2.3 | Uso de tecnologia IoT para nuvem interna (FOG); |
| 2.4 | Utilização de protocolos de internet (IP) para conexão externa (nuvem); |
| 2.5 | Possibilidade de operação através de sistema de execução de fabricação (MES); |
| 2.6 | Possibilidade de execução de diagnóstico/manutenção remota da máquina; |
| 2.7 | Coleta de dados em tempo real; |
| 2.8 | Existência de interface (painel) com apresentação de KPIs relevantes em tempo real; |
| 2.9 | Possibilidade de conexão de sistemas PLM (Product Lifecycle Management), ERP e MES, entre outros de operação através de sistema de execução de fabricação (MES); |
| 2.10 | Emprego de tecnologias para segurança cibernética de dados; |
| 2.11 | Existência da capacidade de gerar e armazenar os valores dos dados da condição do equipamento durante o processo (como foi feito); |
| 2.12 | Capacidade de gerar e armazenar os valores dos dados da condição operacional do equipamento (log do estado de recovery do equipamento – tempo de recuperação do equipamento). |

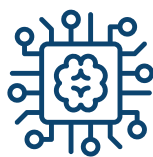
2.3



Nível 3: Visibilidade e Transparência

3.1	Geração de relatórios para produção de conhecimento por meio de análises de causa raiz;
3.2	Uso de tecnologias para análise de big data (data analytics);
3.3	Possibilidade de análise de dados estocásticos;
3.4	Possibilidade de integração com Cyber Physical System de modo a permitir o comissionamento virtual (por exemplo) e outras simulações;
3.5	Possuir protocolos abertos (MQTT, CoAP, etc.) para comunicação entre máquinas e sistemas;
3.6	Capacidade de coletar, calcular e enviar o estado da máquina (funcional, bloqueada, etc.) para outras máquinas e/ou MES;
3.7	Capacidade de calcular a condição operacional do equipamento (durante o ciclo do processo);
3.8	Capacidade de calcular o erro da variação dos parâmetros do processo (durante o ciclo do processo);
3.9	Possibilidade de conexão de sistemas PLM (Product Lifecycle Management), ERP e MES, entre outros de operação através de sistema de execução de fabricação (MES);
3.10	Capacidade de se comunicar (enviar logs, alarmes, alertas, erros, parâmetros e condição operacional) para qualquer dispositivo de visualização (ex.: smartphone);
3.11	Capacidade de coletar e enviar a análise da qualidade o item produzido por ciclo (inspeção 100%).

2.4



Nível 4: Capacidade preditiva

- | | |
|-----|---|
| 4.1 | Uso de Inteligência Artificial para análise de dados, permitindo a análise de probabilidade de ocorrência; |
| 4.2 | Envio de logs, alertas e alarmes diretamente para outras máquinas (decentralizado); |
| 4.3 | Capacidade de prever a condição operacional (MTBF) do equipamento; |
| 4.4 | Capacidade de prever o tempo de recuperação da falha (MTTR) do equipamento; |
| 4.5 | Capacidade de prever a condição operacional (MTBF) dos subsistemas do equipamento; |
| 4.6 | Capacidade de prever o tempo de recuperação da falha (MTTR) dos subsistemas do equipamento; |
| 4.7 | Capacidade prescritiva de falhas do sistema e subsistema; |
| 4.8 | Capacidade preditiva da variação dos parâmetros do processo do equipamento (predição da qualidade do item produzido); |
| 4.9 | Capacidade prescritiva da variação dos parâmetros do processo do equipamento (predição da causa da variabilidade da qualidade do item produzido). |

2.5



Nível 5: Flexibilidade e Adaptabilidade

- | | |
|------|---|
| 5.1 | Possibilidade de alteração de sequência de pedidos planejados devido a falha de máquina esperadas; |
| 5.2 | Geração de informações para permitir a tomada de decisões para obtenção de melhores resultados possíveis no menor tempo possível; |
| 5.3 | Capacidade de colaboração dinâmica em toda a rede de valor, os quais possibilitem autoajustes no processo de produção, sempre que necessário; |
| 5.4 | Capacidade de se adaptar a variação do item a ser produzido sem a interferência humana (auto setup); |
| 5.5 | Capacidade de correção dos parâmetros do processo por causa da condição operacional do equipamento; |
| 5.6 | Capacidade de correção dos parâmetros do processo de acordo com a variabilidade da matéria prima; |
| 5.7 | Capacidade de adequar o tempo de ciclo do processo de acordo com o estado operacional dos processos predecessores e sucessores; |
| 5.8 | Capacidade de ajustar os parâmetros do processo (recebidos de um CPS) em tempo real (durante o processo); |
| 5.9 | Capacidade de se adaptar a variação do item a ser produzido sem a interferência humana (auto setup); |
| 5.10 | Capacidade de alterar os parâmetros do processo para evitar falhas operacionais (evitar a quebra da máquina) estendendo o tempo de MTBF; |
| 5.11 | Capacidade de alterar os parâmetros do processo para evitar anomalias de qualidade previstas. |

Conclusões

Em resumo, este documento apresenta o potencial de transformação de máquinas e equipamentos industriais em produtos inteligentes através da inclusão de tecnologias de base e sensores conectados. Com a coleta e disponibilização de dados via nuvem, os proprietários desses equipamentos podem gerenciar seus ativos de maneira mais eficiente e os fabricantes podem fornecer serviços de alto valor agregado aos seus clientes. O documento tem como objetivo fornecer um guia útil para as empresas de máquinas e equipamentos, abordando as tecnologias e funcionalidades em cada um dos estágios de maturidade.

Porém, é importante destacar que não é necessário que toda máquina e equipamento seja enquadrada no máximo nível de maturidade da Indústria 4.0. As tecnologias devem ser consideradas um meio e não um fim. Por isso, os fabricantes devem buscar alcançar apenas os níveis de maturidade e funcionalidades que realmente agreguem valor aos seus clientes e usuários. Inserir tecnologias nos equipamentos sem um objetivo claro, apenas iria encarecer o produto sem agregar valor, diminuindo a competitividade da empresa ao invés de melhorá-la.

Referências

Schuh, G., Anderl, R., Gaudemeier, J., Hompel, M. T., & Wahlster, W. (2020). UPDATED Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies; acatech STUDY: Munich.

Anderl, R., Picard, A., Wang, Y., Fleischer, J., Dosch, S., Klee, B., & Bauer, J. (2015). Guideline Industrie 4.0-Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses. VDMA Forum Industrie.

Asdecker, B., & Felch, V. (2018). Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. *Journal of Modeling in Management*, 13, 840–883.

Dorronsoro, R. L., Epelde, J. G., López, C., & Lasa, I. S. (2020). An Industry maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 1-13.

Imagem de capa: Freepik.com, @macrovector.
Projeto gráfico e diagramação: equipe de Design do Núcleo de Engenharia Organizacional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rede RS Indústria 4.0

Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS)

Av. Assis Brasil, 8787 – Sarandi, Porto Alegre – RS, 91140-001

E-mail: redersIndustria4.0@outlook.com

<https://redeindustria40.com.br/sobre-a-rede/>