



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Cenários da Transição entre a Indústria 4.0 e a Indústria 5.0 no Setor Financeiro

Scenarios for the Transition from Industry 4.0 to Industry 5.0 in the Financial Sector

Escenarios de Transición entre la Industria 4.0 y la Industria 5.0 en el Sector Financiero

Surieli Garcia

Universidade de São Paulo - EESC USP (surieligarcia@usp.br)

Sofia Nicole Young Pimentel

Universidade de São Paulo - EESC USP (sofia.pimentel@usp.br)

Fernando César Almada Santos

Universidade de São Paulo - EESC USP (almada@sc.usp.br)

Resumo

O artigo discorre sobre as diferenças entre os modelos da Indústria 4.0 e da Indústria 5.0 no setor financeiro, com foco em bancos tradicionais e *fintechs*. Em síntese, a 4.0 é composta por princípios de *design*, contendo interoperabilidade, transparência, virtualização, análises em tempo real, autonomia e orientação a serviços, priorizando automação e eficiência. Já a Indústria 5.0 reorienta essas habilidades para garantir um foco na centralidade humana, na resiliência e na sustentabilidade. O atual artigo utiliza revisão exploratória, matriz de extração e síntese por cenários, utilizando evidências públicas de companhias listadas e a política de métricas A/B/C. São discutidos os cenários de data-driven em tempo real, autonomia supervisionada, sustentabilidade e resiliência digital.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Indústria 5.0, Setor Financeiro, Automação, Inteligência Artificial.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Abstract

The article discusses the differences between Industry 4.0 and Industry 5.0 models in the financial sector, focusing on traditional banks and fintechs. In summary, 4.0 is composed of design principles, including interoperability, transparency, virtualization, real-time analysis, autonomy, and service orientation, prioritizing automation and efficiency. Industry 5.0, on the other hand, reorients these skills to ensure a focus on human centrality, resilience, and sustainability. This article uses exploratory review, extraction matrix, and scenario synthesis, using public evidence from listed companies and the A/B/C metrics policy. It discusses scenarios of real-time data-driven, supervised autonomy, sustainability, and digital resilience.

Keywords: Industry 4.0, Industry 5.0, Financial Sector, Automation, Artificial Intelligence.

Resumen

El artículo analiza las diferencias entre los modelos Industria 4.0 e Industria 5.0 en el sector financiero, centrándose en los bancos tradicionales y las fintech. En resumen, el modelo 4.0 se compone de principios de diseño, entre los que se incluyen la interoperabilidad, la transparencia, la virtualización, el análisis en tiempo real, la autonomía y la orientación al servicio, dando prioridad a la automatización y la eficiencia. La Industria 5.0, por su parte, reorienta estas habilidades para garantizar un enfoque en la centralidad humana, la resiliencia y la sostenibilidad. Este artículo utiliza una revisión exploratoria, una matriz de extracción y una síntesis de escenarios, utilizando pruebas públicas de empresas que cotizan en bolsa y la política de métricas A/B/C. Analiza escenarios de autonomía supervisada basada en datos en tiempo real, sostenibilidad y resiliencia digital.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Palabras clave: Industria 4.0, Industria 5.0, sector financiero, automatización, inteligencia artificial.



**Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia
de Produção (SAEPRO) da EEL-USP**

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025



1. INTRODUÇÃO

As mudanças e transformação digital do sistema financeiro têm sido caracterizadas por “Indústria 4.0”, em que o principal conceito está no relacionamento entre os sistemas físicos e digitais, contendo os princípios de interconexão, interoperabilidade, transparência, virtualização e suporte técnico aos humanos no processamento de operações e desenho de estratégias (Hermann; Pentek; Otto, 2016). Esses pilares trazem uma possibilidade de identificar e prever possíveis cenários, orientar a implementação de modelos de análise e rastreamento de dados para que as tomadas de decisões sejam assertivas, além de uma gama de serviços digitais, como pagamentos instantâneos, open finance e antifraude, garantindo um direcionamento às práticas de processos decisórios.

Em seguida, na Indústria 5.0 é possível observar a reorientação das boas práticas para um foco na centralidade humana, sustentabilidade e resiliência, mudando a visão de “eficiência a qualquer custo” para uma análise mais aprofundada em desempenho, como indicadores de trabalho humano, bem-estar e impacto ambiental.

Os estudos recentes destacam que a 5.0 centraliza o ser humano e suas métricas de desempenho dos sistemas inteligentes, ampliando o leque de medição de métricas de KPI e OKRs para além do OEE e abrindo espaço para aferições como *Overall Labor Effectiveness* (OLE) e semelhantes (Arci, 2024). Essa alteração é importante para os serviços financeiros, em que as criticidades sistêmicas exigem combinar velocidade e escala junto a confiabilidade e continuidade de negócios.

Partindo da ideia de priorização e governança de projeto, análises baseadas em GTMA indicam que autonomia configura como um desafio mais significativo na gestão de pilares de design para a sustentabilidade na Indústria 4.0, seguido de orientação a serviços e otimização de processos. Já a interoperabilidade e análises em tempo real continuam sendo importantes para tomada de decisões baseadas em dados em contextos operacionais (Shupti Et Al., 2024). Essa prática afirma que no ambiente financeiro, ganhos rápidos ocorrem quando há interoperabilidade por meio de APIs e dados abertos, enquanto o



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

caminho para a autonomia exige uma significativa supervisão humana e processos robustos para validação dos modelos.

Nessa linha de raciocínio, o vetor de cibersegurança torna-se imprescindível. As arquiteturas que possuem intenso tráfego de dados sensíveis demandam integrações de *frameworks* para quantificar o impacto econômico de risco e assegurar conformidade. Os estudos especializados propõem a integração de referenciais, junto com tendências e II.0 com modelos quantitativos, a fim de alinhar o discurso de inovação e processos verificáveis (Radanliev Et Al., S.D.). Para os bancos e *fintechs*, esse fato exige unir segurança, governança de dados e observabilidade como pré-requisitos de cenário 4.0 ou 5.0.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo analisar como os pilares 4.0 são selecionados e utilizados no cenário financeiro, de que modo os princípios 5.0 remodelam as capacidades e quais cenários de transição mostram retorno positivo, sendo cada um com os seus ganhos esperados, riscos, pré-requisitos e KPI (*Key Performance Indicator*). Nesse sentido, o artigo se estrutura em três pilares:

- (i) sistematização teórica dos princípios 4.0 e diretrizes 5.0, com foco em governança de dados e risco;
- (ii) construção de matriz de extração, passando por princípio, capacidade, diretriz 5.0, KPI, risco e evidência;
- (iii) discussão de três possíveis cenários aplicados a bancos tradicionais e *fintechs*.

As perguntas de pesquisa são embasadas em:

- P1) Quais são os princípios 4.0 mais determinantes no sistema financeiro e como se traduzem em capacidades operacionais?
- P2) Como as diretrizes 5.0 mudam essas capacidades com o foco em centralidade humana, sustentabilidade e resiliência?



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

P3) Quais são os cenários de transição entre I4.0 e 5.0 que são plausíveis e quais são as implicações estratégicas que cada um traz, relacionado a ganhos, riscos, controles, pré-requisitos e métricas?

Sobre as hipóteses, são baseadas em:

H1) A interoperabilidade e análises em tempo real funcionam como motor para ganhos de curto prazo e a autonomia exige supervisão significativa, com governança de modelos.

H2) Diretrizes 5.0 movem o foco de eficiência para uma robustez técnica, com métricas humanas e ambientais ao lado das operacionais e técnicas.

H3) A geração de valor vêm da estruturação de princípios, e não somente da adoção de tecnologias, sustentada por integração de *framework* de *cibersegurança* e risco.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Indústria 4.0 e Indústria 5.0 no setor financeiro

O avanço tecnológico vem alterando a organização dos setores econômicos. No ambiente financeiro, essa mudança aparece na adoção frequente de sistemas digitais, inteligência artificial e automação, que mudam o vínculo entre instituições e clientes e elevam eficiência e disponibilidade de serviços ofertados pelas instituições bancárias (OECD, 2021; WEF, 2018).

A Indústria 4.0 que propõe digitalização em larga escala e no uso intensivo de dados, levou os bancos a um modelo mais automatizado e ágil, com ganhos de escala e maior padronização, de acordo com as diretrizes originais da Indústria 4.0 e os debates sobre a Quarta Revolução Industrial (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013; Schwab, 2016). Os aplicativos, canais digitais e atendimentos remotos, principalmente realizados por inteligência artificial, tornaram-se portas de entrada predominantes, comprimindo custos e ampliando oferta de produtos e suporte ao cliente, transformando tanto a jornada de trabalho, quanto a interação dos consumidores com as instituições bancárias e fintechs.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Agora, a Indústria 5.0 apresenta uma abordagem diferente. Ela propõe mais do que apenas eficiência baseada em dados e automação, o foco se torna uma relação de cooperação entre a tecnologia e o ser humano, com o bem estar do colaborador no centro de produção, com uma indústria focada em sustentabilidade e resiliência, respeitando os limites de produção do planeta (European Commission, 2021).

Nesse sentido, organizações financeiras têm testado modelos híbridos nos quais automação convive com estratégias de humanização, segurança digital e criação de valor focada no usuário, como discutem relatórios setoriais sobre inteligência artificial, dados e novos canais no ecossistema financeiro (WEF, 2018; OECD, 2021).

2.2. Transformação digital e o setor financeiro

A aceleração tecnológica vem alterando o cenário do setor financeiro. Gradativamente, as estratégias relacionadas a digitalização, inteligência artificial e automação aplicada em todas as áreas, desde a operacional até a ponta, tornaram processos mais previsíveis e eficientes, alinhados a princípios de projeto que priorizam interoperabilidade, decisões orientadas a dados, capacidade de geração de insights em tempo real que guiam decisões para que as ações sejam assertivas (Hermann; Pentek; Otto, 2016). Também, aplicações práticas mostram que técnicas como simulação ajudam a testar alternativas antes da implementação, reduzindo riscos e otimizando o ciclo de ganhos por meio de estratégias bem desenhadas (Abdulnour; Baril; Abdulnour; Gamache, 2022).

Ultimamente, cresce o foco em abordagens que recolocam o humano no centro da decisão e do desenho do trabalho, unindo colaboração entre pessoas e sistema produtivo, segurança e ergonomia, além de incorporar preocupações de sustentabilidade e resiliência (Nguyen Ngoc; Lasa; Iriarte, 2022). Ao analisar a atuação de tecnologias 4.0 em contextos reais, estudos de múltiplos casos mostram que o valor depende do contexto do ambiente de trabalho e da maturidade dos processos ao priorizar em quais áreas deve automatizar e onde preservar mediações humanas (Strandhagen; Alfnes; Strandhagen; Vallandingham, 2017).



2.3. Atributos buscados pelos gestores no setor financeiro

Gestores costumam valorizar o acompanhamento próximo de processos, organização operacional e visão humana no dia a dia. Em ambientes orientados pela lógica 4.0, importa o conhecimento e manipulação de dados, o raciocínio analítico, a automação de rotinas e o domínio de risco, *compliance* e segurança da informação, tendo em vista que se tratam de motores para o alcance de eficiência e controle (OECD, 2021).

Quando as instituições avançam para o perfil da 5.0, é aumentada a criticidade ética e governança de IA, incluindo capacidade de explicar decisões a clientes e desenhar jornadas centradas no usuário, ao lado de sustentabilidade e resiliência como exigências imprescindíveis (European Commission, 2021).

A supervisão também demanda aplicabilidade, monitoramento e testes de estrutura para modelos, reduzindo riscos de viés, instabilidade e efeitos negativos no sistema. Fato no qual reforça o papel de pontos claros de intervenção humana (Financial Stability Board, 2017).

Esse aumento de exigências técnicas reforçam a necessidade de competências como a garantia de qualidade e estruturação de dados, monitoramento de performance de modelos, integração por APIs (Application Programming Interface) e documentação, além de habilidades humanas como comunicação clara, empatia, ergonomia cognitiva e a capacidade de executar trabalhos multidisciplinares (OECD, 2021).

No dia a dia, a gestão nas instituições passa a acompanhar indicadores além do *SLA* (*Service Level Agreement*), e valorizam métricas relacionadas a taxa de exceções de revisão humana, aplicabilidade, qualidade de dados e da estrutura eficiente e assertiva de modelos de análise, incidentes de segurança e continuidade, além de NPS (*Net Promoter Score*) e bem-estar de equipes, apoiados por programas de requalificação em dados e IA (Mckinsey & Company, 2024).

2.4. Cibersegurança e governança de dados

A transição da I4.0 para 5.0 mostra que cibersegurança e governança de dados se afastam das camadas finais para orientar a modelagem de capacidades digitais. Os pilares da I4.0, como interconexão, transparência informacional e decisões descentralizadas ampliam os riscos, exigindo controles e análises compatíveis com as decisões tomadas em tempo real e com a autonomia supervisionada (Hermann; Pentek; Otto, 2016). Na I5.0, há ênfase na centralidade humana, sustentabilidade e resiliência, que exige explicabilidade, privacidade por desenho e a continuidade como os principais requisitos (Arci, 2024). Foram adotadas as seguintes políticas de métricas (A) públicas (comparáveis), (B) *proxies* públicos (com justificativa) e (C) recomendadas (boas práticas não comparadas).

2.5. Servitização e modelos de monetização

A ascensão da digitalização e conectividade permite a servitização. Nesse sentido, o valor migra do produto para o serviço fornecido, sustentado por dados e atualizações frequentes. Nas assinaturas, o cliente paga pelo acesso e pelo aumento do serviço, enquanto o fornecedor aprende com o digital para personalizar, precificar por resultado e fidelizar o cliente. Essa transição costuma passar pelo “*shallowing the fish*” que ocorre quando a receita cai e o custo sobe, até o amadurecimento da base recorrente. Assim, práticas como LAER (Land-Adopt-Expand-Renew), organização de portfólio e *pricing* orientado a valor se tornam o foco. No setor financeiro, essa prática se traduz em *Banking as a Service* (BaaS), bundles, recorrências, integrações e governanças baseadas em dados. Para verificar os cases listados, os cenários vão utilizar: (A) métricas públicas (ex: receita de serviços, base ativa, TPV, parcerias); (B) *proxies* públicos quando não existir métrica-alvo; e (C) métricas recomendadas, como *CAC*, *Churn* e *ARPU/ARPA*.

2.6. Síntese e lacunas do referencial

2.6.1. O que os estudos mostram

Os estudos apontam que os pilares da I4.0 estabelecem um padrão para projetar as capacidades digitais relacionadas à interoperabilidade, transparência, virtualização e

decisões descentralizadas, que combinam a análise com a validação por especialistas. Ou seja, são princípios como guias práticos de “como fazer” e não apenas listas de ferramentas e tecnologias. Assim, os estudos indicam que, ao dar foco em princípios de sustentabilidade e excelência operacional, a autonomia dispara como o desafio mais difícil, sem eliminar a centralidade de interoperabilidade e análises em tempo real.

No próximo passo, que é a Indústria 5.0, há uma reorientação das capacidades para foco em centralidade humana, colaboração homem-máquina, resiliência e confiabilidade. Essas habilidades reforçam os requisitos de governança e continuidade. Na governança de dados, o movimento robusto é integrar *frameworks* e aproximar métricas econômicas de risco da organização dos sistemas e processos, ao invés de adotar um padrão único. Além disso, as estruturas de referência e práticas são recorrentes para sustentar a conectividade confiável em cenários de tempo real.

Por fim, os métodos de maturidade sugerem que as escolhas dependem de fatores como: características do negócio, estratégia e ambiente regulatório.

2.6.2. Onde estão as lacunas?

- Priorização de princípios no financeiro. A evidência GTMA vem da manufatura. Faltam modelos e estudos que priorizem os princípios analisados para o setor financeiro com métricas observáveis, como interoperabilidade, tempo real, autonomia, orientação a serviços
- A integração “risco + cibersegurança + dados”. Os estudos já conectam FAIR–NIST–ISO e tendências I4.0, mas ainda faltam formatos operacionais que traduzem essa integração em indicadores mensuráveis para serviços financeiros, como mapeamento de funções a riscos econômicos no fluxo em tempo real.
- A centralidade humana mensurável. Há convergência sobre colaboração homem-máquina na I5.0, porém faltam KPI (Key Performance Indicator) públicos que mostram a aplicabilidade, carga conectiva e continuidade nos serviços financeiros e digitais.

- Arquiteturas para tempo real. Os estudos mostram a necessidade de ir além de criptografia, porém, no contexto financeiro, faltam dados e estudos que relacionem a observabilidade, continuidade e resultado de serviço.
- Há falta de transparência de KPIs técnicos. As companhias listadas não costumam divulgar as métricas técnicas ou % de decisões explicáveis

2.6.3. Implicações práticas para o método e para os cenários

Matriz de extração (Tabela 1) como “caminho” entre a teoria e casos, passando de princípio 4.0, capacidade no financeiro, diretriz 5.0, KPI (classe A/B/C), risco/*framework* até a Evidência (fonte pública). Essa matriz permite comparar cenários usando indicadores *A* (públicos) e, quando necessário, *B* (proxies), deixando *C* (recomendados) apenas nos *checklists* de governança.

Quatro cenários de transição endereçam lacunas 1–4:

- *Data-driven* em tempo real (interoperabilidade + continuidade),
- Servitização financeira (portfólio e *pricing* por valor e uso),
- Autonomia supervisionada
- Sustentabilidade e resiliência digital, com a segurança além de criptografia.

As referências mostram os pilares como fonte de valor, apontam a autonomia como principal desafio e a integração de governança e segurança como princípios estruturantes, além de sugerir que as trajetórias são dadas por meio de contextos. O artigo segue ao mostrar essa base em cenários que podem ser comparáveis com o ambiente financeiro, respeitando as evidências públicas e preenchendo as lacunas de priorização e mensuração.

Quadro 1 – Princípios 4.0 e Diretrizes 5.0

Princípio 4.0	Capacidade no financeiro	Diretriz 5.0	Risco/ Framework	Evidência (fonte pública)
Interoperabilidade (APIs/dados)	Open Finance, integrações com parceiros, BaaS	Human-centric (transparência)	NIST/ISO; gestão de terceiros	RI/ESG; comunicados; site Open Finance/BCB
Tempo real	Antifraude e decisão instantânea; pagamentos (PIX)	Resiliência	SRE/SLAs; NIST (Detect/Respond)	BCB; RI/apresentações a investidores
Descentralização/Autonomia	Crédito/limites automatizados com “human-in-the-loop”	Accountability humana	Model Risk; Three Lines; ISO/AI Gov	Relatório anual/ESG; políticas publicadas
Orientação a serviços	Bundles, BaaS, ofertas recorrentes	Valor ao cliente	Compliance de produtos; pricing	DFs/RI/ESG; releases
Virtualização/Transparência	Data lineage, catálogo, qualidade de dados	Confiabilidade	Data Gov/ISO 27701	Relatórios ESG; políticas corporativas
Modularidade	Arquiteturas componíveis; squads + plataformas	Resiliência/ escala	CMMI/ maturidade de processos	RI/tech days/apresentações

Fonte: Autoria própria.

3. MÉTODO

3.1. Desenho da pesquisa

Esse artigo utiliza um estudo exploratório com o mapeamento de pesquisas e síntese por cenários, ocorre em três partes: (i) revisão bibliográfica para sintetizar os pilares da Indústria 4.0 e diretrizes da Indústria 5.0 importantes ao ambiente financeiro; (ii) obtenção de evidências em matriz de análise; e (iii) construção de cenários da I4.0 para a I5.0 aplicados a bancos e fintechs listados, com os indicadores públicos.

3.2. Fontes e período de análise

Foram consideradas fontes acadêmicas e institucionais: bases *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar* (artigos, capítulos). Documentos públicos do setor como relatórios anuais, ESG, *investor presentations*, comunicados regulatórios, documentos do BCB, ANBIMA e correlatos. O recorte cobre o período de 2016–2025 (consolidação de 4.0 e emergência de 5.0). Idiomas utilizados: português e inglês.

3.3. Estratégia de busca (strings e operadores)

A busca uniu termos com operadores e truncamentos. Exemplos de strings:

- (“Industry 4.0” OR “Industrie 4.0”) AND (principles OR “design principles”) AND (finance OR banking OR payments,
- (“Industry 5.0” OR “human-centric”) AND (financial services OR banking) AND (resilience OR sustainability)
- (cybersecurity OR “model risk” OR “data governance”) AND (open banking OR “open finance” OR “real-time payments”)
- (servitization OR “subscription business” OR XaaS) AND (bank* OR fintech)

3.4. Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão são: (i) a relação direta aos princípios da I4.0 e diretrizes da I5.0 e/ou tradução da sua capacidade para serviços financeiros; (ii) vínculos com segurança e governança de dados e modelos de monetização quando aplicáveis; (iii) publicações entre 2016–2025; (iv) documentos públicos de companhias listadas, reguladores e associações. E os critérios de exclusão se enquadram em: (i) textos que não possuem relação com a temática do artigo; (ii) duplicatas; (iii) informações promocionais sem base técnica; (iv) estudos não reproduzíveis ou sem fonte verificável.

3.5. Processo de seleção

A seleção foi realizada em duas etapas: (1) triagem do título e resumo; (2) leitura em texto completo. O fluxo PRISMA simplificado (quantidades identificadas, removidas por duplicação, excluídas por não aderência e incluídas na síntese) é apresentado no Apêndice C. Em alguns casos, prevaleceu o critério de relevância teórica e prática para o objetivo do TCC.

3.6. Extração e codificação (matriz de análise)

As evidências que se enquadraram como elegíveis foram codificadas em uma planilha matriz com os seguintes campos:

1. Princípio 4.0 (interoperabilidade, virtualização, transparência, análises em tempo real, orientação voltada a serviços, descentralização e autonomia)
2. Capacidade no financeiro (ex.: antifraude funcionando em tempo real, open finance, APIs, Banking as a Service, MLOps/validação, BC/DR)
3. Diretriz 5.0 associada (human-centricidade, sustentabilidade, resiliência)
4. Indicador como um KPI com classe de disponibilidade: A público; B *proxy* público; C recomendado (boas práticas, não comparado)
5. Risco/*Framework* (ex.: NIST/ISO/FAIR; governança de modelos)

6. Evidência (referência, ano e, quando aplicável, página)

7. Observações (escopo, limitações, contexto/regulação)

A matriz (versão editável) é disponibilizada como Apêndice B.

3.7. Síntese e construção de cenários

A síntese ocorreu em dois processos:

Sistematização temática: foi realizado um agrupamento por princípios 4.0 e diretrizes 5.0 para evidenciar relações recorrentes (ex.: interoperabilidade e tempo real; autonomia e supervisão ou explicabilidade; orientação a serviços e servitização).

Cenários 4.0 ao 5.0: análise de quatro cenários plausíveis ao setor financeiro, cada um descrito por: (i) problema e oportunidade; (ii) capacidades e princípios mais recorrentes; (iii) evidências públicas dos casos; (iv) KPIs A e, quando necessário, proxies B; (v) riscos e controles (*frameworks*); (vi) pré-requisitos organizacionais e tecnológicos existentes. Os cenários são comparados em tabela com informações de ganhos esperados, riscos, pré-requisitos e indicadores.

3.8. Política de métricas e fontes (companhias listadas)

(A) Públicas (comparáveis): as métricas presentes em Relação com Investidores, relatórios de ESG, comunicados regulatórios e dados oficiais como base de clientes ativos, receitas de serviços, TPV, incidentes informados, certificações.

(B) *Proxies* públicas (comparáveis com nota): podem ser substitutos quando a métrica-alvo não é divulgada, como exemplo a participação ou volume em PIX e menções a *event streaming* como *proxy* de análise em tempo real, ou evidências de assinaturas como *proxy* de servitização.

(C) Recomendadas (boas práticas, não comparadas): indicadores operacionais raramente públicos como latência P95/P99, % decisões explicáveis, MTTR/MTTD técnico,



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

CLV/CAC granular, churn por corte. Essas métricas apenas entram em *checklists* de governança.

Nesse sentido, os indicadores utilizados nos cenários trarão a fonte e nota A/B/C.

3.9. Confiabilidade, vieses e triangulação

Para evitar os vieses de seleção e interpretação, foi realizado o seguinte: (i) relação entre informações acadêmicas e documentos públicos corporativos e regulatórios; (ii) registro de decisões de inclusão e exclusão na planilha; (iii) identificação explícita de limites de inferência quando somente proxies estiverem disponíveis; (iv) reprodutibilidade por disponibilização da matriz e das strings de busca nos apêndices.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obter uma visão detalhada sobre o foco das instituições financeiras (tradicionais e digitais), foi realizada uma pesquisa sobre o comportamento para entender para qual Indústria (4.0 ou 5.0) os bancos se enquadram ou melhor se identificam.

Itaú Unibanco – 4.0 com sinais 5.0. Relatórios recentes destacam digitalização e analytics em escala, além de governança socioambiental e de riscos climáticos, coerentes com pilares de sustentabilidade e resiliência (Itaú Unibanco, 2025).

Banco do Brasil – 4.0 com sinais 5.0. Adoção ampla de canais digitais e IA no relacionamento, com ênfase em atendimento e inclusão via plataformas conversacionais, e pauta pública sobre governança (Banco Do Brasil, 2024).

Santander Brasil – 4.0 com sinais 5.0. Relatório integrado detalha transformação digital, gestão de pessoas e metas socioambientais, reforçando que a tecnologia caminha com agenda de clima e trabalho (Santander Brasil, 2025).

Bradesco – 4.0. Caso emblemático de automação e IA em atendimento com a BIA, apontado desde 2017 como vetor de eficiência operacional e de experiência do cliente (Mobile Time, 2018).



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Nubank – 4.0 com sinais 5.0. Operação fortemente orientada a dados e IA para personalização, com discurso de inclusão financeira e políticas ESG formais em governança e riscos (Nu Holdings, 2025).

Inter – 4.0. Super *app* integrando serviços financeiros e de *e-commerce*, com narrativa de inovação e crescimento sustentável, típico de integrações 4.0 (Inter&Co, 2025).

A partir dessas informações, é importante entender as características de *data driven* em tempo real, resiliência, sustentabilidade e autonomia com supervisão.

4.1. Data-driven em tempo real

4.1.1. Problema / oportunidade

O avanço do pix e das jornadas digitais tornou maiores as exigências nos processos de decisão, tendo em vista que agora conta com critérios de autorização, antifraude, limites e ofertas provenientes do contexto. Dessa forma, os dados gerados são consistentes e é possível ter uma rastreabilidade de ponta a ponta, em cada etapa do processo. O Banco Central do Brasil reporta um aumento contínuo do Pix e recordes recentes de uso, tornando a infraestrutura crítica de pagamentos no país (Banco Central Do Brasil, 2025). Em paralelo, o *Open Finance* aumenta as integrações entre as instituições financeiras e exige maiores requisitos de segurança, privacidade e interoperabilidade de APIs (Banco Central Do Brasil, 2025).

4.1.2. Capacidades e princípios dominantes

Como exemplo das capacidades e princípios dominantes, os mais frequentes são:

Princípios 4.0, neles, há a interoperabilidade como em APIs e dados, uma maior transparência e virtualização que proporciona qualidade e linhagem e análises em tempo real (Hermann; Pentek; Otto, 2016).

Além disso, as diretrizes 5.0 associadas exigem principalmente a capacidade de resiliência para continuar o serviço mesmo sob falhas e ataques, além da centralidade



humana que traz explicabilidade e contestabilidade em decisões que afetam o usuário (European Commission, 2021).

Por fim, a arquitetura de referência tem em sua estrutura dados e APIs abertas que direcionam os motores de decisão para a análise de possibilidade de fraude e proporciona análises de créditos mais assertivas. Além disso, também conta com a observabilidade e auditoria, como relatórios. A literatura recente apresenta arquiteturas de referência com foco em confiabilidade e colaboração homem-máquina (Arci, 2024).

4.1.3. Evidências públicas dos cases

Abaixo, estão listados o que cada evidência demonstra em relação aos critérios de tempo real, integração aberta e escalabilidade. Todas são fontes institucionais ou técnicas abertas de companhias listadas.

Itaú Unibanco: sua arquitetura é orientada a eventos, como em tempo real. O caso técnico descreve modernização com Kafka e serviços *serverless*, evidenciando estruturação por eventos em fluxos transacionais (Amazon Web Services, S.D.).

Banco do Brasil: suas integrações de Open Finance com dados interbancários, além de comunicação institucional que reporta consentimentos ativos e central de negócios de Open Finance no aplicativo, mostrando interoperabilidade e uso dos dados compartilhados (Banco do Brasil S.A., 2024).

Santander Brasil: possui APIs públicas para Pix e *Open Finance* que funcionam como parcerias em tempo real. O portal de desenvolvedores expõe APIs de dados e pagamentos, mostrando integração de parceiros e operação em tempo real no ecossistema (Banco Santander (Brasil) S.A., 2025).

Bradesco (BIA): o seu atendimento é digital em alta demanda, funciona como absorção de pico. Seu caso corporativo mostra ganhos de resolução e redução de tempo de resposta com IA no canal BIA, sinalizando capacidade de operar sob picos (Microsoft Corporation, 2024).



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Nubank: possui antifraude que funciona em tempo real. Algumas publicações técnicas descrevem a plataforma como multi-região e calibração em tempo real com uso de *streaming* para defesa contra fraude (Nubank, 2024).

Inter (Inter&Co): sua escala operacional com Pix e pagamentos mostra a evidência de volume. Relatos corporativos indicam volume transacionado expressivo envolvendo Pix e serviços de pagamentos, sugerindo operação data-driven (Inter&Co, 2024).

4.1.4. Indicadores e fontes (política A/B/C)

A: Públicos (comparáveis): participação e volume ou TPV, registros oficiais, indicadores de resultado divulgados em RI e ESG, além de leitura de escala e eficiência (I4.0) e de qualidade e serviço (I5.0). (Banco Central Do Brasil, 2025)

B: Proxies públicos (comparáveis): a existência e maturidade de APIs e documentação de *open finance*; menções a padrões e governança técnica, além do suporte à descentralização e integração com aumento de transparência. (Banco Do Brasil S.A., 2024)

C: Recomendados (boas práticas): metas internas, erros por volume, registros de contestação e revisão humana em decisões críticas

4.1.5. Riscos e controles

Os controles combinam a robustez que existe na I4.0, com confiabilidade e eficiência e a centralidade humana que possui na I5.0, envolvendo direitos, contestação e bem-estar.

Consistência dos dados: metas de tempo de resposta como exemplo, a necessidade de atingir 95% e 99% das requisições dentro de X tempo, mecanismos estruturados no nível de conseguir lidar com picos para não sobrecarregar o sistema, as proteções automáticas que desativam as partes problemáticas para evitar efeito cascata, confirmações para garantir que cada processamento é realizado uma única vez sem perda e duplicidade, e estruturas de dados pré-definidas para garantir que sejam compatíveis.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Qualidade e integridade no fluxo: testes automáticos nos dados no ambiente produtivo, checagens de complexidade, registro da origem dos dados e alertas acionados com os prazos definidos para detectar e corrigir problemas se houver.

Segurança nas esteiras de dados: criptografia no processamento de dados, acesso por meio de autenticações, a troca recorrente de chaves e senhas, além de constantes testes e análises para detecção e correção contínua de situações arriscadas.

Privacidade e base legal: coletar apenas informações necessárias para cada finalidade, avaliação do impacto na privacidade, privacidade desde o início e realização de processos de auditoria.

Modelos em produção: realização de acompanhamentos e análises em períodos curtos; testes com liberação aos poucos, retorno rápido à versão anterior se houver a necessidade ou surgir algum erro/risco, explicação quando a decisão afeta o cliente e a importância da revisão humana principalmente em casos sensíveis.

Picos, falhas e continuidade: o aumento automático de capacidade de processamento, manutenção do serviço básico, operação em mais de um datacenter, objetivos de recuperação definidos e bem desenhados, além de simulações periódicas de crise.

Conformidade e ética: critérios de explicação adequados ao produto e ao cliente, canal de contestação, registro das decisões, revisões periódicas de vieses e de tratamento justo a todos.

Qualidade do trabalho e bem-estar da equipe: estruturação do trabalho e escopos dos colaboradores que evita excesso de alertas e sobrecarga principalmente em momentos fora do horário de trabalho, fornecimento de capacitação contínua, pausas e limites de carga, manter pontos focais preparados no circuito quando o risco é alto, canais de escuta ativa, cuidados com riscos psicossociais e a saúde mental dos trabalhadores.

Governança e responsabilização: definição de papéis e responsabilidades claras aos donos dos dados e modelos, comitê de modelos e IA, auditorias frequentes



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Métricas de eficácia: Percentual de respostas realizadas dentro do prazo, tempo útil e necessário para detectar e corrigir falhas, tempo de recuperação de possíveis ataques/riscos/instabilidades sistêmicas, reversões de decisões tomadas, cobertura de monitoramento, número de incidentes, cumprimento de metas, satisfação e rotatividade da equipe, horas de treinamento e tempo de aprendizado.

Nesse sentido, operar *data-driven* em tempo real é uma capacidade determinada e desenvolvida pela Indústria 4.0, mas apenas é uma vantagem sustentável quando utilizado às exigências da Indústria 5.0, com explicabilidade, contestação, privacidade desde a concepção e qualidade do trabalho. Dessa forma, a utilização de métricas de desempenho como a latência e continuidade, com métricas de riscos como viés, reversões, incidentes de privacidade e de bem-estar da equipe como carga, retrabalho e capacitação garante a possibilidade de atingir a autonomia. Assim, os algoritmos decidem com escala e velocidade, enquanto pessoas definem os limites, revisam exceções que podem ocorrer e respondem por resultados. Esse formato garante a conformidade do processo, protege o cliente, proporciona boas condições à força de trabalho e sustenta a possibilidade de competir no setor financeiro, alinhando a robustez operacional que contém na I4.0 com a centralidade humana na I5.0.

4.1.6. Pré-requisitos e roadmap em curto e médio prazo

A realização de uma operação *data-driven* em tempo real exige principalmente a observabilidade, como as métricas impostas, além de uma estrutura e linhagem de dados com governança de qualidade e rastreabilidade dos eventos, capacidades que são pilares da Indústria 4.0 que garantem eficiência no processo e confiabilidade dos dados. Essas habilidades, combinadas com os pré-requisitos da Indústria 5.0, como a privacidade desde a criação e a LGPD, faz com que o *roadmap* evolua de um estágio inicial para a adoção de controles de antifraude e limites em tempo real. Em seguida, é priorizado a prestação de contas e relatórios de explicabilidade em decisões que se enquadram como críticas. O ritmo de implementação de ferramentas e processos depende do domínio tecnológico, da



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

regulação existente e do portfólio de produtos, recomendando adaptação conforme o contexto da situação e do plano (Strandhagen Et Al., 2017).

4.1.7. Síntese

Funcionar em tempo real com integrações garante a eficiência e a escalabilidade, que são características presentes na Indústria 4.0, porém a garantia de geração de valor depende da presença dos princípios da Indústria 5.0 por meio da proteção de dados e cuidado com usuários e trabalhadores, assegurando conformidade e resiliência no setor financeiro. (European Commission, 2021)

4.2. Autonomia supervisionada

4.2.1. Problema e oportunidade

A automação aumentou o ganho de escala e a velocidade de análises para a tomada de decisões em crédito, prevenção à fraude e atendimentos personalizados e mais eficientes, ganhos comuns e presentes no modelo da Indústria 4.0. Para que esse avanço cumpra exigências sociais e de confiabilidade, é necessário trazer as características Indústria 5.0, como a supervisão humana em processos que oferecem um alto risco, explicabilidade de impacto, processos de auditoria e possibilidade de contestação e reversão. No ambiente bancário, esses itens seriam modelos com validação, documentação consistentes e monitoramento contínuo de desempenho e vieses que podem existir (European Commission, 2021; Board Of Governors; Occ, 2011).

4.2.2. Capacidades e princípios presentes

As características da Indústria 4.0 aparecem na autonomia de decisões, nas análises em tempo real e na transparência de dados, associados a qualidade, linhagem e rastreabilidade (Hermann; Pentek; Otto, 2016). A I5.0 adiciona centralidade humana, resiliência a falhas e uso responsável de Inteligência Artificial (European Commission, 2021). Na prática, os motores de decisão trabalham com limites definidos e ocorre revisão humana, além disso, toda estrutura é feita por métricas de realização de serviço, auditoria e relatórios de desempenho de modelos.



4.2.3. Evidências públicas dos cases

Os cases mais recentes mostram a relação entre escala e governança de dados e processos. No Bradesco, a assistente virtual BIA aumentou a personalização e rapidez de atendimento digital, mostrando como a automação operacional tem a capacidade de absorver picos (Microsoft Corporation, 2024). No Nubank, a defesa antifraude opera quase em tempo real com adequação contínua e práticas de MLOps que incluem monitoramento e revisões recorrentes (Nubank, 2024). No Itaú Unibanco, as iniciativas de IA em serviços e atendimento são acompanhadas por curadoria e revisão humana, reforçando a contestabilidade e prestação de contas (Itaú Unibanco, 2025).

4.2.4. Indicadores e fontes (política A/B/C)

A análise dos casos considera três níveis. No nível A, se enquadra a participação, volume, indicadores de crédito, registros de reclamações, reversões de problemas e políticas de IA e segurança, uma realidade de eficiência e qualidade sob exigências comuns (Banco Central Do Brasil, 2025). No nível B, é verificado a existência de comitês de modelos e IA, menções de humanos nos processos e monitoramento e revisão em materiais institucionais e técnicos (Banco Do Brasil S.A., 2024). No nível C, é priorizado justificativas para decisões automatizadas, taxas e prazos de revisão humana, monitoramento de viés e periodicidade de validações, sinais de maturidade da I5.0.

4.2.5. Riscos e controles

Os principais riscos são o uso indevido de dados pessoais, falhas de segurança, problemas operacionais, erros regulatórios, dependências e efeitos sobre o trabalho. As respostas combinam governança de dados e modelos com validação e monitoramento frequente. A proteção de dados por estrutura, com base na legalidade e processos frequentes de auditoria (LGPD). Controles de segurança da informação e garantia de confiabilidade por meio de testes recorrentes. Critérios de explicabilidade e mecanismos de contestação ajustados ao produto e ao cliente. Por fim, o alcance de qualidade do trabalho, capacitação dos colaboradores e saúde física e mental, valorizando o ser humano no ambiente em que



há elevado risco (ISO 45001). O resultado esperado é o alcance de autonomia supervisionada por meio da tomada de decisões rápidas, porém que podem ser contestadas, que passam por processos de auditoria e que são socialmente responsáveis.

4.2.6. Pré-requisitos e roadmap de curto a médio prazo

O processo possui como pré-requisitos esperados a classificação de modelos com a definição de responsáveis, documentos que contenham critérios, limites e variáveis, além de monitoramento frequente da existência de viés e controles de dados, como a qualidade da estrutura. No curto prazo, é construída a política de governança de modelos, com processos de auditorias. Em seguida, são padronizadas as explicações operacionais e os prazos de duração de revisão humana. Após isso, é integrada a garantia do acontecimento de negócios e auditoria por meio da realização de testes e relatórios. O processo varia dependendo do portfólio existente, tecnologia adotada e legado, recomendando adaptação do plano a cada realidade (Board Of Governors; Occ, 2011; Strandhagen Et Al., 2017).

4.3. Sustentabilidade e resiliência digital

4.3.1. Problema e oportunidade

Os serviços financeiros digitais precisam continuar operando mesmo sob falhas, pressão, aumento repentino de demanda e possibilidade de ataque de hackers, garantindo a confiabilidade e eficiência. Na Indústria 5.0, resiliência deixa de ser um detalhe e passa a ser um objetivo e exigência, garantindo a existência de negócios com sustentabilidade, a partir de fatores importantes como energia, emissões e uso responsável de recursos (European Commission, 2021).

4.3.2. Capacidades e princípios dominantes

No ambiente 4.0, é destaque a possibilidade de observabilidade e estrutura de dados, orientação a serviços com metas claras e degradação controlada quando necessário (Hermann; Pentek; Otto, 2016). No mundo da Indústria 5.0, essas exigências são direcionadas para resiliência e sustentabilidade, garantindo a gestão responsável de ativos

(European Commission, 2021). Além disso, auditorias e relatórios de ESG trazem energia e emissões ao processo de melhoria gradativa.

4.3.3. Evidências públicas dos cases

Em bancos e *fintechs* listados na bolsa de valores, as principais informações estão contidas em Relações com Investidores e ESG, além de materiais técnicos. Neles, geralmente é possível encontrar referências a testes de continuidade e estratégias de redundância, comunicações sobre indisponibilidades, certificações e políticas de segurança e privacidade, resposta a incidentes, além de indicadores ambientais ligados a *data centers* e eficiência operacional. Quando a métrica-alvo não é publicada, utilizam-se *proxies* públicos coerentes com o desenho de resiliência.

4.3.4. Indicadores e fontes (política A/B/C)

Os indicadores são estruturados em três níveis. O nível A conta com informações públicas e comparáveis, como divulgações de indisponibilidade quando acontecem, certificações (por exemplo, ISO/IEC 27001 e ISO/IEC 27701) e indicadores ESG de energia e emissões relacionadas à operação e produção digital. O nível B utiliza *proxies* públicos, como referências a testes de BC/DR, realização de observabilidade e programas de eficiência como *FinOps* e *GreenOps*. O nível C possui boas práticas que são importantes para governança interna das instituições, porém, quase nunca são públicas ou comparáveis com outras empresas, como MTDD/MTTR, taxa de sucesso de testes de BC/DR, RTO/RPO atingidos, sucesso de *chaos tests* e PUE.

4.3.5. Riscos e controles em frameworks

A permanência de recuperação de desastres é feita por meio de análises de mensuração de impacto, com metas estabelecidas de recuperação e realizações frequentes, conforme a ISO 22301. A verificação de vulnerabilidades e a rapidez para solução de incidentes tem processos definidos para identificar, proteger, detectar, responder e recuperar, em linha com boas práticas de setores (NIST CSF). A privacidade e segurança da informação



exigem processos rigorosos de controles técnicos e organizacionais, além de aumentos específicos para dados pessoais, conforme ISO/IEC 27001 e ISO/IEC 27701.

4.3.6. Pré-requisitos e roadmap em curto a médio prazo

A implantação inicia identificando quais serviços são realmente críticos, mapeando de quem eles dependem, se são de sistemas, pessoas e fornecedores, e definindo metas simples para reduzir consumo de energia e emissões. Primeiro, coloca-se um monitoramento básico para saber, em tempo real, o que está funcionando, e criam-se instruções claras de ação para quando algo der errado. Depois, são feitas simulações de crise com as áreas de negócio para treinar a continuidade e a recuperação. Em seguida, ajusta-se a operação para, mesmo com falhas, manter o essencial no ar, como uma degradação controlada, e registrar aprendizados após cada incidente para evitar repetição. Por fim, entra-se num ciclo de melhoria contínua, com metas de eficiência, gastar menos e poluir menos, otimizando uso de nuvem e energia, e avaliações externas para checar se os controles estão funcionando. A ordem e o ritmo devem ser adaptados ao histórico tecnológico, às regras do setor e ao portfólio de cada instituição (Strandhagen Et Al., 2017).

4.3.7. Síntese

Implantar resiliência e sustentabilidade começa pelo básico: identificar o que é crítico, entender de quem cada serviço depende e definir metas simples para reduzir consumo e emissões. A partir daí, é possível crescer em camadas: monitorar o que importa e ter instruções claras para incidentes; treinar a continuidade com simulações, operar de forma que, mesmo com falhas, o essencial se mantenha disponível e aprender com cada ocorrência e, por fim, entrar em melhoria contínua com metas de eficiência e checagens externas. O ritmo e a ordem variam conforme o legado e a regulação, mas o resultado é o mesmo: serviços mais estáveis sob pressão, menor impacto ambiental e mais confiança de clientes e reguladores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

O trabalho de pesquisa mostrou que a Indústria 4.0 e a Indústria 5.0 não são movimentos divergentes no sistema financeiro, mas se enquadram como processos que se somam. A Indústria 4.0 tem como principais pilares a escala, padronização e decisões em tempo real, enquanto a 5.0 recoloca as pessoas, a responsabilidade e a sustentabilidade no centro. A partir da matriz de extração e dos cenários analisados, três mensagens se destacam: a interoperabilidade e decisões em tempo real geram ganhos rápidos, desde que acompanhadas de qualidade de dados e continuidade, a autonomia algorítmica só é aceitável como autonomia supervisionada, com explicabilidade e revisão humana onde o risco é alto e a resiliência e sustentabilidade passam a compor o desempenho do serviço, junto de privacidade, segurança e bem-estar do trabalho.

Em síntese, a vantagem competitiva sustentável virá de combinar a eficiência 4.0 com a legitimidade 5.0. Onde tecnologia e governança caminharem juntas, bancos e fintechs serão mais rápidos, mais confiáveis e mais humanos.

REFERÊNCIAS

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios**. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS), 49., 2016, Koloa. *Proceedings...* Koloa, HI: IEEE, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673>. Acesso em: 1 out. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry**. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2021. Disponível em: [Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry - Research and innovation](#). Acesso em: 1 out. 2025.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013. Disponível em: [din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf](https://www.acatech.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf). Acesso em: 1 out. 2025.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>. Acesso em: 1 out. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

OECD. **OECD Business and Finance Outlook 2021: AI in Business and Finance**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org/finance/oecd-business-and-finance-outlook-2021-007a9b3b-en.htm>. Acesso em: 1 out. 2025.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The New Physics of Financial Services: How artificial intelligence is transforming the financial ecosystem**. Geneva: WEF, 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-new-physics-of-financial-services-how-artificial-intelligence-is-transforming-the-financial-ecosystem/>. Acesso em: 1 out. 2025.

FINANCIAL STABILITY BOARD. **Artificial intelligence and machine learning in financial services**. Basel: FSB, 2017. Disponível em: [Artificial intelligence and machine learning in financial services - Financial Stability Board](#). Acesso em: 1 out. 2025.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)**. Gaithersburg, MD: NIST, 2023. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.100-1.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

OECD. **OECD Principles on Artificial Intelligence**. Paris: OECD, 2019. Disponível em: <https://oecd.ai/en/ai-principles>. Acesso em: 1 out. 2025.

ISO. **ISO/IEC 23894:2023 — Information technology — Artificial intelligence — Risk management**. Geneva: ISO, 2023. Disponível em: [ISO/IEC 23894:2023 - AI — Guidance on risk management](#). Acesso em: 1 out. 2025.

ISO. **ISO/IEC 27001:2022 — Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements**. Geneva: ISO, 2022. Disponível em: [ISO/IEC 27001:2022 - Information security management systems](#). Acesso em: 1 out. 2025.

ISO. **ISO/IEC 27701:2019 — Security techniques — Extension to ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002 for privacy information management — Requirements and guidelines**. Geneva: ISO, 2019. Disponível em: [ISO/IEC 27701:2019 - Extension to ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002 for privacy information management](#). Acesso em: 1 out. 2025.

ISO. **ISO 22301:2019 — Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements**. Geneva: ISO, 2019. Disponível em: [ISO 22301:2019 - Business continuity management systems](#). Acesso em: 1 out. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

ISO. **ISO 45001:2018 — Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.** Geneva: ISO, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/63787.html>. Acesso em: 1 out. 2025.

BOARD OF GOVERNORS OF THE FEDERAL RESERVE SYSTEM; OFFICE OF THE COMPTROLLER OF THE CURRENCY. **Supervisory Guidance on Model Risk Management (SR 11-7; OCC 2011-12).** Washington, DC, 2011. Disponível em: <https://www.federalreserve.gov/supervisionreg/srletters/sr1107.htm>. Acesso em: 1 out. 2025.

THE INSTITUTE OF INTERNAL AUDITORS. **The IIA's Three Lines Model: An update of the Three Lines of Defense.** Altamonte Springs, FL: IIA, 2020. Disponível em: [Three Lines Position Paper - IIA Sept. 2024 Update](#). Acesso em: 1 out. 2025.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0.** Gaithersburg, MD: NIST, 2024. Disponível em: <https://www.nist.gov/cyberframework>. Acesso em: 1 out. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Pix.** Brasília: BCB, 2025. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/pix>. Acesso em: 1 out. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Open Finance.** Brasília: BCB, 2025. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/openfinance>. Acesso em: 1 out. 2025.

MICROSOFT CORPORATION. **Bradesco alcança +80% de resolutividade com IA generativa do Azure na BIA.** 2024. Disponível em: [Bradesco alcança +80% de resolutividade com IA generativa do Azure na BIA | Microsoft Customer Stories](#). Acesso em: 1 out. 2025.

AMAZON WEB SERVICES. **Itaú improves speed to market and productivity of ML solutions using AWS.** 2024. Disponível em: <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/itau-ml-case-study/>. Acesso em: 1 out. 2025.

AMAZON WEB SERVICES. **Como o Itaú Unibanco modernizou seu core bancário internacional com serviços serverless da AWS.** 2025. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/blogs/aws-brasil/como-o-itau-unibanco-modernizou-seu-core-bancario-internacional-com-servicos-serverless-da-aws/>. Acesso em: 1 out. 2025.

NUBANK. **Fraud re-imagined: lessons from Nubank's anti-fraud platform redesign.** 2020. Disponível em: [Scaling fraud defense: How Nubank evolved its risk analysis platform - Building Nubank](#). Acesso em: 1 out. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

INTER&CO. **Relações com Investidores**. 2025. Disponível em: [RI Inter&Co - Home -](#). Acesso em: 1 out. 2025.

FINOPS FOUNDATION. **FinOps Framework**. 2025. Disponível em: <https://www.finops.org/framework/>. Acesso em: 1 out. 2025.

GREEN SOFTWARE FOUNDATION. **Software Carbon Intensity (SCI) Specification**. 2023. Disponível em: [Software Carbon Intensity \(SCI\) Specification](#). Acesso em: 1 out. 2025.

THE GREEN GRID. **PUE™: A Comprehensive Examination of the Metric**. 2012. Disponível em: [WP49-PUE A Comprehensive Examination of the Metric_v6.pdf](#). Acesso em: 1 out. 2025.