

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS BASEADOS EM PLATAFORMAS: UMA ABORDAGEM DE FÁBRICAS DE APRENDIZAGEM PARA REDUÇÃO DE INCERTEZAS

Rafael Amoroso Marzolla (Escola Politécnica – Universidade de São Paulo)

Gabriel Rodrigues Santos (Escola Politécnica – Universidade de São Paulo)

Pedro Antonio de Albuquerque Felizola Romeral (Escola Politécnica – Universidade de São Paulo)

Florian Schmitt (Escola Politécnica – Universidade de São Paulo / Produktentwicklung und Maschinenelemente – Technische Universität Darmstadt)

Eduardo de Senzi Zancul (Escola Politécnica – Universidade de São Paulo)



Em um cenário no qual a customização em massa vem se tornando uma tendência para a Indústria 4.0, desenvolver plataformas de produtos pode ser uma atividade habilitadora crítica. Porém, o alto custo e longo período para seu desenvolvimento trazem desafios e incertezas ainda maiores do que no desenvolvimento de produtos convencionais. Este trabalho analisa como as incertezas se apresentam no desenvolvimento de produtos baseados em plataformas e discute uma abordagem possível para a sua mitigação com o uso de uma Learning Factory. Por meio da análise bibliométrica de uma amostra da literatura, foram identificados grupos de trabalho que investigam o tema e seus resultados foram discutidos à luz da teoria de gestão de incertezas. Incertezas de mercado e técnicas foram as mais significativas reportadas academicamente. Essa análise é complementada por um caso de aplicação que estudou como a Learning Factory Fábrica do Futuro contribuiu para mitigar incertezas técnicas no desenvolvimento de uma plataforma para visão computacional. Com isso, o trabalho lança luz na gestão de incertezas em ambientes industriais e no desenvolvimento de plataformas de produtos.

Palavras-chave: Produtos baseados em plataformas, desenvolvimento de produtos, incertezas, plataformas de produtos, learning factories.

1. Introdução

A customização em massa, a produção de produtos altamente customizados e personalizados em larga escala e a custo competitivo com a produção tradicional, tem se mostrado um dos grandes desafios para a indústria manufatureira rumo à Indústria 4.0 (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Uma forma de lidar com esse desafio é por meio do desenvolvimento de produtos baseados em plataformas (SIMPSON, 2004; SUH; DE WECK; CHANG, 2007). Famílias de produtos baseados em plataformas permitem o desenvolvimento mais rápido e barato de novos produtos com um projeto modular e maior padronização de componentes. Por exemplo, a plataforma MQB da Volkswagen possibilitou a criação de mais de 40 veículos baseados na mesma plataforma em um período curto (ELMARAGHY et al., 2013). Tais produtos baseados em plataformas permitem reduzir o custo associado a um portfólio diverso, possibilitando desenvolver diferentes versões para diferentes segmentos, mas com componentes comuns (ELMARAGHY et al., 2013; SIMPSON, 2004; SUH; DE WECK; CHANG, 2007), reduzindo o custo de desenvolvimento do produto como um todo.

As incertezas estão especialmente presentes no desenvolvimento de plataformas de produtos. Se o custo global de um portfólio de produtos pode ser reduzido com o uso de plataformas, o desenvolvimento das plataformas em si é mais custoso que o de produtos individuais. Isso leva à necessidade de planejar, desde o início, a manutenção das plataformas em mais de um ciclo de desenvolvimento de produtos (SUH et al., 2007) para que se torne financeiramente viável. Isso traz uma série de incertezas técnicas (LOCH; SOLT; BAILEY, 2008) durante o processo de desenvolvimento da plataforma, uma vez que para que ela se mantenha relevante no mercado atendendo as expectativas dos clientes, a plataforma deve ser capaz de agregar novas tecnologias (HAN et al., 2020; ZAKIR; HARLAND; YÖRÜR, 2018). O desenvolvimento de novas tecnologias, por sua vez, pode se manifestar como um grupo de incertezas imprevisíveis (LOCH; SOLT; BAILEY, 2008) para a equipe de desenvolvimento por não serem previstas inicialmente para compor a plataforma (ZAKIR; HARLAND; YÖRÜR, 2018). Deste modo, as plataformas devem ser flexíveis para receber futuras atualizações tecnológicas, (SUH; DE WECK; CHANG, 2007), que em conjunto com a gestão de incertezas, compõem as chamadas plataformas de produtos orientadas a incertezas (*Uncertainty-Oriented Product Platforms*, UOPPs) (HAN et al., 2020).

No contexto do desenvolvimento de produtos na Indústria 4.0, além da mencionada abordagem de UOPP, outra forma de reduzir incertezas é através de *Learning Factories* (LFs), ou fábricas de aprendizagem (DURÃO et al., 2019). As LFs foram desenvolvidas como ambientes que

combinam pesquisa acadêmica, demonstradores de tecnologia de manufatura avançada, e ensino-aprendizagem (ZANCUL, 2021) por meio da manufatura de um produto-exemplo. Neste tipo de local, os atores envolvidos no projeto e produção do produto, como fornecedores de subsistemas, podem realizar testes de integração de forma anterior à implementação, em um ambiente controlado (ROMERAL; LEAL; ZANCUL, 2021), e muitas vezes também produzem um produto baseado em plataforma. Assim, as fábricas de aprendizagem são ambientes propícios à investigação de incertezas no desenvolvimento de produtos baseados em plataformas, numa área ainda pouco explorada acadêmica e profissionalmente.

Este trabalho busca identificar as incertezas relacionadas ao desenvolvimento de plataformas de produtos, por meio de uma revisão da literatura. A partir dessa identificação, discute como essas incertezas podem ser mitigadas com uso de uma *Learning Factory*, a partir do estudo de caso de uma LF implantada como laboratório de pesquisa e operacional desde 2016 (LEAL; ZANCUL; SCHÜTZER, 2021; ROMERAL; LEAL; ZANCUL, 2021).

O presente trabalho é estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos relevantes para o trabalho; a Seção 3 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada; a Seção 4 apresenta os resultados e discussões da análise bibliométrica; a Seção 5 apresenta um caso de aplicação em uma *Learning Factory*; e a Seção 6 conclui o trabalho.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Plataformas de produtos

Produtos baseados em plataformas advém da necessidade do mercado por produtos cada vez mais customizados, provendo uma forma eficaz e eficiente para o desenvolvimento de portfolios diversos a custos reduzidos (ELMARAGHY et al., 2013). Uma série de famílias de novos produtos podem ser desenvolvidos a partir de uma base comum, com a alteração de módulos ou componentes de forma pontual (FARREL; SIMPSON, 2003).

Isso permite que fabricantes possam aumentar a variedade de produtos de forma mais eficiente, ganhando economia de escala (FARREL; SIMPSON, 2003), o que explica a adoção crescente desse tipo de arquitetura de produto. Fabricantes como Hyundai (KANG et al., 2015), BMW e Volkswagen (ELMARAGHY et al., 2013) passaram a oferecer um número maior de modelos de produtos, por sua vez baseados em número menor de plataformas. Com isso componentes comuns podem ser reaproveitados (ELMARAGHY et al., 2013; SIMPSON, 2004; SUH; DE WECK; CHANG, 2007), assim como as linhas utilizadas para sua montagem (HU et al., 2008).

2.2. Incertezas

As incertezas e sua gestão são fatores-chave para o desenvolvimento de produtos. Segundo a tipologia de O'Connor e Rice (2013), as incertezas podem ser categorizadas como: incertezas de mercado, de recursos, técnicas e organizacionais. As incertezas técnicas estão associadas aos desafios científicos e de conhecimento associados ao desenvolvimento do projeto. Incertezas de mercado relacionam-se à adequação e definição do mercado, se as exigências dos clientes serão atendidas e se os meios de distribuição são adequados (KOUFTEROS; VONDEREMBSE; DOLL, 2002; O'CONNOR; RICE, 2013). Incertezas organizacionais se referem às questões relativas à estrutura da organização, como a mudança de gerentes ou diretores, que pode afetar o desenvolvimento de projetos. Por fim, as incertezas de recursos também podem estar presentes, de forma que a continuidade de recursos humanos e financeiros durante o projeto é incerto devido aos fatores previamente citados. Todas as incertezas se tornam mais agudas em projetos de inovação radical, no qual, por exemplo, um produto complexo que utiliza tecnologia nova é introduzido em um mercado não previamente consolidado, demandando longo desenvolvimento e investimento de recursos.

A essas categorias, se soma o conceito de incertezas imprevisíveis que descreve os *unknowns unknowns*, onde não é nem mesmo claro o que não se sabe (LOCH; SOLT; BAILEY, 2008). Este tipo de incerteza, dominante em projetos de inovação radical e substantiva, caracteriza aspectos importantes para o sucesso da empreitada, mas que não podem ser definidos pela equipe de gestão (SOMMER; LOCH; DONG, 2009).

2.3. Learning Factories

Learning Factories (LFs) (ou fábricas de aprendizagem) são espaços de aprendizado que se assemelham a um ambiente real de produção (ZANCUL et al., 2022). Uma LF oferece aos envolvidos a oportunidade de implementar melhorias em processos e ver resultados de forma ágil, proporcionando experiência prática em projetos da vida real (SACKEY et al., 2017). O termo “*Learning Factory*” surgiu em 1994 quando a National Science Foundation (NSF) nos EUA concedeu recursos a Penn State University para desenvolver uma fábrica de aprendizado com foco em projetos interdisciplinares práticos de engenharia e interações com o setor industrial (LAMANCUSA et al., 2008).

Normalmente, múltiplos stakeholders estão envolvidos em uma LF, como universidades, centros de pesquisa, agências de fomento e empresas (ENKE; TISCH; METTERNICH, 2016). O aprendizado em uma LF pode ser realizado por meio de cursos de graduação, pós-graduação, pesquisa acadêmica, de treinamento para a indústria etc. Existem também objetivos de

demonstração de tecnologias e sua transferência para a indústria; a promoção de um ambiente de experimentação de modelos de produção a serem reproduzidos no contexto industrial e o desenvolvimento de produtos (TISCH et al., 2016).

As *Learning Factories*, portanto, possuem objetivos tecnológicos, de negócios e de gestão de pessoas a serem atendidos (ABELE et al., 2017). O seu propósito é contribuir significativamente para o fornecimento contínuo de profissionais competentes e para a atualização e modernização constantes do capital intelectual na indústria. Além disso, as LFs devem contribuir com pesquisa, transferência de inovação ou criação de negócios (ABELE et al., 2017). A atuação de uma LF pode estar atrelada à um ecossistema de inovação (ZANCUL; ROMERAL; SCHÜTZER, 2022), fomentando a implementação de novas tecnologias e auxiliando na redução das incertezas mencionadas.

Uma LF pode ser analisada junto ao conceito de Digital Twin focado no *Middle of Life* (MOL) do produto (DURÃO et al., 2020), de modo que uma análise mais criteriosa de um momento posterior da plataforma pode ser realizada e mais bem planejada considerando a adição de novas funcionalidades e tecnologias. Um exemplo de desenvolvimento nesse contexto poderia utilizar a LF para validar o desenvolvimento faseado do ciclo de vida do produto por meio do Digital Twin (UHLEMANN et al., 2017).

LFs também podem ser utilizadas para reduzir incertezas, especialmente incertezas técnicas (ROMERAL; LEAL; ZANCUL, 2021). Incertezas podem ser mitigadas ao utilizar a LF como demonstradores de processos e tecnologias em um ambiente controlado, porém próximo do real, servindo como um *testbed* e ambiente para provas de conceito de novas tecnologias a serem utilizadas nos produtos (DURÃO et al., 2019).

3. Metodologia

3.1. Revisão de literatura

Foi realizada uma revisão na literatura, a fim de esclarecer quais as incertezas presentes no processo de desenvolvimento de plataformas de produtos, a partir do reportado sobre o tema na literatura acadêmica.

A pesquisa partiu da busca nas bases acadêmicas Scopus e Web of Science utilizando a *string* de busca ((“product platform*” OR “product-platform*”) AND (uncertainty OR uncertainties)). Essa busca foi realizada em abril de 2023.

A string retornou 53 resultados na base da Scopus e 40 na Web of Science. Esses resultados foram filtrados, restringindo apenas para artigos e artigos de revisão publicados em periódicos revisados por pares, resultando em 20 resultados na Scopus e 18 na Web of Science.

As bases foram unidas utilizando o Bilbiometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017), e 13 artigos duplicados (indexados em ambas as bases consultadas) foram removidos, totalizando uma amostra de 25 artigos publicados no período de 2001 a 2022. A partir dessa base, foi feita uma análise bibliométrica com o Biblioshiny, e em seguida, seu conteúdo foi analisado.

3.2. Caso de aplicação: Fábrica do Futuro

Para discutir a gestão incertezas no desenvolvimento de plataformas de produto, a *Learning Factory* Fábrica do Futuro foi analisada. A Fábrica do Futuro é um laboratório do tipo fábrica de aprendizagem, implantada na Universidade de São Paulo (LEAL; ZANCUL; SCHÜTZER, 2021; ROMERAL; LEAL; ZANCUL, 2021; ZANCUL; ROMERAL; SCHÜTZER, 2022). As atividades de projeto do laboratório iniciaram em 2015, sendo desenvolvida entre 2016 e 2019 e consolidada em 2020. O seu objetivo primário é fornecer suporte para o ensino em nível de graduação e pós-graduação relacionado com as tecnologias da Indústria 4.0 e para a implementação dessas tecnologias na indústria brasileira (ZANCUL, 2021). O projeto conta ainda com parceiros industriais e com empresas de tecnologia, que fornecem soluções para a linha de montagem. Dessa forma, o ambiente funciona como uma plataforma de teste em que todos os envolvidos possam aprender e aplicar as tecnologias (ROMERAL et al., 2021).

Composto por diferentes demonstradores de tecnologia da Indústria 4.0, o laboratório centra-se na linha de montagem flexível de um produto-exemplo, um skateboard. A linha incorpora múltiplos demonstradores de tecnologias em quatro estações de montagem, bem como suas integrações, como a integração de sistemas de visão com ERP. O resultado da linha de montagem é um produto inteligente, o “skate conectado”, cujas tecnologias presentes apontam o desempenho do produto em tempo real (ZANCUL, 2021).

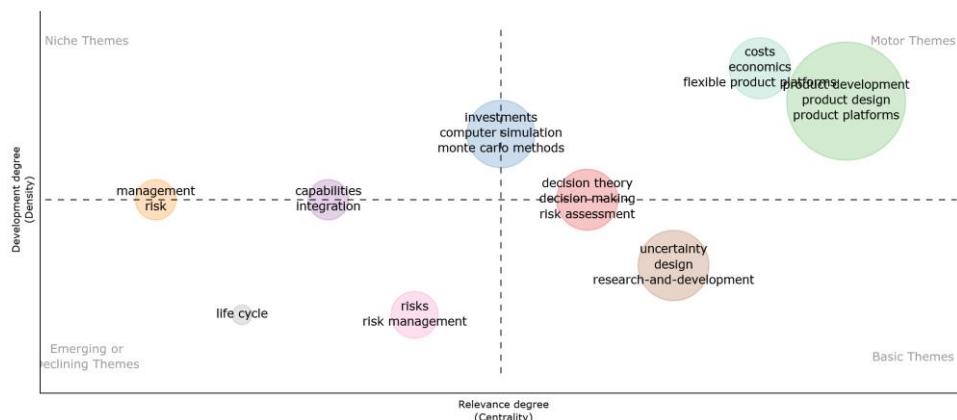
Yin (2015) aponta seis fontes de evidências que compõe a coleta de dados: registro em arquivos, entrevistas, documentação, observação participante, observação direta e artefatos físicos. Para o caso de aplicação, as fontes de evidência utilizadas se concentraram na análise documental. Nesse tipo de análise, “os dados logrados são absolutamente provenientes de documentos, com o propósito de obter informações neles contidos, a fim de compreender um fenômeno” (LIMA JÚNIOR et al., 2021, p.42). Por meio da análise de documentos como relatórios internos e documentos públicos disponibilizados pelas empresas-parceiras e projetos desenvolvidos no

ambiente da Fábrica do Futuro, foi possível compreender como esse ambiente contribuiu para o desenvolvimento da plataforma de produto.

4. Resultados

O pequeno número de resultados na amostra analisada, um total de 25 artigos, publicados entre 2001 e 2022, indica que o tema é recente e carece de maior exploração acadêmica. A Fig. 1 apresenta o mapa temático a partir das palavras-chave da amostra, e indica que os temas de risco e de incertezas estão em desenvolvimento e possuem uma certa relevância, que se apresenta como uma oportunidade para contribuição do tema.

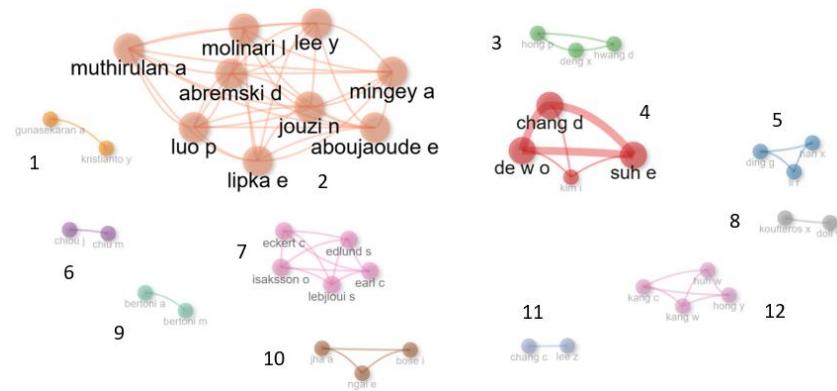
Figura 1 – Mapa temático gerado a partir da análise bibliométrica da amostra de artigos



Fonte: Os autores (2023)

Também foi realizada uma análise de agrupamento por autores com a geração da rede de colaboração (Fig. 2). Foram identificados doze clusters de colaboração de artigos. Cada cluster foi explorado, e seus trabalhos discutidos comparativamente na Tabela 1 a seguir.

Figura 2 – Rede de colaboração



Fonte: Os autores (2023)

Tabela 1 – Apresentação dos clusters e tópicos analisados em cada unidade

Cluster	Principais estudos	Principais conteúdos e discussões
1	(KRISTIANTO NUGROHO, 2013); (KRISTIANTO; GUNASEKARAN, 2018)	Implicações relacionadas ao adiamento da produção (<i>postponement</i>) e seu efeito no preço, sendo uma ferramenta para lidar com incertezas de demanda do mercado. É apresentado um modelo de tomada de decisão para distribuição de manufatura global, levando em conta as incertezas endógenas e exógenas neste ambiente de negócios.
2	(YORK et al., 2022)	Utilização da ferramenta do <i>quick-screen</i> para avaliar startups de base biológica aos olhos da <i>big pharma</i> .
3	(HONG et al., 2022)	Apresentação de três elementos fundamentais em equipes de desenvolvimento de plataforma: <i>front-end, middle-end e back-end</i> .
4	(SUH; DE WECK; CHANG, 2007); (SUH et al., 2007)	Plataformas de produtos como forma de atender a customização em massa. Propõe um <i>framework</i> para uma plataforma de produtos flexível. Também se discute o projeto de plataformas flexíveis considerando incertezas de mercado e dos componentes específicos.
5	(HAN et al., 2020)	Introdução de um <i>framework</i> para o desenvolvimento de plataformas de produto orientadas a incertezas (UOPPs)
6	(CHIU, CHIOU, 2016)	Proposição de um <i>framework</i> para analisar cenários de novas tecnologias, contemplando as incertezas envolvidas para decisões organizacionais em empresas de tecnologia.
7	(ECKERT et al., 2020)	Impacto de margens de engenharia no processo de desenvolvimento de produtos baseados em plataformas.
8	(KOUFTEROS; VONDEREMBSE; DOLL, 2002)	Papel de incertezas na estratégia de plataformas na estratégia empresarial.
9	(BERTONI; BERTONI, 2020)	Proposição de modelo de análise de custo de ciclo de vida para produto e componentes no contexto de sistemas produto-serviço (PSS), com base na <i>cost engineering</i> .
10	(JHA; BOSE; NGAI, 2016)	Descrição do processo de desenvolvimento de uma plataforma a partir de pressão externa. Apresentação de caso de regulação de emissões de poluentes, na Bosch Índia.
11	(WANG; CHANG; LEE, 2022)	Discussão sobre como a plataforma de produto se encaixa na estratégia da empresa e como pode trazer benefícios.
12	(KANG et al., 2015)	Discussão dos riscos associados a produtos-plataforma quando há uma falha de componentes comuns, multiplicando o número de produtos com potencial de falha. Os autores também realizam uma análise de risco de falha para plataformas.

Fonte: Os autores (2023)

Verifica-se que o conteúdo discutido nos clusters é abrangente e em alguns casos são propostos modelos que contribuem para a teoria de plataformas de produtos. As principais incertezas associadas às plataformas de produtos de acordo com esse levantamento são as incertezas técnicas e de mercado.

4.1. Discussão sobre a análise bibliométrica

Em comparação ao desenvolvimento de um único produto, incertezas no desenvolvimento de plataformas são mais críticos. A análise de conteúdo à luz da tipologia de incertezas de O'Connor e Rice (2008) identificou destaque na presença de incertezas de mercado e de incertezas técnicas no desenvolvimento de plataformas de produto.

4.1.1 Incertezas de mercado

A capacidade de adaptação às mudanças do perfil dos consumidores pode ser determinante para o sucesso de plataformas de produto. Se por um lado as plataformas são eficazes em atender a customização em massa (ELMARAGHY et al., 2013; SUH; DE WECK; CHANG, 2007), por outro é necessário que tenham flexibilidade no seu projeto inicial (HAN et al., 2020; SUH et al., 2007). Tal flexibilidade permite às plataformas atender a novas demandas de consumo ou de regulação, mantendo-se relevantes por um período mais longo (JHA; BOSE; NGAI, 2016).

4.1.2 Incertezas técnicas

As incertezas técnicas majoritariamente identificadas na amostra de artigos se referem ao desenvolvimento dos componentes da plataforma. Um componente pode apresentar uma falha de projeto que não tenha sido precocemente identificada no processo de design, de modo que a falha se torna inevitável e imprevisível (KANG et al., 2015).

Também se manifestam como incertezas técnicas a falta de clareza dos componentes serem capazes de atender a gerações futuras de produtos. Para que a plataforma possa ser atualizada com sucesso, é importante analisar as margens de engenharia (ECKERT et al., 2020), segundo a qual alguns componentes devem ser sobredimensionados para que possam ser utilizados em produtos de segmentos diferentes. Por exemplo, um conjunto comum de componentes da plataforma pode ser projetado para serem usados tanto carros compactos quanto veículos de luxo ou SUVs, dependendo da estratégia da empresa (ECKERT et al., 2020; WANG; CHANG; LEE, 2022). Isso pode significar um aumento de custo relativo ao valor individual dos componentes, apesar do aumento do volume de produção (ELMARAGHY et al., 2013). No entanto, significa que esses componentes podem ser reutilizados em novas gerações de produtos derivados da plataforma (ECKERT et al., 2020; ELMARAGHY et al., 2013).

4.1.3 Incertezas de recursos e organizacionais

Os riscos financeiros no desenvolvimento de plataformas são maiores quando comparados ao desenvolvimento de produtos individuais. Se a plataforma não for bem-sucedida, a estratégia de mercado e o impacto financeiro podem ser muito significativos. Além disso, chegar ao ponto de equilíbrio financeiro pode demandar mais tempo, e pode depender do sucesso da plataforma a médio prazo, bem como sua reutilização em múltiplos produtos.

A decisão e esforço de desenvolver uma plataforma representa uma parte maior da estratégia de uma empresa; um montante significativo de recursos (financeiros, humanos e outros tipos) deve ser alocado por um longo período. Isso demanda compromisso organizacional continuado, possivelmente entre gestores diferentes.

5. Caso de aplicação: o uso de uma *learning factory* no desenvolvimento de uma plataforma de solução

Uma abordagem de diminuir os riscos das incertezas é utilizar um ambiente controlado da *Learning Factory* (ZANCUL et al., 2022). Esse ambiente pode ajudar a reduzir o tempo e custos de desenvolvimento, especialmente ao permitir realizar provas de conceito e testes. Fazendo isso, empresas podem considerar produtos mais inovadores com a plataforma, testá-los, ganhar experiência sobre os requisitos e finalizar a plataforma mais rapidamente. O intuito é testar as soluções, coletar dados para melhorias e com isso reduzir incertezas técnicas do produto e até mesmo de mercado, por meio de testes com usuários.

Dentre as *Learning Factories* existentes, este estudo aborda o caso de aplicação de uma LF brasileira chamada Fábrica do Futuro, apresentada na Seção 3.2. A Fábrica do Futuro possui uma série de demonstradores de tecnologia com o objetivo de exibir conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 aplicados a um processo produtivo similar ao real. O produto demonstrador, um skate, e seu processo de montagem integram os demonstradores e suas tecnologias, exemplificando aplicações práticas (ZANCUL, 2021). Como exemplos de demonstradores disponíveis, há o de customização em massa (ROMERAL; LEAL; ZANCUL, 2021); Digital Twin (DURÃO et al., 2020); controle de qualidade e separação de componentes por visão computacional (ZANCUL et al., 2020), entre outros.

Um caso bem-sucedido de aplicação tecnológica na Fábrica do Futuro é a solução de visão computacional desenvolvida por uma empresa parceira. A empresa surgiu em 2012 na incubadora de empresas da Universidade de São Paulo com o objetivo de desenvolver soluções para processos industriais, sendo especialista em visão computacional e inteligência artificial.

A companhia firmou um convênio com a LF para testar e aperfeiçoar uma solução de monitoramento de processos baseada em uma câmera inteligente e aplicando aprendizagem de máquina. A solução é voltada para o controle de processos críticos, sendo capaz de fazer leituras e processamento de imagens em altas velocidades.

No âmbito do convênio, a empresa pôde testar a solução empregando a infraestrutura disponível na LF e contar com o apoio técnico de alunos da universidade e de outras empresas parceiras, ampliando a rede de contatos e incentivando o desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, os testes permitiram obter um conhecimento melhor sobre a solução e possíveis usuários, reduzindo incertezas e habilitando o lançamento do produto no mercado.

A solução desenvolvida é aplicada em dois momentos da linha de montagem da LF. Primeiramente, a câmera de visão computacional é empregada na inspeção de qualidade da cor das rodas do skate, verificando sua posição de montagem e se foram instaladas conforme o pedido. Posteriormente, uma esteira separadora com atuação pneumática e uma câmera acoplada permite a separação das rodinhas conforme sua cor, na etapa final da linha de produção do skate (ZANCUL et al., 2020; ZANCUL, 2021). A Fig. 3 a seguir ilustra as soluções mencionadas.

Figura 3 – Aplicação da visão computacional em diferentes contextos de uma LF



Fonte: Zancul et al. (2020), Zancul (2021)

O exemplo mencionado anteriormente traz alguns insights importantes para este estudo. Uma mesma câmera inteligente pode ser testada, programada e aplicada em diferentes cenários para finalidades distintas. A parceria com a LF permitiu testes mais eficazes, adquirindo experiência sobre os requisitos e funcionalidades do produto, auxiliando na redução de incertezas técnicas. O convênio com a LF permitiu o contato com outras organizações envolvidas, facilitando a troca de informações e tecnologias. Verifica-se, portanto, que as LFs são uma forma eficaz de testar o desenvolvimento de plataformas e mitigar incertezas técnicas.

6. Conclusão

Desenvolver produtos baseados em plataformas é cada vez mais relevante para a customização em massa. Apesar de potencial redução de tempo e custo, desenvolver plataformas traz desafios e incertezas adicionais em comparação a produtos simples. Este artigo analisou o desenvolvimento de plataformas à luz da gestão de incertezas. Por meio de uma revisão de literatura, foi possível identificar que o longo ciclo de desenvolvimento e a necessidade de considerar requisitos adicionais causam especial aumento de incertezas de mercado e técnicas. Uma das soluções possíveis para explorar e mitigar as incertezas técnicas no desenvolvimento de plataformas é a aplicação de *Learning Factories*. Elas podem servir como ambiente de teste da integração de sistemas e de novas funcionalidades em um ambiente próximo da realidade produtiva. Um caso dessa aplicação foi analisado pelo presente estudo, um sistema de visão computacional baseado em inteligência artificial para uso industrial, aplicada na Fábrica do Futuro em duas estações de sua linha de montagem. A LF permitiu que testes fossem realizados para identificar requisitos e aplicações, bem como acesso a contatos e parceiros potenciais. Ao simular aplicações no contexto controlado de *Learning Factories*, empresas podem especificar os requisitos comuns, e assim melhor desenvolver a sua plataforma.

REFERÊNCIAS

ABELE, Eberhard; CHRYSSOLOURIS, George; SIHN, Wilfried; METTERNICH, Joachim; ELMARAGHY, Hoda; SELIGER, Günther; SIVARD, Gunilla; ELMARAGHY, Waghish; HUMMEL, Vera; TISCH, Michael; SEIFERMANN, Stefan. Learning Factories for future oriented research and education in manufacturing. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 66, p.803-826, 2017.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

BERTONI, Alessandro; BERTONI, Marco. PSS cost engineering: A model-based approach for concept design. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 29, p. 176–190, 2020.

CHIU, Ming Chuan; CHIOU, Jr Yi. Technical service platform planning based on a company's competitive advantage and future market trends: A case study of an IC foundry. **Computers and Industrial Engineering**, v. 99, p. 503–517, 2016.

DURÃO, Luiz Fernando Cardoso dos Santos.; GUIMARÃES, Marcos O.; SALERNO, Mario Sergio; ZANCUL, Eduardo. Uncertainty Management in Advanced Manufacturing Implementation: The Case for Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 213-218, 2019.

DURÃO, Luiz Fernando Cardoso dos Santos.; MORGADO, Matheus; DE DEUS LOPES, Roseli; ZANCUL, Eduardo. Middle of Life Digital Twin: Implementation at a Learning Factory. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 594, p. 116–127, 2020.

ECKERT, Claudia; ISAKSSON, Ola; LEBJIOUI, Safaa; EARL, Christopher F.; EDLUND, Stefan. Design margins in industrial practice. **Design Science**, v. 6, 2020.

ELMARAGHY, Hoda; SCHUH, Günther; ELMARAGHY, Waguih; PILLER, Frank; SCHÖNSLEBEN, Paul; TSENG, M.; BERNARD, Alain. Product variety management. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 62, n. 2, p. 629–652, 2013.

ENKE, Judith; TISCH, Michael; METTERNICH, Joachim. Learning Factory Requirements Analysis- Requirements of Learning Factory Stakeholders on Learning Factories. **Procedia CIRP**, v.55, p. 224-229, 2016.

FARREL, Ronald; SIMPSON, Tomothy. Product platform design to improve commonality in custom products. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 14, p.541-556, 2003.

FRANK, Alejandro Germán.; DALENOGARE, Lucas; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 Technologies: implemetation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p.15-26, 2019

HAN, Xin; LI, Rong; WANG, Jian; DING, Guofu; QIN, Shengfeng. A systematic literature review of product platform design under uncertainty. **Journal of Engineering Design**, v. 31, n. 5, p. 266–296, 2020.

HONG, Paul C.; PARK, Young Soo; DENG, Xiyue; HWANG, David W. Marketing platform products for successful customer outcomes: an empirical investigation of project process integration. **International Journal of Quality and Service Sciences**, v. 14, n. 3, p. 349–367, 2022.

HU, S. J.; ZHU, X.; WANG, H.; KOREN, Y. Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 57, n. 1, p. 45–48, 2008.

JHA, Ashish K.; BOSE, Indranil; NGAI, Eric W. T. Platform based innovation: The case of Bosch India. **International Journal of Production Economics**, v. 171, p. 250–265, 2016.

KANG, Chang Muk; HONG, Yoo S.; HUH, Woonghee Tim; KANG, Wanmo. Risk Propagation Through a Platform: The Failure Risk Perspective on Platform Sharing. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 62, n. 3, p. 372–383, 2015.

KOUFTEROS, Xenophon A.; VONDEREMBSE, Mark A.; DOLL, William J. Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. **Journal of Operations Management**, v.20, n. 4, p. 331-355, 2002.

KRISTIANTO NUGROHO, Yohanes. Developing price and production postponement strategies of substitutable product. **Journal of Modelling in Management**, v. 8, n. 2, p. 190–211, 2013.

KRISTIANTO, Yohanes; GUNASEKARAN, Angappa. A global optimization for sustainable multi-domain global manufacturing. **Computers and Operations Research**, v. 89, p. 307–323, 2018.

LAMANCUSA, John; ZAYAS, José; SOYSTER, Allen; MORELL, Lueny; JORGENSEN, Jens. The Learning Factory: industry-partnered active learning. **Journal of Engineering Education**, v. 97, n. 1, 2008.

LEAL, Lorenna Fernandes; ZANCUL, Eduardo; SCHÜTZER, Klaus. Industry 4.0 Learning Factory Phased Development. In: 11thConference on Learning Factories (CLF 2021), Graz, 2021. **Anais** [...], SSRN Electronic Journal, 2021.

LIMA JÚNIOR, Eduardo Brandão; OLIVEIRA, Guilherme Saramago; SANTOS, Adriana Cristina; SCHNEKENBERG, Guilherme Fernando. Análise documental como percurso metodológico na pesquisa qualitativa. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, n. 44, p. 36-51, 2021.

LOCH, Christoph H.; SOLT, Michael E.; BAILEY, Elaine M. Diagnosing unforeseeable uncertainty in a new venture. **Journal of Production Innovation Management**, v.25, p.28-46, 2008.

O'CONNOR, Gina Colarelli; RICE, Mark P. A comprehensive model of uncertainty associated with radical innovation. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30, p. 2–18, 2013.

ROMERAL, Pedro Antonio; LEAL, Lorenna Fernandes; ZANCUL, Eduardo. Mass customization demonstrator at an Industry 4.0 Learning Factory. In: 11thConference on Learning Factories (CLF 2021), Graz, 2021. **Anais** [...], SSRN Electronic Journal, 2021.

ROMERAL, Pedro Antonio; SPINOLA, Mauro de Mesquita; GONÇALVES, Rodrigo Franco; ZANCUL, Eduardo. Development of managerial and Information Technology Skills in Learning Factories in the context of Industry 4.0: a case study. **GEPROS – Gestão da Produção, Operação e Sistemas**, v. 16, n. 2, p. 195-227, 2021.

SACKEY, Samuel.; BESTER, Andre; ADAMS, Dennit. Industry 4.0 Learning Factory didactic parameters for industrial engineering education in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114-124, 2017.

SIMPSON, Timothy W. Product platform design and customization: Status and promise. Artificial Intelligence for Engineering Design. **Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 18, n. 1, p. 3–20, 2004.

SOMMER, Svenja C.; LOCH, Christoph H.; DONG, Jing. Managing complexity and unforeseeable uncertainty in startup companies: An empirical study. **Organization Science**, v. 20, n. 1, p. 118–133, 2009.

SUH, Eun Suk; DE WECK, Olivier; KIM, Il Yong; CHANG, David. Flexible platform component design under uncertainty. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 18, n. 1, p. 115–126, 2007.

SUH, Eun Suk; DE WECK, Olivier L.; CHANG, David. Flexible product platforms: Framework and case study. **Research in Engineering Design**, v. 18, n. 2, p. 67–89, 2007.

TISCH, Michael; HERTLE, C; ABELE, Eberhart; METTERNICH, Joachim, TENBERG, T. Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 12, p. 1355-1375, 2016.

UHLEMANN, Thomas H. J.; SCHOCK, Christoph; LEHMANN, Christian; FREIBERGER, Stefan; STEINHILPER, Rolf. The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 113–120, 2017.

WANG, Chun Hsien; CHANG, Ching Hsing; LEE, Zui Chih Rick. Business-to-business platform ecosystem practices and their impacts on firm performance: evidence from high-tech manufacturing firms. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 5, p. 1005–1026, 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YORK, John M. et al. The Quick Screen in Action: Project, Product, or Platform Case Examples. **Journal of Commercial Biotechnology**, v. 27, n. 4, p. 1–28, 2022.

ZAKIR, Uddin; HARLAND, Peter E.; YÖRÜR, Haluk. Risk management in product platform development projects. **International Journal of Product Development**, v. 22, n. 6, p. 441–463, 2018.

ZANCUL, Eduardo. **Concepção, implantação e aplicação de uma Fábrica de Aprendizagem voltada para a Indústria 4.0**. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

ZANCUL, Eduardo; MARTINS, Henrique Oliveira; LOPES, Fernando, SILVA NETO, Fernando. Machine Vision applications in a Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 516-521, 2020.

ZANCUL, Eduardo; ROMERAL, Pedro Antonio; SCHÜTZER, Klaus. Learning Factory as an Innovation Ecosystem. In: 12th Conference on Learning Factories (CLF 2022), Singapura, 2022. **Anais** [...], SSRN Electronic Journal, 2022.