

Universidade Metodista de Piracicaba
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* CONCEITUAL PARA O
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS INTELIGENTES PARA
IDOSOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Carolina Sallati

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer

SANTA BÁRBARA D'OESTE
AGOSTO 2019

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Gislene Tais de Souza Sperandio - CRB-8/9596.

S168p	<p>Sallati, Carolina</p> <p>Proposta de um framework conceitual para o desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos no contexto da indústria 4.0 / Carolina Sallati. – 2019. 174 f.: il.; 30 cm</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Klaus Schützer. Dissertação (Mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Santa Bárbara d'Oeste, 2019.</p> <p>1. Inovações Tecnológicas. 2. Indústria 4.0 3. Idosos – Pesquisa I. Schützer, Klaus. II. Título.</p> <p>CDD – 670</p>
-------	---

Universidade Metodista de Piracicaba
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**PROPOSTA DE UM *FRAMEWORK* CONCEITUAL PARA O
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS INTELIGENTES PARA
IDOSOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Carolina Sallati

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE
AGOSTO 2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos que virão. Às pessoas alvo de minha profissão, estudos esforços e propósito. E à esperança de um mundo melhor.

Dedico também aos desafios, que acrescentam em sabedoria, força e motivação.

AGRADECIMENTOS

Com coração e mente gratos por todos os aprendizados, agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me colocado no lugar certo, com as pessoas certas, para cumprir o propósito que Ele designou para mim.

Agradeço aos meus pais, irmão e ao meu tio Marcos, por sonharem comigo, acreditarem que ciência é um combustível para a sociedade e verem em mim potencial que eu mesma muitas vezes não vi. Pelos mesmos motivos, agradeço ao meu orientador, que foi instrumento de Deus em minha jornada e me ensinou muito mais que conceitos acadêmicos e de pesquisa.

Professor Klaus, obrigada por acreditar que uma gerontóloga poderia aprender Indústria 4.0 e contribuir para projetos de pesquisa que sempre a desafiaram a continuar vendo o mundo com outros olhos.

Agradeço aos meus colegas de Laboratório, mestrandos, doutorandos, estagiárias e equipe técnica. O SCPM foi minha casa por mais de dois anos e não teria sido o mesmo sem cada um de vocês. Obrigada.

Agradeço também aos colegas de disciplinas, pelas conversas (acadêmicas ou não) e por compartilharem sua visão de mundo sem preconceitos. Aprendi muito com vocês.

Finalmente, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento à minha pesquisa e pela oportunidade de realizar um intercâmbio na Alemanha durante meu curso de mestrado.

Agradeço ainda ao Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl, do *Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK)* da *Technische Universität Darmstadt (TUD)*, e aos amigos que fiz lá. Para além de uma valiosíssima experiência acadêmica, foi também uma riquíssima experiência pessoal. *Danke!*

“Kia kaha, kia māia, kia manawanui

Be strong, be steadfast, be willing.”

Link.

SUMÁRIO

Resumo.....	I
Abstract.....	II
Lista de Figuras.....	III
Lista de Quadros.....	V
Lista de Siglas.....	VI
1. Introdução	1
1.1 Contextualização e Problema de Pesquisa.....	1
1.2 Questão de pesquisa	14
1.3 Justificativa e Motivação	15
1.4 Objetivos	16
1.5 Estrutura do Trabalho	17
2. Revisão de Literatura	18
2.1 Desenvolvimento de Produto	18
2.1.1 Etapas do Ciclo de Vida do Produto	33
2.1.2 Desenvolvimento de Produtos e Envelhecimento.....	38
2.2 Indústria 4.0	42
2.2.1 Pilares da Indústria 4.0	44
2.2.2 Desenvolvimento de Produtos na Indústria 4.0	50
2.3 Produtos Inteligentes e Sistemas Produto-Serviço	60
2.3.1 Produtos Inteligentes	61
2.3.2 Sistemas Produto-Serviço para Idosos.....	68
3. Método.....	81
3.1 <i>Design Science Research</i>	81
3.2 Caracterização e Etapas da Pesquisa	87
4. Proposta de um Framework Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0	93
4.1 Descrição Geral	93
4.2 Conceitos de Aplicação.....	97
4.2.1 Planejamento do PSS.....	99

4.2.2 Projeto do PSS	101
4.2.3 Uso	104
5. Verificação.....	108
5.1 Análise Comparativa dos Casos do Programa AAL.....	108
5.2 Entrevistas com os Coordenadores dos Casos Analisados	122
5.3 Avaliação do <i>Framework</i> por Especialistas.....	128
5.4 Apontamentos Gerais sobre a Etapa de Verificação.....	136
5.5 Limitações	137
6. Conclusões	139
7. Referências	144
8. Apêndices.....	157

RESUMO

Embora sejam fenômenos distintos, a Indústria 4.0 (I4.0) e o processo de envelhecimento trazem consequências que não podem ser tratadas separadamente. De fato, se combinadas, oferecem caminhos para desenvolvimento e inovação. Assim, combinando-se os requisitos e tecnologias habilitadoras da I4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes (DPI) e as oportunidades de mercado do processo de envelhecimento, esta pesquisa apresenta uma proposta conceitual de *framework* para o DPI para idosos no contexto da I4.0. Enquanto ferramenta, o *framework* tem dois objetivos: auxiliar no DPI para idosos que sejam mais adequados às suas reais necessidades e expectativas de consumo, e auxiliar na adaptação do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) aos padrões da I4.0. Sob a abordagem da *Design Science Research*, auxiliada pelos métodos de revisão de literatura, estudo de caso e análise documental, quatro casos de sucesso de DPI para idosos foram analisados. Dessa análise derivaram-se os conceitos de aplicação do *framework*, que sugerem que para cada uma de três etapas específicas do ciclo de vida do produto há requisitos da I4.0 a serem atendidos. Para tanto, há tecnologias habilitadoras que podem ser utilizadas associadas à uma filosofia de projeto centrado no usuário, favorecendo, assim, o cumprimento dos objetivos do *framework*. Os conceitos de aplicação foram verificados em três etapas: foram comparados às etapas do PDP dos casos analisados, por meio de estudo de caso secundário e análise documental; depois foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com os coordenadores dos casos; e, por último, os conceitos foram avaliados por especialistas. A verificação possibilitou concluir, apesar das limitações e pontos de melhora do *framework*, que é uma ferramenta com potencial de aplicação em cenários reais de DPI para idosos. Apontou também para a necessidade de maiores investigações nacionais na área, uma vez que se encontraram apenas casos internacionais para comparação.

PALAVRAS-CHAVE: DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS; INDÚSTRIA 4.0; PRODUTOS INTELIGENTES; IDOSOS.

ABSTRACT

Although distinct phenomena, Industry 4.0 (I4.0) and the ageing process bring consequences that cannot be addressed separately. In fact, if combined, they offer paths to development and innovation. Thus, combining I4.0 requirements and enabler technologies for smart product development with the market opportunities of the ageing process, this research presents the proposal of a conceptual framework for smart product development for older adults within the I4.0 context. As a tool, the framework has two goals: assist the development of smart products more suitable to older adults' real needs and expectations, and aid in the adaption of the product development process to I4.0 standards. Under a Design Science Research approach combined with literature review, case study and documental analysis, four success cases of smart product development for older adults were analyzed. From this analysis, the framework' application concepts were derived. They suggest that for each of three specific product lifecycle stages there are I4.0 requirements to be addressed. In order to do so, there are enabler technologies that can be utilized associated with a user-centered design philosophy, thus fostering the accomplishment of the framework' goals. The application concepts were verified in three stages: first, they were compared to the analyzed cases, through secondary study case and documental analysis. Secondly, semi structured interviews were conducted with the coordinators of the cases, and lastly, the application concepts were evaluated by experts. The verification made possible to conclude that, despite the framework' limitations and improvement points, it is a tool with potential for deployment in real scenarios of smart product development for older adults. Moreover, it demonstrated the need for further national investigations in the area, given only international cases were found for comparison.

KEYWORDS: PRODUCT DEVELOPMENT; INDUSTRY 4.0; SMART PRODUCTS; OLDER ADULTS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Benefícios do desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos.....	16
Figura 2: Ciclo de Vida do Produto (adaptado de Anderl et al [55])	20
Figura 3: Modelo geral da abordagem de sistemas (traduzido de Pahl et al [52])	22
Figura 4: Modelo do produto no processo de desenvolvimento (traduzido de Anderl et al [55])	24
Figura 5: Troca de informações no PDP (extraído de Schützer [60]).....	25
Figura 6. Conceito do desenvolvimento integrado de produtos e processos (traduzido de Abele et al [61])	26
Figura 7: ecoDesign Workbench (traduzido de Abele et al [61])	27
Figura 8: Modelo de referência para melhoria do PDP (extraído de Rozenfeld et al [54])	29
Figura 9: Visão geral do PLM (traduzido de Stark [53])	30
Figura 10: Abordagens fundamentais de DP para o escopo do trabalho.....	32
Figura 11: Ciclo de vida do produto no mercado (extraído de Almeida et al [66])	36
Figura 12: Arquitetura de referência para conexão de IoT e IoS (traduzido de Kagermann [15]).....	49
Figura 13: Toolbox Industrie 4.0 para Produtos (traduzido de Anderl e Fleischer [100]).....	56
Figura 14: RAMI 4.0 (traduzido de Platform Industrie 4.0 [104])	58
Figura 15: Modelo do ciclo de vida dos PSS (traduzido e adaptado de Cavalcante e Gzara [68])	66

Figura 16: Implementação sistemática de um processo de projeto de PSS (traduzido de Aurich et al [107] e acrescido de conceitos de Wiesner et al [108])	67
Figura 17: Andador Walker (extraído de D1.6 Final Project Report [114])	70
Figura 18: Dispositivos desenvolvidos pelo projeto Connected Vitality – YooM (extraído de D9.7 Final Report CVN Project [118])	74
Figura 19: Protótipo RelaxedCare System (extraído de RelaxedCare: The Prototype [123]).....	75
Figura 20: Processo iterativo até o Piloto Final (traduzido de Berndt et al [139])	78
Figura 21: Representação do método de desenvolvimento do trabalho	89
Figura 22: Framework Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0 (FDPI 4.0).....	94
Figura 23: Conceito de aplicação para a etapa de Planejamento do PSS	99
Figura 24: Conceito de aplicação para a etapa de Projeto do PSS	102
Figura 25: Conceito de aplicação para a etapa de Uso do PSS	104
Figura 26: Ilustração do formulário de avaliação do FDPI 4.0	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Requisitos para o desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da I4.0.....	52
Quadro 2. Tecnologias habilitadoras para o desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da I4.0.....	54
Quadro 3. Diretrizes para Design Science Research (traduzido de Hevner et al [145])	83
Quadro 4. Métodos de avaliação do design (traduzido de Hevner et al [145])	84
Quadro 5. Etapas de condução da DSR (reproduzido de Lacerda et al [140])	86
Quadro 6. Exemplificação de classe de problemas e definições para o trabalho (baseado em Lacerda et al [140] e Weber [142])	87
Quadro 7: Análise comparativa do projeto <i>iWalkActive</i>	110
Quadro 8: Análise comparativa do projeto <i>RelaxedCare</i>	114
Quadro 9: Análise comparativa do projeto <i>FEARLESS</i>	120
Quadro 10: Resumo das respostas por questão. Entrevistado: coordenador do projeto <i>iWalkActive</i>	124
Quadro 11: Resumo das respostas por questão. Entrevistado: coordenador do projeto <i>FEARLESS</i>	125
Quadro 12: Avaliações dos critérios 1 a 3 pelos especialistas.....	131
Quadro 13: Respostas aos campos abertos	135

LISTA DE SIGLAS

AAL	<i>Active and Assisted Living Programme</i> (Programa AAL)
AR	<i>Augmented Reality</i> (Realidade Aumentada)
BOL	<i>Beginning of product life</i> (Início de vida do produto)
B2B	<i>Business to Business</i> (Negócio para Negócio)
B2C	<i>Business to Consumer</i> (Negócio para Consumidor)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Projeto Auxiliado por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Auxiliada por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Manufatura Auxiliada por Computador)
CAX	<i>Computer Aided Systems</i> (Sistemas Computacionais de Auxílio)
CPS	<i>Cyber-physical Systems</i> (Sistemas Físico-cibernéticos)
DFX	<i>Design for X</i> (Projeto para Excelência)
DSM	<i>Design Structure Matrix</i> (Matriz de Estrutura do Projeto)
DP	Desenvolvimento de Produto
DPI	Desenvolvimento de Produtos Inteligentes
DSR	<i>Design Science Research</i> (Pesquisa em Ciência de Projeto)
EOL	<i>End of product life</i> (Fim de vida do produto)
FDPI 4.0	<i>Framework</i> Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no contexto da Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial (<i>Artificial Intelligence</i>)
IoS	<i>Internet of Services</i> (Internet dos Serviços)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
I4.0	Indústria 4.0
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede de Área Local)
M2M	<i>Machine to Machine</i> (Máquina-à-Máquina)
MOL	<i>Middle of product life</i> (Meio de vida do produto)

MR	<i>Mixed Reality</i> (Realidade Mista)
PDM	<i>Product Data Management</i> (Gestão de Dados do Produto)
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PDPI	Processo de Desenvolvimento de Produtos Inteligentes
PI	Produtos Inteligentes
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i> (Gestão do Ciclo de Vida do Produto)
PSS	<i>Product-Service Systems</i> (Sistemas Produto-Serviço)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Função Desdobramento da Qualidade)
RAMI 4.0	Modelo de Arquitetura de Referência da <i>Industrie 4.0</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> (Identificação por Rádio-Frequência)
SI	Sistemas de Informação
SLM	<i>Service Lifecycle Management</i> (Gestão do Ciclo de Vida do Serviço)
SMEs	<i>Small and Medium Size Enterprises</i> (Empresas de Pequeno e Médio Porte)
TA	Tecnologias Assistivas
TI	Tecnologia da Informação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TO	Terapia Ocupacional
UCD	<i>User-Centered Design</i> (Projeto Centrado no Usuário)
UE	União Europeia
VR	<i>Virtual Reality</i> (Realidade Virtual)

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo, apresenta-se o panorama geral que levou ao desenvolvimento deste trabalho. São expostos o problema de pesquisa, a questão de pesquisa, as justificativas e motivação, os objetivos e, por fim, a estrutura do restante do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

O envelhecimento populacional é um fenômeno que tem se tornado visível no mundo todo. Desde a década de 1950, países de desenvolvimento econômico consolidado, como os europeus, por exemplo, têm sentido os efeitos do aumento do número de idosos na população e têm criado medidas para se adaptar à nova realidade decorrente deste processo [1].

Em países de desenvolvimento mais tardio e que ainda se encontram em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, essa preocupação só se tornou parte da agenda após a década de 1970, quando se iniciaram os estudos demográficos com foco para a modificação da pirâmide etária brasileira [2].

O processo de envelhecimento populacional caracteriza-se pelo aumento do número de idosos, pessoas com 60 anos ou mais, em comparação com as demais faixas etárias dentro de uma mesma população [3,4,5]. Esse processo pode ser considerado um sucesso de desenvolvimento dos países em que ocorre, já que pela primeira vez na história as pessoas podem esperar viver até os 60 anos de idade ou mais [4]. E graças aos avanços tecnológicos na área da saúde, particularmente, as pessoas podem esperar viver os anos da velhice com mais saúde¹ [6] e com mais qualidade de vida [4,5].

¹ Segundo a declaração constituinte da OMS, datada de 1948, saúde define-se como “um completo estado de bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença ou enfermidade”. No entanto, considerando que “um “estado completo de bem-estar” é virtualmente inalcançável, entende-se saúde

No entanto, existem questões importantes a se considerar sobre o processo de envelhecimento demográfico, em especial as diferentes características quanto a região onde o processo ocorre.

Nos países desenvolvidos, que hoje apresentam as maiores populações de idosos no mundo, o processo de envelhecimento populacional também começou mais cedo, por volta do início do século XX, decorrente de um desenvolvimento econômico e industrial que se iniciou em meados do século XVIII. Tais condições conferiram a estes países mais tempo para se adaptarem às diversas implicações do processo de envelhecimento de suas populações [4,5].

No início do século XX, a quantidade de filhos por mulher já era reduzida em muitos países da Europa, e eventos como as duas Guerras Mundiais influenciaram o tamanho das coortes² [7] e, por conseguinte, o padrão demográfico dos países. Indivíduos que nasceram durante a I Guerra Mundial chegaram aos 60 anos por volta de 1970, e por pertencerem a coortes menores, representavam percentuais menores em relação à população total [5]. Ainda assim, percentuais que demandavam medidas que lidassem com as consequências do aumento no número de idosos, significativo desde os anos 1950 para alguns países, como Dinamarca e Noruega, por exemplo [1].

Por outro lado, indivíduos que nasceram após a II Guerra, particularmente entre os anos de 1946 e 1964, os chamados *baby boomers* [8], são parte de coortes maiores, e que a cada ano, tornam mais expressivo o percentual de idosos em relação a população total [5]. Associadas a isso, as quedas nas taxas de fecundidade cada vez mais expressivas ao longo do tempo (atualmente, já abaixo da taxa de reposição) e a diminuição da mortalidade entre idosos com

como o resultado de oportunidades de manutenção das capacidades físicas, mentais e sociais do indivíduo, de forma a promover um estado de bem-estar independente da presença de doenças [6].

² Conceito oriundo da Estatística, caracteriza grupos de pessoas de determinada cultura que vivenciaram os mesmos acontecimentos durante a transição para a vida adulta. Indivíduos pertencentes a uma mesma coorte nasceram na mesma época e possuem valores, crenças e atitudes similares, decorrentes das experiências dos mesmos eventos externos [7].

mais de 80 anos contribuíram para que a Europa tivesse as populações mais envelhecidas do mundo [4,5].

No caso do Brasil, o processo de envelhecimento demográfico tem uma cronologia diferente, em função de processos de industrialização e urbanização também tardios, no início do século XX. Até as décadas de 1940 e 1950, o padrão demográfico brasileiro era relativamente estável: altos níveis de fecundidade e mortalidade, com pequenas variações, conservavam uma população relativamente jovem. No entanto, no mesmo período, as taxas de fecundidade já apresentavam tímidas quedas, acentuando-se com o tempo, e fatores como melhorias de infraestrutura, saneamento básico e acesso a serviços de saúde já contribuíam para declínios nas taxas de mortalidade infantil e adulta [2].

Somente na metade da década de 1960, porém, é que o padrão demográfico brasileiro começou a se modificar; quando o efeito das quedas nas taxas de fecundidade passou a ser sentido, ao mesmo tempo em que a redução nas taxas de mortalidade passou a influenciar a distribuição etária da população. A partir deste período também, as taxas de fecundidade passaram a ser cada vez menores, ao mesmo tempo em que avanços na área da saúde possibilitaram maiores longevidade e expectativa de vida ao nascer [2,9,10].

Importante fator para a transição demográfica no Brasil é uma transição que ocorreu em paralelo: a transição epidemiológica. Resultado dos avanços no desenvolvimento em saúde e nas condições de saneamento básico, a transição epidemiológica caracteriza-se pela substituição, em termos populacionais, das doenças infectocontagiosas e parasitárias, de caráter agudo, isto é, ocasionais, por doenças de caráter crônico-degenerativo, ou doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) – que são a principal causa de mortalidade em idosos atualmente [4,9].

Tais doenças têm como características serem permanentes, irreversíveis, incuráveis e progressivas [11]. Por tais razões, o foco do tratamento não é a cura, mas o controle e, por conseguinte, a estabilidade das doenças, assim como de

seus sintomas, de forma a prevenir sequelas e complicações futuras. Isso se deve ao fato de que o descontrole dessas doenças pode levar a rápida deterioração da capacidade funcional do indivíduo, desencadeando uma espiral de eventos negativos como incapacidade, dependência, perda de autonomia, necessidade de cuidados complexos intensivos e/ou de longa duração e institucionalização [12]. Estes eventos também são representativos das demandas de saúde e sociais que vêm associadas ao processo de envelhecimento demográfico, uma vez que aumentando o contingente de idosos, aumenta também o contingente de portadores de DCNT.

Ainda assim, o envelhecimento populacional pode ser considerado um sucesso em termos de desenvolvimentos tecnológicos, de saúde e socioeconômicos: as pessoas podem esperar viver mais anos, com melhores condições de vida e saúde [4,5]. Entretanto, as implicações e demandas deste processo não se restringem às demandas de saúde e sociais; antes, se estendem para quase todos os setores da sociedade, requerendo medidas diversas para que tais implicações não se tornem impactos negativos [4]. Neste sentido, a necessidade de medidas de planejamento e ação é também cenário de oportunidades de desenvolvimento [4,5,9,13].

No setor econômico, populações mais envelhecidas representam, simultaneamente, uma diminuição na força de trabalho e um aumento no número de pensões, uma vez que aumenta o contingente de pessoas se aposentando [4]. Para que isso não gere um colapso nos sistemas previdenciários, medidas para manter trabalhadores idosos inseridos no mercado são necessárias. Isso inclui adaptar postos de trabalho, tarefas a serem desempenhadas, e proporcionar oportunidades de aprendizado ao longo da vida, uma vez que surgem novas profissões e novas qualificações são requeridas pelo mercado de trabalho, em função dos avanços tecnológicos [8,14,15]. Exemplos de agendas públicas amplas neste sentido são o Plano de Ação Internacional para o Envelhecimento de Madri [16], publicado pela ONU em 2002; o relatório *“The demographic future of Europe – from challenge to opportunity”* (“O futuro demográfico da Europa – de desafio à oportunidade”, em tradução livre),

publicado pela União Europeia em 2006 [13]; e o relatório “*Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*” (“Recomendações para implementação da iniciativa estratégica Indústria 4.0”, em tradução livre) publicado pela acatech em 2013 [15]. Este último relatório, embora se trate de uma estratégia para o desenvolvimento industrial alemão, que representa um novo paradigma para a produção industrial, também aborda o envelhecimento demográfico como desafio, já que a Alemanha é o terceiro país mais envelhecido do mundo e, portanto, tem de repensar a força de trabalho disponível [5,8].

No setor da saúde, diferentes são as agendas discutidas para o envelhecimento, pois o processo em si é heterogêneo; ocorre e se manifesta de maneira diferente para cada indivíduo, e sofre influência de inúmeros determinantes (biológicos, psicológicos, socioculturais, econômicos, ambientais) e das relações entre eles [17].

No setor social, os impactos do processo de envelhecimento, além de questões referentes à seguridade, pensões, desigualdade, etc. [4], associam-se ao aumento da demanda por cuidados e à simultânea diminuição da oferta [2,9,10]. Medidas neste setor envolvem o planejamento de sistemas de cuidado e auxílio domiciliar adequados a diferentes níveis de atenção, em conjunto com serviços de saúde eficientes e alternativas de habitação, como instituições de longa permanência. Além disso, envolvem planejamentos referentes à inserção social por meio de programas específicos que auxiliem na manutenção da autonomia, mesmo para indivíduos fragilizados [1,4,5], como é o caso da proposta *ageing in place*³ [18].

Embora os impactos até agora apresentados pareçam apenas negativos, três pontos são importantes para consideração. Primeiro, é necessário cautela ao interpretar tais impactos, evitando-se os estereótipos associados ao

³ O termo pode ser traduzido como “envelhecer no lugar”. É definido por “permanecer vivendo em comunidade, com algum nível de independência, contrariamente a viver em instituições de cuidado”. Essa proposta tem sido centro de diversas políticas para o envelhecimento ao redor do mundo, e se relaciona com a percepção dos idosos de que permanecendo em suas residências, são capazes de manter, por mais tempo, sua independência, autonomia e suporte social – incluindo o contato com família e amigos [18].

envelhecimento e às pessoas idosas [4,9]. O envelhecimento não é sinônimo de deterioração, incapacidade e dependência; algumas condições podem levar a tais desfechos, caracterizando um envelhecimento fragilizado, mas a tendência e as prospecções para as próximas gerações de idosos é que se encontrem no chamado “envelhecimento ativo” [19]. O envelhecimento ativo engloba a manutenção da saúde, qualidade de vida e autonomia, ainda que DCNT estejam presentes, por meio de oportunidades contínuas de saúde, de participação econômica e social, e de segurança [4,9,16], conforme o conceito ampliado de saúde apresentado em Batistella [6].

O segundo ponto é que ambas as “linhas” do processo de envelhecimento, fragilizado e ativo, e suas demandas correspondentes, representam desafios e oportunidades de desenvolvimento em diversas frentes [4,5,9,13]. O que leva ao terceiro ponto: os idosos são um mercado potencial crescente, com inúmeros nichos a serem explorados justamente pela diversidade de características que o processo de envelhecimento pode apresentar para cada indivíduo [19]. Nesse sentido, países em desenvolvimento, como o Brasil, têm muito o que aprender com países que já desenvolvem soluções voltadas para o envelhecimento há algum tempo e que já incluem os desafios deste processo de forma sistêmica em suas agendas de políticas públicas [4,9].

A primeira que se pode usar como exemplo é a Agenda de Lisboa (*The Lisbon Strategy*), lançada em 2000 pela União Europeia [20]. Seu objetivo era fazer com que a Europa se tornasse a “economia do conhecimento”⁴ [21] mais competitiva e dinâmica do mundo, capaz de promover crescimento econômico sustentável com mais e melhores empregos e maior coesão social” (tradução livre) [20]. As estratégias gerais, orientadas pelos pilares econômico e social, visavam preparar a Europa para ser uma sociedade do conhecimento e informação, assegurando emprego a trabalhadores jovens e idosos e garantindo a renovação de habilidades e qualificações ao longo do tempo [20]. A Agenda de Lisboa foi

⁴ Em inglês, *knowledge-based economy*. O conceito é resultado “de um maior reconhecimento do papel do conhecimento e da tecnologia no crescimento econômico”. Define-se como “economias diretamente baseadas na produção, distribuição e uso do conhecimento e informação” (tradução livre) [21].

renovada em 2005 e suas estratégias gerais se transformaram em diretrizes integradoras mais focadas e efetivas, segmentadas em quatro áreas prioritárias:

1. Aumento dos investimentos em conhecimento e inovação, com foco para as tecnologias de informação e comunicação (TICs);
2. Expandir o potencial de negócios das empresas, especialmente de empresas de pequeno e médio porte (*small and medium size enterprises* – SMEs), caracterizando importantes parcerias público-privadas;
3. Aumentar as oportunidades de emprego para categorias prioritárias, entre elas a de trabalhadores acima dos 65 anos;
4. Desenvolver políticas para mudanças climáticas e energia – esta, a dimensão ambiental, foi acrescentada às dimensões social e econômica da primeira versão da Agenda de Lisboa [22].

O que se pode observar sobre a Agenda de Lisboa é que, embora o envelhecimento não seja um pilar central, promover oportunidades de emprego para trabalhadores idosos, mantendo-os, portanto, ativos, faz parte de medidas de desenvolvimento econômico e social.

Outras políticas a partir de 2005 passaram a dar maior centralidade às implicações do processo de envelhecimento, sempre dentro de uma perspectiva sistêmica de abordagem. Nesse mesmo ano, a Comissão das Comunidades Europeias publicou a iniciativa estratégica “*i2010 – A European information society for growth and employment*” (“*i2020 – Uma sociedade europeia da informação para crescimento e emprego*”, em tradução livre), que visava a promoção de “uma economia digital competitiva e aberta, que enfatize as TICs como condutoras de inclusão e qualidade de vida” (tradução livre) [23].

A primeira de três prioridades iniciais da estratégia concentrava-se no oferecimento de cuidados adequados às pessoas idosas por meio do

desenvolvimento de tecnologias que promovessem bem-estar, vida independente e saúde. As outras duas prioridades referiam-se a transporte seguro e limpo, particularmente aos avanços com carros inteligentes (*smart cars*), e a bibliotecas digitais. O intuito das prioridades iniciais era fortalecer os ambientes multiculturais e multi-idiomas da Europa por meio de avanços tecnológicos e novos modelos de negócio, promovendo, assim, desenvolvimento econômico e social [23].

No ano seguinte, o relatório da União Europeia (UE) “*The demographic future of Europe – from challenge to opportunity*” [13] abordava os impactos do envelhecimento de forma mais ampla, analisando-os nas esferas econômica, social e de saúde. O relatório apontava o envelhecimento demográfico como um dos principais desafios a serem enfrentados pelos países europeus, e que “o uso progressivo de novas tecnologias poderia auxiliar a controlar custos, melhorar o bem-estar e promover a participação ativa de idosos na sociedade, além de beneficiar a competitividade da economia europeia” (tradução livre) [13,24].

Em 2007, a Comissão Europeia publicou o “*European Union 7th Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)*” (“Sétimo Programa-Quadro para Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia”, em tradução livre) que surgiu como complementação para programas nacionais de pesquisa e desenvolvimento. O *FP7*, assim como os *framework programmes* (programas estratégicos) anteriores, tinha dois objetivos estratégicos: fortalecer a base científica e tecnológica industrial da Europa e encorajar competitividade internacional, ao mesmo tempo promovendo pesquisas que apoiassem as políticas da UE. Para atingir tais objetivos, o *FP7*, programa guarda-chuva, era estruturado em cinco programas específicos: *Cooperation* (cooperação), *Ideas* (ideias), *People* (pessoas), *Capacities* (capacidades) e *Nuclear Research* (pesquisa nuclear) [25].

O primeiro programa específico listado, *Cooperation* (cooperação), que possuía dez áreas temáticas, entre elas TICs, deu origem a outro importante programa de desenvolvimento, inteiramente orientado ao processo de envelhecimento, o “*Ambient and Assisted Living Joint Programme (AAL)*” [24].

Em sua comunicação de lançamento, o programa apresentou diversas justificativas para sua inserção no programa *Cooperation* (cooperação) do *FP7*, que podem ser fonte de aprendizados importantes. Algumas delas foram (em tradução livre) [24]:

- No campo das TICs, o envelhecimento populacional pode ser visto como oportunidade em um mercado emergente de novos produtos e serviços que atendem às diferentes necessidades dos idosos (Argumento 6);
- O envelhecimento é um elemento central nas diretrizes de emprego propostas. A abordagem de ciclo de vida da UE visa mobilizar o potencial das pessoas em todas as idades, e enfatiza a necessidade de mudar o caráter das estratégias frente ao envelhecimento, de fragmentadas para sistêmicas (ou integradas) (Argumento 8);
- Coordenar esforços de pesquisas e atividades de desenvolvimento até o momento individuais no campo das TICs para o envelhecimento, de forma a proporcionar uma abordagem coerente e a nível de UE para pesquisa e desenvolvimento de produtos e serviços inovadores que favoreçam um bom envelhecimento (Argumentos 9 e 10).

Além disso, o documento ressaltava a importância de não se aumentar o “dividendo digital social”, isto é, embora a alfabetização digital seja um pré-requisito para inclusão e participação em uma sociedade da informação, o rápido desenvolvimento das TICs não deve levar à exclusão social (Argumento 6).

O programa AAL surgiu como recurso integrador e complementação de financiamento a programas e atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) orientados às oportunidades do envelhecimento demográfico no campo das TICs que já vinham acontecendo isoladamente em países da UE. O programa se iniciou com um planejamento para cinco anos, abrangendo 23 países e promovendo a integração de SMEs em suas atividades, de forma a cumprir com os objetivos do *FP7* [24]. Por meio de chamadas para propostas, o programa

selecionava projetos para financiamento e apresentou os primeiros projetos selecionados em 2009, no primeiro fórum AAL realizado em Viena, Áustria [26].

Em 2010, uma avaliação parcial do programa e dos projetos apontava para resultados positivos [27] e uma avaliação final, publicada em outubro de 2013 [28], fez com que o programa fosse renovado até 2020. Essa segunda fase do programa sofreu uma pequena alteração no nome, mantendo-se, contudo, a sigla AAL. Assim, a partir de 2014 o programa passou a se chamar *Active and Assisted Living*. Desde 2008, o Programa AAL já financiou mais de 200 projetos, todos orientados ao mercado, com a participação de SMEs e sob a premissa de desenvolver soluções baseadas em TICs que promovam inclusão e participação social, auxiliando em um processo de envelhecimento ativo [27,29].

Como exemplos concretos de produtos e serviços criados pelos projetos do Programa AAL, podem ser mencionados seus casos de sucesso: soluções que chegaram de fato ao mercado. Tais soluções, entre elas produtos, serviços e sistemas produto-serviço (PSS), serão discutidas em detalhe no Capítulo 2, mas podem ser caracterizadas como soluções inteligentes, segundo a definição de produtos inteligentes de Abramovici [30,31], e considerando como “produto” tudo aquilo que é resultado de um processo de desenvolvimento derivado de uma necessidade de mercado [30].

Assim, segundo este autor, produtos inteligentes são definidos como “produtos multidisciplinares capazes de se comunicar e interagir com seus ambientes e com outros produtos inteligentes por meio de serviços baseados em internet” [31]. Tais produtos se tornaram possíveis a partir da evolução das tecnologias de informação e comunicação (TICs), e estão atualmente presentes em diversos ambientes, desde telefones móveis de uso particular até grandes máquinas na indústria de transformação [31].

A interação e a comunicação entre os produtos inteligentes provêm de componentes embarcados em seus sistemas, capazes de captar dados do ambiente por meio de sensores, transformá-los em informações, por meio de processamento, e aqui reside a parte da inteligência [32], e devolver respostas

ao ambiente por meio de atuadores, em interações em *looping*. A esses componentes chama-se sistemas físico-cibernéticos (ou CPS – *Cyber-Physical Systems*, da sigla em inglês) [33,34].

Portanto, a característica de maior importância tanto dos produtos inteligentes quanto dos CPS neles embarcados é a comunicação por meio da troca e processamento de dados diversos, que podem fornecer informações valiosas sobre diferentes atributos do produto [32] e da produção, como propõe a iniciativa alemã *Industrie 4.0* [35]. Em se tratando de TICs, a iniciativa conta com o uso integrado dos dados disponíveis sobre todos os elementos envolvidos no processo de produção, desde os componentes embarcados nos produtos até os dados de máquinas em funcionamento. Isso garante a integração horizontal e vertical de toda a cadeia de valor, a partir de um fluxo de comunicação que beneficia clientes, produtores e fornecedores [15,36]. Estes tópicos serão discutidos em profundidade no Capítulo 2.

Algumas soluções dos casos de sucesso do Programa AAL oferecem ainda funções customizáveis, permitindo a escolha de funcionalidades conforme as necessidades do cliente, o que faz interface com outras duas características dos produtos inteligentes: o alto grau de complexidade e a especialização que apresentam [31,33]. Nesse sentido, são produtos interessantes para o atendimento das demandas de diferentes clientes no mercado do envelhecimento.

No entanto, mesmo com os casos de sucesso sendo introduzidos no mercado, o Programa AAL não deixou de encontrar dificuldades pelo caminho. Ambos os relatórios parcial e final referentes aos resultados da primeira fase [27,28], assim como a publicação do *AAL Forum* de 2016 [37], destacam pontos de melhora sobre o processo de desenvolvimento de soluções para o envelhecimento baseadas em TICs.

Os principais pontos destacados pelos relatórios se dividiam em três áreas:

1. Soluções baseadas em TICs – o foco das soluções deveria ser mais abrangente, voltado a inovações sociais e em serviços, e não somente tecnológicas;
2. Pesquisa, desenvolvimento e inovação – as atividades de P&D, assim como os produtos e serviços resultantes do Programa AAL deveriam ser sustentáveis, e seu desenvolvimento deveria proporcionar mais envolvimento dos usuários finais;
3. Condições de exploração industrial – a orientação ao mercado deveria ser reforçada por todo o programa, as barreiras de mercado deveriam ser abordadas mais explicitamente e modelos de negócio e planejamento deveriam ser desenvolvidos.

De acordo com a publicação do fórum de 2016 [37], todos os pontos de melhora apresentados pelos relatórios avaliativos vinham sendo tratados com sucesso: as soluções desenvolvidas atacavam necessidades de maneira mais assertiva, começavam a entrar no mercado e as atividades de P&D passaram a ser mais sustentáveis, também em termos de custo de projeto e manutenção, assim como as próprias soluções, e os usuários finais gradativamente vinham sendo inseridos como parte importante do ciclo de desenvolvimento das soluções [37].

No entanto, a resposta do mercado às soluções desenvolvidas não vinha sendo suficientemente satisfatória e as razões para isso foram sumarizadas na fala de uma das palestrantes do fórum: “produtos, serviços e soluções estão sendo desenvolvidos como quaisquer outros produtos, serviços e soluções no setor de TICs, sem considerar como as pessoas idosas vão reagir a elas” [37]. O argumento central das discussões neste âmbito foi a percepção que os idosos têm das tecnologias: estão sendo impostas a eles, e não desenvolvidas para auxiliá-los, adequando-se a eles.

Essa percepção também foi verificada em revisão de literatura publicada no mesmo ano, que identificou também outras barreiras para a adoção de tecnologias por pessoas idosas, como privacidade de dados, funcionalidades e

valor agregado do produto. O mesmo estudo também apontou que o estigma social associado a tais produtos impede sua utilização [38]. Embora seja uma questão complexa e multidirecional, relacionada, entre outros aspectos, ao enfrentamento cultural do processo de envelhecimento, está relacionada também à falta de compreensão sobre as expectativas de consumo dos clientes por parte dos pesquisadores e desenvolvedores de produtos.

Para o Brasil, este é um aprendizado particularmente interessante pelos seguintes motivos. Primeiro, desenvolver produtos, serviços e soluções inovadores, de alta tecnologia, para um mercado crescente e, portanto, potencialmente lucrativo não é garantia de retorno ou sucesso. Segundo, se um programa de P&D de cooperação internacional, pautado em políticas integradas de desenvolvimento econômico, tecnológico e social e parcerias público-privadas encontra barreiras significativas de implementação dos resultados, iniciativas pontuais ou isoladas em termos de parcerias e financiamento podem esperar encontrar barreiras ainda mais expressivas, tanto para organização das atividades quanto para implementação de resultados.

Finalmente, as populações idosas do Brasil e da Europa apresentam características distintas, sendo que a familiaridade com TICs que os idosos europeus possuem atualmente não é a mesma que os idosos brasileiros possuem, especialmente considerando-se o nível de escolaridade médio da população idosa brasileira atual [39]. Ainda assim, políticas de planejamento para o envelhecimento, embora tenham caráter de urgência no Brasil, devem considerar a evolução das condições de vida e oportunidades das pessoas, levando a crer que a população idosa brasileira do futuro terá características menos distintas da população idosa europeia atual – ao menos, em termos de escolaridade, familiaridade e acesso a soluções baseadas em TICs [40,41].

Além disso, é necessário considerar o cenário industrial atual, suas oportunidades e desafios. A 4ª Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, possibilita novos modelos de negócio e novas relações nas cadeias de valor, ao mesmo tempo em que exige a atualização dos processos que os compõem, a exemplo dos processos de desenvolvimento de produtos e serviços [14,15].

Portanto, para o Brasil, encontrar meios de desenvolver produtos que atendam às demandas do processo de envelhecimento de maneira integrada, conciliando desenvolvimento econômico, social e tecnológico e promovendo avanços nesses setores, tem um caráter duplo. Em primeiro lugar, se apresenta como uma necessidade, em vista do acelerado processo de envelhecimento populacional. Embora já existam estudos nacionais que avaliem os impactos do uso de produtos inteligentes e tecnologias assistivas por idosos em diferentes aspectos [42,43,44,45], poucos se dedicam ao processo de desenvolvimento de tais produtos para o público idoso, restando como referência apenas os trabalhos de Alvarenga [46] e Maia [47]. Ambos são apresentados em detalhe no Capítulo 2.

Em segundo lugar, há um leque de oportunidades a ser explorado. Tais oportunidades podem conferir ao país vantagens competitivas futuras derivadas de possíveis novos modelos de negócio, que se desenvolvem em um ambiente que combina as demandas do processo de envelhecimento e as exigências do novo paradigma de produção industrial, a Indústria 4.0.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Os pilares fundamentais da Indústria 4.0, em particular os sistemas físico-cibernéticos, a Internet das Coisas e a Internet dos Serviços, são responsáveis pelas características dos produtos inteligentes, pois conferem a eles capacidade para capturar, processar e comunicar ou trocar dados, tornando possíveis diferentes tipos de interação entre os elementos dos ambientes de produção, e entre os produtos e os usuários. Quando se trata de usuários idosos, há fatores que influenciam a utilização de produtos inteligentes e mesmo sua adoção por esse público, ainda que sejam produtos direcionados ao atendimento de suas necessidades.

Nesta perspectiva, e considerando as possibilidades da Indústria (I4.0) para o desenvolvimento de produtos inteligentes, p as capacidades dos produtos

quanto à captura, processamento e disponibilidade de dados, propõe-se a seguinte questão de pesquisa para este trabalho:

Como desenvolver produtos inteligentes mais adequados para pessoas idosas, considerando a disponibilidade de dados sobre a fase de uso dos produtos?

1.3 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Considerando o panorama apresentado, compreende-se que desenvolver alternativas para as consequências do processo de envelhecimento populacional não é tarefa simples. Antes, requer esforços conjuntos dos diversos setores da sociedade, combinando iniciativas de pesquisa e desenvolvimento à proposição de modelos de negócio tecnológica e comercialmente viáveis [4]. Tais modelos de negócio podem surgir a partir da concepção de produtos inovadores que se utilizem das tecnologias disponíveis para atender a demandas específicas da população idosa, como tem feito o programa AAL. No entanto, a sistematização também é importante, e à medida que evoluem as tecnologias disponíveis, os produtos e as pessoas, em termos de necessidades e padrões de consumo, os métodos para atender a tais demandas também devem evoluir, mantendo-se, porém, flexíveis para lidar com constantes adaptações. Nessa perspectiva, *frameworks* [48,49] são ferramentas interessantes para oferecer sistematização ao mesmo tempo em que são flexíveis o suficiente para absorver mudanças e se adaptar ao contexto em que são inseridos.

Portanto, observar o processo de desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da Indústria 4.0 voltado à população idosa representa um esforço inicial no atendimento das demandas deste grupo consumidor e em sua exploração como amplo nicho de mercado. Buscar soluções para que tais produtos sejam desenvolvidos de maneira mais adequada, e, portanto, sejam mais utilizados, é uma via de mão dupla no que se refere a benefícios. A Figura 1 a seguir ilustra essa ideia.

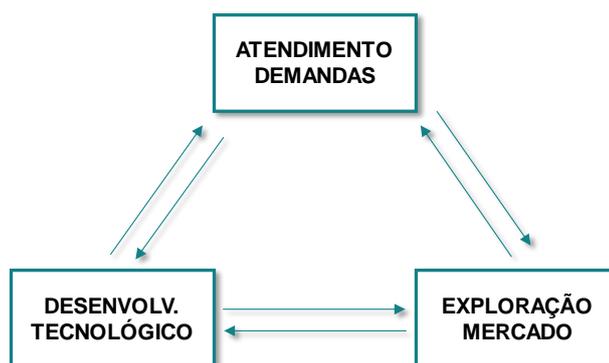


Figura 1: Benefícios do desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos.

1.4 OBJETIVOS

Para responder à questão de pesquisa deste trabalho, definiu-se o seguinte objetivo geral:

Propor um framework de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos considerando a disponibilidade de dados sobre a etapa de uso dos produtos e os requisitos da iniciativa Industrie 4.0.

De modo a atingir o objetivo geral, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Em uma perspectiva de processo de desenvolvimento de produto (PDP), identificar qual o valor das informações comunicadas para cada fase do PDP, em especial a etapa de uso;
- Compreender como os componentes inteligentes embarcados nos produtos inteligentes podem influenciar o processo de desenvolvimento de produtos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo é introdutório: apresenta a contextualização do problema, os principais temas a serem abordados, a questão de pesquisa que orienta o trabalho, suas justificativas e motivação, e os objetivos. O Capítulo 2 contempla uma revisão de literatura sobre os temas principais: Desenvolvimento de Produto, Indústria 4.0, Produtos Inteligentes e Sistemas Produto-Serviço. O Capítulo 3 apresenta o método de pesquisa empregado para o desenvolvimento do trabalho, *Design Science Research*, assim como as etapas de execução.

O Capítulo 4 apresenta o cerne do trabalho, a proposta de um *Framework* Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0". O Capítulo 5 contém a etapa de verificação do *framework* proposto, composta por três estágios. O Capítulo 6 apresenta as conclusões, que contemplam as contribuições do trabalho e sugestões para pesquisas futuras, e as considerações finais.

Ao final, encontram-se a lista de referências bibliográficas utilizadas na construção do trabalho e os apêndices, correspondentes aos documentos elaborados para a etapa de verificação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre os temas fundamentais para este trabalho. Na primeira parte do capítulo, Seção 2.1, uma revisão sobre Desenvolvimento de Produto é apresentada, abordando as bases do tema, as fases e características do ciclo de vida e do processo de desenvolvimento de produto. Por fim, são apresentados e discutidos trabalhos brasileiros realizados na intersecção desenvolvimento de produtos e envelhecimento.

Na Seção 2.2, uma revisão sobre Indústria 4.0 é apresentada, com foco para os benefícios das tecnologias empregadas nesse novo paradigma de desenvolvimento industrial.

A última parte do capítulo, Seção 2.3, é dedicada aos temas Produtos Inteligentes e Sistemas Produto-Serviço, que representam a tendência de evolução no campo de Desenvolvimento de Produtos. A revisão da literatura sobre estes temas aborda, principalmente, as potencialidades dos produtos inteligentes quanto à especialização e customização, importante para atender diferentes clientes e demandas, e por que eles podem ser compreendidos como PSS. Também são apresentados exemplos de produtos inteligentes desenvolvidos para idosos, oriundos do Programa AAL.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O Desenvolvimento de Produto (DP) é uma atividade principalmente industrial, e é fator determinante para competitividade e gestão estratégica das empresas. Portfólios vastos, sozinhos, eram indicativos de sucesso de mercado, e empresas que não conseguissem desenvolver produtos na mesma velocidade que suas competidoras estavam fadadas a perder espaço no mercado [50].

No entanto, desenvolver novos produtos já há algum tempo não é mais suficiente. Ainda que sejam diversificados e atendam a uma ampla gama de

clientes, incorporando diferentes tipos de tecnologia, é necessário compreender como a evolução das tecnologias tem influenciado o processo de desenvolvimento de tais produtos, e não apenas suas características. Além disso, é importante compreender a influência da tecnologia também sobre os modelos de negócio, bem como estar atento à evolução das necessidades e oportunidades do mercado. Isto significa dizer que, se observado de um único ponto de vista, o DP pode ser insuficiente para manutenção da competitividade e do espaço de mercado da empresa [51].

Em uma abrangente revisão da literatura sobre o tema, que tem suas bases fundamentais na década de 1970, Krishnan e Ulrich [52] definem o DP como sendo “a transformação de uma oportunidade de mercado e de um conjunto de tecnologias em um produto factível e disponível para venda” (tradução livre). A partir dessa definição, é possível identificar as diferentes perspectivas que o DP deve atender. Nomeadamente são quatro: perspectiva de *Marketing* [53], de onde se identifica a “oportunidade de mercado”; *Engineering design* [54] (ou Projeto de Engenharia), em que são avaliadas as tecnologias disponíveis, suas limitações e possibilidades; *Organizacional* [50], que diz respeito a estrutura e ao planejamento estratégico da empresa; e *Gestão das Operações* [52,53], que se refere à como são organizadas as atividades da empresa, em todos os setores.

Esta definição também permite identificar a abordagem com que são desenvolvidos os produtos. Em outras palavras, ilustra o seu ciclo de vida, desde sua concepção, que parte da identificação das necessidades e oportunidades de mercado, até sua entrega ao cliente final. Entretanto, a venda não é a última etapa do ciclo, uma vez que é necessário considerar que o produto tem um período de vida útil e que seu destino final deve ser planejado no momento de sua concepção. A esta abordagem de DP denomina-se “*from cradle to grave*”, e é a partir dela que surge a gestão do ciclo de vida do produto [55], discutida mais adiante.

Embora existam diferentes representações do ciclo de vida do produto [54,56,57,58], e algumas divergências quanto às etapas inclusas na fase de DP

em si [56,57], essencialmente, o ciclo de vida do produto contém sete etapas, agrupadas em três macrofases, como ilustrado a seguir.

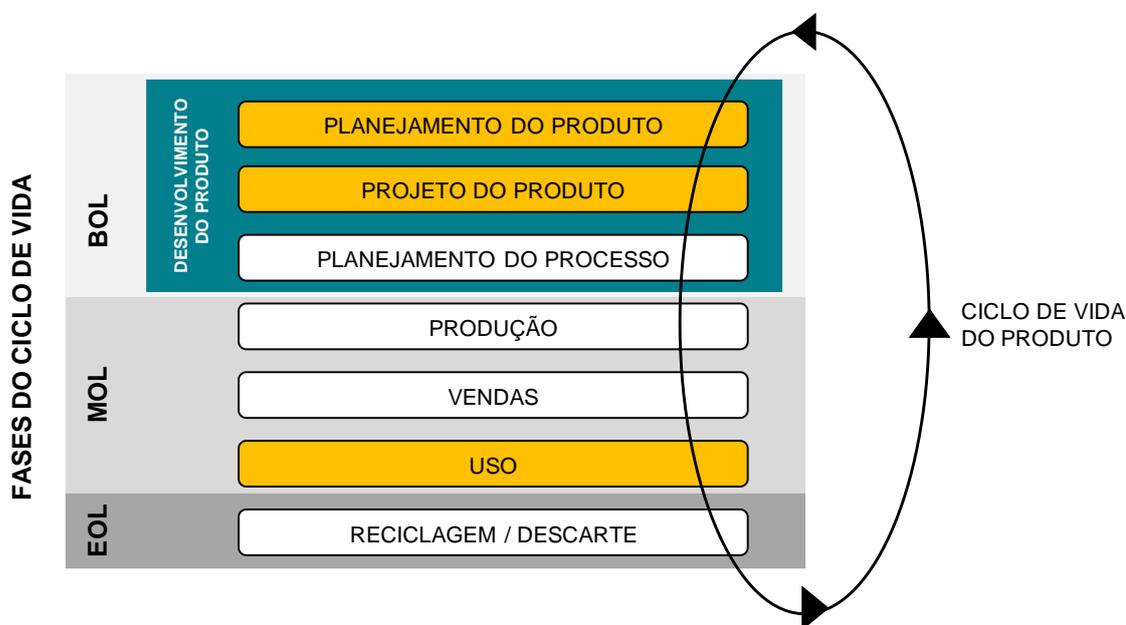


Figura 2: Ciclo de Vida do Produto (adaptado de Anderl et al [57]).

A macrofase BOL, da sigla em inglês para “início de vida” (*beginning of life*), contém o processo de desenvolvimento do produto (PDP), do qual fazem parte as etapas de planejamento e projeto do produto e planejamento do processo. A macrofase MOL (do inglês *middle of life*), representa o meio de vida do produto, contendo as etapas de produção, vendas e uso. A macrofase final do ciclo de vida do produto, EOL (*end of life* – fim de vida), contém as etapas que providenciarão ao produto seu destino final, ou seja, sua reciclagem ou descarte.

Para o escopo deste trabalho, as fases de interesse são Planejamento do Produto, Projeto do Produto e Uso, por isso estão destacadas na Figura 2 e receberão maior ênfase. No entanto, antes de serem descritas as características de cada fase do ciclo de vida do produto, serão apresentadas as concepções de DP que fundamentam este trabalho, que embora sejam distintas quanto à sua formulação no tempo, são complementares quanto às suas contribuições no contexto da I4.0.

A primeira delas é a abordagem de sistemas do Projeto de Engenharia, proposta pelos pesquisadores alemães Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz, Jörg Feldhusen e Karl-Heinrich Grote pela primeira vez em 1977. Utilizando os fundamentos de *design science* e *design methodology*, propuseram uma divisão sistemática e detalhada do PDP, em que o produto é o sistema final. Assim, cada etapa do processo de desenvolvimento é considerada como um subsistema com tarefas fixas, específicas e detalhadas a serem realizadas. Segundo os autores, “a abordagem de sistemas reflete a noção de que problemas complexos são melhor enfrentados em etapas fixas, que envolvem análise e síntese” [pág. 15, [54]].

Nesta concepção, o início do processo é o estudo dos sistemas, em que informações sobre produto a ser desenvolvido são reunidas por meio de análises de mercado, tendências ou de requisitos já conhecidos. O foco é a formulação clara do problema a ser resolvido pelo sistema em consideração. A partir do esclarecimento do problema, os objetivos do sistema são definidos, fornecendo critérios importantes para a proposição e avaliação das soluções variantes em etapas subsequentes do processo, bem como para a escolha da solução ótima.

Assim, as soluções variantes são formuladas com base em informações das etapas anteriores, e posteriormente, têm seu desempenho avaliado em função das propriedades e comportamentos que apresentam, em comparação aos objetivos originalmente definidos. Baseando-se nessas informações, a solução ótima para o sistema é escolhida e as informações são disponibilizadas na forma de planos de implementação do sistema [54].

É importante destacar que o fluxo descrito não é necessariamente linear; há iterações ao longo do processo que visam à otimização do sistema final. Neste sentido, os autores afirmam que o processo constitui uma transformação de informações, uma progressão cronológica da vida do sistema, que se torna concreto à medida que avança [54]. Assim, o modelo geral da abordagem de sistemas pode ser demonstrado na Figura 3 a seguir.

Cada um dos estágios constitui uma etapa de análise. A síntese, isto é, o resultado de cada etapa de análise, serve como entrada para o passo seguinte,

e são avaliadas em comparação com os requisitos definidos na especificação, constituindo possíveis ciclos de iteração até que os requisitos sejam cumpridos. Desse modo, os subsistemas são construídos um a um até serem integrados e formarem o sistema final, isto é, o produto idealizado no início do processo – que pode sofrer adaptações, por diferentes motivos, e não ser idêntico à ideia concebida originalmente [54].

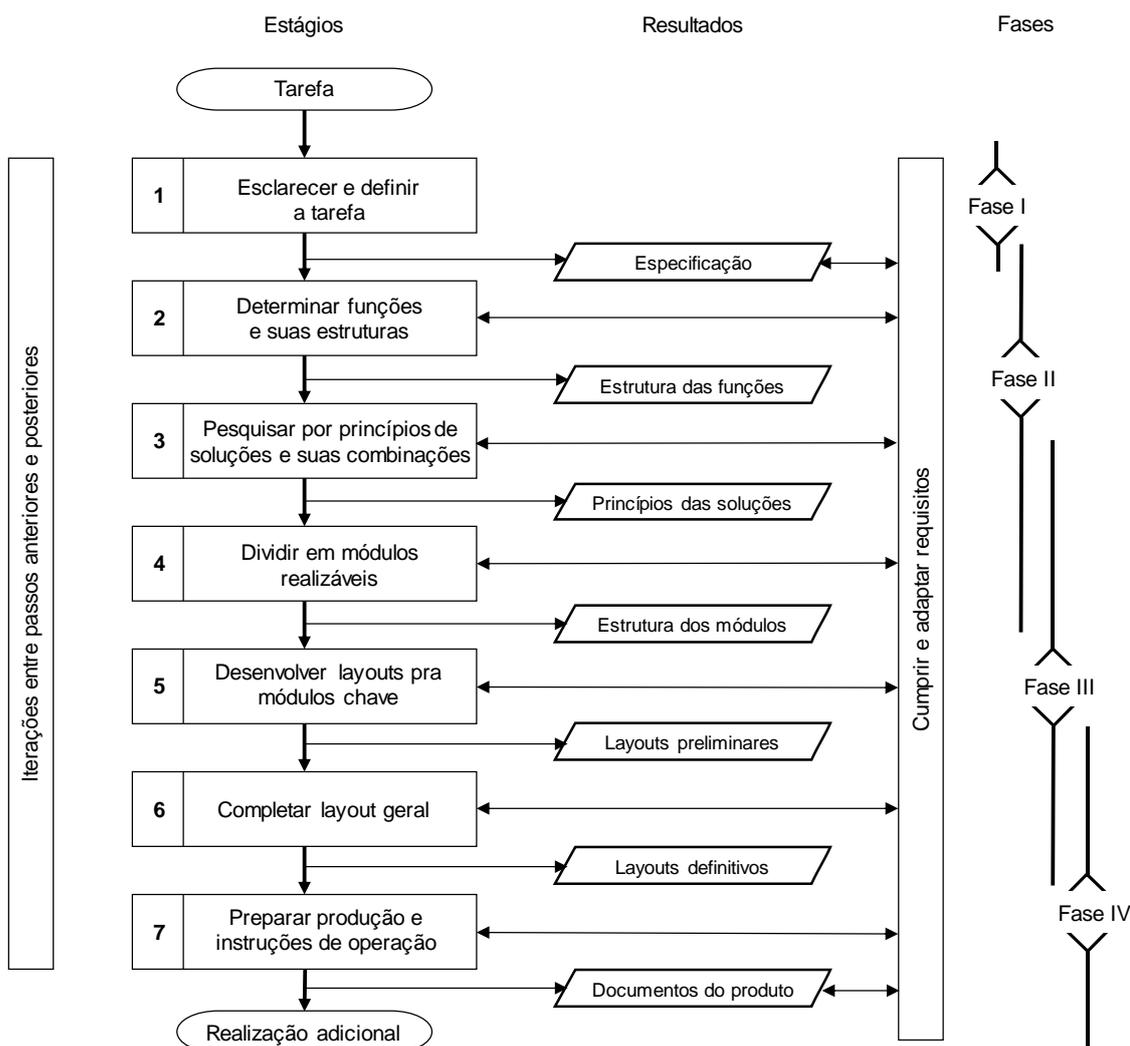


Figura 3: Modelo geral da abordagem de sistemas (traduzido de Pahl et al [54]).

Conclui-se, portanto, que a abordagem de sistemas de Pahl et al [54] possibilita a construção de sistemas (ou produtos) complexos a partir de sua divisão em subsistemas menores, que são componentes do sistema final. No entanto, um processo tão detalhado gera uma quantidade significativa de informações, que

à época dos autores, ainda eram registradas em papel, tornando os ciclos de desenvolvimento consideravelmente longos [59].

Com o passar do tempo, os processos foram se modernizando e as informações do produto passaram a ser registradas digitalmente, reduzindo os ciclos de desenvolvimento e evitando a perda de informações [59]. Ainda assim, considerando a crescente complexidade dos produtos e dos diversos subsistemas que os compõem, padronizar as informações tornou-se necessário para que as empresas pudessem garantir um fluxo consistente de troca de dados entre seus sistemas internos [60]. Diversos protocolos para padronização dos dados produto foram desenvolvidos, entre eles o protocolo STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data* – padrão para troca de dados do modelo do produto), que oferece apoio a abordagem de DP denominada PDM (*Product Data Management* – gestão dos dados do produto) [57].

O protocolo STEP propõe a padronização dos dados do modelo do produto, de forma que diferentes sistemas computacionais (CAD, CAE, CAM, etc.) possam ter acesso aos dados do produto a partir de um único arquivo neutro que centraliza todas as informações [60]. Neste sentido, o modelo do produto funciona como um banco de dados central, conforme ilustra a Figura 4.

O modelo do produto pode ser definido como a descrição formal de todas as informações sobre o produto, em todas as fases do seu ciclo de vida, e compreende três conjuntos básicos de informações: Definição do Produto, que corresponde ao volume de dados administrativos e organizacionais relacionados ao PDP; Representação do Produto, que corresponde aos dados de estrutura e geometria do produto, compondo o modelo digital do produto; e Apresentação do Produto, que se refere ao volume de dados para apresentação gráfica ou textual do modelo digital do produto. Esta última é a forma como os dados são apresentados ao usuário, e depende dos recursos disponíveis no conjunto Representação do Produto [61].

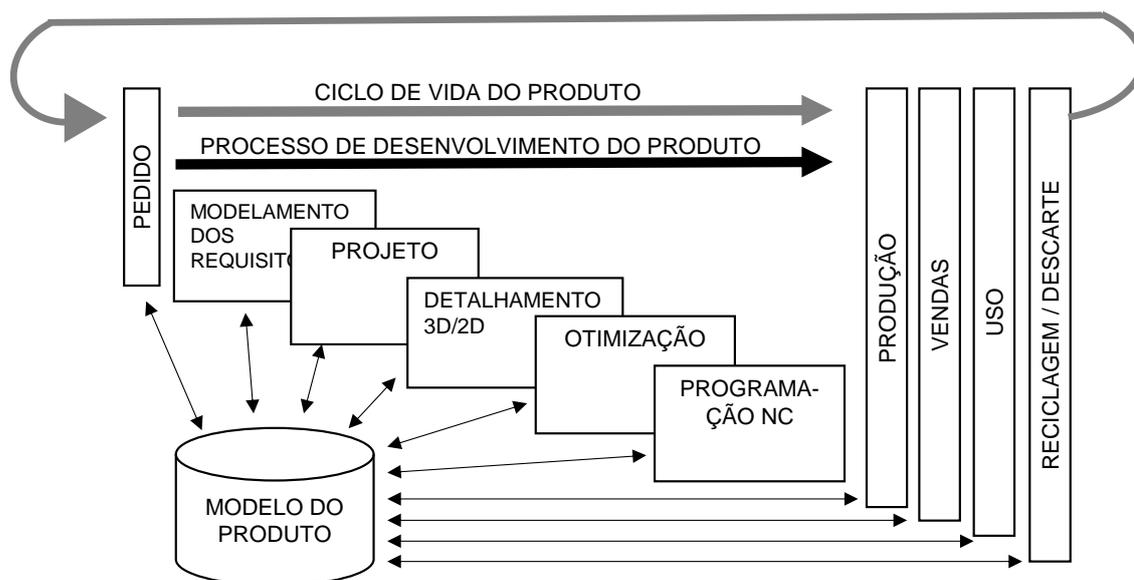


Figura 4: Modelo do produto no processo de desenvolvimento (traduzido de Anderl et al [57]).

O modelo do produto agrega os diversos tipos de dados que o compõem e que organizam seu processo de desenvolvimento, contribuindo para um fluxo evolutivo que caminhou da emissão de documentos físicos para um processo digitalizado e integrado que, portanto, é capaz de oferecer suporte aos diversos sistemas computacionais envolvidos no PDP, uma vez que o acesso, modificação e gerenciamento dos dados é possível a partir de um componente central [57,62]. A Figura 5 ilustra essa evolução.

Inicialmente, o PDP era baseado em trabalho manual e em fluxos de informação analógicos, isto é, o projeto do produto era concebido manualmente e documentos físicos contendo as informações do produto eram emitidos e armazenados para consulta posterior. Com a introdução dos sistemas computacionais de auxílio (CAx), o projeto passou a ser concebido por meio de representações padronizadas, mas ainda documentos físicos eram emitidos e circulavam entre os diferentes setores envolvidos no DP, que interpretavam os documentos e davam prosseguimento ao processo utilizando outros tipos de sistemas [57].

A padronização dos dados do produto, por meio de protocolos como o STEP, possibilitou a transferência digital dos dados de definição do produto, facilitando

a interpretação dos dados por diferentes sistemas CAx e habilitando a estruturação do modelo computacional do produto e do processo. A partir deste modelo computacional, que concentra todos os dados referentes ao produto e seu processo de desenvolvimento, a comunicação entre os sistemas CAx passou a ser integrada, permitindo a estruturação e edição (modificação) do modelo do produto durante todo o processo de desenvolvimento [57].

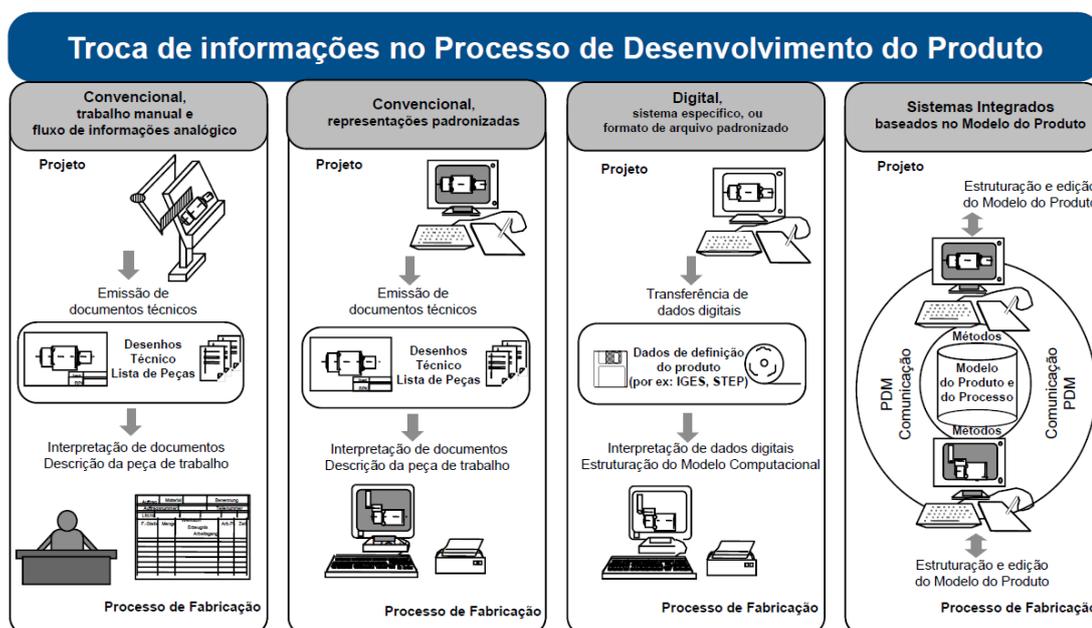


Figura 5: Troca de informações no PDP (extraído de Schützer [62]).

Contudo, embora concentrasse as informações do produto e do processo e integrasse os sistemas CAx, que auxiliam o projeto do produto, o PDM não necessariamente considera todo o ciclo de vida do produto, e novas abordagens tiveram de ser criadas a fim de lidar com a preocupação e pressões ambientais crescentes [63].

Assim, novos métodos para o processo de desenvolvimento de produtos ambientalmente amigáveis foram definidos, criando sistemas de DP que atendessem às novas demandas ambientais. A principal justificativa para a criação de tais métodos é a inclusão de avaliações sobre o impacto ambiental de cada fase do ciclo de vida do produto. O cerne desta abordagem concentra-se, portanto, na antecipação e avaliação do impacto ambiental do produto a partir

das etapas de projeto, como demonstra a Figura 6, integrando as informações das etapas de desenvolvimento com as informações do ciclo de vida do produto [63].

A integração das duas cadeias de processo fornece um conjunto de dados de inventário que permite a avaliação do impacto ambiental do produto, das fases do desenvolvimento e do ciclo de vida e do processo como um todo. Além disso, é possível identificar qual o processo de maior impacto no ciclo de vida [63].

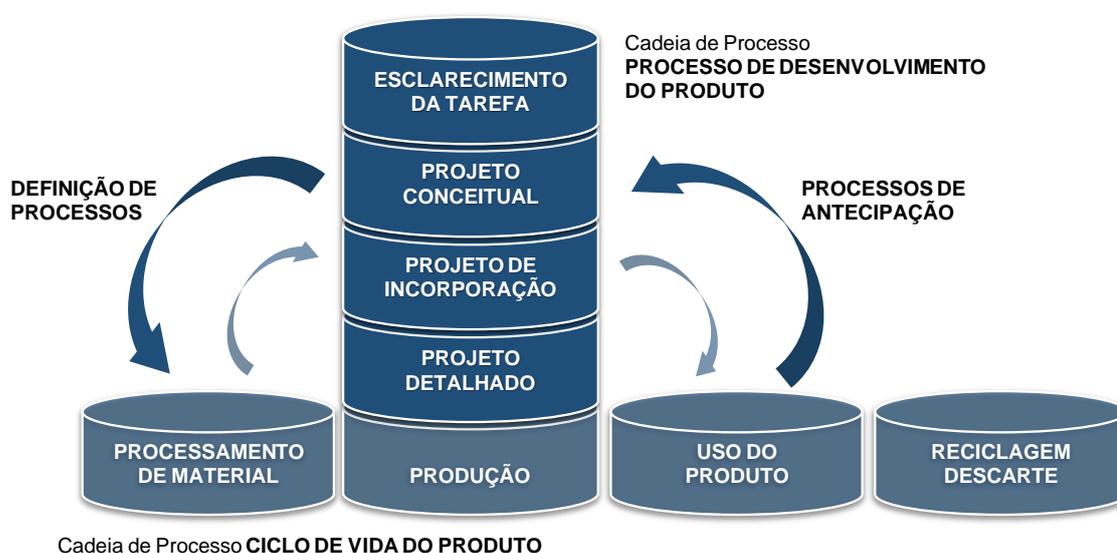


Figura 6. Conceito do desenvolvimento integrado de produtos e processos (traduzido de Abele et al [63]).

A integração e análise das duas cadeias de processo é realizada a partir da combinação de três ferramentas propostas pelos autores em [63], que juntas formam o *ecoDesign Workbench*, apresentado na Figura 7. O *workbench* é composto por um sistema CAD, que contém as informações relacionadas à geometria, material e estruturas de montagem do produto; por um modelador do ciclo de vida (*Life Cycle Modeller – LCM*), que simula as fases do ciclo de vida a partir de configurações determinadas, gerando modelos parciais do processo; e por um sistema de avaliação chamado LCAD, que fornece informações sobre o impacto ambiental causado pelas emissões do processo, além de identificar qual o processo mais nocivo no ciclo de vida [63].

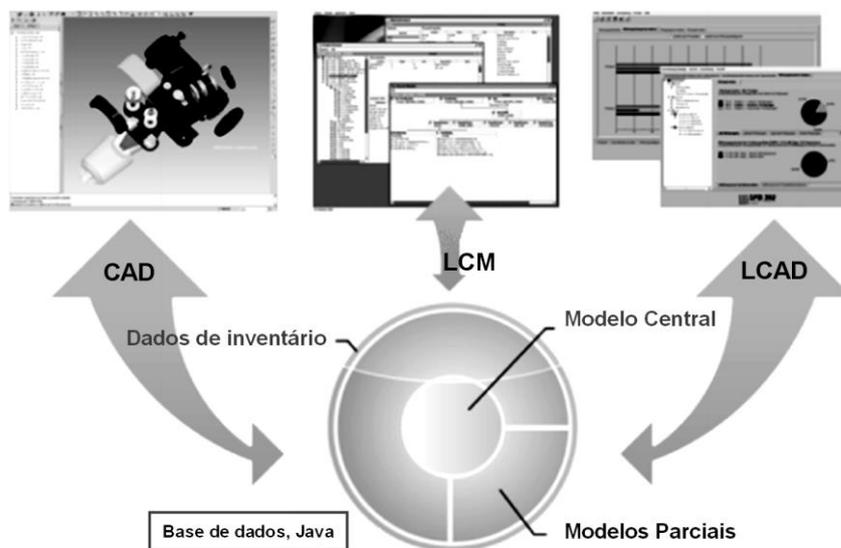


Figura 7: ecoDesign Workbench (traduzido de Abele et al [63]).

Essa abordagem com foco para os impactos ambientais reflete a tendência de responsabilização das empresas ao longo do tempo. Produtos devem ser produzidos para atender demandas de mercado, mas o modo como são produzidos também ganha importância. Portanto, o PDP continua sendo fator significativo para a competitividade das empresas, mas não apenas em função do portfólio de produtos. Processos ambientalmente amigáveis contribuem para questões de valor implícito (valor da marca, imagem) tanto quanto para questões relacionadas a custos e qualidade [50,53].

Dessa maneira, observar o PDP da perspectiva de gestão é tão importante quanto da perspectiva de engenharia. Neste sentido, abordagens como a proposta por Rozenfeld e colaboradores [56] auxiliam na compreensão do PDP como uma interface entre a empresa e o mercado. Segundo os autores, é papel do PDP identificar as necessidades de mercado, ou mesmo se antecipar a elas, e propor soluções que supram tais necessidades, apresentando soluções na forma de projetos de produtos e/ou serviços [56].

O PDP deve levar em consideração as necessidades e expectativas dos clientes e do mercado em todas as fases do ciclo de vida do produto, desde os requisitos de projeto até o descarte apropriado, avaliando as possibilidades tecnológicas e

os impactos gerados por aquele produto. Além disso, o fator tempo é crucial; desenvolver produtos antes dos competidores continua sendo importante para a competitividade. Neste sentido, o PDP é um processo de negócio, visto como um fluxo integrador de atividades e informações internas e externas, com valor estratégico para as empresas [56].

Embora o PDP deva ser estruturado, Rozenfeld e colaboradores [56] propõem que não seja um processo rígido, mas que varie em cada novo produto desenvolvido em função de características específicas do produto e do processo necessário para sua produção. Ainda assim, propuseram um modelo de referência, que embora seja direcionado para empresas do setor metal-mecânico, pode ser utilizado como um modelo genérico, que serve de base para compreender o PDP em diferentes setores industriais.

O modelo é dividido em 3 macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Alocadas nas macrofases estão as etapas do ciclo de vida do produto, cada uma com suas atividades, entregas e documentações respectivas. Ao final de cada fase, os resultados são detalhadamente avaliados, considerando a qualidade, situação atual do projeto em relação planejamento, impacto dos problemas enfrentados, antes que a fase seguinte possa ser iniciada. Os períodos de avaliação são chamados de *gates*, ou transição de fase [56]. A Figura 8 ilustra a visão geral do modelo de referência do PDP.

A partir desta perspectiva de gestão do PDP, é possível traçar paralelos entre as abordagens anteriores. A divisão do PDP em etapas de projeto (informacional, conceitual e detalhado) [56], tem influência da abordagem sistemática proposta por Pahl e colaboradores em [54], que sugere a divisão do produto em sistemas, subsistemas e componentes. O fluxo contínuo de informações durante o PDP é facilitado a partir de abordagens como o PDM [55], e dados padronizados asseguram a qualidade das informações sobre o produto [57]. A preocupação e responsabilização com questões ambientais desde as fases iniciais do projeto, como proposto por Abele e colaboradores [63], é parte da gestão do PDP, uma vez que deriva do posicionamento estratégico da empresa no mercado, além de considerar questões legais dependendo do tipo de produto a ser desenvolvido.

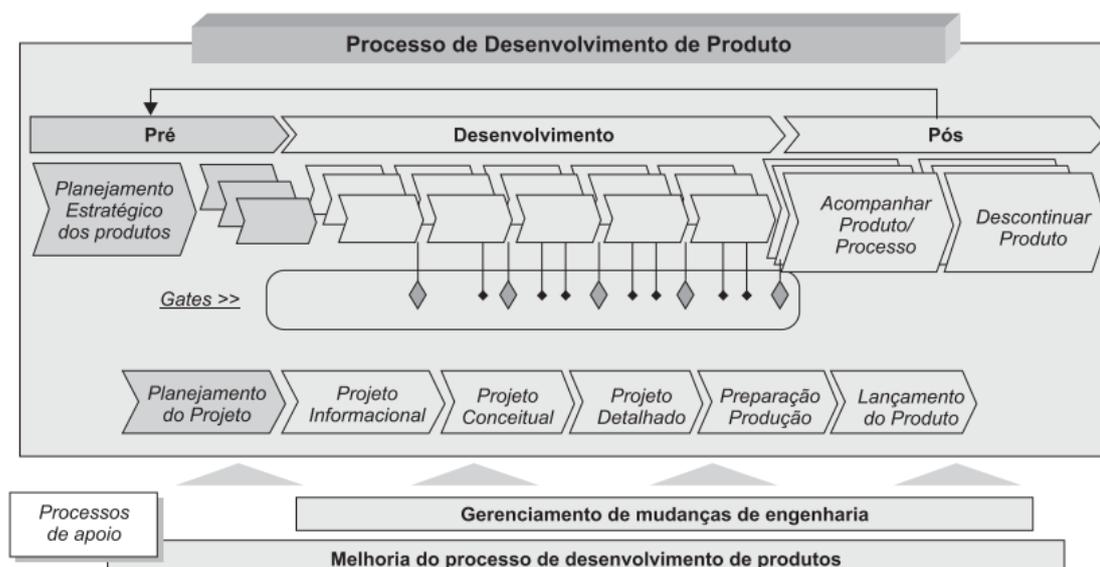


Figura 8: Modelo de referência para melhoria do PDP (extraído de Rozenfeld et al [56]).

Ainda assim, tais abordagens não consideram o gerenciamento dos dados sobre todo o ciclo de vida do produto de forma integral, ou seja, concentram-se em determinadas fases, como o desenvolvimento, ou em produtos específicos, não considerando o produto desenvolvido em relação ao portfólio completo da empresa [55,56].

Na tentativa de suprir essas lacunas, e considerando a quantidade crescente de dados sobre o produto e a produção, surge o paradigma do PLM (*Product Lifecycle Management* – gestão do ciclo de vida produto), que pode ser definido como um sistema PDM interfuncional que gerencia dados por todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção das primeiras ideias, passando por componentes individuais, até a descontinuidade e descarte apropriado do produto [55].

O PLM é composto por cinco pilares: processos de negócio, dados do produto, sistemas de informação, gestão da mudança organizacional (*organizational change management*), e gestão de projeto. Seu objetivo é aumentar a receita dos produtos, reduzir custos relacionados a eles, maximizar o valor do portfólio e o valor dos produtos atuais e futuros para todos os *stakeholders*. Portanto, o PLM é uma atividade de negócio complexa, que visa à integração os fluxos de

informação da empresa para criação de uma matriz de valor ao longo do ciclo de vida do produto [55].

A Figura 9 ilustra a diversidade de fatores envolvidos no DP dentro da abordagem de PLM, que são agrupados em “Novas Tecnologias”, “Mercado”, “Competição” e “Regulamentações”. A evolução das tecnologias, em especial das TICs, torna os produtos cada vez mais complexos e tem aumentado a quantidade de dados disponíveis sobre eles, aumentando também as possibilidades no que diz respeito a gestão do PDP [30]. O mercado também tem apresentado mudanças em suas características, com o surgimento de novos e mais exigentes grupos consumidores, como o de idosos, por exemplo, que fazem da customização uma exigência de mercado [19,36].

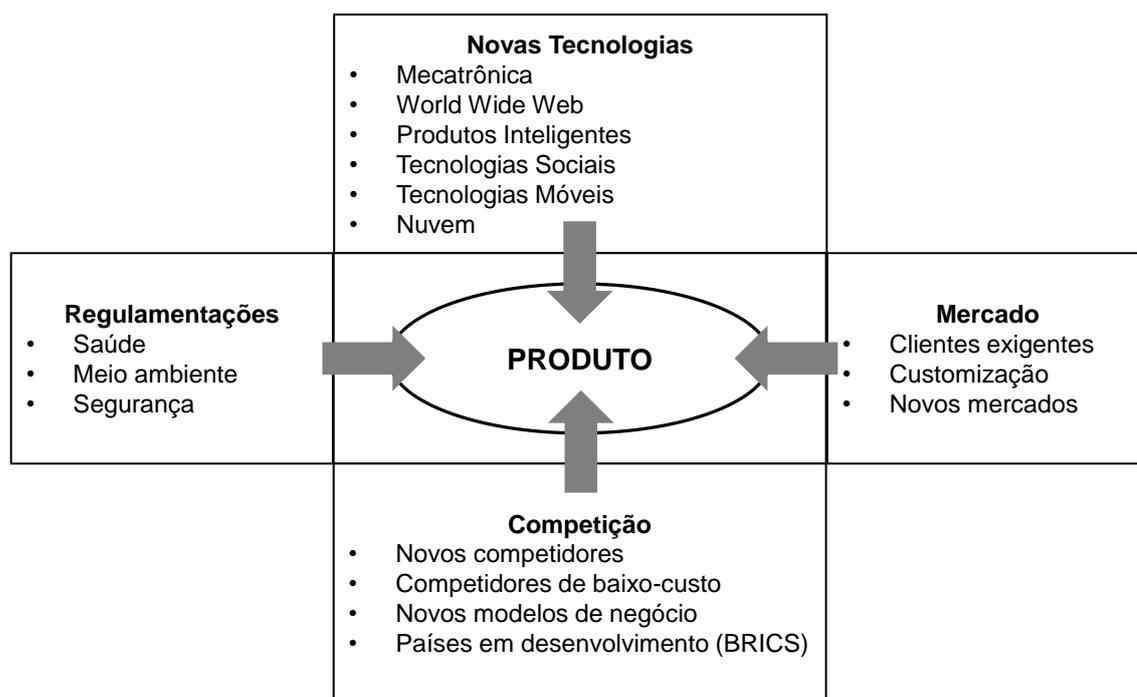


Figura 9: Visão geral do PLM (traduzido de Stark [55]).

Tais características do mercado influenciam a competição e incitam o surgimento de novos modelos de negócio, que podem ser fonte de oportunidades para os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil [40,41,55]. Ademais, regulamentações nas áreas de saúde, meio ambiente [63] e segurança são

pautas importantes a se considerar durante o PDP, tanto em relação ao produto em desenvolvimento, quanto ao seu processo [55].

A abordagem do PLM se concentra no produto e nos dados a ele referentes em todas as fases do ciclo de vida, portanto, concentra-se em “ouvir a voz do produto” [55]. Tecnologias como RFID e IoT permitem que o produto reporte suas condições de funcionamento, defeitos, etc. – o que pode ser especialmente útil no caso de produtos inteligentes, que podem ter suas funcionalidades alteradas ou defeitos corrigidos durante a fase de uso por meio de reconfigurações à distância [31]. No entanto, a “voz do cliente” não perde importância; é explorada a partir da inclusão das informações fornecidas pelo cliente durante a fase de uso, resultando em informações mais valiosas do que aquelas coletadas em *surveys*, por exemplo [55].

Em termos de benefícios para o processo de desenvolvimento de produtos, o PLM é útil por fornecer suporte para resolução de potenciais problemas para ciclos já em andamento e para novos ciclos de desenvolvimento, além de oferecer suporte para produção de produtos altamente customizados. Por essa mesma razão é estrategicamente interessante para as novas oportunidades de mercado que se apoiam em tecnologias como IoT, *Big Data* e aplicações em nuvem [55], sendo também um ativo importante para atender aos desafios da Indústria 4.0 [64,65].

Até aqui, foram apresentadas as abordagens de desenvolvimento de produto consideradas para este trabalho e seus principais conceitos. Embora não façam parte de uma evolução linear, de modo geral, pode-se considerar que são complementares umas às outras, uma vez que as tecnologias empregadas em cada uma das abordagens e a evolução de seus conceitos contribuem para o desenvolvimento de produtos no contexto da I4.0. A Figura 10 apresenta as abordagens, dispostas em ordem cronológica.

A linha do tempo traça o caminho evolutivo dos conceitos e tecnologias presentes em cada abordagem até os conceitos da I4.0. A “Abordagem de sistemas” propôs uma decomposição do processo de desenvolvimento do

produto, em fases, etapas e tarefas, de modo a estruturar a construção de produtos, ou sistemas finais, complexos. Com a crescente complexidade dos produtos atuais, decompor o processo de desenvolvimento na construção de sistemas menores, ou subsistemas [54] se faz necessário.

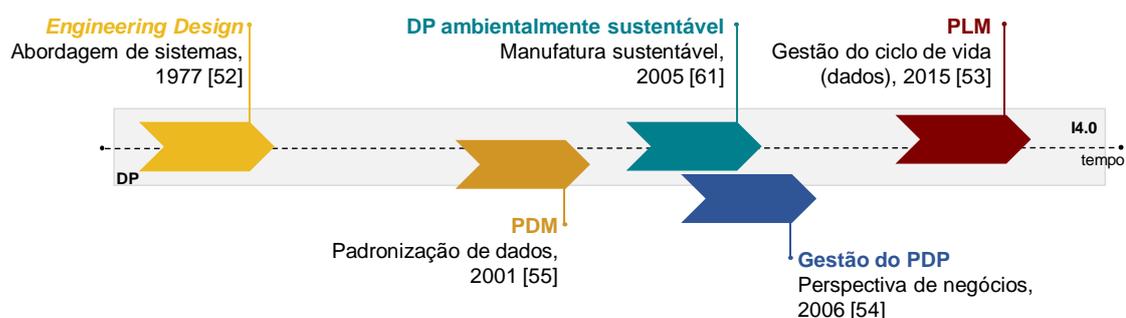


Figura 10: Abordagens fundamentais de DP para o escopo do trabalho.

Essa abordagem contribui para a construção de produtos com cada vez mais funcionalidades, particularmente funcionalidades associadas a TICs. A utilização de tais tecnologias no produto e a gestão de dados durante o processo de desenvolvimento implicam na utilização de diferentes sistemas [30,31,66]. Portanto, a padronização de dados da “Abordagem PDM” é importante para a integração entre os diferentes sistemas de informação [57], que, em última instância, terão os dados acerca de todo o ciclo de vida do produto, e não apenas referentes ao PDP, gerenciados por um sistema PLM [55].

A abordagem de “DP ambientalmente sustentável” expande as preocupações com gestão de dados do produto, incluindo a gestão das informações sobre os impactos ambientais do processo de desenvolvimento do produto, tratando, assim, da necessidade de um PDP sustentável desde sua concepção, que atente também para o último estágio do ciclo de vida do produto [15,61]. Essa abordagem considera o posicionamento estratégico da empresa frente aos seus produtos, processos e recursos, que são analisados minuciosamente em contraponto aos impactos ambientais que podem causar [55].

Paralelamente, a abordagem de “Gestão do PDP”, que considera os impactos ambientais do PDP, porém de maneira mais superficial, leva em conta também

as decisões e posicionamento estratégico no que diz respeito aos produtos, processos e recursos, tratando o PDP da perspectiva do modelo de negócio. Nesta perspectiva, o PDP é visto como um processo de negócio, que influencia e é influenciado pelos fluxos de criação, comunicação e utilização de informações, das diversas áreas da empresa, referentes ao portfólio de produtos praticado [56].

A “Abordagem PLM”, além de contemplar os conceitos das abordagens anteriores – divisão do produto em subsistemas, gestão de dados durante todo o ciclo de vida do produto, gestão dos impactos do PDP, consideração do portfólio de produtos da empresa e do fluxo de valor gerado a partir deles – comporta a inclusão de tecnologias relevantes no contexto da I4.0, como IoT, computação em nuvem e *Big Data*, que podem oferecer suporte à produção de produtos inteligentes e altamente customizados [55]. Assim, ainda que não linearmente, nota-se uma evolução e uma integração, ao longo do tempo, dos conceitos e abordagens associados ao desenvolvimento de produtos no contexto da I4.0.

2.1.1 ETAPAS DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO

Como discutido anteriormente, o ciclo de vida do produto contém sete fases: planejamento do produto, projeto do produto e planejamento do processo, que compõem o processo desenvolvimento do produto (PDP); produção; vendas; uso; e, por fim, reciclagem ou descarte [54,56,57,58]. Nesta seção são descritas as características de cada uma das etapas, com foco para as etapas de planejamento do produto, projeto do produto e uso. Além disso, são apresentados algumas das ferramentas mais comuns empregadas no PDP, assim como trabalhos da área já desenvolvidos no Brasil e as tendências futuras.

PLANEJAMENTO DO PRODUTO

A fase inicial do PDP, o Planejamento do Produto, é a fase em que são tomadas as decisões mais importantes. A partir das informações coletadas por meio de

pesquisas e análises de mercado, em contraponto ao plano estratégico da empresa, são identificadas as demandas e oportunidades de mercado possíveis de serem exploradas. Desta análise resultam ideias para novos produtos, assim como quais características os produtos devem apresentar para atender a demanda identificada [54,56,58].

De acordo com Rozenfeld e colaboradores [56], as decisões nesta fase são importantes porque correspondem a dois tipos de projeto dentro da perspectiva de gestão: o projeto informacional, que define o escopo do produto a ser desenvolvido, isto é, qual a demanda de mercado a ser atendida, assim como qual o público-alvo; e o projeto conceitual, que consiste da transformação das características que o produto deve apresentar, ou seja, os requisitos dos clientes, em soluções técnicas para a realização do produto [56].

Nesta etapa, diversas ferramentas podem ser utilizadas para emprego correto das informações e cumprimento das atividades necessárias. Entre as mais difundidas, estão: QFD (*Quality Function Deployment* – Função Desdobramento da Qualidade), utilizada para transformar os requisitos dos clientes em requisitos e parâmetros técnicos de projeto [56,67]; Modelo de Kano para satisfação do consumidor, utilizado para identificação dos requisitos prioritários do ponto de vista do cliente [68]; Matriz de Decisão, que auxilia na seleção do conceito inicial que será transformado em produto; DSM (*Design Structure Matrix* – Matriz de Estrutura do Projeto), que representa as relações de dependência entre as atividades do PDP; e a Caixa Morfológica, que permite gerar alternativas de solução para problemas específicos no projeto [56,67].

PROJETO DO PRODUTO

Tendo como base as decisões do planejamento – demanda a ser atendida, ideias de produto concebidas, possíveis soluções e alternativas de produto, requisitos dos clientes [54,56,58] – o produto começa a ser projetado em detalhes, o que corresponde a etapa de projeto conceitual em [56]. Aqui, todos os componentes do produto são especificados em detalhe, desde sua forma

geométrica até as interações entre os componentes e o funcionamento global do produto.

Possíveis defeitos do produto também devem ser previstos nesta fase, assim como soluções para tais defeitos devem ser desenvolvidas [54,56,58]. Dependendo do tipo de problema identificado como demanda, nesta fase também devem ser projetados minuciosamente os serviços associados ao produto, além dos serviços como manutenção e assistência técnica [56,69].

Assim, a etapa de projeto do produto resulta na criação de um modelo, ou protótipo do produto, que será submetido a testes de conformidade em relação ao planejamento inicial. Serão avaliadas as características do protótipo, se correspondem às características planejadas, assim como seu funcionamento global [58]. Para tal, existem métodos como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise de Modos de Falhas e Efeitos), que antecipa as possíveis falhas do produto, identifica as possíveis causas e propõe alternativas de correção [56]; e a Prototipagem Virtual, que conduz simulações específicas de acordo com as características do produto. Além dessas, existem atualmente as ferramentas de simulações avançadas, que combinam realidade virtual (VR) ou aumentada (AR) durante o PDP [64].

PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Uma vez elaborado o projeto do produto, a etapa seguinte corresponde ao planejamento do processo de produção, que engloba a manufatura e montagem [56,57,63]. A partir da lista e características dos componentes, dos materiais necessários para sua construção, para construção do produto e dos recursos disponíveis, a sequência de produção é definida. Decisões quanto a fabricação ou compra de componentes também influenciam o planejamento processo de produção, que deve levar em consideração a cadeia de fornecedores envolvidos no processo [56]. A etapa posterior consiste da execução do processo de produção.

PRODUÇÃO

Definidas as etapas de produção, quais recursos serão alocados e como, inicia-se a produção de um lote piloto, no caso de produtos manufaturados em larga escala. Este lote piloto será submetido a testes de qualidade, assim como o processo de produção também será avaliado em relação ao planejamento inicial [56]. Adaptações necessárias ao processo de produção, ou mesmo ao produto, devem ser documentadas e aprovadas, antes que o produto possa ser certificado e autorizada sua fabricação final [56]. No entanto, modificações feitas nesta etapa do ciclo de vida implicam em altos custos e podem influenciar no *time to market* do produto, causando impactos nos custos totais do projeto e nos lucros previstos do produto [52,53,54,56].

VENDAS

Nesta etapa, o produto é lançado no mercado e iniciam-se as vendas, que também seguem um plano definido [56]. O ciclo de vida do produto no mercado segue um fluxo que deve ser associado ao planejamento estratégico e ao portfólio de produtos da empresa, além de considerar os resultados atingidos pelo produto no mercado. A Figura 11 a seguir ilustra esse ciclo.

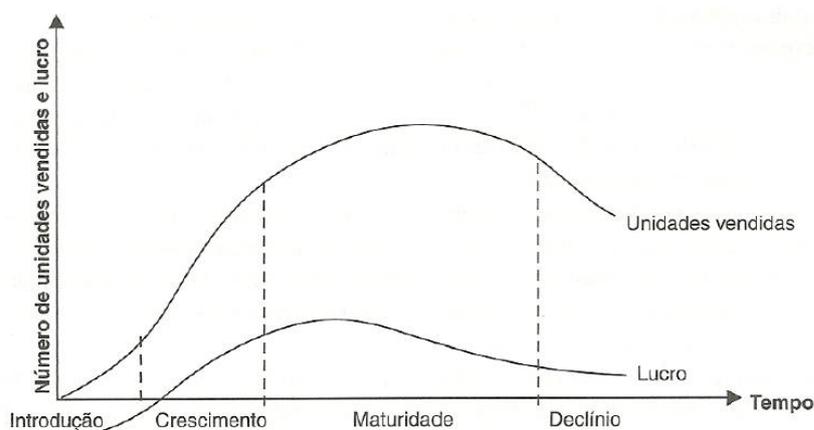


Figura 11: Ciclo de vida do produto no mercado (extraído de Almeida et al [67]).

Após a introdução do produto no mercado, a tendência é que as vendas cresçam com o tempo até estabelecerem um patamar de equilíbrio, quando, então,

começam a declinar. Esse fluxo se dá por diversas razões, que combinam inovação do produto, assertividade quanto às características e funcionalidades do produto, isto é, se o produto realmente atende às demandas de mercado, difusão do produto, concorrência [56,67].

Quando a fase de declínio se inicia, decisões devem ser tomadas para evitar a ocorrência de prejuízos, e a descontinuidade ou adaptações para uma nova geração do produto são consideradas [56]. Após a etapa de vendas, o produto terá atingido o usuário final e a fase de uso do produto se inicia.

Uso

Esta fase corresponde ao acompanhamento e monitoramento do produto, em que são monitorados aspectos como a satisfação do cliente, o desempenho técnico e de mercado. Nesta fase também são registradas as lições aprendidas, identificados e corrigidos possíveis defeitos, assim como também são identificadas oportunidades de melhorias para o produto [55,56]. Baseada nas análises sobre a fase de uso e no plano de fim de vida do produto, elaborado durante o planejamento da produção, decisões sobre a descontinuidade ou não do produto são tomadas [56]. Esta fase do ciclo de vida é particularmente interessante quando os produtos são inteligentes, isto é, quando há comunicação de dados entre o produto e um servidor central [30,31].

Tais dados podem oferecer informações interessantes para o ciclo de vida do produto e para o PDP. Embora a análise desses dados para extração de valor dependa da utilização de ferramentas de *Big Data*, mineração de dados, entre outras [36,70,71], e discuti-las aqui ultrapassaria o escopo do trabalho, os potenciais benefícios da utilização dos dados gerados nesta fase devem ser mencionados. No que se refere a produtos que possuem interface direta com o usuário, como é o caso de produtos vestíveis ou de soluções domésticas [19,37], a análise dos dados pode oferecer benefícios em duas vertentes: comportamento do usuário e comportamento do produto.

No que se refere ao comportamento do usuário, os produtos podem oferecer dados sobre padrões de erros. A partir da identificação de quais funções geram maior dificuldade de uso e a frequência com que tais erros ou dificuldades ocorrem, a usabilidade do produto pode ser aprimorada a partir de reconfigurações do produto atual ou de modificações nas próximas gerações do produto [31,72]. Além disso, tais padrões de erros de uso e dificuldades podem sugerir novas necessidades a serem atendidas e novas ideias de produtos a serem desenvolvidos. Quanto ao comportamento do produto, os dados de desempenho podem apontar defeitos passíveis de correção a partir de atualizações ou reconfigurações e indicar pontos de otimização no PDP de novas gerações do produto ou ainda de novos ciclos de desenvolvimento [31,64,71].

RECICLAGEM E/OU DESCARTE

A última etapa do ciclo de vida do produto corresponde ao seu fim de vida. Nesta etapa, quando a opção é pela descontinuidade do produto, a empresa deve executar os planos para reciclagem ou descarte adequados, levando em conta o impacto sobre o meio ambiente e o encerramento da linha de produção [56,63]. Além disso, um produto substituto já deve ter sido planejado e seu ciclo já deve estar em andamento [56].

2.1.2 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E ENVELHECIMENTO

Embora a literatura utilizada até aqui tenha como foco o desenvolvimento de produtos mecânicos ou bens manufaturados, as etapas do PDP e suas características se aplicam ao desenvolvimento de qualquer tipo de produto, e podem ser utilizadas de maneira genérica, como referência base para outros ciclos. As atividades e métodos utilizados dentro de cada etapa é que se distinguem e devem se adequar ao contexto específico dos produtos a serem desenvolvidos [56].

Portanto, o que diferencia o PDP para idosos não são as etapas do processo, mas os métodos utilizados dentro de cada etapa para cumprimento das

atividades. Por esta razão, as etapas de planejamento e projeto do produto são tão importantes; é nelas que as decisões mais críticas a respeito do produto são tomadas, guiando o restante do processo. Tal importância não se relaciona somente com os custos do projeto em andamento, uma vez que decisões equivocadas e/ou tardias podem impactar negativamente o PDP [54,56,67], mas à captação correta dos requisitos do cliente idoso para o produto que se pretende desenvolver.

No entanto, considerar as questões associadas ao envelhecimento da população e ao público consumidor idoso apenas como requisitos para o PDP não é suficiente [19,37]. É necessário integrar esses clientes no processo, como participantes ativos capazes de fornecer informações importantes para o desenvolvimento de produtos que se adequem aos seus contextos de uso e necessidades [37,73].

Como se menciona no capítulo introdutório, a população idosa representa um nicho de mercado heterogêneo, com diversas e abrangentes demandas, impondo um desafio para o PDP no que se refere à identificação de requisitos, principalmente quando consideradas as dificuldades que essa população apresenta para o uso de produtos com TICs embarcadas, isto é, os produtos inteligentes [19,26,37,73]. Discutidos em maior profundidade na seção 2.3 deste capítulo, os produtos inteligentes (PI), representam a tendência de evolução para o campo de DP, em conjunto com os sistemas produto-serviço (PSS). Tais produtos apresentam cada vez mais funcionalidades, que são associadas a serviços integrados, geralmente baseados em internet, para atender às mais distintas demandas [30,36,74].

Nessas afirmações reside um paradoxo: se produtos inteligentes são a tendência para o campo de DP, o que significa que sua fatia de mercado tem aumentado e apresenta prospecções de crescimento [71], desenvolver produtos inteligentes para idosos, que são uma parcela crescente de mercado, mas apresentam dificuldades documentadas na utilização de tecnologias, é um desafio.

Esforços da comunidade científica internacional já têm caminhado para a resolução desta questão [75,76,38], no entanto, no Brasil ainda há registro de poucas pesquisas na área. Na intersecção entre Desenvolvimento de Produtos e Envelhecimento, a literatura nacional conta com poucos exemplos.

A tese de doutorado de Alvarenga [46], defendida em 2006, teve o objetivo de propor uma metodologia de projeto para o desenvolvimento de produtos inclusivos baseada nos princípios do *design* universal [77]. Utilizando as etapas iniciais do PDP como ponto de partida, nomeadamente o estudo de viabilidade e o projeto preliminar, que derivam das etapas de projeto informacional e projeto conceitual respectivamente [56], a autora descreve o desdobramento das etapas em tarefas auxiliadas pelo uso de ferramentas e metodologias tradicionais do campo de DP, como CAD, CAE, QFD, DFX, DSM, entre outras, em combinação com os princípios do *design* universal [46].

O *design* universal pode ser definido como o projeto de produtos e ambientes que podem ser usados por qualquer pessoa, independente de idade ou habilidades, da maneira mais ampla possível sem necessidade de adaptação. Portanto, o cerne do *design* universal é a concepção de produtos e ambientes que não imponham restrições de acesso e uso às pessoas, independente de limitações de qualquer tipo que possam apresentar [77]. Para validação da metodologia, a autora promoveu um estudo de caso, que consistiu do desenvolvimento do estudo de viabilidade e do projeto preliminar de uma cadeira de rodas manual com módulo de locomoção (sistema de motorização acoplável).

Embora não se estenda às outras etapas do PDP, a metodologia proposta por Alvarenga [46] ilustra a dificuldade de se traduzirem as necessidades dos clientes em requisitos técnicos que possam resultar em atributos factíveis do produto, e denota a importância da captação correta e detalhada dos requisitos dos clientes no início do processo, quando as decisões mais importantes sobre o processo devem ser tomadas [56].

Outra pesquisa, fruto da dissertação de mestrado de Maia [47], defendida em 2011, propõe um fluxograma para o desenvolvimento de produtos de tecnologia

assistiva (TA) com base na metodologia de *Ergodesign* [78], que pode ser definido como um enfoque criativo para o processo de desenvolvimento de produtos. O *Ergodesing* combina os conceitos de ergonomia, resultantes das análises sobre os atributos humanos, e de *design*, resultado das sínteses sobre a conceituação e desenvolvimento dos produtos [79].

No entanto, embora o fluxograma de Maia [47] apresente um paralelo com os métodos tradicionais de DP, já apresentados neste capítulo, como a sistematização do PDP [54] e o detalhamento do projeto a partir de informações preliminares [56], é discutido do ponto de vista do profissional de Terapia Ocupacional (TO) e da prescrição individual de produtos de TA, ou seja, tem aplicação específica. De acordo com a autora, o fluxograma é um guia de etapas e atividades a ser seguido pelo profissional de TO durante o desenvolvimento de produtos de TA específicos, individuais ou para um pequeno número de pacientes, mediante a procura dos mesmos por dispositivos que lhes auxiliem em suas limitações. Ainda assim, ilustra a importância de se incluir o usuário no PDP desde as etapas iniciais, e não apenas nas fases de teste.

Outros exemplos de trabalhos nacionais desenvolvidos na área de produtos de TA investigam a influência de tais produtos sobre a qualidade de vida e funcionalidade dos usuários [43,45]; o nível de conhecimento de profissionais da saúde sobre produtos de TA [80]; e o impacto de tais produtos na recuperação e tratamento de doenças específicas [44,42]. Portanto, nota-se que o foco não é o desenvolvimento de tais produtos, mas sim os efeitos do uso e processos de interface com o usuário.

Embora os trabalhos de Alvarenga [46] e Maia [47] possam ser utilizados como referência para o DP para idosos, uma vez que se apoiam em métodos convencionais de DP e se utilizem de metodologias de inclusão do usuário no processo (*design* universal e *design* centrado no usuário – *user-centered design*), guardadas as especificidades de contexto e aplicação, não preveem o desenvolvimento de produtos com funções expandidas pela inclusão de TICs. Isto é, não comportam o desenvolvimento de produtos inteligentes, que, no contexto da Indústria 4.0 (I4.0), oferecem oportunidades que vão além da

inclusão do usuário no PDP. Tais oportunidades, assim como as implicações da I4.0 para o DP são discutidas nas seções a seguir.

2.2 INDÚSTRIA 4.0

Indústria 4.0 é um termo que tem se popularizado nos últimos anos. Tendo sido introduzido pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011, a *Industrie 4.0* (I4.0) representa uma iniciativa estratégica de desenvolvimento econômico que visa alavancar o potencial industrial da Alemanha, a partir da introdução de tecnologias da informação e comunicação (TICs) nos processos de manufatura [15]. No entanto, seus efeitos não se restringem ao seu país de origem, e muito se tem discutido sobre suas implicações para diversas áreas da sociedade, em contextos para além do industrial [14,81].

Embora contemple diversas interpretações e definições a I4.0 representa uma mudança significativa de paradigma na produção industrial, e tem sido chamada também de 4ª Revolução Industrial [14,15,82]. De acordo com o relatório de recomendações para implementação da I4.0 publicado pela acatech (Academia Alemã de Ciências e Engenharia), a 4ª Revolução Industrial decorre da evolução das TICs, que culminaram no surgimento dos sistemas físico-cibernéticos (CPS), e que, apoiados pela introdução do protocolo de internet IPv6 a partir de 2012, permitem um aumento exponencial do número de endereços, criando a Internet das Coisas (IoT) e dos Serviços (IoS) [15].

Combinados e inseridos no ambiente de manufatura, tais elementos possibilitam o surgimento de sistemas de produção físico-cibernéticos (CPPS) e, por conseguinte, das fábricas inteligentes (SF) [15,83,84]. Assim, a I4.0 tem quatro pilares fundamentais: os sistemas físico-cibernéticos (CPS), a Internet das Coisas (IoT), a Internet dos Serviços (IoS), e as fábricas inteligentes (SF) [15,83]. Para o escopo deste trabalho, os mais relevantes são os dois os primeiros, CPS e IoT, por isso serão tratados em maior detalhe.

Se analisados isoladamente, os pilares da I4.0 não representam mudanças tecnológicas disruptivas em si, pois configuram uma expansão das capacidades de tecnologias já utilizadas pela indústria há algum tempo, especialmente no que diz respeito às TICs, associadas a tendências de mercado como a customização de produtos, a servitização e o surgimento de novos públicos consumidores. Isto é, fazem parte de um processo de evolução tecnológica natural [14]. O que faz da I4.0 uma revolução, e, portanto, uma mudança de paradigma, é a combinação dos pilares, que possibilita a conexão e a integração dos mundos físico e virtual, viabilizando novos processos produtivos, novas capacidades de entrega de produtos e serviços e, em último grau, uma nova maneira de ver e se relacionar com o mundo [14,15].

A fim de se compreender os impactos da I4.0 sobre a sociedade atual, é necessário compreender os seus pilares fundamentais, suas características, aplicações e desdobramentos para o ambiente industrial e para outros contextos. Além disso, outros fatores contribuem para a dimensão da I4.0, entre eles o acelerado envelhecimento da população em escala global, que impacta o setor industrial de duas maneiras. Em primeiro lugar, há o envelhecimento da força de trabalho e a baixa taxa de reposição de trabalhadores, o que implica em necessidades de adaptação de postos de trabalho e de políticas de manutenção de trabalhadores envelhecidos dentro das empresas, além de questões relacionadas a expertise e transferência de conhecimento [13,15].

Por outro lado, há o crescimento de um público consumidor vasto, que apresenta diferentes características de consumo para diferentes tipos de produtos e serviços, implicando no surgimento de novos nichos de mercado e oportunidades de negócio [19]. Em ambos os casos, as tecnologias constituintes dos pilares fundamentais da I4.0 contribuem para as adaptações necessárias nos cenários industrial e comercial, que por sua vez, têm impacto também sobre o estilo de vida das pessoas [15].

2.2.1 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

São quatro os pilares fundamentais da Indústria 4.0: Sistemas físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS) e Fábricas Inteligentes. Suas características são descritas a seguir.

SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS

O primeiro pilar da I4.0, os sistemas físico-cibernéticos (CPS), foram inicialmente definidos por Lee [33] e Rajkumar e colaboradores [34] como sistemas que proporcionam a integração entre processos físicos e computacionais. Apoiados nessa definição, e sem fugir ao conceito central, outros autores [30,31] propõem uma definição mais ilustrativa, definindo CPS como produtos ou sistemas mecatrônicos capazes de se comunicarem e interagirem com outros CPS a partir de diferentes canais de comunicação, como a internet ou redes LAN sem fio. A “ilustração” aqui se traduz na menção ao tipo de produto ou sistema que caracteriza o CPS.

Os produtos mecatrônicos são compostos por componentes mecânicos, portanto, físicos, e eletrônicos que coordenam suas funções em conjunto para executar a funcionalidade para a qual foram projetados. Assim, CPS constituem componentes físicos embarcados com componentes eletrônicos dotados de capacidade de comunicação e conectados em alguma forma de rede, aptos a monitorar e controlar processos físicos por meio da aquisição, processamento e comunicação de dados em *loops* de retroalimentação, nos quais processos físicos afetam processos computacionais (virtuais) e vice-versa [33].

Esta íntima intersecção entre os mundos físico e virtual se manifesta em diferentes escalas, servindo, portanto, a diferentes aplicações: desde nano componentes contidos em dispositivos médicos, a sistemas em larga escala para monitoramento das condições de linhas de produção [33,34]. Seja qual for a aplicação, uma característica singular dos CPS é a capacidade de comunicação de dados que possuem, decorrente de avanços tecnológicos nas áreas de

TI/TICs, o que conferiu aos computadores maior capacidade de processamento e possibilitou a descentralização das informações [33,34].

A distribuição das informações coletadas e comunicadas pelos CPS se dá em função de seu processamento, que ocorre em servidores externos aos CPS ou mesmo externos ao ambiente de produção em que os CPS estão instalados, isto é, pode ocorrer em servidores baseados em diferentes localidades geográficas, ou, graças aos avanços na área de internet, em servidores baseados em nuvem [15,71], o que, entre outras características, compõe o modelo industrial de manufatura distribuída [85].

Como menciona Abramovici [30,31], CPS podem se comunicar por diferentes canais: LAN; RFID; e pela internet, que se espalha cada vez mais pelos dispositivos, ambientes e situações. A característica pervasiva da internet, graças também a criação do protocolo IPv6, possibilita uma quantidade de endereços eletrônicos suficiente para que todos os dispositivos eletrônicos (ou objetos) possam ser conectados, desde smartphones a eletrodomésticos [30,86]. Esse ambiente em que todos os dispositivos são conectados é o que se chama de Internet das Coisas (IoT).

INTERNET DAS COISAS

O segundo pilar da I4.0, IoT, possui diferentes definições que variam conforme o contexto e a perspectiva de quem as propõe, e já foi definida como canal de comunicação, tecnologia, infraestrutura, entre outros [86,87,88,83]. Ainda assim, existem definições abrangentes, que contemplam os aspectos da IoT de maneira ampla e proporcionam compreensão do motivo de ser o segundo pilar de sustentação da 4ª Revolução Industrial. Porém, é importante destacar a diferença entre as concepções norte-americana, do *Industrial Internet Consortium* (IIC – Consórcio de Internet Industrial), e alemã, da iniciativa *Industrie 4.0*.

Segundo o IIC, IoT pode ser compreendida como um macro sistema que conecta e integra sistemas de controle industriais, isto é, que possuem sensores e

atuadores, com sistemas corporativos, processos de negócio e *analytics* [81]. Esta definição de IoT se assemelha consideravelmente a de CPS descrita anteriormente, e pode ser erroneamente interpretada como uma caracterização norte-americana para CPS [87].

Contudo, a diferença reside, entre outros aspectos, no nível de informação e no canal de comunicação em questão. Enquanto CPS são sistemas de elementos computacionais controlando entidades físicas, o que implica a existência de um fluxo de dados, IoT se inicia no nível de identificação de um componente (ou “objeto”), que possui um endereço global único e pode ser acessado de qualquer lugar a qualquer momento, por meio da internet. O nível de informação a ser acessado, portanto, pode ser tão simples quanto dados estáticos em etiquetas RFID [87]. Além disso, CPS não necessariamente precisam estar conectados à internet; sua comunicação pode ser realizada por outros canais, como intranet ou redes LAN [33,34,83].

Assim, IoT do modo como é abordada na I4.0, refere-se ao ambiente formado pelos objetos conectados e às possibilidades resultantes dessa conexão, em concordância com a definição da *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T – União Internacional da Telecomunicação – Setor de Padronização de Telecomunicações).

Segundo a ITU-T,

“A IoT pode ser compreendida em uma perspectiva ampla como uma visão com implicações tecnológicas e sociais. A IoT pode ser vista como uma infraestrutura global para a sociedade da informação, habilitando serviços avançados a partir da interconexão de objetos (físicos e virtuais) baseada em TICs interoperáveis já existentes e em evolução. Por meio da exploração da identificação, captura de dados, capacidades de processamento e comunicação, a IoT faz uso total dos objetos para oferecer serviços a todo tipo de aplicações, enquanto mantém a privacidade necessária” [88].
(Tradução livre).

Em outras palavras, a partir da existência e possibilidade de acesso a dados, em diferentes níveis, dos objetos por meio da internet, criam-se novas possibilidades de gerenciamento de tarefas, operações e serviços, o que se traduz em valor agregado e potencial econômico e competitivo para novas atividades industriais [15,89].

A IoT enquanto ambiente, portanto, possui características fundamentais que demonstram sua relevância no contexto da I4.0 e que permitem compreender o significado de termos como “dispositivos IoT”, “plataformas IoT” [89] e “sistemas IoT” [87]. Suas características fundamentais são [15,86,87,89]:

- Pervasividade e Ubiquidade: pervasividade refere-se ao processo de difusão da IoT, ao passo que ubiquidade é o estado final, isto é, um ambiente de conectividade onipresente disponível a qualquer momento, de qualquer lugar, para qualquer pessoa ou objeto.
- Singularidade dos objetos: cada objeto conectado à internet tem seu próprio endereço e sua própria identidade, diferenciando-o de todos os outros objetos conectados na rede.
- Interconectividade e Capacidade de Comunicação: os objetos estão conectados também entre si, favorecendo a troca de dados entre diferentes nós.
- Inteligência embarcada: cada vez mais os objetos tendem a ser embarcados com micro controladores, que possibilitam a tomada de ações a partir da comunicação e processamento de dados. Dispositivos IoT, portanto, são objetos conectados com inteligência embarcada.
- Heterogeneidade, Flexibilidade e Interoperabilidade: a diversidade de objetos conectados, desde pequenos sensores até grandes computadores e máquinas, requer que os sistemas de comunicação sejam flexíveis e compreensivos, no sentido de comportarem diferentes

protocolos de comunicação e possibilitarem a troca de dados de maneira adequada. Plataformas IoT servem a esse propósito de integração.

- Autoconfiguração: característica importante especialmente para sistemas IoT, isto é, conjuntos de objetos heterogêneos conectados entre si e à internet. A autoconfiguração é uma tendência devido à grande quantidade de objetos conectados, que se tivessem de ser configurados “manualmente” teriam suas capacidades limitadas [87].
- Escala: não só o número de dispositivos conectados aumenta a cada ano, mas a quantidade de dados também. Portanto, são dois os desafios derivados dessa característica, o gerenciamento dos objetos conectados, e o gerenciamento dos dados gerados (*Big Data*), de forma a produzir valor para a cadeia industrial. Neste sentido, ferramentas como *Data Mining* e *Machine Learning* representam recursos em potencial e que vêm sendo exploradas intensamente [36,70,71].

Os sistemas IoT merecem ainda uma menção especial, pois tornam factíveis os serviços integrados. Esses sistemas variam conforme escala e complexidade, tendo funcionalidades variadas, mas podem ser definidos de maneira genérica como sistemas de objetos identificáveis interconectados com a capacidade de fornecer serviços complexos [87]. Assim, combinando-se todas as características fundamentais da IoT em sistemas ubíquos, portanto de larga escala, tem-se uma rede de serviços disponíveis, que pode se autorregular e que não requer a intervenção de humanos para entregar os serviços requisitados [87].

INTERNET DOS SERVIÇOS

Conforme discorrido anteriormente, pode-se considerar que o passo seguinte à Internet das Coisas é a Internet dos Serviços (IoS). Uma vez que os objetos

estão conectados no ambiente de IoT, redes de sistemas são formadas a partir da comunicação de dados, processos e funções. O gerenciamento dessas redes voltado a extração de valor, isto é, voltado aos processos de negócio, faz com que as funções das redes sejam combinadas em um ambiente de oferecimento de serviços a partir da conexão dos objetos com a internet. Assim, cria-se o ambiente de Internet dos Serviços, ilustrado na Figura 12 [15,86].

Assim como os objetos se comunicam entre si e entre sistemas por meio da internet, os serviços também o fazem a partir de recursos de computação em nuvem (*cloud computing*), não requerendo, necessariamente, intervenção humana para entregarem serviços na forma de aplicações e soluções em diversas áreas. O último nível de conexão, portanto, permite que os serviços baseados em nuvem se conectem entre si e diretamente com seus mercados [90].

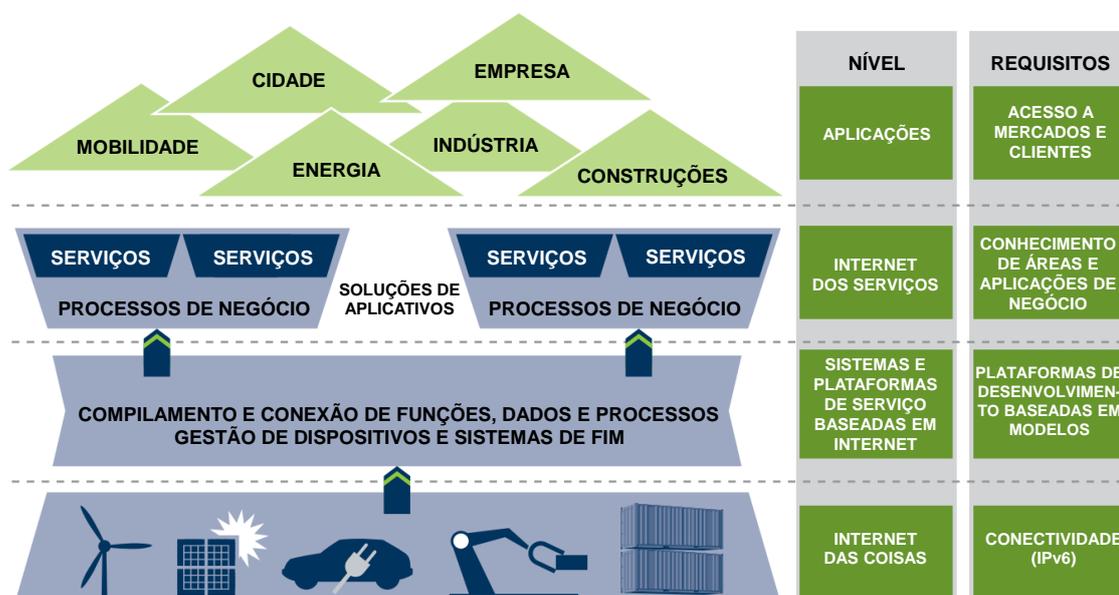


Figura 12: Arquitetura de referência para conexão de IoT e IoS (traduzido de Kagermann [15]).

Para a indústria, isso impacta em novos modelos e oportunidades de negócio que podem surgir a partir de suas estruturas pré-existentes. Seguindo a tendência de servitização que a IoS e o cenário industrial global têm apresentado [91,92,93], explorar produtos de diferentes modos e a partir da perspectiva de

conexão de objetos, dados e funções proporciona novos fluxos de valor e potencializa novas fontes de competitividade [14,15,19,36,64].

FÁBRICAS INTELIGENTES

O último pilar da I4.0 pode ser apresentado como a conjunção dos pilares anteriores em um único ambiente. A Fábrica Inteligente faz uso generalizado dos CPS conectados à internet para oferecer soluções a si própria, em termos de monitoramento, controle e otimização da produção, por exemplo, e para oferecer produtos e serviços que atendam às demandas e expectativas dos clientes a partir do gerenciamento integrado de seus processos de negócio [15,94].

Por meio do uso combinado de CPS, IoT e IoS, em um ambiente colaborativo de humanos, máquinas e recursos e sensível ao contexto (*context-aware*), a Fábrica Inteligente se organiza a partir de uma produção descentralizada e de tomadas de decisão inteligentes [83,82].

Este novo panorama da I4.0 traz impactos profundos para as indústrias que, por um lado, têm oportunidades a explorar a partir da nova relação entre os recursos disponíveis (considerando como recursos o capital humano, os bens de produção e os dados), e por outro lado, enfrentam a urgência de se adaptar às novas relações ao mesmo tempo em que propõem meios para realizar tais adaptações.

2.2.2 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA 4.0

O desenvolvimento de produtos pode servir como ilustração para o panorama da I4.0 descrito anteriormente. As novas tecnologias disponíveis (CPS, IoT, IoS), associadas a demandas crescentes de customização dos produtos, fazem com que os ciclos de desenvolvimento sejam menores e os produtos mais modularizáveis [36,65]. Isso implica que a produção seja altamente flexível e capaz de suportar lotes únicos (*batch size 1*) sem prejuízos [36]. Além disso, graças a evolução das TICs, os produtos têm sido dotados de capacidades cada

vez mais avançadas, sendo embarcados com componentes eletrônicos que expandem suas funcionalidades e os tornam inteligentes, fazendo surgir uma nova classe de produtos – os produtos inteligentes [30].

No entanto, ainda outras tendências devem ser observadas. Atualmente, oferecer somente produtos, ainda que inteligentes e altamente customizados, não é suficiente para o mercado consumidor nem para margens competitivas significativas [51,74,91]. É necessário lidar com diferentes demandas de diferentes *stakeholders*, além de se atentar às demandas de sustentabilidade ambiental cada vez mais críticas.

Esses movimentos têm levado as empresas a modificarem seus modelos de negócio, que deixam de ser centrados apenas na venda dos produtos e passam a ser centrados na integração de serviços aos produtos, criando outro fluxo de valor a partir de serviços associados que podem ser oferecidos em diferentes tipos de contrato [51,74,91,95]. A esse novo modelo de negócio denomina-se Sistemas Produto-Serviço (PSS – do inglês *Product-Service Systems*) [91].

Neste cenário de mudança, atualizar o modo como os produtos e PSS são projetados desde o início é mais um passo para atender às demandas do mercado globalizado e aproveitar as oportunidades de um ambiente altamente competitivo [36,65,71]. Portanto, é necessário promover mudanças no processo de desenvolvimento de produtos que atendam às especificações da I4.0.

Uma busca direcionada na literatura apontou para os requisitos a serem atendidos pelo processo de desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da I4.0, conforme Quadro 1. As informações apresentadas no Quadro 1 não contemplam exhaustivamente os requisitos para todos os cenários de desenvolvimento de produtos inteligentes (DPI); antes representam um direcionamento, no qual se apoia este trabalho.

Como já discutido, obter ciclos de desenvolvimento mais curtos reflete da necessidade de manter o ritmo de mercado, tanto em termos de tempo, quanto de variedade de opções, além de se relacionar ao controle de custos do processo

[65]. Assim, promover maior integração dos clientes no PDP e obter de maneira mais clara e confiável seus requisitos, pode ser um passo importante, principalmente no que diz respeito ao DPI para idosos [65,96].

REQUISITOS		REFERÊNCIAS
Ciclos de desenvolvimento mais curtos	Requisitos mais claros e confiáveis	[65]
Integração do cliente no PDP	Troca de dados em tempo real	
Iteração	Inovação a partir de processos de aprendizagem	[64]
Integração técnica e organizacional	Otimização dos recursos consumidos	[97]
Reutilização de conhecimento		
Orientar o PDP à EOL		[98]
Adaptabilidade	Interfaces flexíveis	[99]
Autonomia	Interoperabilidade	
Compatibilidade	Operações <i>closed-loop</i> baseadas em dados de uso	
Confiabilidade	Robustez	
Estabilidade	Segurança cibernética	
Integração de dados de sistemas heterogêneos		[100]

Quadro 1. Requisitos para o desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da I4.0.

Tornar processos mais eficientes também é um dos focos da I4.0 e, portanto, otimizar o consumo de recursos se faz necessário por duas razões: a primeira é a eficiência em si; processos mais eficientes tendem a reduzir custos e aumentar os lucros [64,98]. A segunda tem cunho ambiental, de sustentabilidade, o que torna também importante orientar o PDP à EOL dos produtos [55,63]. Ao se projetar produtos orientados à última fase do ciclo de vida, estratégias para otimização dos recursos de produção (materiais, energia, etc.) são desenvolvidas, assim como inovações, que podem surgir a partir de processos de aprendizagem de ciclos anteriores.

Desta forma, reutilizar o conhecimento – sobre gerações anteriores do produto, processos de desenvolvimento, fabricação e documentação – torna-se peça chave na composição de processos de DP no contexto da I4.0 [55,63,97,98].

Entretanto, nenhum desses requisitos pode ser atendido sem integração organizacional, que se refere à estrutura da empresa – como são desenvolvidos

os processos de negócio e qual a visão em relação à I4.0 – e integração técnica, que se refere à incorporação de TICs aos processos e produtos, que agora são inteligentes, à integração de dados de SI heterogêneos utilizados em conjunto, e a pessoal qualificado para atuação neste ambiente [15,64].

Em se tratando da incorporação de tecnologias aos processos e produtos, o diferencial da I4.0 está no uso combinado das TICs [14,101]. Ainda assim, existem desafios a serem superados para que essa combinação seja fluida e livre de percalços, a exemplo da troca de dados em tempo real e de operações *closed-loop* baseadas em dados da fase de uso dos produtos [72,100,102], que podem render às empresas processos de produção mais rápidos e eficientes e produtos também mais eficientes [72].

Outros desafios se referem à adaptabilidade às condições do ambiente de produção (quebras ou paradas de máquinas, por exemplo), autonomia de uso, compatibilidade de dados e interoperabilidade de produtos e soluções, bem como interfaces flexíveis, que são necessárias para o desempenho de PSS, uma vez que possuem estruturas expandidas de entrega de funções [30,91]. Além disso, questões como confiabilidade, estabilidade e robustez de dados são importantes não apenas para o funcionamento das operações e dos produtos, mas também para o estabelecimento de segurança cibernética [99].

Embora os requisitos sejam múltiplos e complexos, existem tecnologias que podem ser empregadas para responder às demandas do DPI no contexto da I4.0. Aqui, tais tecnologias serão chamadas de “tecnologias habilitadoras”, e são apresentadas no Quadro 2.

A Internet das Coisas e os CPS estão entre as bases fundamentais da Indústria 4.0 [14,15,84], o que torna clara sua utilização no desenvolvimento de produtos inteligentes neste cenário, assim como computação em nuvem, que compõe o pilar da IoS.

TECNOLOGIAS HABILITADORAS	REFERÊNCIAS
Inteligência Artificial	[64,71]
<i>Big Data/Data analytics</i>	[64,65,71,99]
Computação em nuvem (soluções e plataformas)	[58,64,65,99]
CPS	[58,99]
Formatos de dados padronizados	[65]
IoT	[64,65,98,99]
M2M	[58,99]
Manufatura aditiva/Impressão 3D	[58,65]
Plataformas abertas de inovação	[65]
Robótica	[58]
Simulações avançadas	[97]
Sistemas VR/AR/MR	[64,65,97,99]

Quadro 2. Tecnologias habilitadoras para o desenvolvimento de produtos inteligentes no contexto da I4.0.

Para atender os requisitos referentes à comunicação de dados, como compatibilidade, por exemplo, utilizar formatos de dados padronizados e normas internacionais para comunicação e troca de dados permite comunicações mais robustas, embora existam diversas implicações a serem consideradas, assim como M2M [58,99]. Ainda em se tratando de dados, ferramentas de análise de *Big Data* e IA podem servir para identificação de requisitos mais claros por parte dos consumidores finais, a partir da identificação de padrões nos dados de uso dos produtos, por exemplo [71,72].

Além disso, plataformas abertas de inovação e sistemas VR, AR ou MR podem proporcionar maior integração do cliente no PDP e simulações que rendam resultados mais exatos [64,65,97,99]. Tecnologias como manufatura aditiva e robótica, associadas a simulações avançadas, podem contribuir para processos de desenvolvimento mais curtos e eficientes [97]. E se combinadas a sistemas VR, AR ou MR podem contribuir também para a integração do cliente no PDP, que a partir de sua participação nas etapas iniciais do PDP pode fornecer contribuições importantes para melhorias nos produtos [64,65,97,99].

Tanto os requisitos, que são parte da demanda, quanto as tecnologias habilitadoras, que são ferramentas de auxílio, correspondem ao cenário de mudanças que decorre da I4.0, e vêm ao encontro dos desafios que esse cenário

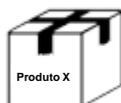
implica para as empresas. Embora no momento atual cumprir todos os requisitos seja virtualmente impossível [82], é importante que as empresas que pretendem alcançar a visão da I4.0 se preparem gradualmente, e isso começa na identificação do seu nível de capacidade tecnológica [101].

Para isso, ferramentas como a *Toolbox Industrie 4.0* podem servir de auxílio e referência para avaliação no que diz respeito aos produtos (*Toolbox Industrie 4.0 for Products*) e à produção (*Toolbox Industrie 4.0 for Production*). O objetivo da *Toolbox Industrie 4.0* não é ser uma estratégia rígida de implementação da I4.0, mas sim fornecer suporte às empresas que pretendem desenvolver novos produtos, processos, serviços e modelos de negócio nesse contexto, de modo que possam expandir suas capacidades e desenvolver seus potenciais de acordo com seus objetivos e visão próprios [101]. Em razão do escopo do trabalho, apenas a *Toolbox* referente aos produtos é apresentada aqui, na Figura 13.

A *Toolbox* pode ser visualizada como uma matriz. As linhas representam as camadas de aplicação das tecnologias relacionadas à I4.0 e seus desdobramentos; e as colunas representam os estágios tecnológicos até a implementação de modelos de negócio para a I4.0 [101]. A intersecção das linhas e colunas permite que a empresa se localize quanto à aplicação de tecnologia em seus produtos, e identifique quais os retornos possíveis em termos do modelo de negócio que se desenvolve a partir dos produtos que oferece. Quanto mais à direita da matriz, maior é o estágio de maturidade tecnológica em que se encontra a empresa e, portanto, mais próxima está da visão de modelos de negócio para a I4.0.

A aplicação da ferramenta é dividida em fases: preparação, análise, criação, avaliação e implementação, semelhante ao PDP, e indica os diferentes estágios tecnológicos para diferentes camadas de aplicação da I4.0. O princípio fundamental da ferramenta é que as fases sejam desenvolvidas em formato de *workshops*, e acompanhadas por um time de projeto responsável pela sua organização e fluxo [101].

Toolbox Industrie 4.0



Industrie 4.0

Produtos					
Integração de sensores e atuadores					
	Não utilização de sensores / atuadores	Sensores / atuadores são integrados	Leituras dos sensores são processadas pelo produto	Dados são avaliados para análise pelo produto	Produto responde baseado nos dados compilados
Comunicação / Conectividade					
	Produto não tem interfaces	Produto recebe e envia sinais I/O	Produto tem interfaces <i>field bus</i>	Produto tem interfaces de Ethernet industrial	Produto tem acesso à internet
Funcionalidades para armazenamento de dados e troca de informações					
	Sem funcionalidades	Possibilidade de identificação individual	Produto tem armazenamento passivo de dados	Produto com armznt. de dados para troca autônoma de informações	Dados e troca de informações como parte integral
Monitoramento					
	Sem monitoramento pelo produto	Detecção de falhas	Registro de condição de operação para propósitos de diagnóstico	Prognóstico para própria condição funcional	Medidas de controle adotadas independentemente
Serviços de TI relacionados ao produto					
	Sem serviços	Serviços via portais online	Execução dos serviços diretamente pelo produto	Serviços executados autonomamente	Integração completa em uma infraestrutura de serviços de TI
Modelas de negócio em torno do produto					
	Obtenção de lucros a partir da venda de produtos padronizados	Vendas e consultoria sobre o produto	Vendas, consultoria e adaptação do produto para atender especificações do cliente	Venda adicional de serviços relacionados ao produto	Venda de funções do produto

Figura 13: Toolbox Industrie 4.0 para Produtos (traduzido de Anderl e Fleischer [101]).

Na primeira fase – Preparação, dois pontos são essenciais: estabelecer uma compreensão comum entre os participantes sobre a I4.0, e apresentar conhecimento profundo sobre a posição de mercado da empresa. A fase de Análise visa identificar as competências expertises disponíveis na empresa em relação às tecnologias da I4.0, tanto para os produtos quanto para a produção. Os resultados desta fase servem de base para a geração de ideias e soluções na fase seguinte, Criação, que tem o objetivo de elaborar conceitos para novos produtos, serviços ou modelos de negócio [101].

Na fase de Avaliação, os conceitos elaborados anteriormente são julgados de acordo com os dois aspectos: potencial de mercado e recursos necessários para implementação. O objetivo desta fase é identificar qual o produto, serviço ou modelo de negócio com o maior potencial de mercado, menor necessidade de novos recursos e melhor utilização das capacidades da empresa. A última fase, Implementação, corresponde à elaboração de propostas de projetos concretos, para implementação prática, baseados nos resultados das fases anteriores [101].

Observando-se as camadas de aplicação e estágios tecnológicos representados na *Toolbox*, e os requisitos e tecnologias habilitadoras apresentados nos Quadros 1 e 2, pode-se inferir que o cerne do desenvolvimento de produtos inteligentes na I4.0 é o uso eficiente dos dados do produto, possível a partir da combinação eficiente das tecnologias disponíveis. Neste sentido, utilizar a fase de uso dos produtos inteligentes como uma das fontes para retroalimentação do PDP pode oferecer benefícios potenciais no contexto da I4.0 [72,102].

No entanto, é necessário pensar a utilização de dados de maneira integrativa, entre os diferentes níveis de hierarquia e funcionamento das empresas, considerando os diversos elementos que fazem parte de suas estruturas [103], ou seja, é necessário pensar em termos de arquitetura. Já existem modelos de referência para tal exercício, resultados de iniciativas similares à alemã *Industrie 4.0*. Atualmente, os modelos de referência líderes são três: o japonês IVRA (*Industrial Value Chain Reference Architecture* – arquitetura de referência da cadeia de valor industrial) [104]; o norte-americano IIRA (*Industrial Internet*

Reference Architecture – arquitetura de referência de internet industrial) [81]; e o alemão RAMI 4.0 (*Reference Architecture Model Industrie 4.0* – modelo de arquitetura de referência *Industrie 4.0*) [105], que foi utilizado como uma das bases do *framework* proposto.

O RAMI 4.0 consiste de três dimensões, representadas em um cubo: camadas dos componentes constituintes da empresa, níveis hierárquicos, e ciclo de vida do produto, representando o fluxo de valor. A Figura 14 a seguir apresenta o modelo, que se apoia em padrões internacionais para gestão do ciclo de vida do produto (IEC 62890), integração de sistemas de controle da empresa (IEC 62264) e controle de lotes em processos industriais (IEC 61512).

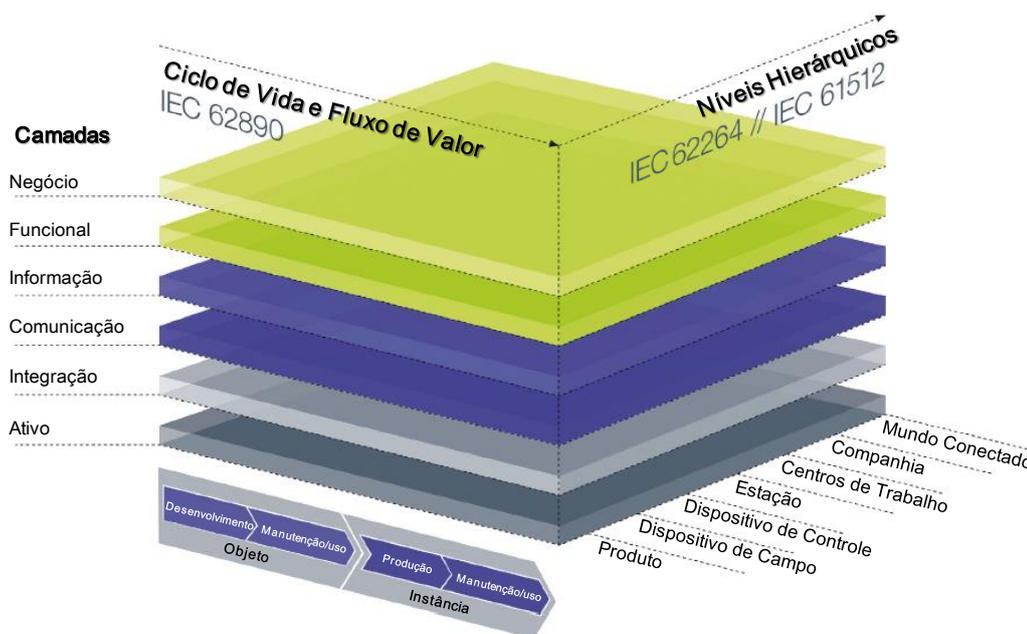


Figura 14: RAMI 4.0 (traduzido de Platform Industrie 4.0 [105]).

Os níveis hierárquicos representam as características funcionais dos componentes de cada camada, e são distinguidos em sete níveis. O nível mais baixo, Produto, inclui produtos que devido a suas habilidades de comunicação são elementos ativos no sistema de produção, fornecendo informações sobre suas propriedades e etapas de produção. O nível seguinte, Dispositivo de Campo, inclui sensores e atuadores inteligentes, que se comunicam com os

dispositivos de controle do nível acima. No nível de Estação, encontram-se máquinas de produção, robôs e veículos de logística inteligentes.

Os Centros de Trabalho são compostos pelas plantas de produção e departamentos dentro de uma companhia. O nível de Companhia representa a empresa como um todo, e o nível seguinte, Mundo Conectado, representa suas redes de colaboração externas, inclusos aqui parceiros de negócio, como fornecedores, e clientes finais [105,103].

As camadas do modelo de referência são seis. A primeira, Ativo, é uma representação da realidade física e inclui todos os recursos da companhia – máquinas, sensores, atuadores, documentações e pessoas. Esta camada inclui também objetos abstratos, como ideias, modelos e patentes que resultam das interações entre os recursos. A camada de Integração inclui todos os elementos associados a tecnologia da informação (TI), fornecendo informação referente aos ativos físicos por meio da geração de eventos para as camadas superiores, como geometrias, hardware e software, e executando o controle final dos processos técnicos.

A camada de Comunicação é responsável por habilitar a comunicação entre os diferentes sistemas baseada em protocolos de comunicação e formatos de dados uniformes, fornecendo também serviços para a camada de Integração. Na camada de Informação ocorre o pré-processamento dos eventos; os dados da camada anterior são verificados para integridade, resumidos em dados de maior qualidade e disponibilizados para as camadas superiores via interfaces.

A camada Funcional consiste do ambiente de execução dos serviços e aplicações, sendo, portanto, a plataforma de integração horizontal das diferentes funções e de criação das regras e lógica de aplicação. A última camada, de Negócio, representa os modelos de negócio e a lógica de processo resultante, fornecendo também estruturas legais e regulatórias que assegurem a integridade das funções ao longo da cadeia de valor [105,103].

A última dimensão do modelo representa o fluxo de valor por meio do ciclo de vida do produto, que é dividido em duas partes: Objeto e Instância. O Objeto representa a ideia do produto e o seu processo de desenvolvimento, até a construção do protótipo, e sua manutenção e uso se referem aos ciclos de retroalimentação provenientes da fase de vendas, quando o produto volta a ser objeto e informações sobre ele podem ser obtidas e reportadas ao fabricante, implicando em mudanças para ciclos futuros [105]. A Instância se refere a produção do produto após finalização dos testes necessários. Assim, cada produto pronto, manufaturado, representa uma instanciação do objeto [105,103].

O modelo tridimensional do RAMI 4.0 permite às empresas que visam implementar os conceitos de I4.0 se localizarem quanto às suas necessidades, prioridades e recursos disponíveis, além de servir de guia para a identificação de tecnologias que contribuam para o alcance de seus objetivos, a partir da estratificação em três dimensões da empresa. O modelo também contribui para a visualização da integração vertical e horizontal da cadeia de valor, em razão do modo como é apresentado.

Em conjunto com ferramentas como a *Toolbox 4.0*, e tendo identificados os requisitos para o DP em um contexto de mudanças complexas como a 4ª Revolução Industrial, as empresas têm caminhos e oportunidades a explorar em um ambiente que parece promissor para o desenvolvimento tecnológico e de novos modelos de negócio [14,15].

2.3 PRODUTOS INTELIGENTES E SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO

Produtos Inteligentes e Sistemas Produto-Serviço são caracterizados por suas diversas funções e por atuarem como soluções, fazendo interface com serviços para desempenharem suas funções. As seções a seguir detalham suas características e defendem a similaridade entre os dois conceitos.

2.3.1 PRODUTOS INTELIGENTES

Produtos Inteligentes (PI) podem ser definidos como componentes, produtos ou sistemas físico-cibernéticos (CPS) capazes de se comunicar e interagir com seus ambientes e com outros componentes, produtos ou sistemas inteligentes por meio de serviços baseados em internet [30,31,64,66].

Os PI caracterizam a etapa atual de evolução dos produtos industriais tradicionais [30]. Com a evolução das TICs, a miniaturização e redução dos custos de produção dos componentes embarcados, como microchips e microcontroladores, e o avanço de softwares embarcados em produtos mecatrônicos, as capacidades dos produtos tradicionais também se expandiram. O resultado são produtos que entregam diversas funcionalidades em conjunto, capazes de se comunicar entre si, utilizando diferentes unidades e canais de comunicação, e de interagir com o ambiente em que estão inseridos [30,31,66].

Assim, a combinação de CPS e serviços baseados em internet conferiu aos produtos as seguintes características: tornou-os inteligentes, pois sua capacidade de processamento permite a tomada de decisões, de acordo com seu propósito e funções [33,34]; ágeis, pois têm um rápido tempo de resposta, em tempo real [31,66]; flexíveis, pois além de entregarem diversas funções são altamente customizáveis [36]; e conectados, uma vez que possuem acesso à internet [30].

Além dessas, outras características contribuem para a singularidade dos PI: percepção de contexto, alta capacidade de armazenamento de dados, elevado grau de autonomia, capacidades de autoaprendizagem, reconfiguração dinâmica durante todo o tempo de vida, facilidade de uso e foco no usuário [30,64]. Os PI ultrapassam os limites entre o real e o virtual, e, no contexto da I4.0, tais características são importantes para atender às demandas de diferentes clientes e oferecer suporte para os desafios, entre eles a customização em massa, a necessidade de funções flexíveis, e os ciclos de desenvolvimento reduzidos [30,36,64].

Adicionalmente, os componentes inteligentes podem oferecer informações importantes durante o PDP. A capacidade de armazenamento e comunicação de dados dos componentes permite que informações como propriedades do componente, status atual e próximas etapas do processo de produção sejam coletadas e utilizadas, oferecendo oportunidades de otimização em processos de manufatura e montagem e de customização de produtos finais [32,36,65]. Durante a fase de uso dos produtos, dados podem ser comunicados sobre o desempenho e o comportamento do produto, indicando suas condições e defeitos ou falhas que podem ser corrigidos por meio de reconfigurações, além de serem eliminados das próximas gerações do produto a partir de correções no projeto [31,71].

Em termos de aplicações, os PI habilitam o desenvolvimento de soluções integradas transdisciplinares e transeitoriais, que se estendem a todos os setores industriais, desde a indústria de mídia e entretenimento, a exemplo dos *smartphones*, passando pelos setores de manufatura, como é o caso dos componentes inteligentes [32,71], mobilidade, logística, energia, até o setor de saúde [15,19,30], em que se encontram grande parte das soluções e produtos inteligentes direcionadas ao público idoso, a exemplo dos produtos vestíveis (*wearables*) e das soluções domésticas (*domotics*) [1,19].

Nesta perspectiva, considerando as entregas dos PI, isto é, as funcionalidades do produto expandidas por serviços conectados à internet, é possível traçar um paralelo com outro conceito, o de Sistemas Produto-Serviço (PSS). Embora não seja um conceito novo, tendo sido introduzido pela primeira vez em 1999 [106], descreve um conjunto formado por um ou mais produtos e serviços associados, que podem ser oferecidos por uma única empresa ou por um grupo de empresas atuando em conjunto. A composição desta “nova classe de produtos”, por assim dizer, não tinha o objetivo apenas de concretizar necessidades de clientes de formas mais abrangentes, mas também de reduzir o impacto ambiental causado pela produção e consumo de produtos tradicionais [106].

O conceito evoluiu ao longo do tempo, adquirindo definições que contemplam aspectos para além dos tipos de entregas aos clientes finais, sejam eles

consumidores individuais (B2C – *business to consumer*) ou outros negócios (B2B – *business to business*). As definições conceituais mais recentes abordam os PSS do ponto de vista dos modelos de negócio, ainda como um conjunto de produtos e serviços integrados, mas que entrega valor ao cliente e altera o fluxo de valor das empresas que os oferecem [51,91,92,107]. Portanto, PSS envolvem aspectos econômicos estratégicos, além dos aspectos de satisfação do cliente e redução do impacto ambiental iniciais [51,106].

Os PSS fazem parte de um processo chamado de servitização, que pode ser considerado como uma inovação de modelos de negócio, uma vez que cria novas proposições na cadeia de valor a partir da inclusão de serviços aos produtos. Para companhias que pretendem se manter competitivas no mercado e compreendem que inovação por meio apenas da diferenciação, ou customização, de produtos não é mais suficiente, o processo de servitização e os modelos de negócio baseados em PSS são alternativas estrategicamente interessantes, embora envolvam questões organizacionais complexas, como mudança da estrutura organizacional, reorganização das operações e da cadeia de valor [51,91,95,107].

Ainda assim, no atual cenário global, é importante que as empresas se diferenciem não apenas em termos de variedade e customização, mas também pela lógica de negócio que oferecem, se apoiando em aspectos de eficiência de processos e sustentabilidade [91,107]. Portanto, os PSS são o resultado do processo de servitização, e podem ser compreendidos como modelos de negócio em si mesmos. A literatura apresenta quatro classificações para os modelos de negócio baseados em PSS, que se diferenciam pela ênfase dada aos componentes do sistema (produto x serviço), pela propriedade sobre o produto, e pelas características da entrega. As quatro classificações são apresentadas a seguir [51,92,107]:

- PSS orientado ao produto (*product-oriented*): o cliente adquire um produto físico, tangível, e utiliza os serviços que o acompanham após a compra, durante a fase de uso. Empresas que oferecem serviços de

manutenção e consultoria associados aos produtos se enquadram nesta categoria, em que o lucro provém essencialmente da venda do produto [51,107];

- PSS orientado ao uso (*use-oriented*): nesta categoria, o produto permanece sob propriedade da empresa, que vende o uso do produto ao cliente, assim como os serviços que o acompanham, na forma de aluguel ou *leasing* [51,107];
- PSS orientado ao resultado (*result-oriented*): neste modelo de negócio, comercializa-se uma competência ou resultado. A companhia mantém a propriedade sobre o produto, que pode ser tangível ou intangível, e oferece um mix de serviços a ele associados de acordo com as necessidades do cliente, que contrata os resultados na forma de soluções integradas ou projetos [51,107];
- PSS orientado a plataforma (*platform-oriented*): esta categoria, aparentemente recém identificada pelos autores em [92], descreve um modelo de negócio que oferece soluções personalizadas a partir de plataformas virtuais que promovem interações entre os *stakeholders* do sistema. Assim, a propriedade sobre o produto, que neste caso é intangível, recai sobre o prestador de serviço em casos associados a aluguel e *leasing*. Segundo os autores, este tipo de modelo é fortemente relacionado a TI, uma vez que se apoia em tecnologias como a internet, e age como intermediário na cadeia de valor, conectando atividades como uma nova forma de serviço. Outras características importantes deste tipo de PSS são o processo de criação colaborativo, devido às intensas interações entre os *stakeholders*, e a forma de pagamento, baseada em publicidade, comissões e taxas de transação; o cliente paga pela conveniência [92].

Assim, considerando tais conceitos e características associados aos PSS e PI, pode-se afirmar que os PI configuram um tipo de PSS, e, portanto, habilitam

modelos de negócio a partir de suas entregas. No entanto, modelos de negócio não surgem simplesmente a partir da existência de produtos inteligentes. Como se pode observar no modelo de arquitetura de referência para implementação da I4.0 (RAMI 4.0), apresentado na seção anterior, o modelo de negócio é o resultado de interações complexas entre componentes e camadas de uma companhia em diferentes níveis hierárquicos, durante todo o ciclo de vida dos produtos de seu portfólio, resultando em processos e lógica de negócio que correspondem a objetivos estratégicos estabelecidos [103].

Nesta rede de interações complexas, o ciclo de vida dos produtos é o fluxo mestre de que derivam as atividades e decisões a serem tomadas, portanto, é o direcionador do fluxo de valor na cadeia industrial [56,71,103]. A partir desta percepção, compreender as particularidades do ciclo de vida dos PSS se faz importante para compreender como se estruturam os modelos de negócio organizados ao redor de PI, principalmente no que se refere a gestão de dados, e como o processo de desenvolvimento de produtos inteligentes (PDPI) pode ser adaptado no contexto da I4.0.

Em revisão sistemática da literatura [69], Cavalcante e Gzara analisaram em profundidade seis modelos de ciclo de vida dos PSS [108,109,110,74,111,70]. Tendo como base os ciclos de vida do produto, dos serviços e dos PSS, a classificação dos PSS, a gestão de dados e, particularmente, o uso de informações do ciclo de vida para melhorar processos de engenharia e entrega, as autoras investigaram similaridades e diferenças para cada fase do ciclo, na intenção de propor um modelo único que atenda às demandas dos processos de desenvolvimento dos produtos e dos serviços envolvidos no sistema.

A revisão identificou as seguintes lacunas nos modelos analisados: centralização no produto e negligência do ciclo de vida dos serviços; falta de informações sobre o ciclo de vida dos serviços; ausência de detalhes na descrição das atividades de cada estágio dos ciclos de desenvolvimento do produto e dos serviços; e dificuldade de integrar produto e serviço em uma solução holística [69]. A análise das autoras sugere que tais lacunas promovem um desalinhamento entre os processos de desenvolvimento, devido a fluxos de informação divergentes

durante o desenvolvimento dos componentes do sistema, sugerindo que a gestão de dados em tais modelos não ocorre de forma integrada [69].

Partindo da perspectiva de macrofases do ciclo de vida (BOL, MOL, EOL) e tendo identificado as similaridades entre os modelos analisados, Cavalcante e Gzara propuseram o modelo de ciclo de vida de PSS apresentado na Figura 15. Embora seja um modelo geral e não informe as tarefas específicas de cada fase, propõe um direcionamento sobre o que contempla cada estágio do ciclo de vida, e leva em consideração o desenvolvimento conjunto do produto e dos serviços componentes do PSS.

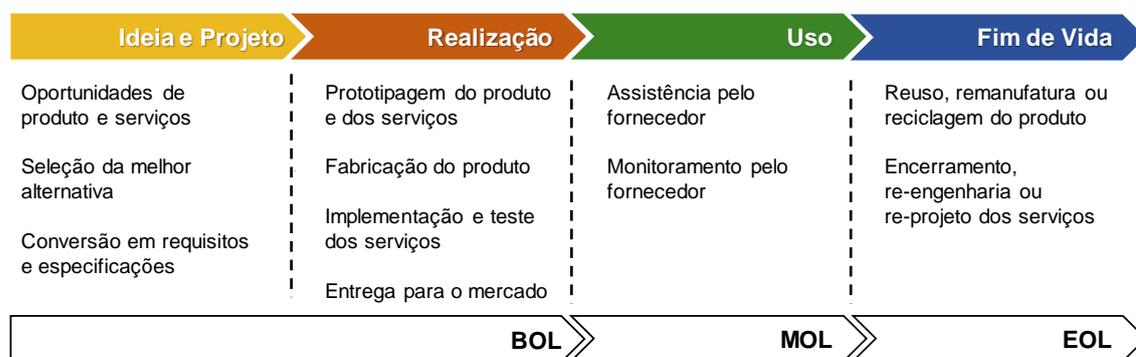


Figura 15: Modelo do ciclo de vida dos PSS (traduzido e adaptado de Cavalcante e Gzara [69]).

O objetivo é que as atividades de cada estágio sejam desenvolvidas de maneira integrada e iterativa, e não em paralelo, alinhando os ciclos de vida de ambos os componentes, especialmente nos estágios de “Ideia e Projeto” e “Realização” a partir de fluxos de informação consistentes entre os envolvidos. No entanto, esse nível de integração entre as atividades de desenvolvimento depende do tipo de PSS em questão, ocorrendo apenas em PSS orientados ao uso ou ao resultado, uma vez que PSS orientados ao produto têm seus ciclos de vida estabelecidos em função do produto [69].

Assim, o desenvolvimento de PSS que incluam produtos inteligentes se torna ainda mais complexo. Como já mencionado anteriormente, PI são compostos por CPS, portanto, possuem capacidades de comunicação e processamento de dados, e tomada de decisão [30,31,66]. Ao desenvolver um PSS orientado ao

produto, categoria em que podem ser incluídos os PI, têm-se processos de desenvolvimento altamente complexos devido à complexidade do próprio produto.

Sistemas devem ser decompostos em componentes, e cada componente, assim como suas interações, devem ser planejados em relação ao usuário final. Além disso, as possibilidades de uso do produto devem ser previstas, bem como situações de conflito e alternativas de resolução. Para o desenvolvimento dos serviços que acompanharão este produto no sistema, a lógica é a mesma, porém, ao passo que produtos são decompostos a partir da ideia inicial, serviços são compostos [108]. A Figura 16 ilustra essa concepção do ponto de vista da implementação do processo de desenvolvimento do PSS.

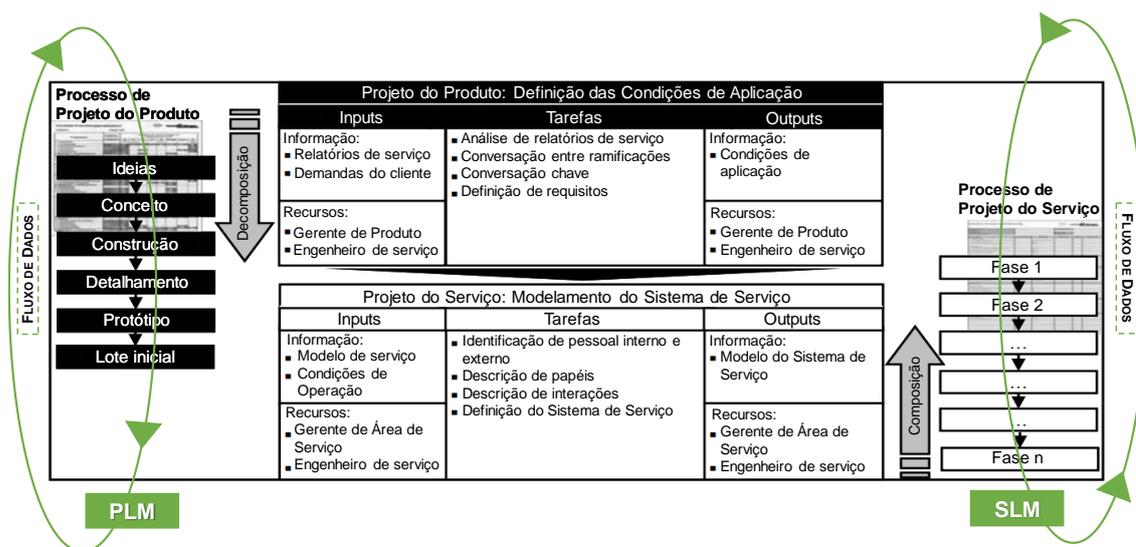


Figura 16: Implementação sistemática de um processo de projeto de PSS (traduzido de Aurich et al [108] e acrescido de conceitos de Wiesner et al [109]).

O projeto do produto segue as etapas do PDP e tem seus dados gerenciados por um sistema PLM, que promove a integração de diferentes informações e sistemas ao longo do ciclo, dentro de uma perspectiva de desenvolvimento sistemático, que é ao mesmo tempo sequencial e iterativo. Na outra extremidade, encontra-se o processo de criação do serviço, composto a partir das características do produto e do PSS a ser oferecido. A gestão do ciclo de vida do serviço (SLM – *Service Lifecycle Management*) é realizada sob a mesma ótica

do PLM, promovendo a integração entre as três camadas constituintes do ciclo: mercado, negócio (empresa) e parceiros [109].

As interações entre o PLM e o SLM levam à definição das condições de aplicação do produto no sistema e ao modelamento do serviço, o que resultará no modelo do sistema de serviço a ser implementado. No entanto, embora ilustre a complexidade do processo de desenvolvimento, ainda este modelo não contempla a inclusão da fase de uso dos PI, que, como discutido anteriormente, pode fornecer inputs para as fases de desenvolvimento de produtos futuros ou de novas gerações de produtos.

Considerando PI como um tipo de PSS orientado ao produto, isto é, um modelo de negócio que se constrói a partir da aquisição de um produto pelo cliente e da utilização de serviços associados, que podem ser oferecidos de diferentes formas, é necessário ainda considerar que os serviços associados precisam ser tão customizáveis quanto os próprios produtos. Serviços podem ser customizados a partir de diferentes módulos, que podem ser oferecidos de acordo com o contexto de utilização do cliente final. Assim, podem ser caracterizados como modelos de negócio B2B, quando soluções são oferecidas a outros modelos de negócio, como instituições de cuidado à saúde ou de longa permanência, ou B2C, quando o cliente final é o próprio usuário [93].

2.3.2 SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO PARA IDOSOS

Como exemplo dos conceitos mencionados na seção anterior, têm-se os projetos do programa europeu de desenvolvimento tecnológico para o envelhecimento AAL (*Active and Assisted Living*). O Programa, que tem por objetivo desenvolver soluções tecnológicas orientadas ao envelhecimento da população e fortalecer iniciativas de pequenas e médias empresas, iniciou-se em 2008 e já financiou mais de 220 projetos em consórcios entre institutos de pesquisa, universidades e empresas [112].

A partir de publicações em que os casos de sucesso do programa foram apresentados [113,114], e de investigações posteriores sobre cada um, identificaram-se as características de cada solução, que são compostas de PI associados a serviços, portanto, são PSS. Também foram analisadas as semelhanças e diferenças quanto aos os seus processos de desenvolvimento, em especial no que se refere aos métodos e ferramentas utilizados nas fases iniciais do PDP. A seguir, são apresentados os casos escolhidos para composição do trabalho. Os critérios e métodos de seleção são descritos no Capítulo 3.

WALKACTIVE

O primeiro caso do Programa AAL não apresentou literatura científica a seu respeito, no entanto, documentos oficiais foram recuperados e utilizados para análise, em especial o relatório final [115]. O projeto, chamado *iWalkActive*, teve duração de 2012 a 2015, e desenvolveu um andador inteligente (*Walker*) para ambientes externos, em conjunto com outros andadores de menor porte. Estes, a despeito do próprio *Walker*, ainda não disponível comercialmente, passaram a ser comercializados em 2015 por uma das empresas parceiras, a sueca *Trionic*, que também forneceu o produto base para o projeto (informações em: <https://www.trionic.info/pt/>).

O projeto foi coordenado pelo instituto *iHomeLab*, da Universidade de Ciências Aplicadas e Artes de Lucerna (Suíça), em um consórcio com outros sete parceiros, entre eles a empresa que atualmente comercializa a solução (*Trionic*). Embora tenha iniciado a partir de um produto já existente, o andador *Veloped* para ambientes internos, acessórios adicionais foram desenvolvidos, e ao final do projeto, além dos acessórios, uma nova linha de andadores passou a ser comercializada, resultado de requisitos dos usuários durante o processo. Componentes para customização dos andadores também foram desenvolvidos.

O *Walker* integra diferentes componentes de hardware e software, permitindo que o usuário se desloque em ambientes domésticos e externos com segurança,

pois conta com um sistema de serviços de apoio ao usuário conectado à internet. O sistema conta com a integração de aplicativos, que são instalados no dispositivo *mobile*, por meio de uma plataforma de *middleware* desenvolvida pelo projeto. Em casos de emergência, o sistema aciona um serviço de alerta que oferece três tipos de contato: ligação para um número específico, mensagem com informações detalhadas sobre a localização do usuário, incluindo link com a localização, ou solicitação para um centro de emergência. A Figura 17 ilustra o produto.



Figura 17: Andador Walker (extraído de D1.6 Final Project Report [115]).

Tendo como base o andador *Veloped*, o projeto promoveu os seguintes desenvolvimentos:

- Sistema de motorização (*e-Drive*), desenvolvido como uma extensão para o andador, com conexão USB para troca de dados com dispositivo *mobile* inteligente (celular ou *tablet*), além de função de sincronização de direção das rodas;
- Arquitetura de integração entre os serviços, que são baseados em internet;
- Componentes (manopla de freio, sistema de acoplamento de freios e motorização para as rodas, armazenamento da bateria, suporte para dispositivos *mobile* – celular ou *tablet*);

- Acessórios (suporte para bengala, suporte para garrafa de água; capa de chuva para a bateria, tipos diferentes de pneus e manoplas);
- Três novos modelos do andador.

O envolvimento do usuário durante este projeto ocorreu com maior intensidade nas fases iniciais do PDP, principalmente na fase de planejamento do produto, quando os requisitos dos clientes foram capturados e agrupados por meio da aplicação de ferramentas de Projeto Centrado no Usuário (*User-Centered Design* – UCD). O UCD pode ser compreendido de duas formas na área do *design*: como um processo, que envolve diversos métodos e ferramentas, ou como uma filosofia, que visa envolver o usuário final no processo de desenvolvimento de um produto [116].

Dentro da filosofia de UCD, encontram-se abordagens que podem ser consideradas como filosofias derivadas. O *Design Universal*, que contempla princípios para o projeto de produtos e ambientes acessíveis [77]; e o *Design Inclusivo*, que aborda o projeto de produtos do ponto de vista das habilidades, no intuito de aumentar a segurança e atuação do indivíduo [96].

Ainda que existam diferentes abordagens, os princípios centrais do UCD contemplam as necessidades de acessibilidade, diferentes habilidades e segurança de uso para os produtos, oferecendo vantagens interessantes no que diz respeito ao PDP, especialmente para pessoas idosas [96]. Por essa razão, acredita-se que tais abordagens foram empregadas nos projetos do Programa AAL, em diferentes etapas do processo de desenvolvimento.

Para captação dos requisitos dos usuários, o projeto se utilizou dos seguintes instrumentos UCD:

- Grupos focais com usuários finais (idosos com dificuldades de mobilidade), usuários finais em potencial (idosos que possam desenvolver dificuldades de mobilidade), familiares e profissionais de instituições de saúde;

- *Survey* online com usuários finais;
- Método Delphi, com especialistas da área da saúde e especialistas em desenvolvimento de andadores;
- Criação de personas (método que se utiliza da criação de personagens representativos das categorias de usuários, definidos a partir dos requisitos coletados). A partir da categorização dos usuários, os requisitos são traduzidos em “histórias dos usuários”, de modo a ilustrar os possíveis contextos de uso do produto.

Os usuários também foram intensamente envolvidos na fase de avaliação dos protótipos, que contou com testes de laboratório e de campo. Os testes de laboratório ocorreram na universidade coordenadora e em cenários controlados (instituição de cuidados em saúde). Os testes de campo ocorreram em três diferentes países (Suíça, Áustria e Suécia), e tinham o objetivo de testar o sistema de navegação para áreas externas. Questionários foram empregados como instrumentos de apoio na captação de *feedback* dos usuários, avaliando os seguintes quesitos: aceitação dos usuários, desempenho do sistema *e-Drive* e dos componentes em diferentes terrenos, e possíveis adaptações futuras. Os resultados obtidos foram utilizados em iterações para otimização do produto.

CONNECTED VITALITY: YOOOM

O projeto *Connected Vitality*, deu origem ao *Yooom*, atualmente comercializado pela empresa holandesa de mesmo nome (informações em: <http://www.connectedvitality.eu> e <https://www.yoom.nl>). Trata-se de um sistema de telepresença para diversos tipos de conectividade social, especialmente direcionados a usuários idosos que passam a maior parte do tempo em suas residências, seja por dificuldades de mobilidade ou por outras questões, como distância entre familiares. Com duração de 2010 a 2013, o projeto *Connected Vitality* envolveu um consórcio extenso entre universidades, empresas e

organizações sociais de três países: Holanda, Áustria e Espanha, sendo coordenado pela empresa holandesa *PresenceDisplays*.

Apenas dois artigos de literatura científica foram encontrados, datados de 2011 [117] e 2013 [118], respectivamente. Outros documentos oficiais, disponíveis online, também foram recuperados [119,120]. O primeiro artigo apresenta conceitos sobre presença social apoiada por TICs e descreve o processo de investigação e captação de requisitos dos usuários para sistemas computacionais online. Como definido pelos autores, o conceito de presença social refere-se ao sentimento de estar na presença física de outro indivíduo a partir do uso de ambientes virtuais, isto é, utilizando comunicação mediada por TICs [117]. A investigação de requisitos se deu a partir do uso de métodos qualitativos e quantitativos e ferramentas baseadas em UCD, sendo elas:

- *Surveys* online e offline para exploração da relação dos usuários com comunicação a distância e tecnologias envolvidas;
- Entrevistas com os usuários finais (idosos que permanecem em suas residências a maior parte do tempo, em função de dificuldades de mobilidade diversas) acerca de atividades significativas em suas vidas, preferências e aversões em relação ao uso de plataformas de comunicação online;
- Entrevistas com especialistas em cuidados para idosos (enfermeiras, profissionais de Serviço Social e gestores);
- *Workshops* para aquisição de conhecimento sobre atividades significativas na vida dos idosos e a motivação para tais atividades.

O projeto desenvolveu um sistema composto por um dispositivo audiovisual (telas associadas a câmeras), associado a três formatos de plataforma de comunicação (*Meet*, *Club* e *Classroom*) [118]. Um suporte para *tablets*, o *YoooM Light*, também foi desenvolvido. O formato *Meet* direciona-se para interações do dia-a-dia. O formato *Club* foi desenvolvido para interações lúdicas em grupo

(jogos grupais), e o formato *Classroom* foi desenvolvido para situações de aprendizagem [118,119]. Uma interface também foi desenvolvida, em que o usuário pode selecionar o formato de comunicação que deseja realizar. A Figura 18 a seguir apresenta os dispositivos desenvolvidos e ilustra os formatos de comunicação.

Os testes de campo foram realizados nos três países membros do consórcio do projeto, e contaram com diferentes métodos de avaliação, entre eles entrevistas, questionários, *workshops* e diários para registros das atividades dos usuários. Os problemas identificados durante os testes eram corrigidos e reavaliados, em ciclos iterativos, que aconteceram durante todo o processo de desenvolvimento [121,122,123].



Figura 18: Dispositivos desenvolvidos pelo projeto Connected Vitality – YooM (extraído de D9.7 Final Report CVN Project [119]).

O envolvimento dos usuários neste projeto se deu forma mais intensa em comparação ao projeto *iWalkActive*. Os usuários participaram como contribuintes ativos do processo não apenas durante a fase de planejamento, para identificação dos requisitos, mas também durante a fase de projeto, quando foram desenvolvidos os conceitos do sistema, que foram avaliados e otimizados em iterações. A fase de avaliação dos protótipos também ocorreu em ciclos iterativos de otimizações, assim como os testes de campo.

RELAXEDCARE

O projeto *RelaxedCare*, com duração de 2013 a 2016, desenvolveu um sistema de sensores para monitoramento do usuário em conjunto com um aplicativo para

mobile e serviços associados, com o objetivo de auxiliar cuidadores informais. O projeto foi coordenado pelo Instituto Austríaco de Tecnologia GmbH, em parceria com instituições de outros três países (Eslovênia, Suíça e Espanha). Embora tenha sido apresentado como um caso de sucesso do Programa AAL [114], a solução ainda não é comercializada.

O protótipo do *RelaxedCare System* é apresentado na Figura 19. É composto por um sistema de sensores de monitoramento de atividades, sinais vitais e padrões de comportamento, além de funções de comunicação, que podem ser instalados na residência do usuário (representados pelas funções e conectores) e se conectam ao dispositivo central. O dispositivo central (cubo) conta com um leitor NFC, para conexão por proximidade com outros dispositivos, e centraliza os dados registrados pelos sensores em um servidor em nuvem, emitindo alertas sobre o usuário em casos de anormalidades nos padrões de dados.

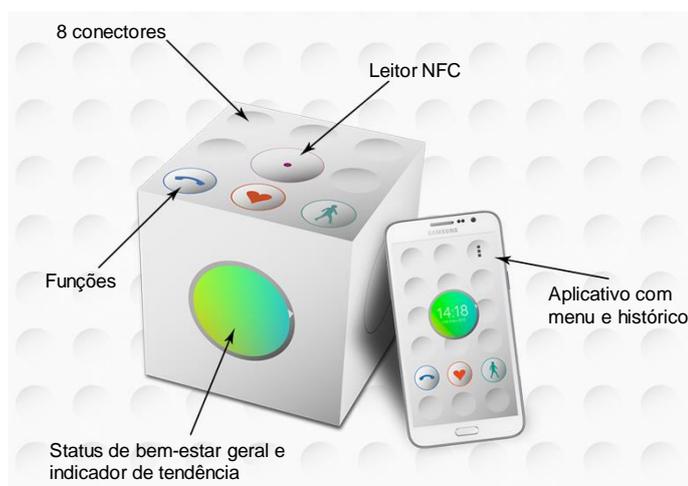


Figura 19: Protótipo RelaxedCare System (extraído de RelaxedCare: The Prototype [124]).

O cubo é conectado a um aplicativo para *mobile*, em que informações detalhadas sobre o status do usuário podem ser verificadas. É equipado com visores coloridos que alteram sua cor conforme o status do usuário, indicando condições de normalidade ou anormalidade e alertando o cuidador. Além dessas funções, o sistema permite a comunicação entre usuário e cuidador fora de situações de

emergência, por meio do envio de mensagens de texto via aplicativo [125,126,127,128].

Três publicações científicas relacionadas ao projeto foram encontradas [125,126,127], além de diversos relatórios e documentos oficiais (ex. [128,129,130,131]). Conforme a documentação, os usuários participaram intensamente durante o processo de desenvolvimento, desde a captura dos requisitos até o projeto final do dispositivo central e dos serviços associados, participando também das iterações para resolução de problemas de projeto. Também baseados em UCD, os métodos utilizados para envolvimento do usuário no processo foram:

- Mostre e conte, que consiste em apresentar um artefato a um determinado público e discorrer sobre ele;
- Sondas culturais, que consistem de conjuntos de materiais (kits de *design*) entregues aos participantes para o desempenho de tarefas evocativas. É um método utilizado para identificar valores culturais, atitudes, comportamentos, preferências e experiências dos participantes, de modo a fornecer *insights* para o projeto do produto. Deve ser utilizado em conjunto com outros métodos para coleta de informações que sejam relevantes para o PDP;
- *Workshops*;
- Questionários;
- Grupos focais;
- Inquérito contextual, que se trata de uma espécie de entrevista em que o pesquisador se desloca até o ambiente do usuário e o observa em sua rotina.

Para os testes, conduzidos em laboratório, entrevistas estruturadas foram realizadas em conjunto com *usability walkthrough tests* (testes de usabilidade passo a passo, em tradução livre), método qualitativo que avalia a usabilidade do produto pelo usuário, que segue instruções do pesquisador durante o processo [127].

Embora os documentos analisados sejam extensos e indiquem a data de encerramento do projeto, informações sobre seu lançamento e disponibilidade no mercado foram inconclusivas. Informações resultantes da etapa de Verificação (Capítulo 5) demonstraram que o produto não é comercializado atualmente. Ainda assim, manteve-se o caso para avaliação em função das informações que os relatórios apresentam sobre o processo de desenvolvimento.

FEARLESS

O projeto *FEARLESS* (*Fear Elimination As Resolution of Elderly's Substantial Sorrows* – eliminação do medo como resolução para tristezas substanciais dos idosos, em tradução livre), teve o maior número de publicações científicas encontradas, nove no total [132,133,134,135,136,137,138,139,140]. Diferente dos casos anteriores, documentos oficiais não foram recuperados.

O projeto, iniciado em 2011 e encerrado em 2014, foi desenvolvido por um consórcio entre universidades, empresas e organizações sociais de quatro países – Áustria, Alemanha, Itália e Espanha, e coordenado pela empresa austríaca *CogVis GmbH*, que atualmente comercializa a solução nos modelos B2C, para consumidores individuais, e B2B, para instituições de cuidado em saúde (informações em: <https://www.cogvis.at/index.html>).

A solução desenvolvida, homônima ao projeto, consiste de um sistema de monitoramento residencial para detecção de riscos, entre eles quedas, incêndios e padrões de atividades. Sem comprometimento da privacidade do usuário, a solução conta com um sistema de sensores visuais passivos orientados por

pontos (sensores de profundidade), combinados a detecção acústica de eventos e lógica difusa (*fuzzy logic*) para determinação de riscos [140].

O sistema de sensores é conectado a uma plataforma de *middleware* (*Telematics Platform*) que funciona como um servidor, habilitando diferentes funções e serviços que podem ser integrados como módulos pré-instalados e reconfiguráveis. Entre os serviços integrados estão *call centers* de emergência e alertas para indivíduos específicos (familiares, cuidadores informais ou profissionais da saúde), além de um aplicativo para *mobile*. Uma característica interessante do projeto é o modelo de negócio, que inclui consórcios com profissionais eletricitistas para instalação e manutenção dos sistemas [135,140].

O processo global de desenvolvimento do *FEARLESS* foi ilustrado em uma das publicações [140], e é apresentado a seguir, na Figura 20.

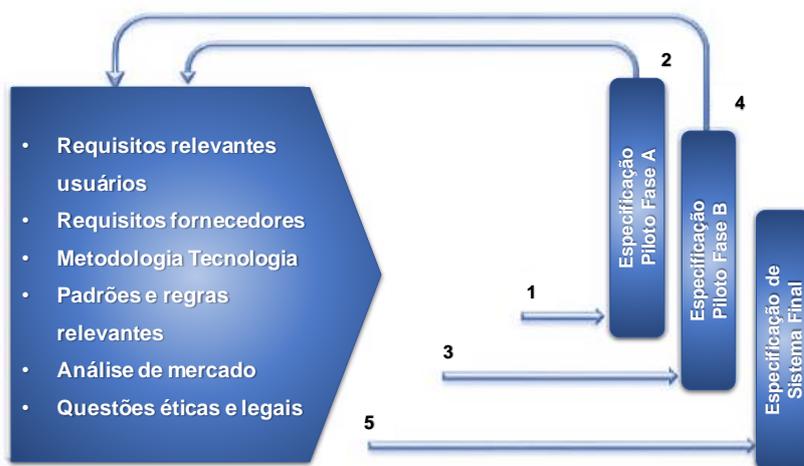


Figura 20: Processo iterativo até o Piloto Final (traduzido de Berndt et al [140]).

Os números correspondem às etapas do processo de desenvolvimento da solução final. A primeira etapa, Fase A, consiste da captura e análise dos requisitos dos usuários e fornecedores e implementação do primeiro protótipo (protótipo A), que nas etapas 2 e 3, Fase B, é avaliado e atualizado, gerando o protótipo otimizado B. As etapas 4 e 5 seguem as mesmas atividades, de avaliação e modificações regulares por meio de *feedbacks* no processo, gerando o sistema final otimizado, que é modularizado, portanto, customizável, adaptável e compatível com outras soluções, como sistemas de alarme e detecção de

vazamentos de gás. Os usuários primários (idosos que adotariam o sistema) e secundários (organizações de cuidado, familiares) foram envolvidos desde as primeiras etapas do processo de desenvolvimento, por meio de métodos de pesquisa baseados em UCD, e de avaliações e prototipagens regulares, isto é, em ciclos iterativos de otimização. Os métodos utilizados no projeto *FEARLESS* foram:

- *Balanced scorecard*, para definição das perspectivas e interesses conflitantes dos *stakeholders*, além de definição de medidas e indicadores que os refletissem;
- *Surveys* multiculturais para captura dos requisitos (necessidades e expectativas) dos usuários primários e secundários em relação ao sistema. Os requisitos foram redefinidos regularmente, em ciclos iterativos, e também ao longo dos testes de campo pilotos;
- Entrevistas semiestruturadas para verificação da conformidade do sistema com os requisitos;
- Modelo de Avaliação do Impacto Tecnológico (TIAMo – *Technological Impact Assessment Model*), desenvolvido por uma das universidades parceiras do projeto para hierarquização das perspectivas e expectativas dos usuários, primários e secundários, em relação a cadeia de valor. Os resultados da utilização deste instrumento revelaram os quatro *trade-offs* a serem tratados pelo projeto: (1) acessibilidade econômica/desempenho técnico; (2) necessidade de controle/automação; (3) segurança/privacidade; (4) necessidades sociais/intensidade de pessoal [134].

Os quatro casos analisados refletem os princípios do Programa AAL: desenvolver tecnologias orientadas ao mercado que permitam melhor qualidade de vida para idosos, mantendo-os tão independentes quanto possível [112]. Em termos de PDP, são similares quanto aos métodos e ferramentas empregados,

baseados em UCD, e quanto aos desenvolvimentos tecnológicos associados e à integração com serviços já existentes, resultando em modelos de negócio factíveis a partir de produtos coesos.

De acordo com Abras e colaboradores [116], essa é a principal vantagem de se utilizar a abordagem UCD para envolver os usuários no PDP, o resultado final. São produtos coesos, mais eficientes e seguros, integrados a serviços úteis e desejados pelos usuários, isto é, produtos que correspondem às expectativas de consumo do cliente. E pelo fato de incluírem a perspectiva do usuário durante seu desenvolvimento, cria-se uma noção de propriedade sobre o produto, que influencia a aceitação de mercado.

No entanto, apesar de a população idosa apresentar demandas de consumo e estilos de vida variados, historicamente, os produtos têm sido desenvolvidos com foco para as fragilidades, carregando-os com um estigma que impede seu uso e aceitação e frustra expectativas de consumo que poderiam ser exploradas positivamente [94,116,117]. Alterar essa perspectiva sobre os produtos para idosos, em especial os PI associados a serviços (ou PSS), pode resultar de alterações no seu processo de desenvolvimento.

Assim, o desenvolvimento de PI para idosos no contexto atual representa, para além de uma necessidade de mercado, oportunidades para explorar modelos de negócio que caminham em conjunto com o desenvolvimento tecnológico. O PDPI para idosos, portanto, não deve considerar as demandas do envelhecimento como meros requisitos, mas sim como plataformas de inovação. Nessa perspectiva, os PSS inteligentes para idosos representam também um meio de manter a competitividade no cenário global, especialmente se considerado o atendimento dos requisitos da I4.0.

Tendo como base essa premissa e utilizando os conceitos apresentados na Revisão de Literatura, propõe-se um *Framework* Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da I4.0 (FDPI 4.0), que será apresentado no Capítulo 4.

3. MÉTODO

Este capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado para desenvolvimento deste trabalho e as etapas em que foi realizado. Sendo assim, é dividido em duas seções, expostas a seguir: *Design Science Research* e Caracterização e Etapas da Pesquisa.

3.1 *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

O tipo de pesquisa escolhido para realização deste trabalho foi a *Design Science Research* (DSR), devido ao seu objetivo central, seus princípios e interface com a Engenharia de Produção.

A DSR tem o objetivo de conceber e validar sistemas a partir da combinação ou alteração de produtos, processos, *softwares*, métodos, ferramentas, etc., para a melhoria de situações existentes, ou, em outras palavras, para a obtenção de melhores resultados [141]. Embora a DSR seja comumente aplicada no campo dos Sistemas de Informação (SI), sua aplicação pode ser estendida para outros campos do conhecimento, pois propõe a integração de sistemas humano-máquina, característica não exclusiva dos SI [142]. Assim, pode-se dizer que a DSR visa à integração e eficiência dos processos e sistemas que propõe, assim como a Engenharia de Produção e o PDP [56,67].

Os sistemas emergentes da DSR, resultados de seus desenvolvimentos, são chamados de artefatos de *design*, e são distribuídos em quatro categorias [141,143]:

- Constructos (conceitos ou conceituações) – formam o vocabulário de um domínio. Dizem respeito à descrição de problemas (fenômenos) e à especificação de soluções dentro do domínio especificado.

- Modelos – são definidos como conjuntos de proposições que expressam relações entre os constructos de um determinado domínio, de forma a representar um fenômeno real, ou parte dele.
- Métodos – são conjuntos ordenados de etapas e ações utilizadas para se executar uma tarefa ou se atingir um resultado específico, como um produto ou serviço. Nesta categoria, também se enquadram os *frameworks*, que são definidos como “estruturas de suporte para construção de um objeto” ou “sistemas de regras, ideias ou crenças utilizados para planejamento ou tomada de decisões”, segundo o dicionário de Cambridge [48]. Outras definições, como a do *Business Dictionary* [49] descrevem ainda *frameworks* como “estruturas de itens interconectados que apoiam uma abordagem particular para um objetivo específico, servindo como guias que podem ser modificados conforme necessário por meio da inserção ou deleção de itens”. Portanto, considerando que o artefato produzido neste trabalho é uma sequência de passos para o desenvolvimento de produtos inteligentes mais adequados para idosos, enquadra-se nesta categoria.
- Instanciações – são a concretização de artefatos em seus ambientes. Segundo Weber [143], instanciações são “sistemas de *hardware* ou *software* que pesquisadores produzem utilizando métodos para implementar constructos ou modelos”. Portanto, as instanciações demonstram a viabilidade e eficácia dos métodos e modelos que contemplam.

Pesquisas que se apoiam na DSR para seu desenvolvimento devem seguir algumas diretrizes que assegurem resultados confiáveis ao seu término, garantindo contribuições significativas para seus respectivos campos do conhecimento [144,145]. Hevner e colaboradores [144], em abrangente revisão da literatura sobre o assunto, propuseram um conjunto de sete diretrizes para o desenvolvimento de pesquisas em DSR. São apresentadas a seguir, no Quadro 3.

Diretriz	Descrição
1. <i>Design</i> como um Artefato	A DSR deve produzir um artefato viável na forma de um constructo, modelo, método ou instanciação.
2. Relevância do Problema	O objetivo da DSR é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas de negócio relevantes.
3. Avaliação do <i>Design</i>	A utilidade, qualidade e eficácia de um artefato de <i>design</i> deve ser rigorosamente demonstrada por meio de métodos de avaliação bem executados.
4. Contribuições da Pesquisa	Pesquisas efetivas baseadas em DSR devem fornecer contribuições claras e viáveis nas áreas do artefato de <i>design</i> , de fundamentos de <i>design</i> e/ou metodologias de <i>design</i> .
5. Rigor da Pesquisa	A DSR depende da aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação do artefato de <i>design</i> .
6. <i>Design</i> como um Processo de Busca	A busca por um artefato efetivo requer a utilização dos meios disponíveis para se atingir os fins desejados enquanto se satisfazem as leis do ambiente do problema.
7. Comunicação da Pesquisa	A DSR deve ser efetivamente apresentada tanto para audiências orientadas à tecnologia quanto à gestão.

Quadro 3. Diretrizes para *Design Science Research* (traduzido de Hevner et al [144]).

Como se observa, as diretrizes referem-se não só a condução da pesquisa em termos de rigor metodológico, mas também à relevância do problema abordado, que segundo os autores, deve se referir a um problema de negócio e, portanto, apresentado às audiências pertinentes [144]. Por essas razões, a DSR foi considerada adequada para o desenvolvimento deste trabalho, que aborda o PDP pela perspectiva de gestão, isto é, como um processo de negócio.

Além de diretrizes para o desenvolvimento de pesquisas em DSR, Hevner e colaboradores [144] propuseram métodos de avaliação que auxiliem no cumprimento das diretrizes. Particularmente, propuseram métodos de avaliação que contemplam a Diretriz 3, apresentados no Quadro 4.

Os métodos propostos visam auxiliar na avaliação dos artefatos concebidos e no processo de concepção e desenvolvimento dos artefatos [144]. Embora seja notável o direcionamento dos métodos de avaliação a artefatos gerados no campo dos SI, tais métodos podem ser considerados para outros campos do conhecimento, como aqui o foram. Para a construção do *framework*, os métodos utilizados foram o Estudo de Caso e o Argumento Informado, destacados no Quadro 4.

Métodos de Avaliação de Design	
1. Observacional	Estudo de Caso: estuda o artefato em profundidade no ambiente de negócio.
	Estudo de Campo: monitora o uso do artefato em múltiplos projetos.
2. Analítico	Análise Estatística: examina a estrutura do artefato para qualidades estáticas (ex. complexidade).
	Análise de Arquitetura: estuda a adequação do artefato na arquitetura de SI técnicos.
	Otimização: demonstra propriedades ótimas inerentes do artefato ou fornece limites ótimos para o comportamento do artefato.
	Análise Dinâmica: estuda o artefato em uso para qualidades dinâmicas (ex. desempenho).
3. Experimental	Experimento Controlado: estuda o artefato em ambiente controlado para qualidades (ex. usabilidade).
	Simulação: executa o artefato com dados artificiais.
4. Teste	Teste Funcional (Caixa Preta): executa as interfaces do artefato para descobrir falhas e identificar defeitos.
	Teste Estrutural (Caixa Branca): executa testes de cobertura de algumas medições (ex. caminhos de execução) na implementação do artefato.
5. Descritivo	Argumento Informado: usa informação da base de conhecimento (ex. pesquisa relevante) para construir um argumento convincente para a utilidade do artefato.
	Cenários: constroem cenários detalhados em volta do artefato para demonstrar sua utilidade.

Quadro 4. Métodos de avaliação do design (traduzido de Hevner et al [144]).

O Estudo de Caso tem o objetivo de investigar fenômenos em contextos de vida real, em situações em que as fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não estão claramente definidas. Trata-se do estudo aprofundado de objetos (casos) para conhecimento detalhado de suas características e de seu contexto, no intuito de se compreender amplamente o problema que os permeia [145]. Esses princípios foram empregados na análise dos casos de DP para idosos do programa *Active and Assisted Living (AAL)* da União Europeia, apresentados no capítulo anterior. A justificativa de escolha para essa amostra é apresentada na seção a seguir.

O Argumento Informado, como sugerem o próprio nome e sua descrição, pode ser obtido por meio de acesso à pesquisa relevante na área em questão. Este acesso pode ser traduzido na forma de outro método de pesquisa, a revisão bibliográfica ou de literatura, que serve o propósito de identificar o estado atual

de determinado assunto, fornecendo perspectivas para pesquisas futuras e fundamentação teórica e argumentativa para pesquisas em desenvolvimento [145].

A DSR conta ainda, além das diretrizes e métodos de avaliação, com cinco etapas de condução. Cada etapa funciona como um processo, com entrada, processamento e saída, em que as saídas contemplam pontos importantes a serem explicitados para concepção e validação do artefato em desenvolvimento [141]. As etapas de condução são apresentadas no Quadro 5.

Da primeira etapa, resulta a proposta da pesquisa, que reflete o contexto, a relevância e as classes do problema, os pilares fundamentais e a estrutura de desenvolvimento da pesquisa. A segunda etapa consiste das tentativas e dos registros de desenvolvimento do artefato. A etapa de Desenvolvimento apresenta o artefato resultante da etapa anterior, seus parâmetros, justificativa de escolha, relações entre os componentes e formas de avaliação. Portanto, é uma etapa descritiva, assim como o método de pesquisa.

A quarta etapa consiste da avaliação do artefato, por meio de medidas de desempenho claras e estruturadas, sejam elas qualitativas ou quantitativas, que visam julgar a viabilidade do artefato e sua execução em relação ao planejamento. A quinta e última etapa visa, além de apresentar os resultados da pesquisa, considerando as audiências pertinentes, conforme a Diretriz nº7, apresentar as contribuições da pesquisa para a classe de problemas em questão.

Portanto, nota-se a importância da definição da classe de problemas para a pesquisa em DSR. De acordo Lacerda e colaboradores [141], não há uma definição conceitual para “classe de problemas”; os autores propõem que seja uma organização de um conjunto de problemas práticos ou teóricos, relevantes para as empresas e organizações, que contém artefatos avaliados ou não. Nessa perspectiva, pode-se inferir que a classe de problemas se refere ao problema de negócio.

Os mesmos autores afirmam que a definição da classe de problemas resulta da etapa de Conscientização, após um levantamento teórico ou prático inicial e posterior revisão de literatura [141].

Etapa de Condução	Saída da DSR	Pontos a Explicitar
Conscientização	Proposta	<ul style="list-style-type: none"> • Evidenciar a situação problemática • Explicitar o ambiente externo e seus principais pontos de interação com o artefato • Explicitar as métricas e os critérios para aceitação da solução do artefato (quando não for possível a obtenção de uma solução ótima) • Explicitar os atores que se interessam pelo artefato • Explicitar as Classes de Problemas, os artefatos e suas limitações
Sugestão	Tentativa	<ul style="list-style-type: none"> • Explicitar as premissas e requisitos para construção do artefato • Registrar todas as tentativas de desenvolvimento do artefato • Registrar as razões que fundamentaram a exclusão da tentativa de artefato do Desenvolvimento • Verificar possíveis implicações éticas da aplicação do artefato
Desenvolvimento	Artefato	<ul style="list-style-type: none"> • Justificar a escolha das ferramentas para o desenvolvimento do artefato • Explicitar os componentes do artefato e as relações causais que geram o efeito desejado para que o artefato realize seus objetivos • Explicitar as formas pelas quais o artefato pode ser testado
Avaliação	Medidas de Desempenho	<ul style="list-style-type: none"> • Explicitar, em detalhes, os mecanismos de avaliação do artefato • Evidenciar os resultados do artefato em relação às métricas inicialmente projetadas • No caso de avaliações quantitativas do artefato, explicitar as partes envolvidas e as limitações de viés • Evidenciar o que funcionou como o previsto e os ajustes necessários no artefato
Conclusão	Resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Sintetizar as principais aprendizagens em todas as fases do projeto • Justificar a contribuição do trabalho para a Classe de Problemas em questão

Quadro 5. Etapas de condução da DSR (reproduzido de Lacerda et al [141]).

Por outro lado, Weber [143] auxilia no entendimento do que são classes de problemas ao descrever o que são constructos. Para o autor, constructos podem representar classes, subclasses, componentes, propriedades, estados, eventos

e processos a que coisas (fenômenos, objetos ou problemas) são submetidas. Assim, e para os fins deste trabalho, a classe de problemas é entendida como o contexto geral do problema, ou o problema de negócio a ser abordado; a subclasse como a questão particular dentro da classe de problemas; e os componentes como os atores envolvidos. O Quadro 6 ilustra essa concepção.

	Exemplo conforme [143]	Para este trabalho
Classe de problemas (problema de negócio)	Negócios	PDP
Subclasse (questão particular)	Pequenos negócios	PDP produtos inteligentes para idosos
Componentes (atores)	Funcionários do negócio	Idosos, produtos inteligentes, I4.0
Propriedades	Nível de lucratividade	Requisitos, benefícios, limitações da I4.0
Estados	Negócio aberto ou falido	Eficiência x Não eficiência em suprir necessidades de mercado
Eventos	Vendas realizadas	Baixa aceitação de mercado dos produtos inteligentes
Processos	Recebimento, seleção e envio de um pedido	Identificação das necessidades de mercado, realização dos produtos

Quadro 6. Exemplificação de classe de problemas e definições para o trabalho (baseado em Lacerda et al [141] e Weber [143]).

Considerando os conceitos que compõem a DSR, suas diretrizes, métodos de avaliação e etapas de condução, formulou-se um fluxo de desenvolvimento para este trabalho, que é apresentado na seção a seguir.

3.2 CARACTERIZAÇÃO E ETAPAS DA PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada em duas fases principais: a fase preliminar e a fase de agrupamento e construção. A fase preliminar corresponde ao início das buscas sobre o tema de interesse, e a fase de agrupamento e construção corresponde a estruturação das informações e da pesquisa como um todo à luz

dos princípios da *Design Science Research*. A Figura 21 à frente ilustra o fluxo de desenvolvimento do trabalho.

A fase preliminar se iniciou com a definição do tema de interesse, “desenvolvimento de produtos para idosos”. A partir da definição do tema, iniciaram-se buscas na literatura com as seguintes palavras-chave, em inglês e português, nas bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect*, *Web of Science* e *Scielo*: “desenvolvimento de produtos”; “desenvolvimento de produtos para idosos”; “tecnologias da informação e comunicação AND idosos”; “internet das coisas AND idosos”, como forma de levantamento inicial. Buscas sobre o Programa AAL também foram realizadas. O levantamento iniciou resultou em poucos materiais de referência no Brasil, especialmente sobre desenvolvimento de produtos e a interface com o público idoso. Por essa razão, as buscas posteriores concentraram-se no uso das palavras-chaves em inglês.

A partir do levantamento e da revisão de literatura iniciais, novas palavras-chave foram acrescentadas às buscas, que ocorreram nas mesmas bases de dados, auxiliando na definição dos pontos fundamentais do trabalho. Foram elas: “*Industry 4.0*”; “*smart products AND older adults*”; “*product-service systems*”; e “*PSS lifecycle*”. A partir dos resultados da segunda etapa de buscas, que resultou em publicações também nacionais, mencionadas ao longo deste trabalho, foram definidos o escopo do trabalho, suas bases teóricas e objetivos. Em paralelo, diferentes métodos de pesquisa foram estudados, resultando na escolha da DSR como método para o desenvolvimento deste trabalho. Assim, a fase preliminar consistiu de pesquisas bibliográficas em ciclos para obtenção das informações, que foram compiladas, analisadas e agrupadas para compor a estrutura do trabalho, à luz dos princípios da *Design Science Research*.

A segunda fase, de agrupamento e construção, portanto, consistiu das cinco etapas previstas pela DSR: Conscientização, Sugestão, Desenvolvimento, Avaliação e Conclusão, e contou com o auxílio de outros métodos de pesquisa: a revisão bibliográfica, o estudo de caso associado à análise documental, e a análise por especialistas, conforme ilustrado na Figura 21.

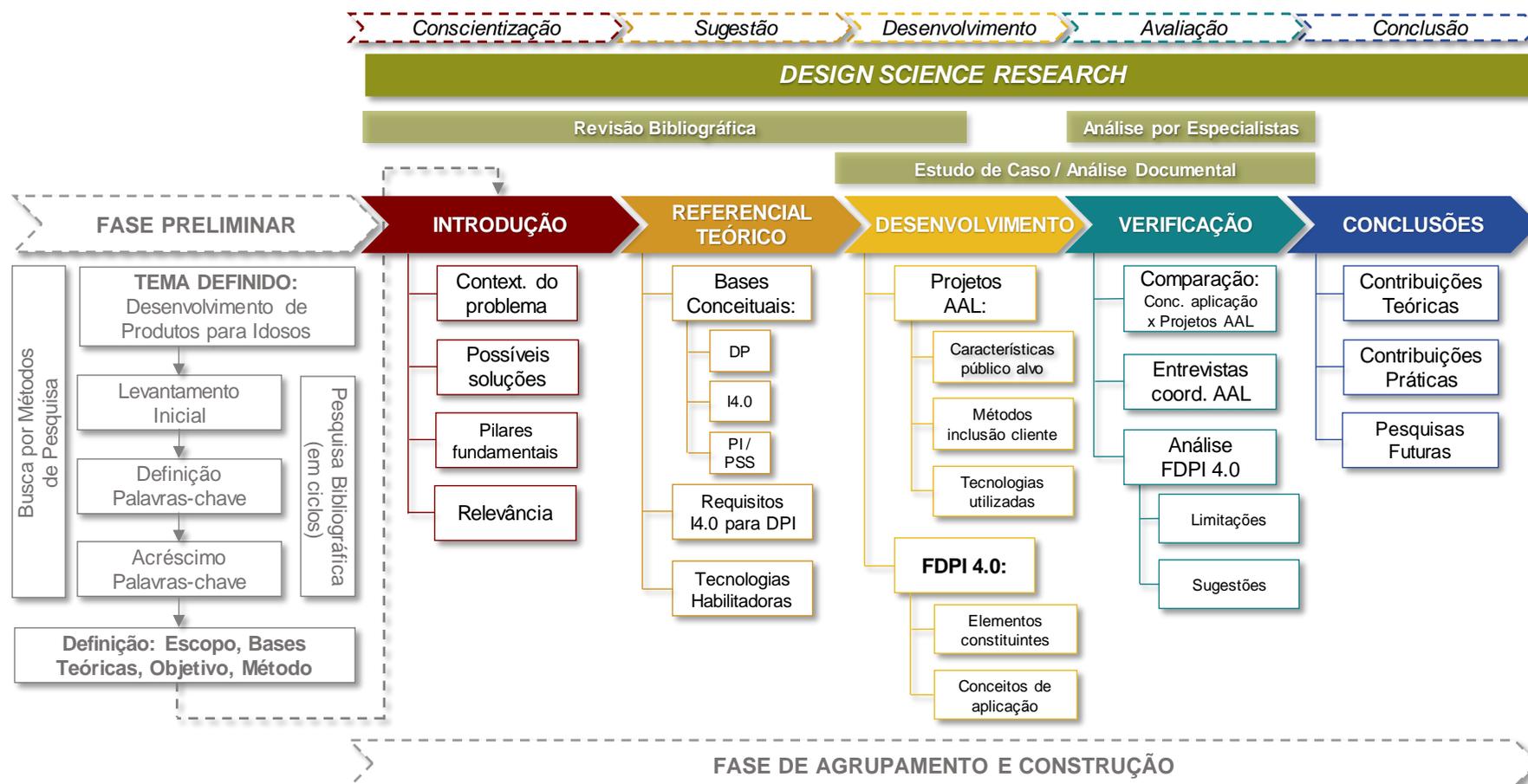


Figura 21: Representação do método de desenvolvimento do trabalho.

Cada etapa da pesquisa corresponde a um capítulo deste trabalho: a etapa de Conscientização corresponde à Introdução, em que se contextualiza o problema de pesquisa, apresentam-se as possíveis soluções – no caso, as iniciativas europeias e o Programa AAL – definem-se os pilares fundamentais do trabalho e discorre-se sobre a relevância da pesquisa. O Programa AAL, assim como as iniciativas europeias mencionadas, caracterizam uma amostra intencional neste trabalho. Foram escolhidos dados o conhecimento prévio sobre alguns dos projetos contemplados pelo programa e a ausência de programas brasileiros similares, além do estudo mais aprofundado sobre a origem do Programa AAL.

A etapa de Sugestão corresponde ao capítulo do Referencial Teórico, em que são apresentadas as bases conceituais do trabalho e identificados os requisitos da Indústria 4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes, bem como as tecnologias habilitadoras. As informações compiladas nesse capítulo são oriundas de um processo de revisão bibliográfica que se iniciou na fase preliminar e foi complementado durante o início da fase de agrupamento e construção, conforme Figura 21.

A terceira etapa, Desenvolvimento, se refere ao quarto capítulo deste trabalho, homônimo, em que se apresenta a proposta de um *Framework* Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0, à qual se dedica esta pesquisa, e contou com o auxílio dos métodos de revisão bibliográfica, estudo de caso e análise documental. Conhecida a existência do Programa AAL e das publicações referentes aos casos de sucesso [37,114], portanto, uma amostra de conceniência, foram inicialmente identificados 23 casos. Estes foram classificados conforme as categorias de PSS apresentadas no Capítulo 2, seção 2.3, e foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: ser classificados como PSS orientados ao produto; dispor de literatura a seu respeito, como documentos oficiais, artigos científicos ou de apresentação; caracterizar projetos de desenvolvimento, não de melhoria; não envolver ensaios clínicos. Assim, 19 casos foram eliminados, restando quatro para análise: *iWalkActive*, *RelaxedCare*, *YoooM* e *FEARLESS*.

As informações específicas sobre cada caso, bem como os relatórios, artigos e outros documentos que continham informações sobre as características do público alvo, métodos utilizados para inclusão dos clientes no processo de desenvolvimento dos produtos e tecnologias utilizadas nos produtos, foram obtidos a partir da *homepage* do Programa AAL [146] e dos *websites* específicos de cada projeto, acessados também via a *homepage* mencionada. A partir desses estudos de caso secundários, em conjunto com a análise documental, e da revisão bibliográfica realizada anteriormente, definiram-se os elementos constituintes e os conceitos de aplicação do *framework*.

A etapa de Avaliação corresponde ao capítulo de Verificação do *framework*. A verificação foi dividida em três estágios. O primeiro estágio se utilizou de estudo de caso secundário, uma vez que o desenvolvimento dos projetos selecionados não pode ser acompanhado, e de análise documental para promover uma análise comparativa entre os casos do Programa AAL e os conceitos de aplicação do *framework*. Dois tipos de documentos foram analisados: relatórios de projeto, incluindo manuais de boas práticas dentro dos projetos, e artigos científicos. Os critérios, definidos conforme a proposta dos conceitos de aplicação do *framework*, e os passos da análise documental são descritos no Capítulo 5.

No segundo estágio de verificação foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com dois dos quatro coordenadores dos projetos do Programa AAL estudados. Embora os quatro coordenadores dos casos analisados tenham sido contatados, apenas três demonstraram interesse de participação. Um deles, no entanto, não dispôs de tempo hábil para participação.

As entrevistas, realizadas em inglês, idioma comum à pesquisadora e aos entrevistados – um de origem suíça e outro de origem austríaca – apoiaram-se em um roteiro composto por cinco questões abertas, elaborado pela própria pesquisadora. O roteiro com as questões e o termo de consentimento assinado pelos participantes, também redigidos em inglês, encontram-se ao final deste trabalho em Apêndices. As entrevistas ocorreram via internet, por aplicativo de videoconferência, e os áudios, somente, foram gravados e transcritos. Foram

traduzidos integralmente em momento posterior, pela própria pesquisadora, e sumarizados para elaboração dos quadros apresentados no Capítulo 5.

O último estágio da etapa de verificação correspondeu à análise do *framework* por especialistas da área de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos, a saber os coordenadores dos projetos do Programa AAL entrevistados no estágio anterior. A análise por especialistas baseou-se em um formulário de avaliação redigido em inglês, elaborado pela pesquisadora, com três critérios fechados, um aberto e outros três campos abertos, totalizando sete itens, que foram definidos com base em aspectos importantes para o PDP identificados na revisão de literatura; são apresentados no Capítulo 5. Os três critérios fechados possuíam uma escala qualitativa para gradação do critério avaliado, dispendo também de espaço para comentários. O critério aberto e os outros três campos abertos permitiam avaliação livre do especialista. O formulário de avaliação completo encontra-se em Apêndices.

A última etapa de execução deste trabalho corresponde ao capítulo de Conclusões, em que, após averiguação e discussão das informações contidas nos capítulos anteriores, são derivadas as contribuições teóricas e práticas da pesquisa. Adicionalmente, o capítulo apresenta sugestões para pesquisas futuras.

4. PROPOSTA DE UM FRAMEWORK CONCEITUAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS INTELIGENTES PARA IDOSOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

4.1 DESCRIÇÃO GERAL

As discussões anteriormente apresentadas fundamentam a presente proposta de um *Framework* Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0, ou FDPI 4.0 na sigla. O *framework* apresenta um objetivo duplo: primeiro, auxiliar no desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos que realmente se adequem às suas necessidades e expectativas de consumo. Segundo, e intencionando possíveis aplicações futuras, favorecer a exploração de novos modelos de negócio para esse nicho de mercado, a partir de uma rota de adaptação do processo de desenvolvimento de produtos ao contexto da Indústria 4.0.

Para esta proposta de *framework*, considera-se que:

- Produtos inteligentes podem ser considerados sistemas-produto serviço (PSS), uma vez que têm suas capacidades de entrega expandidas por serviços baseados em internet associados às suas funcionalidades primárias [30,31,51,91,92,107].
- Os PSS considerados no *framework* são classificados como orientados ao produto: os serviços são oferecidos a partir de um produto central adquirido pelo usuário final [51,91,92,107]. Portanto, o ciclo de vida do produto comporta o desenvolvimento do PSS.
- Os clientes alvo, ou interlocutores do *framework*, são os usuários finais do PSS. São identificados como indivíduos idosos, com 60 anos de idade ou mais, que possivelmente possuam limitações funcionais e cognitivas brandas, não os impedindo de utilizar produtos inteligentes, que se interessem por tais produtos para auxiliá-los em suas limitações

e rotinas diárias, e que não sejam institucionalizados, residindo em seus próprios domicílios.

O *framework* é formado por quatro elementos constituintes, como ilustra a Figura 22 a seguir. O primeiro elemento, em azul, e que dá início ao fluxo de aplicação do *framework*, são as etapas de interesse do ciclo de vida do produto: Planejamento do PSS, Projeto do PSS, e Uso. O segundo elemento são os requisitos da Indústria 4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes (já apresentados no Quadro 1, seção 2.2.2), organizados em três categorias: Estratégia Organizacional, Comunicação de Dados e Características do Produto. O terceiro elemento constituinte, em vermelho, são as tecnologias habilitadoras, que possibilitam o cumprimento dos requisitos (apresentadas no Quadro 2, também no seção 2.2.2). O quarto elemento, em verde, é o Projeto Centrado no Usuário, que serve como filosofia de orientação para o PDP.



Figura 22: Framework Conceitual para o Desenvolvimento de Produtos Inteligentes para Idosos no Contexto da Indústria 4.0 (FDPI 4.0).

O processo de desenvolvimento do produto (PDP) é o foco do *framework*, particularmente as etapas de planejamento e projeto do produto, e a etapa de uso. Por essa razão, são denominadas etapas de interesse. As etapas de planejamento e projeto do produto são importantes, pois nelas são tomadas as decisões críticas e estratégicas relacionadas ao produto. É também nessas

etapas que a integração do cliente é mais crítica e que suas contribuições podem ser mais significativas, resultando em decisões mais assertivas relacionadas à identificação das demandas, requisitos e princípios de solução [54,56].

A etapa de uso, por sua vez, é importante pois pode oferecer benefícios relacionados à retroalimentação de dados do produto para o PDP, visto que o cerne do desenvolvimento de produto na Indústria 4.0 consiste na utilização eficiente e inteligente dos dados do produto [72,102].

Embora 21 requisitos da Indústria 4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes tenham sido identificados, conforme Quadro 1 (pág. 52), apenas 13 integram o *framework*, pois se relacionam diretamente às etapas de interesse do ciclo de vida do PSS. Os requisitos foram divididos em três categorias, tendo o modelo de arquitetura de referência da Indústria 4.0 (RAMI 4.0 [105]) como orientador, pois contempla os diferentes níveis de hierarquia e funcionamento da empresa, além de considerar seus elementos estruturais e o ciclo de vida do produto como direcionador do fluxo de valor [103,105]. Portanto, as categorias, definidas conforme as interações entre os níveis hierárquicos e camadas dispostos no RAMI 4.0, são: Estratégia Organizacional, Comunicação de Dados e Características do Produto.

A categoria Estratégia Organizacional leva em conta as atividades e interações na camada de Negócio e no nível hierárquico da Companhia, agrupando os requisitos fruto das decisões estratégicas tomadas nessa camada e nível hierárquico, respectivamente. Tais decisões definem o curso e alinhamento estratégico dos processos dentro da companhia, entre eles o PDP [103,105]. Os requisitos desta categoria são: integração do cliente, requisitos mais claros e confiáveis, iterações, reutilização de conhecimento, inovação a partir de processos de aprendizagem, otimização de recursos consumidos, ciclos de desenvolvimento mais curtos.

A segunda categoria, Comunicação de Dados, considera interações que perpassam todas as camadas e níveis hierárquicos da empresa, garantindo o fluxo de informações sobre o ciclo de vida do produto na cadeia de valor

[103,105]. Esta categoria reúne os requisitos: troca de dados em tempo real, operações *closed-loop* baseadas em dados de uso e segurança cibernética.

A terceira categoria, Características dos Produtos, embora não esteja diretamente relacionada ao RAMI 4.0, contempla as características que os produtos devem apresentar do ponto de vista tecnológico. Referem-se a características que favorecem a combinação entre soluções já existentes e a serem desenvolvidas, remetendo à integração horizontal de cadeias de valor [15] e a *clusters* de serviços para nichos de mercados específicos [19,39], além de diferenciais técnicos do produto. As características, e, portanto, os requisitos agrupados nesta categoria são: interfaces flexíveis; interoperabilidade; e autonomia.

Tais características são também importantes do ponto de vista do público em questão. A flexibilidade das interfaces, assim como a interoperabilidade, deve ser projetada para que o PSS possa ser integrado a outros produtos cujas funcionalidades sejam interessantes ou necessárias ao usuário final [134]. Além disso, a flexibilidade das interfaces deve estar relacionada à apresentação da interface ao usuário e à usabilidade. Portanto, a característica de flexibilidade deve proporcionar que a interface seja intuitiva, fácil de usar, e que minimize erros [73].

No que se refere à autonomia, é um diferencial técnico do produto, tanto quanto tem impacto direto sobre a autonomia do idoso que o utiliza. Produtos que podem ser utilizados por períodos de tempo mais longos sem necessitar de recarga, por exemplo, permitem que o usuário estabeleça rotinas menos rígidas, com maior liberdade, mesmo que dependa do produto para suplementar alguma limitação [12,17,73].

No que se refere às tecnologias habilitadoras, 11 foram inicialmente identificadas, no entanto, apenas nove integram o *framework*. Duas foram suplantadas por corresponderem a outras etapas do ciclo de vida do produto que não as de interesse. Assim, integram o FDPI 4.0 as seguintes tecnologias habilitadoras: sistemas físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas,

computação em nuvem, formatos de dados padronizados, *Big Data*, Inteligência Artificial, simulações avançadas, sistemas VR/AR/MR, e manufatura aditiva.

O Projeto Centrado no Usuário (UCD, na sigla em inglês), incluso no *framework* enquanto filosofia de orientação para o PDP, pretende integrar o cliente de forma ativa no processo. Esse elemento foi identificado a partir da análise dos métodos de integração do cliente no PDP utilizados nos trabalhos de Alvarenga [46] e Maia [47], e a partir dos estudos de caso do Programa AAL [115,117,128,135].

Os princípios centrais do UCD contemplam as necessidades de acessibilidade, diferentes habilidades dos usuários e segurança de uso, sem restringir o *design* às fragilidades que os usuários possam apresentar. Dessa forma, os princípios visam assegurar produtos que estimulem a atuação autônoma dos indivíduos, apesar da existência de possíveis fragilidades [96,116,147,148]. Assim, o UCD serve ao processo de desenvolvimento do produto como uma bússola, que deve ser ajustada conforme o plano estratégico da empresa para seus produtos e, conseqüentemente, para seu modelo de negócio.

As relações entre os elementos do *framework* são traduzidas aqui como conceitos de aplicação, e são apresentados na seção a seguir.

4.2 CONCEITOS DE APLICAÇÃO

O FDPI 4.0 se apresenta como uma ferramenta para auxiliar processos de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos a captarem as reais necessidades e expectativas de seus clientes, entregando PSS que lhes sejam mais adequados nestes aspectos. Além disso, visa auxiliar no planejamento de uma rota de adaptação do processo de desenvolvimento de tais produtos aos requisitos Indústria 4.0. Para tais fins, o *framework* se utiliza de seus conceitos de aplicação, que emergem a partir das relações entre seus elementos constituintes.

Essas relações, representadas pelas setas nas Figuras 23, 24 e 25 nas seções à frente, ocorrem da seguinte maneira: para cada etapa de interesse do ciclo de

vida do produto existem requisitos específicos da Indústria 4.0 a serem atendidos. Para que tais requisitos sejam atendidos, existem tecnologias habilitadoras que podem ser empregadas em diferentes atividades dentro de cada etapa. Assim, para cada etapa de interesse do ciclo de vida do produto, há uma combinação de requisitos da Indústria 4.0 e tecnologias habilitadoras que, em último grau, promovem o desenvolvimento de produtos inteligentes mais adequados para pessoas idosas, ao mesmo tempo em que promovem uma rota de adaptação para o contexto da Indústria 4.0.

Idealmente, propõe-se que o *framework* seja utilizado em companhias que já tenham incorporado a visão da Indústria 4.0 em seus planos estratégicos de negócio, e que desejem adaptar seus processos de desenvolvimento de produtos a esse contexto. É importante destacar que o FDPI 4.0 propõe uma adaptação gradual e estruturada do PDP, a começar com as etapas de interesse do ciclo de vida do produto, visando à consolidação de um modelo de negócio baseado em produtos inteligentes para idosos. Assim, propõe-se que o *framework* seja aplicado em três passos:

- Primeiro, a companhia deve realizar um mapeamento das etapas de interesse do ciclo de vida do produto, avaliando como os dados gerados são utilizados e como o cliente está inserido nessas etapas. O resultado dessa avaliação é um mapa do fluxo de dados e informações entre as três etapas de interesse.
- O segundo passo consiste em avaliar quais requisitos são interessantes para a companhia ao longo do tempo, em termos de planejamento estratégico. O resultado é um plano de requisitos a serem atendidos por categoria (Estratégia Organizacional, Comunicação de Dados, Características dos Produtos) e nível de prioridade.
- Por fim, com base nos resultados dos passos anteriores, utiliza-se o *framework* para avaliar quais tecnologias a empresa já possui e que podem ser empregadas para atender aos requisitos prioritários.

Adicionalmente, identificam-se quais tecnologias devem ser incorporadas ao longo do tempo para atendimento dos outros requisitos definidos, criando-se, assim, um plano de adaptação gradual.

Os conceitos de aplicação a seguir descrevem quais os requisitos da Indústria 4.0 para cada etapa de interesse do ciclo de vida do PSS, e quais tecnologias podem ser empregadas para atender os respectivos requisitos.

4.2.1 PLANEJAMENTO DO PSS

A etapa de planejamento do PSS é o primeiro passo do processo de desenvolvimento. Nela são tomadas as decisões críticas relativas ao produto a ser desenvolvido e ao processo como um todo, sendo, portanto, primordial a identificação de informações que reflitam objetivamente as necessidades e oportunidades de mercado, considerando o plano estratégico da empresa [54,56,57]. Em termos práticos, é necessário integrar o cliente ao processo desde o início, de modo a garantir que os requisitos para o produto a ser desenvolvido sejam verificados e tornem-se mais claros, objetivos e confiáveis [65]. Por essa razão, a integração do cliente é o primeiro requisito desta etapa, conforme ilustra a Figura 23.

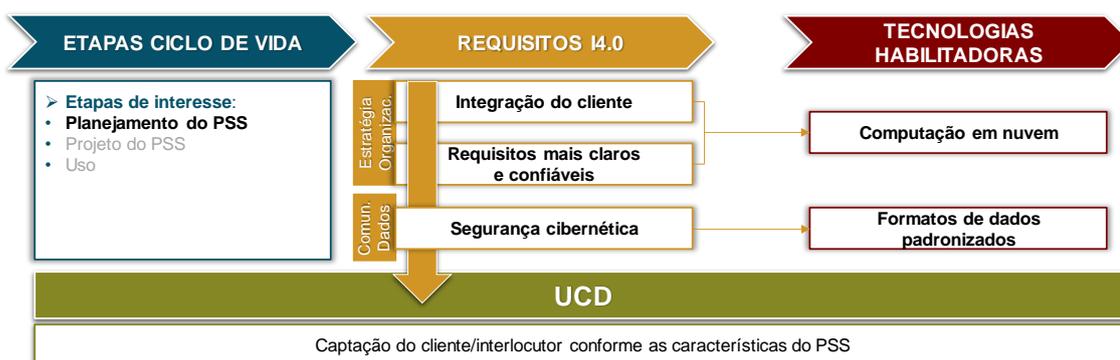


Figura 23: Conceito de aplicação para a etapa de Planejamento do PSS.
UCD = Projeto centrado no usuário.

Essa mudança de foco do PDP, de centrado no produto para centrado no cliente, se relaciona diretamente à Estratégia Organizacional da empresa, que dita como

ocorrerão todos os seus processos. Por esta razão, é uma das categorias de requisitos do *framework*, e particularmente importante para o conceito de aplicação em questão, uma vez que dois dos três requisitos da I4.0 para a etapa de planejamento pertencem a essa categoria. Ademais, é a Estratégia Organizacional que rege a inclusão do UCD como filosofia de orientação no *framework*.

A partir dos diferentes métodos e ferramentas que o UCD contempla, que devem ser selecionados conforme o produto a ser desenvolvido, o interlocutor pode ser ativamente integrado ao processo e contribuir para o desenvolvimento de produtos interessantes para o nicho de mercado em questão [19]. A integração do cliente e a coleta dos requisitos podem contar com a tecnologia habilitadora de computação em nuvem.

No contexto da Indústria 4.0 é importante que os todos os dados do produto estejam disponíveis para o gerenciamento eficiente do ciclo de vida [55,72,102], a começar pelos dados iniciais do PDP, isto é, os requisitos do produto. Utilizando-se da tecnologia de computação em nuvem, os requisitos podem ser coletados, com ferramentas do UCD, habilitando a comunicação e interação com o cliente quando a coleta presencial não for possível, e armazenados diretamente em um PDM em nuvem, que permanecerá integrado aos outros sistemas da empresa. Ademais, prever a computação em nuvem como tecnologia para o produto é importante para a provisão dos serviços que serão associados a ele, acessados via internet, e para a captação de dados durante a fase de uso [71].

Além de reunir e verificar informações, a etapa de planejamento também é responsável por prever as interações entre as etapas seguintes do processo, bem como os princípios de solução do produto; logo, é responsável por prever suas características técnicas e funcionais [54]. Esta etapa deve prever também como será a captação de clientes (ou interlocutores) para integração no processo, definida conforme as características do PSS a ser desenvolvido.

Tratando-se de produtos inteligentes, que fornecerão informações importantes para o PDP com os dados da fase de uso, os seguintes aspectos devem ser previstos: forma de comunicação dos dados; dados a serem comunicados; forma de participação e de *feedback* do cliente; e segurança dos dados – ou segurança cibernética.

A segurança cibernética, requisito pertencente à categoria Comunicação de Dados, é importante no contexto da Indústria 4.0 em dois âmbitos: segurança dos usuários e segurança da empresa. Os dados comunicados durante a fase de uso são referentes a comportamentos dos usuários, portanto, a privacidade dos usuários e o sigilo dos dados devem ser assegurados. Além disso, a segurança (física) dos usuários deve ser garantida, por meio da proteção contra ataques cibernéticos que potencialmente provoquem ao produto mau funcionamento, defeitos ou que ofereçam riscos aos usuários [99]. Por outro lado, a empresa deve se atentar também a questões como propriedade intelectual e direitos sobre o produto e os dados [15,99].

Para cumprimento do requisito de segurança cibernética, formatos de dados padronizados, enquanto tecnologia habilitadora, associados a protocolos específicos para comunicação de dados, podem ser empregados [65,99]. A restrição ao acesso e à comunicação de dados apenas a partes autorizadas, com processos de autenticação e níveis de acesso, pode servir como medida protetiva, assegurando o cliente e a empresa [99].

4.2.2 PROJETO DO PSS

Na etapa de projeto do PSS, uma vez definidos os requisitos para o produto e os possíveis princípios de solução, bem como previstas as características de integração do cliente, a comunicação de dados e a segurança cibernética, inicia-se o projeto do produto. Seus componentes, bem como suas geometrias, funções e interações são especificados, são previstos possíveis defeitos de funcionamento e projetadas alternativas de solução [54,56,58]

A etapa de projeto desenvolve modelos do produto, ou protótipos, para que suas características possam ser testadas, comparadas com os requisitos definidos e ajustadas até que se atinja uma solução ótima [54,147,148]. Por isso, dentre os requisitos para esta etapa, pertencentes às categorias Estratégia Organizacional e Características dos Produtos, permanecem os requisitos mais claros e confiáveis, assim como na etapa de planejamento, mas aqui associados a iterações, como demonstra a Figura 24.

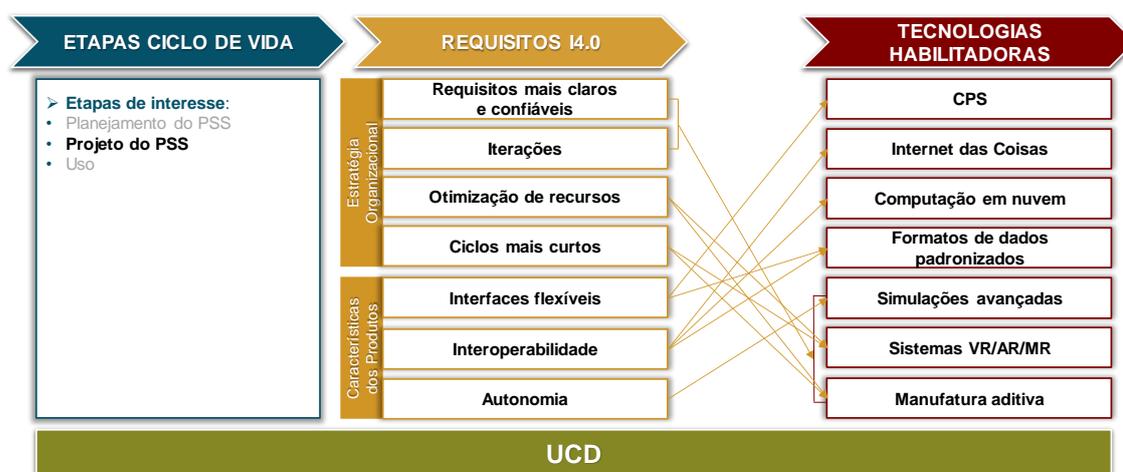


Figura 24: Conceito de aplicação para a etapa de Projeto do PSS.
UCD = Projeto centrado no usuário.

Como já discutido, idosos apresentam demandas e necessidades diversas, sendo um mercado heterogêneo, com nichos distintos [5,13,19,37]. Por isso é importante que o PDP ocorra em ciclos iterativos (ou iterações) de ajustes dos requisitos para o produto, mesmo quando já se tem um público definido. Nesses ciclos de definição e redefinição dos requisitos até a solução ótima, o que também é um princípio do UCD, três tecnologias habilitadoras podem ser empregadas: simulações avançadas, sistemas VR/AR/MR e manufatura aditiva.

Simulações avançadas podem ser utilizadas para verificar as interações entre os componentes e funções do produto antes de sua execução, prevenindo protótipos inevitavelmente falhos de serem produzidos para teste. Podem ser empregadas também para prevenção, identificação e correção de possíveis

defeitos, eliminando custos de testes destrutivos, o que tem influência sobre a otimização de recursos também [55,97].

Sistemas VR/AR/MR, por sua vez, podem simular situações reais de uso do produto e auxiliar os clientes envolvidos no PDP a se familiarizarem com as tecnologias do produto, além de auxiliá-los a identificar pontos de melhora, problemas de usabilidade e a categorizar requisitos, que podem se transformar em versões do produto para diferentes contextos [64,65,75,135].

Adicionalmente, os sistemas VR/AR/MR habilitam ciclos de desenvolvimento mais curtos e a otimização dos recursos consumidos. Em conjunto com a manufatura aditiva, que, a exemplo das impressões 3D, pode ser empregada para produção dos protótipos durante as fases de teste, tais tecnologias aceleram a realização de possíveis modificações durante as iterações [64,65,99].

Quanto às características dos produtos, são requisitos que podem ser atendidos a partir da integração das tecnologias a seguir. Interfaces flexíveis podem ser projetadas com a inclusão de componentes inteligentes, ou CPS, no produto (conforme definição na seção 2.2.1), devido a sua capacidade de comunicação e processamento de dados. Os componentes inteligentes (CPS), em conjunto com formatos de dados padronizados, permitirão a comunicação segura entre os componentes do produto e entre outros produtos que possam ser combinados no contexto de uso do cliente [134], garantindo, assim, a interoperabilidade.

A interoperabilidade conta também com a Internet das Coisas e a computação em nuvem para ser habilitada. Ambas são importantes para a comunicação e processamento dos dados entre os produtos e o servidor designado para armazenamento dos dados, além de integrarem os serviços associados ao produto [71].

A autonomia do produto pode ser projetada com o auxílio de simulações avançadas para determinação das condições ideais de funcionamento do produto, assim como tempo máximo de atividade contínua, previsão de

manutenções do produto, seja para os componentes de hardware ou software, e tempo de vida útil [55,97], considerando que tais questões podem ter impacto também sobre a autonomia do usuário.

4.2.3 Uso

Para o *framework*, a etapa de uso é um ativo no PDP, com o potencial de contribuir para ciclos de vida em andamento e para novos ciclos de desenvolvimento de produtos, por isso está relacionada à etapa de planejamento na Figura 25. Os dados da fase de uso são importantes em dois âmbitos: desempenho do produto e comportamentos do usuário.

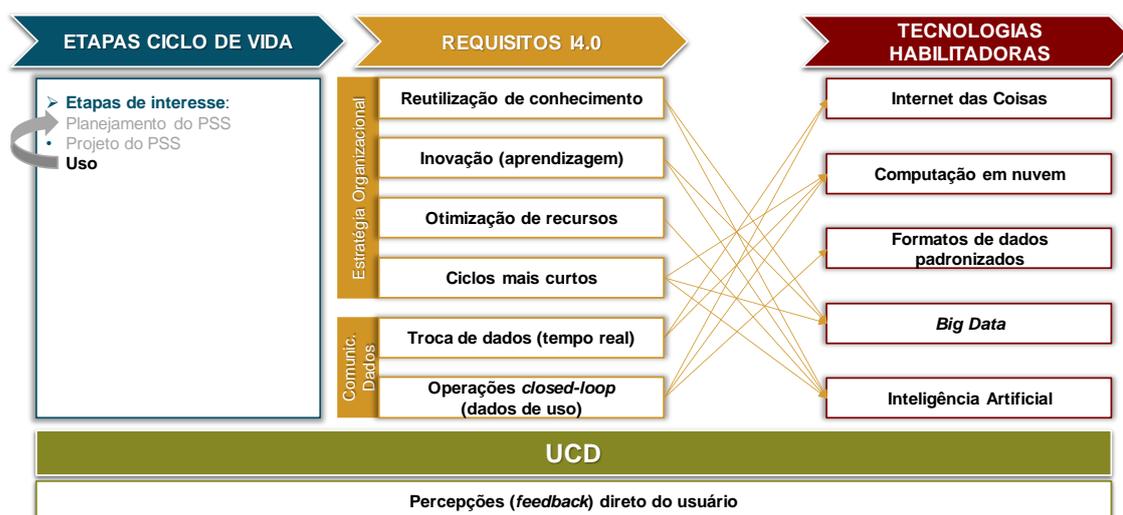


Figura 25: Conceito de aplicação para a etapa de Uso do PSS.
UCD = Projeto centrado no usuário.

Para este conceito de aplicação, duas categorias de requisitos são importantes: Estratégia Organizacional e Comunicação de Dados, que caminham em conjunto. A exploração da etapa de uso enquanto ativo no PDP depende da (re)utilização do conhecimento gerado na empresa e extraído da análise dos dados de uso do produto. Para atender a este requisito, as tecnologias de *Big Data* e Inteligência Artificial podem ser empregadas.

Tecnologias de *Big Data* são capazes de processar enormes quantidades de dados, de grande variedade, em alta velocidade, podendo inclusive distinguir

entre dados de interesse, relacionados a indicadores específicos de desempenho ou qualidade, e *idle data* (dados inertes ou não-úteis) [64,71]. Processados esses dados, ferramentas de IA podem ser aplicadas para identificação de padrões que possam se mostrar relevantes [64].

Informações extraídas a partir da identificação de padrões nos dados de comportamentos dos usuários são importantes para atualização dos produtos, e, possivelmente, para identificação de novas necessidades, que podem ser atendidas em produtos de próxima geração [71]. Exemplos de dados potencialmente interessantes nesse âmbito são erros e frequência de erros ao utilizar determinadas funções do produto, frequência de utilização do produto, e frequência de utilização das funções. Tais análises podem culminar em informações sobre a modularização das funções e serviços do produto [75], possibilitando futuras customizações conforme a necessidade do cliente.

No que se refere ao comportamento do produto, informações sobre seu desempenho podem ser utilizadas para melhorias relacionadas ao funcionamento e qualidade, por meio de atualizações ou adaptações e mudanças em próximas gerações. Neste caso, tais informações podem servir também como dados para o início de outros ciclos de desenvolvimento [70,71,72].

Adicionalmente, *Big Data* e IA podem ser empregadas para habilitar inovações a partir de processos de aprendizagem e ciclos de desenvolvimento mais curtos, por meio da extração de valor das informações provenientes do processamento dos dados de uso. Relacionada a ciclos mais curtos, também está a tecnologia de computação em nuvem, que permite a integração dos serviços associados ao produto, o processamento de dados, comportando as tecnologias de *Big Data* e IA, e o armazenamento de dados [71,72]. A Inteligência Artificial ainda possibilita a otimização dos recursos consumidos, em termos de recursos de *design*, uma vez que tendo gerado análises sobre os padrões nos dados de uso, pode auxiliar em etapas de planejamento e projeto mais enxutas [65].

Embora a troca de dados em tempo real e as operações *closed-loop* baseadas em dados de uso ainda não sejam processos completamente fluidos [72,100,102], esforços têm sido realizados nessa direção e apontam para a utilização de três tecnologias habilitadoras: formatos de dados padronizados, computação em nuvem e a Internet das Coisas [58,64,65,98,99]. O requisito de troca de dados em tempo real pode ser habilitado pelas tecnologias de computação em nuvem e Internet das Coisas, por promoverem canais para comunicação e processamento dos dados entre os "componentes" do PSS (produto-serviço-usuário) [64,65,72].

As operações *closed-loop* baseadas em dados de uso, além de Internet das Coisas e computação em nuvem, contam ainda com formatos de dados padronizados para que sejam executadas. A padronização de formatos permite que os dados de uso sejam reinseridos no ciclo de vida do produto em um fluxo contínuo e estruturado [72], gerando informações potencialmente interessantes para expansão de oportunidades de negócio [70].

Além de capturar e utilizar os dados de uso, que representam informações objetivas, também é importante explorar as informações subjetivas relativas ao produto, e considerar o cliente como um ativo também nesta fase. Isto é, é importante explorar as percepções do cliente sobre o produto. Assim, considerando que o *framework* se apoia nos princípios do UCD, a participação e *feedback* diretos do usuário devem ocorrer de maneira estruturada e eficiente, conforme previamente determinado nas etapas de planejamento e projeto.

Indicações específicas sobre a integração do cliente durante a fase de uso dependem das características do PSS desenvolvido. No entanto, no contexto da Indústria 4.0, a internet é uma ferramenta poderosa para conectar a cadeia de valor, desde fornecedores até clientes finais, criando novas interações e modelos de negócio que se orientam a partir do envolvimento do cliente em seus processos de negócio [15,91,92].

Períodos e ferramentas de avaliação como forma de integração do cliente nesta fase, também previstos pela filosofia UCD, podem, por exemplo, ocorrer via

internet. Considerando o tipo de cliente do *framework*, a interação com o cliente nesta fase é importante para monitoramento não só do desempenho do produto, mas também das necessidades e oportunidades de mercado, decorrentes da evolução dos requisitos dos clientes [72,77].

5. VERIFICAÇÃO

Este capítulo apresenta a etapa de verificação do FDPI 4.0, que foi dividida em três estágios: análise comparativa dos casos (projetos) do Programa AAL; entrevistas com os coordenadores dos projetos; e análise do *framework* por especialistas. Os resultados de cada estágio de verificação são descritos a seguir.

5.1 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CASOS DO PROGRAMA AAL

Este estágio de verificação teve o objetivo de promover uma identificação retroativa dos conceitos de aplicação propostos no *framework*, como forma de atestar sua aplicabilidade em casos reais de desenvolvimento de produtos a partir da comparação dos conceitos de aplicação com as características dos casos do Programa AAL. Assim, foram empregados o estudo de caso secundário e a análise documental para os quatro casos selecionados para avaliação – *iWalkActive*, *RelaxedCare*, *YooM* e *FEARLESS*, apresentados anteriormente na seção 2.3.

O estudo de caso secundário e a análise documental tiveram como material de análise dois tipos de documentos: relatórios, incluindo manuais, de diferentes fases dos projetos, e artigos científicos. Os materiais foram recuperados a partir da *homepage* do Programa AAL [146] e de *websites* específicos aos quais ela direcionava. Após recuperação, os documentos foram separados entre relatórios e artigos científicos e analisados com base em três critérios, definidos a partir de questões relacionadas a proposta dos conceitos de aplicação do *framework*. Os critérios são:

- *Critério 1: Características do PDP*

Ainda que os projetos sejam anteriores a disseminação dos conceitos e aplicações da I4.0, quais características dos processos de desenvolvimento dos projetos e dos produtos podem ser relacionadas aos requisitos da I4.0?

- *Critério 2: Tecnologias utilizadas*

Quais tecnologias foram empregadas nos produtos e como podem ser relacionadas às tecnologias habilitadoras propostas no FDPI 4.0?

- *Critério 3: Integração do cliente*

De que forma os clientes foram integrados e como contribuíram para o processo de desenvolvimento de produto?

A partir da análise baseada nesses critérios, as informações foram compiladas em quadros, que ilustram as comparações entre os conceitos de aplicação do FDPI 4.0 e processos de desenvolvimentos dos casos analisados. Os quadros são compostos por cinco campos: as características do processo de desenvolvimento de produto (PDP), e os requisitos da I4.0 que correspondem à tais características, agrupados conforme as categorias de requisitos do FDPI 4.0; as tecnologias utilizadas no produto; as tecnologias habilitadoras, também conforme o FDPI 4.0, que se relacionam às tecnologias utilizadas no produto; e as formas de integração do cliente, que destaca os métodos utilizados para integração ativa dos clientes no processo.

WALKACTIVE

O projeto *iWalkActive* foi analisado a partir de seis documentos: cinco relatórios, dos quais apenas três, entre eles um manual de boas práticas, apresentaram informações relevantes para a pesquisa [115,149,150], e um artigo científico, que apresentou as características do sistema de navegação previsto para o produto [151]. Dos relatórios que foram eliminados após leitura integral, um tratava dos acordos legais referentes a questões de propriedade intelectual entre os parceiros do consórcio, e o outro abordava as responsabilidades organizacionais atribuídas a cada parceiro.

Os relatórios com informações relevantes, em conjunto com o artigo, possibilitaram a identificação das características do projeto e a elaboração do

Quadro 7, em conformidade com os critérios de análise apresentados anteriormente e conforme as categorias de requisitos do *framework*.

<i>iWalkActive</i>				
	Características PDP	Requisitos I4.0	Tecnologias utilizadas	Tecnologias Habilitadoras
Estratégia Organizac.	Ciclos de ajuste de requisitos baseados em <i>feedback</i> dos usuários	Iterações	Internet (GPS)	IoT
	Acompanhamento da evolução dos requisitos	Requisitos mais claros e confiáveis	Sensores e atuadores	CPS
Comunicação de Dados	Comunicação de dados constante	Troca de dados ("tempo real")	Motor com <i>e-drive</i>	
	Estabilidade	Segurança cibernética	Formatos de dados padronizados	Formatos de dados padronizados
	Proteção de dados			
Características dos Produtos	Customização	Autonomia		
	Interfaces amigáveis e intuitivas	Interfaces flexíveis		
	Compatibilidade	Interoperabilidade		
	Integração de hardwares e softwares heterogêneos			
Formas de Integração do Cliente				
	Entrevistas	Grupos focais	<i>Surveys</i>	Questionários

Quadro 7: Análise comparativa do projeto *iWalkActive*. Produto desenvolvido: *Walker*. Campos em verde: requisitos e correlações referentes à categoria *Comunicação de Dados*.

Observa-se que dos 13 requisitos da I4.0 presentes no *framework*, sete foram cumpridos durante as etapas de planejamento e projeto. No entanto, não se pode afirmar que os conceitos de aplicação do *framework* propostos para essas duas etapas tenham sido completamente contemplados, uma vez que os conceitos se originam das relações entre os requisitos da I4.0 e as tecnologias habilitadoras. Isso se deve ao fato de o produto em si, o *Walker*, não ser um produto inteligente típico. A "inteligência" do *Walker* se refere principalmente ao motor com *e-drive*, que estabiliza o movimento do andador em terrenos com aclives, declives ou sinuosidades (calçadas, por exemplo), respondendo aos esforços físicos do usuário por meio dos sensores e atuadores.

A internet, tecnologia que confere aos produtos a característica de inteligentes, ao conectá-los aos serviços que compõem o PSS [30,31,51,91,92,107], no caso deste projeto, corresponde somente ao fornecimento de dados de localização (GPS) do *Walker* quando em uso, que são armazenados em servidores locais e não sofrem qualquer tipo de processamento em nuvem, isto é, não há comunicação direta entre os serviços de definição de percurso ou emergência integrantes do PSS, apesar da plataforma de *middleware* que os conecta.

Embora o *Walker* tenha capacidade para integração com dispositivos *mobile*, de acordo com um dos relatórios do projeto [115], os dados comunicados restringem-se a dados de localização processados localmente pelo aplicativo que conecta os dispositivos (*Walker* e dispositivo *mobile*). Portanto, não é possível afirmar uma aplicação completa dos conceitos de aplicação do FDPI 4.0, especialmente em relação às tecnologias utilizadas.

Ainda assim, é possível estabelecer correlações importantes, que refletem parcialmente os conceitos de aplicação. Os ciclos de ajuste de requisitos, bem como o acompanhamento de sua evolução, relacionados às iterações e requisitos mais claros e confiáveis, são possíveis a partir da integração dos usuários desde o início do processo, por meio da utilização de ferramentas ancoradas na filosofia UCD, como as entrevistas, os grupos focais, *surveys* e questionários. Como propõe o conceito de aplicação para a etapa de planejamento, são requisitos que derivam do posicionamento estratégico da empresa, e se encontram na categoria Estratégia Organizacional.

A customização do produto, prevista durante a etapa de projeto para proporcionar autonomia aos usuários a partir da adequação ao contexto de uso, conta também com a construção de interfaces amigáveis e intuitivas – flexíveis – direcionadas ao mesmo propósito. Adequar-se ao contexto de uso refere-se, portanto, não somente ao ambiente, mas também às habilidades do próprio usuário em relação ao PSS. Nesse sentido, o motor com *e-drive*, os sensores e atuadores, que podem ser relacionados aos CPS, apontam para o conceito de aplicação para a etapa de projeto.

Outras correlações importantes estão destacadas em verde no Quadro 7, e se referem, principalmente, à categoria de requisitos Comunicação de Dados. O documento *D1.1 Ethical Manual* [149], um manual de boas práticas para o projeto é enfático ao tratar medidas referentes a privacidade de dados, se apoiando em quatro legislações (austríaca, sueca, suíça e europeia) para regulamentar o gerenciamento de dados durante o projeto. Para assegurar os dados dos usuários e do produto, os relatórios destacam a necessidade de uma comunicação de dados constante, estável e segura entre os diferentes componentes do PSS, inclusos os dispositivos *mobile*.

Embora não apresentem detalhes sobre como podem ser asseguradas tais características, os relatórios apontam para a padronização dos dados utilizados como uma estratégia, o que se relaciona diretamente a tecnologia habilitadora de formatos de dados padronizados. Assim, indiretamente, se relaciona aos conceitos de aplicação para as etapas de planejamento e projeto do PSS, que preveem a utilização de formatos de dados padronizados para cumprimento dos requisitos de segurança cibernética e interoperabilidade.

RELAXEDCARE

O projeto *RelaxedCare* (RC) teve o maior número de documentos analisados, sendo 16 relatórios sobre diferentes etapas do projeto, inclusive a de disseminação, e quatro publicações científicas [125,126,127,152], que discorrem sobre os conceitos do produto a ser desenvolvido e a metodologia de desenvolvimento do projeto, o Processo de Inovação Inspirado no Usuário (*User Inspired Innovation Process – UIIP*). Ao todo, foram analisadas mais de 1000 páginas.

Os relatórios deste projeto são ricos em detalhes sobre as características do processo de desenvolvimento e do próprio PSS. Sendo assim, demandaram mais tempo para análise em relação aos outros projetos. Dois tipos de relatórios sobre as características do processo de desenvolvimento e do produto compunham a amostra de documentos: relatórios sobre os requisitos dos

clientes (idosos e cuidadores informais), e relatórios sobre os requisitos dos *stakeholders*, que incluem, além dos clientes, instituições de saúde, suporte social e governos locais. Estes foram mais esclarecedores em termos de compreensão do PDP, pois relacionavam os requisitos dos clientes (subjetivos) aos requisitos de produto (objetivos).

O Quadro 8, à frente, apresenta tais requisitos como as características do produto previstas durante o processo de desenvolvimento, bem como as tecnologias utilizadas em comparação aos elementos correspondentes no FDPI 4.0.

Um dos relatórios em particular, referente aos requisitos dos *stakeholders* e do modelo de negócio previsto [153], contemplava todos os requisitos da I4.0 identificados para o desenvolvimento de produtos inteligentes, dispostos no FDPI 4.0. Tal observação permite inferir que, ainda que não intencionalmente, o projeto já tratava de questões relacionadas à I4.0 quando se iniciou em 2013, demonstrando a viabilidade de conduzir processos de desenvolvimento de produtos inteligentes adequados aos requisitos da I4.0.

Nesta perspectiva, e dadas as características do produto e de seu processo de desenvolvimento, observa-se que os três conceitos de aplicação do FDPI 4.0 foram parcialmente verificados no projeto *RelaxedCare*. Embora nem todas as tecnologias habilitadoras para cada conceito de aplicação estejam presentes do modo como são previstas no *framework*, as tecnologias que compõem três dos pilares da Indústria 4.0 (CPS, IoT e IoS/Computação em nuvem) foram identificadas neste projeto, especialmente na etapa de uso do produto. Essas relações serão descritas mais adiante.

O conceito de aplicação para a etapa de planejamento pode ser verificado a partir das características relacionadas às iterações, obtenção de requisitos mais claros e confiáveis e segurança cibernética.

RelaxedCare					
		Características PDP	Requisitos I4.0	Tecnologias utilizadas	Tecnologias Habilitadoras
Estratégia Organizacional		Processo de <i>design</i> iterativo e incremental	Iterações; Requisitos mais claros e confiáveis	Internet	IoT
		Eficiência de custo*	Otimização de recursos; <i>Acessibilidade para compra*</i>	<i>Machine learning</i>	IA
		Potencial de mercado*		Microprocessadores	CPS
		Modularidade e escala*		Sensores	
Comunicação de Dados		Conectividade próxima do tempo real	Troca de dados ("tempo real")	Plataforma <i>middleware</i> aberta	Computação em nuvem
		Confidencialidade e privacidade	Segurança cibernética	Protocolos de comunicação	Formatos de dados padronizados
		Controle de senha			
		Criptografia			
		Integridade de dados			
		Privacidade			
		Proteção/segurança de dados			
		Protocolos de transmissão de dados			
		Dados emitidos em formato padrão			
		Especificação de dados captados			
		Inserção de dados de uso no PDP (produtos futuros)			
Características do Produto		Adaptabilidade	Autonomia		
		Arquitetura física simplificada			
		Autonomia			
		Usabilidade	Interfaces flexíveis		
		Interoperabilidade	Interoperabilidade		
		Compatibilidade com diferentes tipos de dados			
		Padrões industriais			
Formas de Integração do Cliente					
<ul style="list-style-type: none"> • Processo de Inovação Inspirado no Usuário: <ul style="list-style-type: none"> ○ Assumption Personas ○ Grupos focais e sondas culturais ○ Entrevista de inquérito contextual ○ Questionário e Método Mostre e Conte 					

Quadro 8: Análise comparativa do projeto RelaxedCare. Produto desenvolvido: RC System. *Características relacionadas a acessibilidade para compra.

Como demonstrado em diversos dos documentos recuperados, cujos resultados de análise se encontram sumarizados no Quadro 8, o desenvolvimento do PSS baseou-se em um processo de *design* iterativo e incremental, isto é, evolutivo em relação aos requisitos, com forte presença dos usuários, integrados ao processo por meio da metodologia de Processo de Inovação Inspirado no Usuário (UIIP) e de cinco ferramentas específicas, apresentadas no Quadro 8. Tais ferramentas auxiliaram também na etapa de projeto, no esclarecimento dos requisitos e na definição de questões relativas à estética do produto, como tamanho, cor e sons de alerta.

Ainda na etapa de planejamento, medidas referentes à segurança cibernética foram definidas, considerando confidencialidade e privacidade de dados dos usuários, enfatizadas não somente nos relatórios [128,129,130,131], mas também nos artigos científicos [125,126,127]. Como forma de cumprir as medidas definidas, entre elas criptografia, controle de senha e especificação de dados captados, os relatórios apontam a necessidade de protocolos de comunicação específicos e dados padronizados, o que se relaciona diretamente à tecnologia de formatos de dados padronizados prevista no *framework*. Já na etapa de projeto, tais questões são relacionadas ao cumprimento do requisito de interoperabilidade.

O *RC System* foi projetado para ser interoperável, considerando compatibilidade com diferentes tipos de dados, provenientes de diferentes dispositivos possivelmente presentes no contexto de uso do cliente, e padrões industriais em vigor. Desse modo, a adaptabilidade também se apresenta como característica fundamental, habilitando o cumprimento de todos os requisitos da categoria Características do Produto do *framework*. Ao projetar um produto de arquitetura simplificada, compatível com as habilidades dos usuários em termos de usabilidade, e adaptável ao seu contexto de uso e à possíveis outras conexões com diferentes dispositivos *mobile* ou *wearables*, o produto promove autonomia para os clientes, por meio da interoperabilidade e de interfaces flexíveis.

Ainda na etapa de projeto, a eficiência de custo, associada à possibilidade de modularidade e escala do produto, e potencial de mercado podem ser

relacionadas ao requisito de otimização de recursos, pertencente à categoria de Estratégia Organizacional. Considerando que o produto desenvolvido é de alto valor agregado, tornar o processo eficiente em termos de custo é contribuir para o potencial de mercado, que, dentre outras variáveis, como modularidade (possibilidade de customização das funções) e escala (quantidade de produção), depende também do preço de aquisição do produto [128,131,154,153]. Estas características estão destacadas no Quadro 8 com um asterisco por se relacionarem a uma questão importante, embora não contemplada diretamente no *framework*: acessibilidade para compra.

O Programa AAL prevê que os projetos sejam orientados à exploração de mercado, portanto, que os produtos possam ser comercializados [26,29]. Assim, atentar para a otimização de recursos durante o projeto, considerando questões estratégicas já discutidas anteriormente neste trabalho, reflete também na comercialização do produto final e nas possibilidades de compra dos clientes alvo.

O conceito de aplicação para a etapa de uso pode ser verificado a partir das seguintes características do produto: conectividade próxima do tempo real, relacionada diretamente ao requisito de troca de dados em tempo real, e inserção de dados de uso no PDP para produtos futuros, relacionada ao requisito operações *closed-loop* baseadas em dados de uso. Essas duas características, importantes para o desempenho funcional do produto, se apoiam nas tecnologias de internet, *machine learning*, microprocessadores que atuam em conjunto com sensores, e uma plataforma de *middleware* aberta para comunicação e processamento de dados.

Assim, os dados capturados pelos sensores, comunicados via internet, e processados pelos microprocessadores e pela plataforma em nuvem, servem não só para o monitoramento do usuário, mas para alimentação constante do sistema, que conta com *machine learning*, um tipo de inteligência artificial, para identificação de padrões e definição de parâmetros de controle – normalidade ou anormalidade de movimentação física, por exemplo [125,126,155,156]. Os relatórios também mencionam a possibilidade de se inserir os dados capturados

e processados no desenvolvimento de produtos futuros, uma vez que são armazenados e processados em nuvem. Isto promoveria o fechamento do ciclo de operações, que contaria com um fluxo de dados a partir de protocolos de comunicação específicos e formatos de dados padronizados [155,156].

CONNECTED VITALITY: YOOOM: CASO ESPECIAL

Os documentos recuperados do projeto *Connected Vitality: Yooom* – relatórios sobre os testes de campos [121,122,123], avaliação das aplicações desenvolvidas [157], relatórios finais do projeto [119,120], e duas publicações científicas [117,118] – não permitem uma análise comparável direta de seu processo de desenvolvimento com os conceitos de aplicação do *framework*. Embora relatem em detalhes as atividades conduzidas, que foram elaboradas a partir de uma filosofia de *design* centrado no usuário (UCD), o que confirma a integração do cliente no processo de desenvolvimento do produto, os relatórios do projeto apresentam em linhas gerais um processo qualitativo e subjetivo, de investigação da percepção dos potenciais usuários sobre TICs, visando compreender como ocorrem as interações entre eles e esse tipo de tecnologia.

Por se tratar de um projeto de pesquisa cujo objetivo era desenvolver uma plataforma digital (ou sistema) de telepresença, investigações foram realizadas sobre as preferências, dificuldades e sensações dos usuários ao contatar pessoas de seu círculo social por diferentes meios – telefone, telefone celular (mensagens de texto), e computador (e-mail). Foram investigadas também suas necessidades em termos de participação, vínculos e atividades sociais. As investigações contaram ainda com as perspectivas de especialistas da área de saúde sobre as mesmas questões, entre eles profissionais de enfermagem, assistentes sociais e gerentes de instituições de cuidado.

A partir das análises geradas durante tais processos investigativos, foram derivadas as características que o produto deveria apresentar – os requisitos. No entanto, não se obteve acesso aos relatórios que os contivessem, de forma que características específicas sobre o processo de desenvolvimento não

puderam ser identificadas, dificultando a comparação direta com os conceitos de aplicação propostos no *framework*, especialmente no que diz respeito às tecnologias utilizadas.

Entretanto, pode-se constatar que o projeto era fortemente orientado a integração do cliente, tendo como filosofia de projeto o UCD. Os potenciais usuários, conforme consta nos relatórios finais [119,120], eram tidos como ativos no processo, sendo importantes para identificação correta dos requisitos e aprovação dos protótipos, desenvolvidos ao longo do projeto por meio de prototipagem rápida – que, em cenários de I4.0 e considerado o *framework*, pode ser relacionada a tecnologias de manufatura aditiva. Essas informações permitem inferir que o projeto ocorreu em ciclos iterativos, cumprindo os seguintes requisitos do *framework*: integração do cliente, requisitos mais claros e confiáveis, e iterações. Portanto, relaciona-se parcialmente aos conceitos de aplicação para as etapas de planejamento e projeto do PSS, uma vez que não foi possível verificar quais tecnologias foram utilizadas.

O relatório de avaliação das aplicações desenvolvidas, isto é, os quatro formatos de sistema desenvolvidos pelo projeto (*Meet*, *Club*, *Classroom* e *Light*), bem como os relatórios sobre os testes de campo permitem inferir que os requisitos da categoria Características do Produto do *framework* (interfaces flexíveis, interoperabilidade e autonomia) também foram atendidos. O desenvolvimento de quatro formatos de sistema, correspondentes às diferentes necessidades identificadas na fase de captação de requisitos, portanto nas etapas de planejamento e projeto, demonstram a preocupação com a autonomia do usuário, que pode utilizar o produto adaptando-o ao seu estilo de vida e rotina de participação social, e com interfaces flexíveis, que são intuitivas para uso. Demonstram também atenção à interoperabilidade, uma vez que o formato *Light* foi desenvolvido para utilização em conjunto com os telefones celulares dos usuários.

Dois aspectos avaliados durante os testes de campo permitem inferir que o PSS (*YoooM*) também atende a característica de interfaces flexíveis: a usabilidade, aspecto composto por eficiência, efetividade e satisfação, e a facilidade de uso.

Os participantes dos testes consideraram o sistema, em seus diferentes formatos, como utilizável e intuitivo, fazendo avaliações significativamente positivas. Considerando que o produto, uma alternativa à comunicação digital, é comercializado atualmente, entende-se que processos pautados em intensa integração com os clientes, por meio de filosofias de projeto centrado no usuário, como o UCD, e métodos derivados, como *workshops* de *design*, são interessantes dos pontos de vista comercial e de inovação. Desta forma, compreende-se a relevância de incluir o UCD como filosofia direcionadora e como um dos elementos base do FDPI 4.0.

FEARLESS

Diferente dos demais projetos, os documentos recuperados sobre o projeto *FEARLESS*, nove ao todo, são artigos científicos; quatro se referem diretamente ao processo de desenvolvimento do PSS, e por essa razão foram analisados conforme os critérios de análise documental apresentados no início do capítulo. Os cinco demais artigos tratam da tecnologia de visão computacional desenvolvida durante o projeto para integrar os sensores de monitoramento de eventos (quedas), e inatividade (comportamentos). A tecnologia baseia-se em pontos de referência corpórea (ombros, quadril, pés) e dados de profundidade espacial para monitoramento, não comprometendo a privacidade do usuário [133].

Embora os artigos sobre o desenvolvimento da tecnologia sejam específicos, um deles possibilita paralelos no contexto da Indústria 4.0. Intitulado “Combinando Informação Espacial e Temporal para Modelamento de Inatividade”, em tradução livre, o artigo propõe um Modelo de Inatividade que combina informações sobre a disposição de objetos e cômodos e sobre horários do dia para detectar padrões de comportamento anormais em relação a um perfil de referência, por meio do uso de algoritmos [138]. Considerando as tecnologias habilitadoras descritas no *framework*, ferramentas de IA associadas à computação em nuvem poderiam ser incorporadas ao produto, refinando suas funções por meio da aprendizagem contínua sobre os padrões de comportamento do usuário.

Sozinha, esta análise não aponta para a verificação dos conceitos de aplicação do *framework*, apenas para uma possível correlação tecnológica. A necessidade de desenvolver tal tecnologia, porém, surgiu da identificação de requisitos para o produto relacionados à segurança cibernética [134], como demonstra o Quadro 9.

FEARLESS				
	Características PDP	Requisitos I4.0	Tecnologias utilizadas	Tecnologias Habilitadoras
Estrat. Org.	Ciclos de ajuste dos requisitos	Iterações; Requisitos mais claros e confiáveis	Algoritmos para detecção de padrões	IA; Computação em nuvem
	Comunicação de dados	Troca de dados ("tempo real")	Internet	IoT
Comunicação de Dados	Proteção de dados	Segurança cibernética	Sensores e atuadores	CPS
	Segurança e privacidade do usuário		Formatos de dados padronizados	
Características dos Produtos	Autonomia	Autonomia		
	Customização das funções	Interfaces flexíveis		
	Flexibilidade			
	Usabilidade			
	Adaptabilidade	Interoperabilidade		
	Interoperabilidade			
	Integração entre serviços*	Integração da cadeia de valor*		
Formas de Integração do Cliente				
○ Entrevistas		○ Surveys	○ Testes em laboratório com potenciais usuários	

Quadro 9: Análise comparativa do projeto FEARLESS.
Produto desenvolvido: FEARLESS System.

O *FEARLESS System* foi desenvolvido em ciclos de ajuste de requisitos, que contaram com o auxílio de entrevistas, *surveys* e testes em laboratório com potenciais usuários para definição dos requisitos até a solução ótima. Desse modo, o processo contou com integração dos clientes, requisitos mais claros e confiáveis e iterações, previstos nos conceitos de aplicação para as etapas de planejamento e projeto do produto. Na etapa de planejamento, correspondendo ao respectivo conceito de aplicação, o projeto também definiu medidas de

segurança cibernética, de forma a garantir a proteção dos dados, a segurança e privacidade dos usuários, requisitos importantes para os usuários, que incentivaram o desenvolvimento de uma tecnologia de visão computacional específica para o produto [134,138].

Durante a etapa de projeto, três requisitos refletiram o objetivo principal do projeto *FEARLESS* – aumentar a mobilidade dos usuários por meio da redução do medo de quedas através de um sistema de apoio para casos de emergência, que não comprometa a autonomia e privacidade dos usuários: autonomia, interfaces flexíveis e interoperabilidade. Estes requisitos, identificados a partir das características autonomia, customização das funções, flexibilidade, adaptabilidade e interoperabilidade, apontados pelos potenciais usuários durante a captação de requisitos, e também apresentadas no Quadro 9, compõem uma das categorias de requisitos do *framework* – Características do Produto. Para os clientes, era necessário que o produto pudesse entregar diferentes funções, disponíveis à sua escolha e que favorecessem sua autonomia, que fosse flexível em termos de adaptabilidade às capacidades dos usuários e ao contexto de uso. Portanto, um produto que apresentasse interfaces flexíveis e pudesse se conectar e operar em conjunto com outros dispositivos ou sistemas, sendo, assim, interoperável [134,135,140]. Com base nestas comparações, pode-se afirmar que os conceitos de aplicação para as etapas de planejamento e projeto foram verificados.

Não se pode afirmar que o conceito de aplicação para a etapa de uso foi completamente verificado, pois não há menção sobre qualquer utilização dos dados de uso nos artigos analisados. No entanto, uma das características previstas para o produto é a comunicação de dados entre os dispositivos do *FEARLESS System*, sensores e atuadores conectados via internet, que deve ocorrer próxima ao tempo real para o correto desempenho do produto.

Comparada aos requisitos do *framework*, esta característica se relaciona a troca de dados em tempo real, associada a formatos de dados padronizados [72,100,102] enquanto tecnologia habilitadora. Adicionalmente, os dispositivos componentes do produto são conectados entre si, e o sistema pode ser

conectado a outros dispositivos via internet, caracterizando sistemas físico-cibernéticos, conforme as definições de Abramovici [30,31], Lee [33] e Rajkumar [34], e integrando, assim, o ambiente de Internet das Coisas.

Outra característica importante do projeto, ainda que não contemplada claramente no FDPI 4.0, relaciona-se diretamente a um dos eixos da Indústria 4.0, a integração horizontal da cadeia de valor [15,105]. O projeto prevê a integração entre diferentes serviços e a qualificação de fornecedores para entregar o produto na forma de uma solução para os clientes. Dois dos artigos analisados tratam mais explicitamente do modelo de negócio planejado para distribuição do produto, que inclui, por exemplo, profissionais eletricitas para instalação e manutenção do produto, serviços locais de emergência e assistência à saúde [135,140].

5.2 ENTREVISTAS COM OS COORDENADORES DOS CASOS ANALISADOS

O segundo estágio da etapa de verificação teve o objetivo de explorar informações não encontradas durante a análise dos casos. Tais informações referiam-se aos fatores de sucesso dos projetos, já que foram indicados como “casos de sucesso” em publicações do Programa AAL [37,114], ao foco dos projetos, análise dos dados da fase de uso, integração do cliente e possíveis relações com a Indústria 4.0. As informações foram coletadas com apoio de um roteiro com cinco questões abertas, redigidas em inglês e traduzidas a seguir. O roteiro original se encontra em Apêndices.

1. Por que pode ser considerado um caso de sucesso?
2. Qual era o foco do projeto: cliente, modelo de negócio ou inovação?
3. Como a análise dos dados capturados e armazenados pela solução pode ser útil para o desenvolvimento de novas soluções?

4. Qual é a importância de envolver o cliente no processo de desenvolvimento desde o início?
5. Quais características relacionadas à Indústria 4.0 o projeto já apresentava durante seu processo de desenvolvimento?

Embora os coordenadores dos quatro casos analisados tenham sido contatados, apenas três se disponibilizaram em participar da pesquisa. Para um deles, o coordenador do projeto *RelaxedCare*, no entanto, não houve tempo hábil para participação. Assim, as entrevistas semiestruturadas foram realizadas com os coordenadores dos projetos *iWalkActive* e *FEARLESS*, que também participaram do terceiro estágio da etapa de verificação do *framework*.

As respostas às questões das entrevistas foram transcritas, traduzidas e analisadas qualitativamente a partir da identificação do ponto central no discurso dos entrevistados. Os Quadros 10 e 11 a seguir apresentam as respostas traduzidas e resumidas, conforme a identificação do ponto central no discurso e palavras-chave associadas ao seu conteúdo, que orientaram a discussão em relação ao que propõe o FDPI 4.0.

As respostas dos coordenadores entrevistados foram analisadas comparativamente, apontando as diferenças e similaridades entre os projetos. Vale ressaltar que o *Walker* (andador com sistema de navegação embutido, produto do projeto *iWalkActive*) não é atualmente comercializado, informação esclarecida durante a entrevista. O *FEARLESS System* (sistema de monitoramento, ou assistente digital de cuidado, produto do projeto *FEARLESS*), por outro lado, se encontra disponível comercialmente.

Os fatores de sucesso dos projetos encontram na viabilidade comercial seu ponto comum e na continuidade sua principal diferença. Embora para o projeto *iWalkActive* o fator principal seja a reação positiva dos usuários em relação ao protótipo desenvolvido, o que indica o atendimento real às necessidades dos potenciais usuários, o protótipo foi desenvolvido até uma etapa muito próxima da comercialização e não foi disponibilizado comercialmente devido ao

encerramento do projeto de pesquisa e a questões de financiamento associadas, de acordo com o entrevistado.

<i>iWalkActive</i>		
	Resumo	Palavras-chave relacionadas ao conteúdo
Q1	As reações dos usuários foram positivas. O projeto desenvolveu um protótipo muito próximo de um produto final, então os usuários puderam experimentar o produto, que se comporta de maneira muito intuitiva e não requer que o usuário tenha que aprender a usá-lo. É só usar.	Reações positivas dos usuários. Produto intuitivo. Protótipo próximo do comercial.
Q2	Primeiramente, os clientes. Sempre foi muito importante saber o que eles pensavam sobre o produto. Em segundo lugar a inovação, devido às características do produto que estava sendo proposto (<i>e-drive</i> , andador com sistema de navegação).	Foco no cliente. Inovação como consequência.
Q3	Não é um típico produto IoT. Os dados são utilizados apenas localmente e a conexão com a internet serve apenas para fornecimento de dados de localização (GPS) e comunicação unidirecional (alertas de emergência, por exemplo).	Dados para localização. Processamento e armazenamento local de dados.
Q4	É importante incluir os clientes para desenvolver um produto que esteja realmente de acordo com suas necessidades. Mas às vezes, é necessário mostrar o protótipo primeiro, e depois investigar a reação das pessoas sobre ele. É um outro método de identificar as necessidades, que podem estar relacionadas a necessidades futuras.	Inclusão do cliente. Necessidades reais. Necessidades futuras. Reação sobre o produto.
Q5	Nunca se discutiu I4.0 durante o projeto. Mas a I4.0 oferece benefícios principalmente para a produção, que poderia ser apoiada por processos digitalizados. A digitalização dos processos, no sentido de intercâmbio de informações, tem potencial para apoiar a cadeia de fornecedores.	Digitalização dos processos. Intercâmbio de informações. Integração horizontal da cadeia de valor.

Quadro 10: Resumo das respostas por questão. Entrevistado: coordenador do projeto *iWalkActive*.

No caso do projeto *FEARLESS*, mesmo com seu encerramento, os parceiros continuaram desenvolvendo o produto até sua forma comercial, dado o potencial do produto em relação aos objetivos iniciais e o financiamento por parte do parceiro comercial.

FEARLESS		
	Resumo	Palavras-chave relacionadas ao conteúdo
Q1	Mesmo com o fim do projeto de pesquisa, os parceiros acreditaram na solução que estavam desenvolvendo e continuaram trabalhando para transformá-la em um produto comercialmente viável.	Continuidade. Potencial do produto. Viabilidade comercial.
Q2	Projetos desse tipo sempre têm o foco no cliente, mas neste caso específico, o foco era a inovação: como solucionar o problema de um ponto de vista técnico, e como a solução pode ser integrada e testada com clientes reais em suas casas.	Solução de problema. Inovação. Integração com o cliente.
Q3	Como a solução utiliza <i>machine learning</i> , é necessário registrar dados brutos para treinar o algoritmo. As regras básicas obtidas a partir desses dados permitem aprimorar/melhorar o sistema, desenvolver novas características e tratar outros problemas no mesmo mercado. É possível aprender muito sobre o lado do cliente com esse tipo de solução IoT. O monitoramento dos sensores durante a fase de uso permite identificar problemas do produto ou dos clientes, atividades não previstas anteriormente e tendências. Esse tipo de informação pode ser utilizado no desenvolvimento de produtos futuros ou em novas funções para o produto existente.	Aprendizagem. Aprimoramento de desempenho. Novas características. Novos produtos.
Q4	Envolver os clientes desde o início auxilia a manter o foco na aplicabilidade prática do sistema que está sendo desenvolvido. Não se trata apenas de identificar a característica ou requisito central corretamente, mas também de desenvolver um sistema que seja operacional/útil, com garantia de usabilidade e assim por diante. Quando o cliente é inserido no ciclo de desenvolvimento desde o início, aprender isso é mais rápido.	Aplicabilidade. Utilidade. Operacionalidade/operabilidade. Usabilidade. Eficiência.
Q5	À época do projeto, questões como IA, digitalização, I4.0 não eram discutidas. Isso só veio muito mais tarde. Mas digitalização definitivamente é uma preocupação agora. O termo assistente digital de cuidado captura o foco da solução da melhor maneira no momento, pois se trata não de um sistema de monitoramento, mas de um colega virtual que oferece apoio para suas atividades e rotina diárias, fazendo o que você não precisa ou não é treinado para fazer.	Digitalização. Assistente digital de cuidado. Suporte e distribuição de tarefas.

Quadro 11: Resumo das respostas por questão. Entrevistado: coordenador do projeto FEARLESS.

As respostas à questão Q2 permitem distinguir características específicas quanto ao foco dos projetos, apesar de ambos se apoiarem no UCD e, por conseguinte, centrarem o projeto no usuário. O projeto *iWalkActive* é fortemente

orientado ao cliente, à solução de uma necessidade atual ou potencial necessidade futura, que tem na reação dos usuários seu principal indicador de assertividade, e se refere à inovação como consequência no processo. Ao passo que o projeto *FEARLESS* orienta-se à solução de um problema (necessidade identificada) de uma perspectiva técnica, tendo a integração com o cliente como parte da solução e a inovação como principal elemento para solução do problema identificado. Assim, pode-se concluir que, a despeito da centralidade na necessidade dos usuários, os projetos diferem sutilmente quanto à abordagem para atacar o problema, que pode partir de um princípio de solução mais ou menos técnico.

A questão Q3 promoveu uma correção quanto ao que se havia apreendido dos documentos analisados referentes ao projeto *iWalkActive*. A solução desenvolvida não é um típico produto IoT, pois a conexão com a internet tem como função apenas fornecer dados de localização para o sistema de navegação do *Walker*. Ou seja, não há processamento nem comunicação ou armazenamento externo de dados, uma vez que os serviços de emergência ou comunicação associados ao produto são acionados a partir da interface do dispositivo *mobile* associado. Assim, não é possível reutilizar os dados da fase de uso do produto, diferente do que é previsto no *FEARLESS System*.

Este sistema utiliza *machine learning* para registrar os dados referentes ao ambiente de uso e ao usuário, e para treinar o algoritmo que alertará em caso de intercorrências. Este tipo de tecnologia não conta com repositórios públicos de dados para treinamento do algoritmo, uma vez que os dados, parâmetros e padrões são diferentes para cada usuário. Sendo assim, o processamento e armazenamento de dados é importante para aprimorar as características do sistema e identificar possíveis problemas do produto, relacionados à desempenho, ou dos clientes, relacionados a dificuldades, por exemplo, durante a fase de uso. Além disso, segundo o coordenador entrevistado, o monitoramento dos sensores e análise dos dados da fase de uso permitem identificar tendências que podem apontar para novas necessidades e,

consequentemente, novas ideias de produto – o que se discute no *framework*, no conceito de aplicação para a etapa de uso.

As respostas à questão Q4 apresentam o mesmo ponto central: incluir os usuários no processo desde o início leva ao desenvolvimento de produtos que realmente atendem às suas necessidades. Entretanto, o coordenador do projeto *iWalkActive* faz uma afirmação interessante quanto ao envolvimento do usuário no projeto: “...às vezes, é necessário mostrar o protótipo primeiro, e depois investigar a reação das pessoas (...)”. Segundo ele, “...é um outro método de identificar as necessidades, que podem estar relacionadas a necessidades futuras” não percebidas no momento. Dessa forma, os usuários consideram diferentes cenários de utilização do produto, podendo acolher como útil uma solução não percebida como necessária anteriormente.

Em comparação ao que respondeu o coordenador do projeto *FEARLESS*, o método empregado no projeto *iWalkActive* parece apresentar maior nível de abstração, e as palavras-chaves associadas ao conteúdo das respostas refletem essa análise. De acordo com o discurso do coordenador do projeto *FEARLESS*, envolver os usuários no processo desde o início auxilia no desenvolvimento de produtos com maior aplicabilidade prática, mais úteis e fáceis de usar, tornando mais fácil também o aprendizado em relação a tais características durante o processo.

A última questão referiu-se a características dos processos possivelmente relacionadas à Indústria 4.0. Ambos os coordenadores relataram a ausência de discussões sobre o tema à época dos projetos, mas apontaram a digitalização como principal ponte entre os projetos e a I4.0, de duas perspectivas diferentes. O coordenador do projeto *iWalkActive* destacou a digitalização do ponto de vista do intercâmbio de informações, da integração na cadeia de valor e dos benefícios de tal integração para o processo de produção. Enquanto o coordenador do projeto *FEARLESS* referiu-se à digitalização como ferramenta para o cuidado, como forma de apoiar a rotina e as atividades diárias por meio de processos digitais.

No que se refere à importância desta etapa para a verificação do FDPI 4.0, as respostas às questões durante as entrevistas refletem os fundamentos sobre os quais se apoiou o *framework* enquanto ferramenta para o PDPI para idosos. Ao se investigar os fatores de sucesso, o foco dos projetos, a utilização (ou não, como se descobriu no caso do projeto *iWalkActive*) dos dados da fase de uso, a importância do envolvimento dos usuários e as possíveis relações com a I4.0, em termos de características do PDP, tendo os coordenadores dos projetos como fonte direta das informações, estabeleceu-se uma ponte com os princípios do *framework*, que tem como característica principal a indissociabilidade entre o atendimento às necessidades do público idoso e a inovação. Esta pode ser puramente técnica, estar relacionada ao oferecimento de novos serviços, ou relativa à combinação de ambos, resultando nas soluções inteligentes que caracterizam os PSS analisados e os quais o FDPI 4.0 visa auxiliar a desenvolver.

Ainda que o *framework* configure uma proposta conceitual, portanto, teórica, e que os projetos não apresentem relações diretas com a I4.0, os estágios de verificação apresentados até aqui permitem afirmar que o FDPI 4.0 capta as similaridades entre os casos analisados, refletindo cenários e princípios reais de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos.

5.3 AVALIAÇÃO DO *FRAMEWORK* POR ESPECIALISTAS

O último estágio da etapa de verificação consistiu da avaliação do FDPI 4.0 por especialistas da área de desenvolvimento de produtos para o envelhecimento, e objetivou captar suas percepções sobre o *framework* de um ponto de vista prático. Estes especialistas, os coordenadores dos projetos *iWalkActive* e *FEARLESS* entrevistados no estágio de verificação anterior, avaliaram um total de sete itens no *framework*, dos quais três eram critérios fechados, um critério aberto, e o restante, campos abertos. O conjunto de itens tinha por objetivo promover uma avaliação abrangente do *framework*, que indicasse seu potencial de aplicação, a compatibilidade com cenários industriais reais de

desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos, suas limitações e pontos de melhora.

As avaliações foram realizadas com o apoio de um formulário elaborado pela pesquisadora, redigido em inglês e enviado por internet aos especialistas. A Figura 26 ilustra o formulário de avaliação traduzido e com os campos para resposta reduzidos (o formulário original, enviado aos especialistas, é apresentado integralmente em Apêndices).

Aos três critérios fechados atribuiu-se uma escala qualitativa de quatro pontos, que variava de mais positiva a mais negativa, como forma de gradação e posicionamento do *framework* em relação aos seus critérios de avaliação, indicando seu potencial nível de utilidade enquanto ferramenta prática. O restante dos itens era composto por campos abertos, nos quais o avaliador podia se expressar livremente. Os três critérios fechados e o critério aberto, expostos a seguir, apresentavam perguntas descritivas, como ilustra a Figura 26.

- *Critérios fechados:*
 - C1: Exatidão dos conceitos de aplicação
 - C2: Factibilidade técnica
 - C3: Impacto de implementação
- *Critério aberto.*
 - C4: Limitações.

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO			
1. Exatidão dos conceitos de aplicação			
As tecnologias habilitadoras são capazes de atender aos requisitos da I4.0 aos quais se relacionam, em cenários reais de desenvolvimento de produto?			
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Completamente exato	Exato	Inexato	Completamente inexato
Por quê? _____			

2. Factibilidade técnica			
O <i>framework</i> é adequado para cenários industriais reais de desenvolvimento de produtos?			
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Completamente adequado	Adequado	Inadequado	Completamente inadequado
Por quê? _____			

3. Impacto de implementação			
Qual o nível de impacto causado por novas ou diferentes ferramentas em cenários industriais reais de desenvolvimento de produtos?			
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Alto impacto	Impacto moderado	Baixo impacto	Sem impacto
Por quê? _____			

4. Limitações			
Quais limitações o <i>framework</i> apresenta para cenários industriais reais de desenvolvimento de produtos?			

Visão geral do <i>framework</i>			

Sugestões de aprimoramento			

Outros comentários			

Figura 26: Ilustração do formulário de avaliação do FDPI 4.0.

Seguindo o padrão de apresentação das respostas no estágio de verificação anterior, o Quadro 12, à frente, contém as avaliações traduzidas dos critérios fechados (C1 a C3) e do critério aberto (C4).

		Avaliador 1	Avaliador 2
C1	E.Qt.	Exato (2)	Exato (2)
		Os conceitos são claros e exatos, e as tecnologias habilitadoras parecem estar adequadas aos requisitos correspondentes. No entanto, as tecnologias são vagamente especificadas e a utilidade de VR/AR neste contexto específico pode ser desafiada na prática.	Particularmente na etapa de planejamento do PSS, simulações avançadas e sistemas VR/AR/MR também se aplicam. Essas tecnologias podem ajudar a tornar o processo de planejamento mais confiável, em particular quando pensamos em iterações. Utilizar essas tecnologias também significa obter uma boa compreensão sobre o <i>feedback</i> dos clientes cedo no processo. E o quanto antes se identificar o requisito de mudança, com menor custo ela pode ser realizada.
C2	E.Qt.	Adequado (2)	Adequado (2)
		O <i>framework</i> proposto aborda os cenários de desenvolvimento corretamente e fornece uma estruturação útil para as diferentes etapas.	O <i>framework</i> é adequado, porém, muitas questões permanecem em aberto. Essas questões são sobre como usar as tecnologias propostas, IA e IoT como dois exemplos. O <i>framework</i> deveria esclarecer mais detalhadamente como e para qual propósito essas tecnologias são usadas.
C3	E.Qt.	Alto impacto (1)	Impacto moderado (2)
		O desenvolvimento de produto é desafiador devido a <i>feedbacks</i> diversos e até contraditórios dos usuários finais e clientes. Os processos devem ser capazes de capturar isto e permitir mudanças ou atualizações rápidas para o produto durante todas as etapas do ciclo de vida. Portanto, ferramentas que não apoiem essas ações terão um impacto negativo na implementação.	Dependendo das ferramentas que uma empresa tenha usado anteriormente, o impacto pode variar. Tipicamente, há um alto impacto se a empresa tem que mudar suas ferramentas.
C4		Pode ser muito teórico e, portanto, criar barreiras para implementação no mundo real. A apresentação não é intuitiva e não há clareza do porquê essa ferramenta é melhor que outras.	Não existem muitas limitações porque o <i>framework</i> é descrito de maneira bastante genérica. Há potencial para aprimoramentos e detalhamento para a situação específica de cada empresa. A limitação, portanto, é que o <i>framework</i> fornece uma diretriz, mas em nível muito elevado de abstração.

Quadro 12: Avaliações dos critérios 1 a 3 pelos especialistas.
[E.Qt. = conceito (pontuação) atribuído na escala qualitativa]

De maneira geral, a avaliação dos especialistas foi positiva, indicando que o FDPI 4.0 tem potencial para aplicação em cenários reais. As considerações dos avaliadores em relação a suas avaliações, porém, se demonstraram divergentes. Para o critério 1, os avaliadores indicaram que as tecnologias habilitadoras e os requisitos aos quais se relacionam são exatos, sugerindo que os conceitos de aplicação do *framework* são coerentes.

O avaliador 1, contudo, apontou que não há detalhamento sobre as tecnologias indicadas, e que a utilização de sistemas VR/AR no contexto proposto pode ser contestada. Ainda que tenha um público alvo definido, o *framework* visa ser abrangente e aplicável em diferentes empresas e modelos de negócio, portanto, a dita ausência de detalhamento quanto às tecnologias se justifica pela intenção de ser uma ferramenta genérica, que possa ser ajustada e especificada conforme as necessidades e possibilidades do ambiente em que é aplicada.

O avaliador 2, por outro lado, indicou que os sistemas VR/AR/MR, em conjunto com as tecnologias de simulações avançadas, poderiam ser também incorporados a etapa de planejamento do PSS, como forma de tornar o processo mais confiável em termos de iterações. Considerando que os requisitos do PSS são identificados durante a etapa de planejamento, de acordo com a visão do avaliador 2, as tecnologias referidas auxiliariam na definição de requisitos mais claros e confiáveis (requisito da etapa), fornecendo dados e informações mais concretos para as etapas seguintes no processo de desenvolvimento, e minimizando possíveis custos de mudanças.

Nessa perspectiva, outro requisito poderia ser atendido já na etapa de planejamento: a otimização de recursos. Portanto, é uma sugestão interessante em se tratando de aperfeiçoamento para o *framework*.

Para o critério 2, ambos os especialistas avaliaram o *framework* como adequado em termos de factibilidade técnica; a justificativa do avaliador 1 reitera essa conclusão e indica boa estruturação dos conceitos de aplicação propostos. O avaliador 2, porém, questiona o nível de detalhamento para uso e propósito das tecnologias, semelhante ao avaliador 1 para o critério 1. Não se podem ignorar

tais questionamentos, que poderiam ser sanados a partir de casos de aplicação (*use cases*), por exemplo. No entanto, o nível de detalhamento a que se referem foge à descrição do *framework* proposta aqui, caminhando opostamente a generalidade de contextos de aplicação que visa o FDPI 4.0 enquanto ferramenta.

Houve divergência entre os avaliadores quanto aos critérios 3 e 4. O avaliador 1 apontou a introdução de novas ou diferentes ferramentas no contexto do desenvolvimento de produtos como de alto impacto, justificando-se pela complexidade de informações de *feedback* dos clientes que o processo e as ferramentas utilizadas têm de absorver. Ferramentas que não suportem a complexa dinâmica de informações durante o processo impactariam negativamente não apenas a implementação, mas o ciclo de vida do PSS como um todo. Em contraponto, o avaliador 2 apontou que o impacto de implementação de novas ferramentas é tipicamente alto, mas que depende da experiência da empresa com o uso de ferramentas anteriores.

Tais considerações dos avaliadores permitem concluir que o impacto de aplicação depende de dois fatores principais: capacidade da ferramenta, que deve atender às necessidades de seu contexto de aplicação oferecendo soluções, não perturbações; e experiência prévia da empresa. A introdução de novas ferramentas demanda tempo de adaptação, que pode ser mais ou menos alongado de acordo com a estratégia de adequação da empresa, em termos de objetividade (propósito de introdução da ferramenta) e treinamento de pessoal.

No que diz respeito ao critério 4, um dos especialistas avaliou o *framework* como sendo “muito teórico”, apontando esta como a principal “barreira para implementação” em cenários reais. Ademais, afirmou que a compreensão do *framework* não se dá de maneira intuitiva e que “não há clareza do porquê essa ferramenta é melhor que outras”. Compreende-se a razão de ser dessa avaliação, no entanto, a proposta do *framework* é teórica por natureza, e nasce da necessidade de se organizarem princípios e oferecerem direcionamentos para o desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos no contexto da Indústria 4.0.

Esta é a principal diferença em relação a outras ferramentas de desenvolvimento de produtos: o FDPI 4.0 combina as especificidades do desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos, a partir de casos de sucesso, aos requisitos e possibilidades da Indústria 4.0, com o objetivo futuro de auxiliar a desenvolver produtos mais adequados às expectativas de consumo dessa população. Adicionalmente, o *framework* busca fortalecer a noção de que o atendimento às necessidades da população idosa está intimamente relacionado ao desenvolvimento tecnológico e inovação [13,19,76,96]. Quanto à apresentação “não intuitiva” do *framework*, é uma questão a ser aprimorada no futuro.

O avaliador 2, por outro lado, afirmou não existirem muitas limitações, dada a descrição genérica da ferramenta. Segundo ele, o *framework* apresenta “potencial para aprimoramentos e detalhamento para a situação específica de cada empresa” – o que reflete seu real propósito. Ainda assim, nota-se em sua avaliação certa cautela em relação à característica genérica do FDPI 4.0, pois afirma que, ainda que o *framework* forneça uma diretriz de aplicação, o faz em um nível de abstração muito elevado. Em termos práticos, tal nível de abstração nos conceitos de aplicação pode favorecer o surgimento de barreiras na implementação.

Os campos abertos ao final do formulário de avaliação, que se referiam à visão geral do *framework*, sugestões de aprimoramento e outros comentários foram respondidos por apenas um dos especialistas, como apresenta o Quadro 13.

Três pontos podem ser destacados a partir de suas considerações:

- O elevado nível de abstração com que se descreve o *framework* permite sua adaptação a situações específicas de uso em empresas, abrindo espaço para novos “*business cases*”, mas o restringe em termos de diretrizes detalhadas de aplicação.
- Diretrizes focadas na implementação do *framework* facilitariam sua absorção em cenários reais de desenvolvimento de produtos, e

poderiam suprir a ausência de detalhes profundos nos conceitos de aplicação.

- É necessário cautela ao indicar as tecnologias habilitadoras para atendimento dos requisitos nos conceitos de aplicação, pois algumas delas requerem profundo conhecimento de domínio para implementação e aplicação de forma a promover resultados positivos.

Avaliador 2	
Visão geral do <i>framework</i>	O <i>framework</i> aborda diversos requisitos e tecnologias nas etapas de desenvolvimento de produto e uso. É descrito em um nível muito elevado de abstração e, portanto, requer diretrizes mais detalhadas para as empresas que desejarem adaptar o <i>framework</i> às suas necessidades. Mas isso também abre espaço para novos " <i>business cases</i> " para consultores.
Sugestões de aprimoramento	Um ponto que deveria ser acrescentado ao final do tempo de vida dos produtos: reciclagem. Isso completaria o <i>framework</i> na direção de uma gestão completa do ciclo de vida. O aspecto de modelo de negócio também deveria ser integrado ao <i>framework</i> . Além disso, uma diretriz sobre como implementar o <i>framework</i> seria conveniente.
Outros comentários	Um comentário geral: IA é geralmente vista como uma receita universal para resolver qualquer problema. Mas utilizar IA requer profundo conhecimento de domínio para: a) reunir os dados realmente relevantes, e b) avaliar os resultados de um algoritmo de IA. O <i>framework</i> é descrito em um nível bastante elevado de abstração utilizando algumas " <i>buzzwords</i> ". Talvez tenha sido intencional. Mas o <i>framework</i> ganharia em utilidade se focasse mais diretamente nas necessidades da indústria. A descrição de <i>Big Data</i> no <i>framework</i> é um bom exemplo.

Quadro 13: Respostas aos campos abertos.

5.4 APONTAMENTOS GERAIS SOBRE A ETAPA DE VERIFICAÇÃO

Cada estágio de verificação serviu a objetivos específicos, que em conjunto tiveram o propósito de avaliar o potencial de aplicação do FDPI 4.0 em cenários reais de desenvolvimento de produto. O primeiro estágio, cujo objetivo era promover uma identificação retroativa dos conceitos de aplicação propostos no *framework*, a partir da comparação dos conceitos de aplicação com as características de casos reais, demonstrou que, embora nem todos os requisitos da I4.0 presentes no *framework* tenham sido verificados, como já era esperado, pelo menos metade deles foi diretamente identificada nos projetos (com exceção do projeto *Yooom*). Tal fato permite constatar que os requisitos do FDPI 4.0 vêm de uma evolução de requisitos para o desenvolvimento de produtos inteligentes, assim como a Indústria 4.0 em si é o resultado de evoluções no campo das TICs e de sua aplicação na produção industrial [14,15].

Portanto, com a ressalva de que os projetos foram desenvolvidos anteriormente à popularização dos conceitos e do paradigma da I4.0, o primeiro estágio de verificação permite atestar que o segundo objetivo do *framework*, fornecer uma rota de adaptação do processo de desenvolvimento de produto ao contexto da I4.0, por meio da integração de tecnologias que auxiliem na utilização eficiente dos dados ao longo do processo, pode ser alcançado em cenários reais de desenvolvimento de produtos. Adicionalmente, e considerando que os produtos desenvolvidos nos projetos *Yooom* e *FEARLESS* são atualmente comercializados, é possível afirmar que o *framework*, que tem como um de seus pilares fundamentais o projeto centrado no usuário, tem potencial para cumprir também seu primeiro objetivo: desenvolver produtos inteligentes que se adequem às reais necessidades e expectativas de consumo dos clientes.

O segundo estágio de verificação, que visava explorar informações não encontradas durante o primeiro estágio, permitiu identificar a perspectiva dos coordenadores sobre os processos de desenvolvimento que coordenaram, e compreender como a inserção do cliente nas fases iniciais do processo, por meio de metodologias centradas no usuário, influencia na identificação e definição

mais assertiva dos requisitos do produto. Em termos práticos, e complementarmente aos achados do primeiro estágio de verificação, os resultados são avaliações mais positivas dos protótipos durante o ciclo e menos correções necessárias – o que otimiza os recursos dispensados.

O último estágio de verificação serviu como prova final do potencial de aplicação do *framework*. Apesar das sugestões, como considerar também a etapa de reciclagem do ciclo de vida e acrescentar aspectos relacionados a modelos de negócio, e questionamentos, sobre a especificidade das tecnologias, por exemplo, as avaliações foram positivas e permitem que concluir que o FDPI 4.0 apresenta potencial concreto de aplicação em cenários reais de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos.

5.5 LIMITAÇÕES

A primeira limitação a ser mencionada, alvo, inclusive, de questionamentos por parte dos especialistas que avaliaram o FDPI 4.0, é o fato de ser uma proposta teórica. De fato, não houve aplicação prática, o que pode ter restringido os conceitos de aplicação, principalmente em se tratando de diretrizes detalhadas de implementação. A não aplicação prática do *framework* pode ser também a origem de sua descrição genérica. Houvesse sido testado em campo, *use cases* poderiam ser derivados, auxiliando na descrição dos usos e aplicações das tecnologias propostas. Isto poderia tornar mais palpável seus benefícios de implementação e auxiliar em uma diferenciação mais clara em relação à outras ferramentas de desenvolvimento de produto.

Pode-se destacar também a própria etapa de verificação como limitada. Não há no Brasil grandes centros ou programas de pesquisa e desenvolvimento orientados a produtos para idosos, como se demonstrou neste trabalho, de forma que acompanhar processos reais e apreender suas características e particularidades não foi possível. Dessa forma, os casos, todos internacionais, foram analisados retroativamente para identificação das características relevantes à proposta do FDPI 4.0. Além disso, há que se considerar as

diferenças entre as populações idosas brasileira e europeia, não só, mas particularmente no que se refere à familiaridade tecnológica.

Adicionalmente, a amostra para as entrevistas e avaliações por especialistas não representa consensos gerais. Apenas dois coordenadores puderam participar desta pesquisa, portanto, outras considerações, pontos de melhora e fraquezas importantes para a consolidação do FDPI 4.0 enquanto ferramenta podem ainda estar ocultos.

6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa dedicou-se a propor um *framework* conceitual para o desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos no contexto da I4.0, a partir da compreensão das informações comunicadas nas etapas do processo de desenvolvimento de produto e da influência dos componentes inteligentes sobre este processo.

No processo de concepção do *framework*, identificaram-se três etapas críticas para o desenvolvimento de produtos inteligentes na I4.0: planejamento e projeto do produto, já destacadas na literatura por serem as etapas do PDP em que as decisões mais importantes em relação aos produtos são tomadas, alinhando planejamento estratégico e modelo de negócio, e a etapa de uso do produto. Aqui reside a primeira contribuição deste trabalho.

Ao explorar o PDP no contexto da I4.0, identificando-se quais os requisitos da I4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes e quais as tecnologias habilitadoras que podem ser utilizadas para atender aos requisitos, pôde-se concluir que o cerne do desenvolvimento de produto na I4.0 e, portanto, seu aspecto mais importante, é a gestão eficiente de dados do produto em um ciclo fechado (*closed-loop*). Por essa razão, a etapa de uso dos produtos se configura como um ativo valioso, que contribui para ciclos em andamento e que pode contribuir para o início de novos ciclos de desenvolvimento. Demonstraram-se neste trabalho as possibilidades em termos de atualização, correção, desenvolvimento de novos produtos, gestão de aprendizagem e inovação relacionadas aos dados extraídos da etapa de uso dos produtos inteligentes. Nessa perspectiva, o FDPI 4.0, com seus conceitos de aplicação, oferece direcionamentos sobre quais tecnologias podem ser utilizadas para aproveitamento dos dados da etapa de uso, assim como quais tecnologias habilitadoras podem ser utilizadas para o atendimento dos requisitos das etapas de planejamento e projeto do produto.

Durante o processo de concepção do *framework*, identificaram-se também quais os aspectos mais importantes no desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos. A partir da análise dos casos do Programa AAL no primeiro estágio da etapa de verificação, auxiliada pelas entrevistas do segundo estágio, concluiu-se que identificar as necessidades desse público e criar produtos que as solucionem não é garantia de desenvolver produtos que lhes sejam atrativos. É necessário identificar, a partir da perspectiva do usuário, quais requisitos são importantes para atender suas necessidades e quais são suas expectativas de consumo.

Como estratégia para captar assertivamente os requisitos e expectativas dos usuários, e desenvolver produtos que sejam realmente adequados, os casos analisados fizeram uso da filosofia de projeto centrado no usuário – o UCD. O uso desta filosofia de projeto, como demonstrado pelo segundo estágio de verificação do *framework*, confirmou que o atendimento a demandas do envelhecimento e inovação alimentam-se mutuamente. Considerando que dois dos quatro produtos dos casos analisados se encontram disponíveis comercialmente, conclui-se que o UCD é eficaz em atender as necessidades e expectativas de consumo dos usuários idosos, a partir de sua inserção ativa no PDP.

Portanto, ao identificar as etapas de interesse do processo de desenvolvimento de produtos para a I4.0, e associá-las aos requisitos da I4.0 para o desenvolvimento de produtos inteligentes, às tecnologias habilitadoras, e à filosofia UCD, o FDPI 4.0 demonstra potencial para cumprir seus objetivos: auxiliar no desenvolvimento de produtos inteligentes mais adequados às pessoas idosas ao mesmo tempo em que oferece uma rota de adaptação do processo de desenvolvimento de produtos ao contexto da I4.0. Embora seja ainda uma ferramenta conceitual, com limitações evidenciadas – à exemplo do caráter genérico das diretrizes de implementação e conceitos de aplicação – o processo de verificação do *framework* demonstrou seu potencial para aplicação prática em cenários reais, permitindo concluir que o desenvolvimento e elaboração de seus conceitos até uma ferramenta real, para cenários reais de

desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos, que apresente diretrizes concretas de implementação e *use cases* definidos, é possível. Assim, a segunda contribuição a que se presta este trabalho estabelece uma ponte entre teoria e prática.

Estabelece também um vínculo com a interdisciplinaridade, pois encontra e discute na Engenharia de Produção, em avanços para o setor industrial, soluções de base para Gerontologia. A interface em que se posiciona este trabalho reflete a importância de se discutirem os espaços comuns entre as diferentes disciplinas e áreas do conhecimento, além da noção de abrangência da ciência, que permite unir demandas sociais, desenvolvimento tecnológico e exploração de mercado em um ciclo benéfico, sistêmico e possível de avanços.

Logo, observar experiências internacionais para o envelhecimento, como o Programa AAL se mostra importante, pois possibilita aprendizados interessantes na maneira de tratar as consequências e desafios do processo de envelhecimento demográfico. A partir de uma abordagem holística, que se inicia com políticas públicas de manutenção de empregos e modificação de carreiras baseada em qualificação e aprendizagem contínuas, aliada a parcerias entre o setor industrial e academia para promoção de desenvolvimento tecnológico e econômico, o Programa AAL e seus casos de sucesso demonstram a viabilidade de um pensamento sistêmico em relação ao processo de envelhecimento, conversor de todas as esferas de atuação da sociedade.

Um dos casos analisados não teve seu produto desenvolvido até o formato comercial devido à falta de recursos financeiros para continuidade do projeto, enquanto outro, que dispôs de recursos para continuidade, é atualmente comercializado. Embora os consórcios que formavam os times de projeto fossem diversos, oriundos de parcerias entre órgãos públicos, empresas, centros de pesquisa e universidades, não se podendo creditar a indisponibilidade de recursos a nenhum parceiro específico, o caso reflete a importância de se coordenarem recursos financeiros para que tais projetos sejam desenvolvidos até a solução comercial final. Em último grau, não são os pesquisadores ou cientistas os mais prejudicados pelas restrições de recursos, e sim os usuários

finais, o público alvo dos projetos que poderiam desenvolver soluções para suas necessidades.

Neste aspecto, o setor industrial, e particularmente o fenômeno da I4.0, tem muito a oferecer. As modificações tecnológicas e de gestão, que foram consideradas no *framework*, favorecem a criação de parcerias que busquem desenvolvimento e inovação, promovendo soluções para diferentes problemas a partir da união de óticas diversas – a ótica industrial e tecnológica, de engenharia e gestão do processo de desenvolvimento de produtos inteligentes, e a ótica social, demográfica e de saúde do processo de envelhecimento. Novamente, a interdisciplinaridade se apresenta no centro dos avanços científicos e das contribuições práticas, bem como ferramenta para suportar a velocidade com que se requerem tais soluções.

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Considerado este cenário, sugere-se que pesquisas futuras busquem desenvolver os conceitos de aplicação do FDPI 4.0 até sua factibilidade real, transformando a ferramenta conceitual em ferramenta aplicável a partir da aplicação e testes em cenários reais de desenvolvimento de produtos inteligentes para idosos. Com isso, diretrizes concretas para implementação poderão ser derivadas, *use cases* poderão ser definidos, e as limitações da ferramenta poderão ser suprimidas.

Sugere-se também que se realizem pesquisas associando as características particulares da população idosa brasileira a possíveis modelos de negócio orientados à I4.0, centralizados no desenvolvimento de produtos inteligentes. Outras pesquisas podem ainda focar nas percepções que idosos brasileiros de determinados grupos consumidores têm de produtos inteligentes – suas percepções em relação aos produtos disponíveis atualmente, potenciais necessidades atuais e futuras, requisitos para potenciais produtos futuros; além de explorar o desenvolvimento de produtos inteligentes de baixo custo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo trabalhado na interface entre duas áreas tão abrangentes e simultaneamente tão específicas como a Engenharia de Produção e a Gerontologia, conclui-se que não cabe mais ao contexto atual discutir avanços científicos que se realizem em áreas isoladas. A interdisciplinaridade é uma ferramenta poderosa para a ciência, que deve servir a um propósito que não a si mesma.

Ciência é para pessoas. Portanto, pesquisadores, cientistas e outros atores desse campo têm o dever fundamental de transformar seus achados em ações significativas, que promovam impactos positivos para a sociedade.

7. REFERÊNCIAS

- /1/ GLASS, A. P. Innovative Seniors Housing and Care Models: What We Can Learn from the Netherlands. *Seniors Housing & Care Journal*, 22, n. 1, 2014. 74-87.
- /2/ SIMÕES, C. C. D. S. *Relações entre as Alterações Históricas na Dinâmica Demográfica Brasileira e os Impactos Decorrentes do Processo de Envelhecimento da População*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 2016. 2016. (ISBN 978-85-240-4392-5).
- /3/ MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME. *Política Nacional do Idoso*. Brasília, p. 12. 1994.
- /4/ ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *World Report on Ageing and Health*. Luxemburgo, p. 260. 2015. (ISBN 978 92 4 069481 1).
- /5/ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *World Population Ageing Report*. Department of Economic and Social Affairs Population Division. Nova York, p. 124. 2017.
- /6/ BATISTELLA, C. Abordagens Contemporâneas do Conceito de Saúde. In: FONSECA, A. F.; CORBO, A. D. *O território e o processo saúde-doença*. Rio de Janeiro: EPSJV, Fiocruz, 2007. p. 51-86.
- /7/ IKEDA, A. A.; CAMPOMAR, M. C.; PEREIRA, B. D. C. S. O Uso de Coortes em Segmentação de Marketing. *Organizações & Sociedade*, 15, n. 44, 2008.
- /8/ SOUZA-POZA, A. Preface and Introduction. In: KOHLBACHER, F.; HERSTATT, C. *The Silver Market Phenomenon - Marketing and Innovation in the Aging Society*. 2ª. ed. Heidelberg: Springer, 2011. p. v-xxv.
- /9/ SAAD, P. M. Envelhecimento Populacional: Demandas e Possibilidades na Área da Saúde. *Demographicas*, p. 153-166, 2016.
- /10/ MYRRHA, L. J. D.; TURRA, C. M.; WAJNMAN, S. A contribuição dos nascimentos e óbitos para o envelhecimento populacional no Brasil, 1950 a 2100. *Revista Latinoamericana de Población*, 2017. 37-54.
- /11/ DE FREITAS, M. C.; MENDES, M. M. R. Condição Crônica: Análise do Conceito no Contexto da Saúde do Adulto. *Revista Latino-americana de Enfermagem*, 15, 2007. 77-84.
- /12/ PASCHOAL, S. M. P. Qualidade de Vida na Velhice. In: FREITAS, V.; PY, L. *Tratado de Geriatria e Gerontologia*. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2017. Cap. 7, p. 262-278.

- /13/ EUROPEAN COMMUNITIES. *The demographic future of Europe - from challenge to opportunity*. Directorate-General for Employment, Social Affairs and Equal Opportunities. Luxembourg, p. 24. 2006. (ISBN 92-79-02092-7).
- /14/ KLINGENBERG, C. O. *Industry 4.0: what makes it a revolution?* 24th EurOMA Conference. Edinburgh: [s.n.]. 2017.
- /15/ KAGERMANN, H.; WALHSTER, W.; HELBIG, J. *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. acatech. [S.l.], p. 82. 2013.
- /16/ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Plano de Ação Internacional de Madrid para o Envelhecimento*. Nova York, p. 62. 2002.
- /17/ NETTO, M. P. Estudo da Velhice | Histórico, Definição do Campo e Termos Básicos. In: FREITAS, E. V.; PY, L. *Tratado de Geriatria e Gerontologia*. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2017. Cap. 1, p. 103-125.
- /18/ WILES, J. L. et al. The Meaning of "Aging in Place" to Older People. *The Gerontologist*, 25, n. 3, 2011. 357-366.
- /19/ KOHLBACHER, F.; HERSTATT, C.; SCHWEISFURTH, T. Product Development for the Silver Market. In: KOHLBACHER, F.; HERSTATT, C. *The Silver Market Phenomenon - Marketing and Innovation in the Aging Society*. 2ª. ed. Heidelberg: Springer, 2011. Cap. 1, p. 3-19.
- /20/ LISBON EUROPEAN COUNCIL. *The Lisbon Strategy*. European Parliament. Lisboa. 2000.
- /21/ ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *The Knowledge-based Economy*. OECD. Paris, p. 46. 1996.
- /22/ EUROPEAN COMMITTEE OF THE REGIONS. *The Revised Lisbon Strategy*. [S.l.]. 2005.
- /23/ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. *i2010 - A European Information Society for growth and employment*. Bruxelas, p. 12. 2005.
- /24/ EUROPEAN UNION. *Decision N° 742/2008/EC of the European Parliament and of the Council - AAL Basic Act*. Official Journal of the European Union. [S.l.], p. 9. 2008.
- /25/ EUROPEAN COMMISSION. *FP7 in Brief - How to get involved in the EU 7th Framework Programme for Research*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg, p. 36. 2007. (ISBN 92-79-04805-0).

- /26/ AMBIENT ASSISTED LIVING PROGRAMME. *Innovative ICT Solutions for Older Persons - A New Understanding*. Ambient Assisted Living Programme. Vienna, p. 224. 2009. (ISBN 978-3-902580-07-8).
- /27/ KUNEVA, M. et al. *Interim Evaluation of the Ambient Assisted Living Joint Programme. Unlocking innovation in ageing well*. Ambient Assisted Living Programme. [S.l.], p. 77. 2010.
- /28/ BUSQUIN, P. et al. *Final Evaluation of the Ambient Assisted Living Joint Programme*. European Commission. [S.l.], p. 44. 2013. (ISBN 978-92-79-34550-0).
- /29/ EUROPEAN UNION. *Decision No 554/2014/EU of the European Parliament and of the Council on the Active and Assisted Living Research and Development Joint Programme*. Official Journal of the European Union. [S.l.], p. 14-26. 2014.
- /30/ ABRAMOVICI, M. Smart Products. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Berlin, Heidelberg, p. 1-5, 2015.
- /31/ ABRAMOVICI, M.; GÖBEL, J. C.; SAVARINO, P. Reconfiguration of smart products during their use phase based on virtual product twins. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66, 2017. 165-168.
- /32/ JAZDI, N. *Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0*. 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. Cluj-Napoca, Romania: IEEE. 2014.
- /33/ LEE, E. A. *CPS Foundations*. Proceedings of the 47th Design Automation Conference. Anaheim, USA: [s.n.]. 2010. p. 737-742.
- /34/ RAJKUMAR, R. et al. *Cyber-physical systems: The next computing revolution*. Design Automation Conference. Anaheim, USA : IEEE. 2010.
- /35/ BLANCHET, M. et al. *Industry 4.0 - The new industrial revolution. How Europe will succeed*. Roland Berger Strategy Consultants. Munich, p. 24. 2014.
- /36/ ZAWADZKI, P.; ZYWICKI, K. Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0 Concept. *Management and Production Engineering Review*, 7, 2016. 105-112.
- /37/ AAL PROGRAMME. *AAL Forum 2016 Executive Summary. Innovative technology for active and healthy ageing*. Saint Gallen , p. 56. 2016.
- /38/ YUSIF, S.; SOAR, J.; HAFEEZ-BAIG, A. Older people, assistive technologies, and the barriers to adoption: A systematic review. *International Journal of Medical Informatics*, 64, 2016. 112-116.

- /39/ MACHADO , A.; VIEIRA , C. U. Impacto de fatores socioeconômicos na funcionalidade da pessoa idosa portadora de condições crônicas. *Revista de Enfermagem da Universidade Federal de Santa Maria*, 17, 2015. 81-91.
- /40/ BANCO MUNDIAL. *Envelhecendo em um Brasil mais velho: Implicações do envelhecimento populacional para o crescimento econômico, a redução da pobreza, as finanças públicas e a prestação de serviços*. Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento. Washington, p. 64. 2011.
- /41/ DE ARAUJO, F. et al. O consumidor de terceira idade na primeira década do século XXI: uma análise da propaganda dirigida a idosos. *Revista Administração em Diálogo*, São Paulo , v. 17, p. 54-85, Janeiro 2015.
- /42/ MEIRA, E. C. et al. Tecnologia Assistiva de Vivências Musicais na recuperação vocal de idosos portadores de Doença de Parkinson. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, 11, n. 3, 2008. 341-355.
- /43/ DE ANDRADE, V. S.; PEREIRA, L. S. M. Influência da tecnologia assistiva no desempenho funcional e na qualidade de vida de idosos comunitários frágeis: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, 12, n. 1, 2009. 113-122.
- /44/ DE OLIVEIRA, A. F.; DE MARCHI, A. C. B.; LEGUISAMO, C. P. Diabetic footwear: is it an assistive technology capable of reducing peak plantar pressures in elderly patients with neuropathy? *Fisioterapia em Movimento*, Curitiba, 29, n. 3, 2016. 469-476.
- /45/ GRUBER, C. et al. O vestir na vida dos idosos: contribuições da ergonomia e das tecnologias assistivas. *ModaPalavra E-periódico*, n. 19, 2017. 150-178.
- /46/ ALVARENGA, F. B. *Uma Abordagem Metodológica para o Projeto de Produtos Inclusivos*. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 218. 2006.
- /47/ MAIA, D. N.; DE FREITAS, S. F. Proposta de um fluxograma para o processo de desenvolvimento de produtos de Tecnologia Assistiva. *Cadernos de Terapia Ocupacional*, São Carlos, 22, n. 3, 2014. 561-567.
- /48/ CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. Cambridge Dictionary - Framework. *Cambridge Dictionary Online*, 2019. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/framework>>.
- /49/ WEBFINANCE INC. Business Dictionary - Framework. *Business Dictionary*, 2019. Disponível em: <<http://www.businessdictionary.com/definition/framework.html>>.
- /50/ BROWN, S. L.; EISENHARDT, K. M. Product Development: Past research, present findings, and future directions. *Academy of Management Review*, 20, n. 2, 1995. 343-378.

- /51/ BEUREN, H.; FERREIRA, M. G. G.; CAUCHICK MIGUEL, P. A. Product-service systems: a literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, 47, 2013. 222-231.
- /52/ KRISHNAN, V.; ULRICH, T. Product Development Decisions: A Review of the Literature. *Management Science*, 47, n. 1, 2001. 1-21.
- /53/ TATIKONDA, M. V.; MONTOYA-WEISS, M. M. Integrating operations and marketing perspectives of product innovation: The influence of organizational process factors and capabilities on product performance. *Management Science*, 47, n. 1, 2001. 151-172.
- /54/ PAHL, G. et al. *Engineering Design - A Systematic Approach*. 3ª. ed. London: Springer-Verlag, 2007. 629 p. ISBN ISBN 978-1-84628-319-2.
- /55/ STARK, J. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. 3ª. ed. Geneva: Springer, v. 1, 2015. 363 p.
- /56/ ROZENFELD, H. et al. *Gestão do Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para melhoria do processo*. 1ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. 577 p.
- /57/ ANDERL, R. et al. *STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data*. Leipzig: B.G. Teubner Stuttgart, 2000. 245 p.
- /58/ SANTOS, K. et al. Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, Modena, 11, 2017. 1358-1365.
- /59/ DA CUNHA, G.. A Evolução dos Modos de Gestão do Desenvolvimento de Produtos. *Produto & Produção*, 9, n. 2, 2008. 71-90.
- /60/ BS ISO. *Implementation of ISO 10303-1:1994. Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange. Part 1: Overview and fundamental principles*. British Standard. [S.l.], p. 23. 2004.
- /61/ SCHÜTZER, K. *Gestão do Produto. Definição, Representação e Apresentação do Produto. Notas de aula*. Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura. Santa Bárbara d'Oeste. 2012.
- /62/ ANDERL, R.; SCHÜTZER, K. *Gestão do Produto. Tipos de troca de informações no Processo de Desenvolvimento do Produto. Notas de aula*. Datenverarbeitung in der Konstruktion / Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura. Darmstadt - Deutschland / Santa Bárbara d'Oeste - Brasil. 2012.
- /63/ ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H. *Environmentally-Friendly Product Development: Methods and Tools*. London: Springer, 2005. 344 p.
- /64/ LOPES NUNES, M.; PEREIRA, A. C.; ALVES,. Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 2017. 1215-1222.

- /65/ RAUCH, E.; DALLASEGA, P.; MATT, T. The Way from Lean Product Development (LPD) to Smart Product Development (SPD). *Procedia CIRP*, 50, 2016. 26-31.
- /66/ ABRAMOVICI, M.; GÖBEL, J. C.; DANG, H. B. Semantic data management for the development and continuous reconfiguration of smart products and systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65, 2016. 185-188.
- /67/ DE ALMEIDA, A. T. et al. *Introdução à Engenharia de Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 296 p.
- /68/ XU, Q. et al. An analytical Kano model for customer need analysis. *Design Studies*, 3, n. 1, 2009. 87-110.
- /69/ CAVALCANTE, J.; GZARA, L. Product-Service Systems lifecycle models: literature review and new proposition. *Procedia CIRP*, Linköping, 73, 2018. 32-38.
- /70/ YOO, M.-J.; CLÉMENT, G.; DIMITRIS, K. Closed-Loop Lifecycle Management of Service and Product in the Internet of Things: Semantic Framework for Knowledge Integration. *Sensors*, 2016. 26.
- /71/ SCHMIDT, R. et al. Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. *Proceedings of the 18th International Conference on Business Information Systems*, Poznan, 2015. 16-27.
- /72/ OLSSON, H. H.; BOSCH, J. Towards Data-Driven Product Development: A Multiple Case Study on Post-deployment Data Usage in Software-Intensive Embedded Systems. *Proceedings of the 4th International Conference on Lean Enterprise Software and Systems*, Galway, 167, 2013. 156-164.
- /73/ HYPE 60+. *UX para 60+: Como criar produtos digitais para os maduros?* São Paulo, p. 62. 2018.
- /74/ BEUREN, H.; PEREIRA, D.; FAGUNDES, A. B. Product-service Systems Characterization Based on Life Cycle: Application in a Real Situation. *Procedia CIRP*, 47, 2016. 418-423.
- /75/ TAYLOR, D.; TIMMINS, M. W. Effective communication in product development of smart wearable clothing for the active ageing population. In: MCCANN, J.; BRYSON, D. *Textile-led Design for the Active Ageing Population*. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2015. Cap. 7, p. 93-106.
- /76/ WALLACE, J. et al. ICT Interface for Ageing People and People with Dementia. In: MULVENNA, M. D.; NUGENT, C. D.; CHRIS, D. *Supporting People with Dementia Using Pervasive Health Technologies*. [S.l.]: Springer-Verlag London, 2010. Cap. 11, p. 165-188.
- /77/ STORY, M. F. Maximizing Usability: The Principles of Universal Design. *Assistive Technology: The Official Journal of RESNA*, 10, n. 1, 1998. 4-12.

- /78/ FRISONI, B. C. *Ergodesign, metodologia ergonômica, "designing" para uso humano*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC-RIO. Rio de Janeiro, p. 160. 2000.
- /79/ DE MORAES, A. Ergonomia, Ergodesing e Usabilidade: Algumas histórias, precursores: Divergências e Convergências. *Ergodesign e HCI*, Rio de Janeiro, 1, n. 1, 2013. 9.
- /80/ LEITE, E. D. S. et al. Tecnologia assistiva e envelhecimento ativo segundo profissionais atuantes em grupos de convivência. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 52, 2018. 8.
- /81/ IIC - INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM. *The Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture*. USA, p. 58. 2017.
- /82/ XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56, n. 8, 2018. 2941-2962.
- /83/ HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. *Design Principles for Industrie 4.0*. 49th Hawaii International Conference on System Sciences. [S.l.]: [s.n.]. 2016. p. 3928-3937.
- /84/ LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 4, 2014. 239-242.
- /85/ DURÃO, L. F. C. D. S.; CARVALHO, M. M.; ZANCUL, E. D. S. Industrie 4.0: Formação de Redes de Projeto em Manufatura Distribuída. *GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, n. 3, 2017. 131-152.
- /86/ LEE, G. M. et al. Internet of Things. In: BERTIN, E.; CRESPI, ; MAGEDANZ, T. *Evolution of Telecommunication Services. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, v. 7768, 2013. p. 257-282.
- /87/ MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. *Towards a definition of the Internet of Things*. IEEE Internet Initiative. Torino, p. 86. 2015.
- /88/ Recommendation ITU-T Y.2060: Overview of the Internet of Things. Telecommunication Standardization Sector of ITU. [S.l.], p. 22. 2012.
- /89/ WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. Internet of Things: Technology and Value Added. *Business and Information Systems Engineering*, 57, n. 3, 2015. 221-224.
- /90/ LEE, M. G.; CRESPI, N. *Shaping Future Service Environments with the Cloud and Internet of Things: Networking Challenges and Service Evolution*. ISoLA 2010: Leveraging Applications of Formal Methods, Verification, and Validation. Crete: Springer-Verlag. 2010. p. 399-410.

- /91/ ROZENFELD, H.; ROSA, M.; FERNANDES, S. D. C. *Servitization methodology: PSS design, change management or business model innovation?* Anais do 23º Seminário Internacional de Alta Tecnologia. Piracicaba: [s.n.]. 2018. p. 91-116.
- /92/ CHIU, M.-C.; CHU, C.-Y.; KUO, C. Product service system transition method: building firm's core competence of enterprise. *International Journal of Production Research*, 2019. 22.
- /93/ TALBERG, J. V.; RASMUSSEN, T. D. M. *Product Service Systems - An exploratory study of the barriers to adoption in B2C contexts*. Copenhagen Business School. Copenhagen, p. 120. 2016.
- /94/ ZHENG, P. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13, n. 2, 2018. 137-150.
- /95/ BAINES, T. S. et al. State-of-the-art in product-service systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221, 2007. 1543-1552.
- /96/ ROY, J. S. S.; NEUMANN, W. P.; FELLS, D. I. User Centered Design Methods and Their Application in Older Adult Community. In: YAMAMOTO, S. *Human Interface and the Management of Information: Information, Design and Interaction*. Toronto: Springer International, 2016. p. 462-472.
- /97/ BARTH, A. *3D Experiences - Dassault Systèmes 3DS Strategy to Support New Processes in Product Development and Early Customer Involvement*. Digital Product and Process Development Systems - IFIP TC 5 International Conference. Dresden: Springer. 2013. p. 24-30.
- /98/ CHANG, M. M. L.; ONG, ; NEE, A. Y. C. Approaches and Challenges in Product Disassembly Planning for Sustainability. *Procedia CIRP*, 60, 2017. 506-511.
- /99/ GUÉRINEAU, B. et al. *Towards a Design-Method Selection Framework for Multidisciplinary Product Development*. International Design Conference - Design 2018. Zagreb: [s.n.]. 2018. p. 2879-2890.
- /100/ WRASSE, et al. *Unified Information Access in Product Creation with an Integrated Control Desk*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 212. Lisboa: IOP Publishing. 2017. p. 10.
- /101/ ANDERL, R.; FLEISCHER, J. *Guideline Industrie 4.0 - Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses*. VDMA. Frankfurt, p. 30. 2016.
- /102/ STARK, R. et al. Advanced Technologies in Life Cycle Engineering. *Procedia CIRP*, 22, 2014. 3-14.

- /103/ WANG, Y.; TOWARA, T.; ANDERL, R. Technology Landscape 4.0. In: AO, S.-I.; KIM, H. K.; AMOUZEGAR, M. A. *Transactions on Engineering Technologies*. San Francisco: Springer Nature Singapore, 2017. Cap. 3, p. 31-45.
- /104/ IVI - INDUSTRIAL VALUE CHAIN INITIATIVE. *Strategic implementation framework of industrial value chain for connected industries - IVRA Next*. Japan, p. 36. 2018.
- /105/ PLATFORM INDUSTRIE 4.0. *Implementation Strategy Industrie 4.0. Report on the results of the Industrie 4.0 Platform*. Germany, p. 104. 2016.
- /106/ GOEDKOOPT, M. J. et al. *Product Service Systems, Ecological and Economic Basics*. Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ). The Netherlands, p. 132. 1999.
- /107/ REIM, W.; PARIDA, V.; ÖRTQVIST, D. Product-Service Systems (PSS) business models and tactics - a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 2015. 61-75.
- /108/ AURICH, J. C.; SCHWEITZER, E.; FUCHS, C. Life Cycle Management of Industrial Product-Service Systems. *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses, 2007*. 177-176.
- /109/ WIESNER, S. et al. Interactions between Service and Product Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, 30, 2015. 36-41.
- /110/ DORKA, T. M. et al. Interaction within Dynamic IPS2 Networks – A Proposal of an IPS2 Lifecycle Management and IPS2 Delivery Management Architecture. *Procedia CIRP*, 16, 2014. 146-151.
- /111/ LI, M. et al. The product service lifecycle management based on sustainable development. *2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Beijing, 2016. 200-205.
- /112/ AAL PROGRAMME. About. *AAL Programme. Ageing Well in the Digital World*, 2019. Disponível em: <<http://www.aal-europe.eu/about/>>. Acesso em: Setembro 2017.
- /113/ AAL PROJECT. *AAL Project: Success Stories. 10 AAL Innovations creating real impact*. AAL Programme. [S.l.], p. 24. 2015.
- /114/ AAL PROGRAMME. INOVATIVE TECHNOLOGY FOR ACTIVE AND HEALTHY AGEING. *Success Stories. AAL Innovations creating real impact*. AAL Programme. [S.l.], p. 32. 2016.
- /115/ AAL JOINT PROGRAMME. IWALKACTIVE. *D1.6 Final Project Report*. Hochschule Luzern – Technik & Architektur, iHomeLab. Luzern, p. 43. 2015.

- /116/ ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. User-Centered Design. In: BAINBRIDGE, W. *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. [S.l.]: Thousand Oaks: Sage Publications, 2004. p. 14.
- /117/ MOSER, C. et al. *Elderly's Social Presence supported by ICTs: Investigating User Requirements for Social Presence*. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk, and Trust and IEEE International Conference on Social Computing. Boston: [s.n.]. 2011. p. 738-741.
- /118/ ACHILLEOS, A. P. et al. *Developing an Effective Social Presence System for Older Adults: The Connected Vitality Network*. Proceedings of the ITI 2013 35th International Conference on Information Technology Interfaces. Zagreb: [s.n.]. 2013. p. 153-160.
- /119/ AAL JOINT PROGRAMME. *D9.7 Final Report CVN Project*. Connected Vitality. Netherlands, p. 10. 2013.
- /120/ AAL JOINT PROGRAMME. *D10.3 Final Management Report*. Connected Vitality. Netherlands, p. 13. 2013.
- /121/ AAL JOINT PROGRAMME. *D7.1 A document with the results of the Spanish field test*. Connected Vitality. Spain, p. 34. 2013.
- /122/ AAL JOINT PROGRAMME. *D7.2 A document with results of the Dutch field test at Sensire - PresenceDisplays*. Connected Vitality. Netherlands, p. 18. 2013.
- /123/ AAL JOINT PROGRAMME. *D7.4 A document with results of the Swedish field test*. Connected Vitality. Sweden, p. 47. 2013.
- /124/ RELAXEDCARE. The Prototype. *RelaxedCare*, 2018. Disponível em: <<http://www.relaxedcare.eu/demo/>>. Acesso em: 2017.
- /125/ MORANDELL, M. et al. *RelaxedCare: A Quiet Assistant for Informal Caregivers. Collaboration and Coordination in the Context of Informal Care*. Baltimore: [s.n.]. 2014. p. 11.
- /126/ SANDNER, E. *RelaxedCare - Connecting People in Care Situations*. Proceedings of the AAL Forum 2014. Bucharest: [s.n.]. 2014. p. 164-168.
- /127/ UHR, M. B. F. et al. *RelaxedCare - Connecting people in care situations: User involvement to collect informal caregivers needs*. *Studies in Health Technology and Informatics*, 217, 2015. 865-872.
- /128/ AAL JOINT PROGRAMME. *D2.2B End-user requirements*. RelaxedCare Project. Austria, p. 54. 2015.
- /129/ AAL JOINT PROGRAMME. *D3.1B Analysis of platforms and needed services*. RelaxedCare Project. Austria, p. 90. 2015.

- /130/ AAL JOINT PROGRAMME. *D2.1 Ethical Manual*. RelaxedCare Project. Austria, p. 209. 2014.
- /131/ AAL JOINT PROGRAMME. *D2.3B Stakeholders and Business requirements*. RelaxedCare Project. Austria, p. 12. 2015.
- /132/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. Introducing the use of depth data for fall detection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17, 2013. 1063-1072.
- /133/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. Robust Fall Detection by Combining 3D Data and Fuzzy Logic. *ACCV Workshop on Color Depth Fusion in Computer Vision*, 2012. 121-132.
- /134/ PLANINC, M. et al. User-centered design and evaluation of an ambient event detector based on a balanced scorecard approach. *International Journal on Advances in Life Sciences*, 5, 2013. 237-249.
- /135/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. E-Health System Development based on End User Centered Design. *Proceedings of the 5th International Conference on eHealth, Telemedicine and Social Medicine*, 2013. 83-86.
- /136/ ORTLIEB, S.; STREFFING, G.; CARBON, C.-C. FEARLESS: Ein intelligentes Haus-notrufsystem für alle Fälle. In: VON BOLL, S.; MAAß, S.; MALAKA, R. *Mensch & Computer*. München: Oldenbourg Verlag, 2013. p. 345-348.
- /137/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. Detecting Unusual Inactivity by Introducing Activity Histogram Comparisons. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2014)*, 2014. 313-320.
- /138/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. Combining spatial and temporal information for inactivity modeling. *Proceedings of the 22nd International Conference on Pattern Recognition*, 2014. 4234-4239.
- /139/ PLANINC, R.; KAMPEL, M. Human Centered Scene Understanding based on Depth Information - How to Deal with Noisy Skeleton Data? *Proceedings of the 10th International Symposium on Visual Computing (ISVC 2014)*, 2014. 609-618.
- /140/ BERNDT, R. D. et al. An Assisted Living System for the Elderly - FEARLESS Concept. *Proceedings of the IADIS International Conference e-Health*, Lisbon, 2012. 131-138.
- /141/ LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão e Produção*, 20, n. 4, 2013. 741-761.
- /142/ GREGOR, S.; JONES, D. The Anatomy of a Design Theory. *Journal of the Association for Information Systems*, 8, n. 5, 2007. 312-335.

- /143/ WEBER, R. Design-science research. In: WILLIAMSON, K.; JOHANSON, G. *Research Methods: Information, Systems, and Contexts*. 2ª. ed. [S.l.]: Elsevier Ltd., 2018. Cap. 11, p. 267-288.
- /144/ HEVNER, A. R. et al. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28, n. 1, 2004. 75-105.
- /145/ CAUCHIK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua conclusão. *Produção*, 17, n. 1, 2007. 216-229.
- /146/ ACTIVE AND ASSISTED LIVING PROGRAMME. Projects. *AAL Programme*, 2018. Disponível em: <<http://www.aal-europe.eu/projects-main/>>.
- /147/ GULLIKSEN, J. et al. Key principles for user-centred systems design. *Behaviour & Information Technology*, 22, n. 6, 2003. 397-409.
- /148/ HASS, C. Understanding the Human-Centered Design Process. In: EDMUNDS, M.; HASS, C.; HOLVE, E. *Consumer Informatics and Digital Health*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. Cap. 8, p. 145-162.
- /149/ AAL JOINT PROGRAMME. IWALKACTIVE. *D1.1 Ethical Manual*. Hochschule Luzern – Technik & Architektur, iHomeLab. Luzern, p. 19. 2012.
- /150/ AAL JOINT PROGRAMME. IWALKACTIVE. *D8.6 Dissemination and Exploitation Report*. Hochschule Luzern – Technik & Architektur, iHomeLab. Luzern, p. 31. 2013.
- /151/ RUMSCH, A. *Elevating Map Data to the 3rd Dimension*. Bringing Together Indoor and Outdoor Mobility Solutions: Methodological Approaches for. Bucarest: AAL Annual Forum. 2014. p. 9.
- /152/ DITTENBERGER, S.; KOSCHER, A. *How Much Design Does Research Need: an Inquiry of the Synergetic Potential of Methods of Social and Design Research*. International Conference on Engineering Design - ICED 15. Milan: [s.n.]. 2015. p. 1-10.
- /153/ MORANDELL, M. *D2.3A Stakeholders and Business requirements*. RelaxedCare Project. [S.l.], p. 15. 2013.
- /154/ MORANDELL, M.; BIALLAS, M. *D2.2A End-user requirements*. RelaxedCare Project. [S.l.], p. 251. 2013.
- /155/ MORANDELL, M. *D4.1A Report on behaviour pattern recognition for targeted areas*. RelaxedCare Project. [S.l.], p. 48. 2014.
- /156/ MORANDELL, M. *D4.1B Analysis of possible target areas and suitable existing mathematical models*. RelaxedCare Project. [S.l.], p. 15. 2016.

/157/ ASSDA. *D8.3 Evaluation of Developed Applications*. AAL Joint Programme. Spain, p. 21. 2013.

8. APÊNDICES

Contém os documentos referidos abaixo, que foram utilizados durante a etapa de Verificação desta pesquisa:

- Termo de Consentimento de Pesquisa (*Research Consent Term*)
- Questionário para entrevistas com coordenadores dos projetos analisados (*Questionnaire for Interviews: AAL Projects Coordinators*)
- Formulário de avaliação do *framework* (*Framework Assessment Form*)

RESEARCH CONSENT TERM

Herein, you are invited to participate in the research entitled “*Proposal of a Conceptual Framework for Smart Products Development for Older Adults in the Context of Industry 4.0*”, under the responsibility of Carolina Sallati as the researcher in charge, and her supervisor, Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer.

The aforementioned research aims at proposing a theoretical framework for smart products development for older adults, considering the availability of data from the usage phase of such products and the requirements of Industry 4.0. This research is part of the researcher’s Master Thesis. Therefore, the gathered information and results shall be used only for academic purposes, being exposed solely in scientific publications or events.

Should you choose to take part in this research, you agree to participate in an online interview conducted by the researcher, scheduled as best suits the participant, and to assess the proposed framework afterwards. The interview will be semi-structured, consisting of five questions to be answered by the participant. The later framework assessment shall be performed according to predetermined criteria, which include the participants’ considerations.

Your participation is entirely voluntary, therefore not incurring in any expenses or compensations. Should any distress arise, the participant is reserved the right to withdraw participation. In the event of questions or doubts of any sort, the researcher and her supervisor are at disposal at all times and can be contacted via email or telephone.

In agreement to the above stated, I _____ freely decide to take
(participant’s name)
part in this research, aware that I can withdraw my decision at any point in time without any form of retaliation.

(participant’s signature and date)

Date: ___/___/___

Research supervisor: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer
Email: schuetzer@scpm.eng.br



Researcher in charge: Carolina Sallati
Email: carolina.sallati@scpm.unimep.br



Telephone: +55 (19) 3124-1792

Script for Interviews with AAL Projects' Coordinators

1. Why can it be considered a success case?
2. What was the focus of the project: client, business model, or innovation?
3. How can the analysis of the data captured and stored by the solutions be useful to the development of new solutions?
4. What is the importance of involving the customer in the development process from the start?
5. What Industry 4.0 related characteristics the project already presented during its development process?

FRAMEWORK ASSESSMENT FORM

Evaluator: _____

Date: ___ / ___ / ___

Criteria 1 to 3 are presented in four-point qualitative scales. Criterion 4 can be answered openly.

1. Accuracy of the application concepts

Are the enabler technologies capable of attending the Industry 4.0 requirements they are related to, in a real product development scenario?

1

Completely accurate

2

Accurate

3

Inaccurate

4

Completely inaccurate

Why? _____

2. Technical feasibility

Is the framework suitable for real industrial product development scenarios?

1

Completely suitable

2

Suitable

3

Unsuitable

4

Completely unsuitable

Why? _____

3. Deployment impact

What is the level of impact new or different tools cause in real industrial product development scenarios?

1

High impact

2

Moderate impact

3

Low impact

4

No impact

Why? _____

4. Limitations

What limitations does the framework present for real industrial product development scenarios?

Framework overview

Improvement suggestions

Other comments
