ALEXANDRE MACHADO ROCHA

**Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva
para o setor de transporte aéreo**

São Paulo
(2017)

ALEXANDRE MACHADO ROCHA

**Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva
para o setor de transporte aéreo**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul

São Paulo
(2017)

ALEXANDRE MACHADO ROCHA

**Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva
para o setor de transporte aéreo**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul

São Paulo
(2017)

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Rocha, Alexandre Machado

Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo / A. M. Rocha -- versão corr. -- São Paulo, 2017.

121 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Processo de desenvolvimento de produtos 2.Tecnologia assistiva
3.Design Thinking I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Produção II.t.

ROCHA, A. M. **Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo.** São Paulo. 2017. 121 p. Mestrado Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ERRATA

FOLHA/ PÁGINA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu querido irmão Henrique.
Você é muito especial, Kike! Te amo, meu irmão!

AGRADECIMENTOS

Tenho diversas pessoas para agradecer pelo apoio, pela participação e ajuda ao longo desta jornada.

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família. À minha amada esposa Julia pelo companheirismo, incentivo e apoio incondicional. Eu não teria passado por essa jornada se não fosse por ela! Aos meus pais, José Rubens e Rosângela, que sempre me apoiaram e me incentivaram a ir mais longe e ser quem eu sou hoje. À madrinha Rachel pela constante motivação e apoio, à minha irmã Thaís e à minha avó Gêrusa pelo incentivo, e ao Trevisan e à Rose pelas dicas sempre construtivas e pertinentes.

Ao Professor Eduardo pela orientação, pela oportunidade de participar dos projetos e congressos e pela experiência no InovaLab@POLI.

Ao Professor André pelos inúmeros conselhos ao longo de todo esse tempo, pela parceria nos diversos projetos e pelos feedbacks na etapa de qualificação.

Ao Professor Fausto pela parceria durante o projeto CNPq e pelos feedbacks na etapa de qualificação.

Aos meus colegas do QEP, Aline, Ana Paula, Diane, Diego, Durão, Gustavo, João, Jeniffer, Karyn, Mauro, e Sandra. Em especial à Sandra pela ajuda sempre assertiva com a minha dissertação.

Aos meus colegas do CITI e companheiros de projeto, Adriana, Alexandre, Emerson, Erich, Irene, Isabella, Marcelo, Raphael, Rodrigo, Yohan e Professora Roseli.

Aos alunos de iniciação científica que participaram dos projetos: Carlos, Lucas, Maira, Marina, Matheus, Marcelo, Bernardo, Mari, Sol, Gustavo, Carol e Vítor.

Ao Honório, ao Fernando Aranha e ao Ademir pelo tempo e disposição em nos ajudar com seus pontos de vista de usuários de cadeiras de rodas.

Aos monitores e estagiários do InovaLab@POLI: Daniel, Elói, Lucas, Otto, Yuri, e a todos os demais.

Aos funcionários do Departamento, Olívia, Samy, Rosi e Lídia, pelas ajudas nas questões administrativas.

Ao Cid e ao Fadi pela oportunidade e parceria no TOM, evento que nos faz abrir os olhos para novas oportunidades.

Ao CNPq e CAPES pelas bolsas de projeto.

E a todos aqueles que de alguma forma participaram e me ajudaram nesta etapa.

“Failure is not an option”

Credited to William Dodson "Bill" Broyles Jr.

RESUMO

A demanda por soluções de acessibilidade e de tecnologia assistiva (TA) é crescente frente ao envelhecimento e ao crescimento da população mundial previstos para as próximas décadas. Especificamente no setor de transporte aéreo, acessibilidade e soluções de tecnologia assistiva são questões críticas e, muitas vezes, complexas de serem adotadas devido a fatores como, por exemplo, os espaços restritos das aeronaves, normas rígidas dos órgãos de aviação, questões de segurança de voo e segurança nos aeroportos, e envolvimento de diversos *stakeholders*. Ao mesmo tempo, no campo de gestão de desenvolvimento de produtos, há poucas pesquisas em relação ao processo de desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva e não foi encontrado nenhum modelo específico durante a revisão de literatura. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de referência para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo. O modelo proposto é focado no desenvolvimento conceitual para gerar conceitos de produtos que possam resultar na seleção de conceitos para o desenvolvimento detalhado. O trabalho analisa dois projetos de desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo e utiliza a metodologia *Design Research Methodology* (DRM) como base de pesquisa para a criação de um modelo de referência para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva. Ao sistematizar a experiência acumulada na área de DP de TA para o setor de transporte aéreo, este trabalho propõe um modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo, de forma que o processo possa ser replicado em outros projetos e em outros centros de pesquisa. Outro resultado deste trabalho é a criação de um método de análise de requisitos de usuário para auxiliar a equipe de projeto no processo de escolha das personas e soluções a serem desenvolvidas na etapa inicial de projeto.

Palavras-Chave: Processo de desenvolvimento de produtos. Tecnologia assistiva. Design Thinking. Setor de transporte aéreo.

ABSTRACT

The demand for accessibility and assistive technology solutions is growing due to both the aging population and the global population growth expected for the next decades. Specifically in the air transportation sector, accessibility and assistive technology solutions are critical issues. These solutions are sometimes of very complex adoption due to several factors like the space restriction inside an aircraft, norms and regulations from governmental and official aviation agencies, flight safety and safety in the airports, as well as the involvement of a number of stakeholders. At the same time, there is few research in the field of product development of assistive technology solutions and no specific model was found during the initial research. In this context, the aim of this research work is to propose a reference model for the conceptual development of assistive technology products for the air transportation sector. The model is focused specifically in the conceptual development stage in order to generate new product concepts that could result in selection of concepts for further detailed development. This research evaluates two projects in which assistive technology solutions were developed for the air transportation sector. It follows the guidelines of the Design Research Methodology (DRM) for the creation of the reference model for the conceptual development of assistive technology products for the air transportation sector. In order to systematize the experience accumulated in the field of product development of assistive technology products for the air transportation sector, a model is proposed in a way that the process can be replicated in future projects and in other research groups. Another result of this research is the development of a method to help the selection of user requirements and solutions to be applied in the early stages of the project.

Keywords: Product development process. Assistive technology. Design Thinking. Air transportation sector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Etapas da organização do trabalho.	18
Figura 2	– Relação entre design acessível, adaptável, transgeracional e design universal.	24
Figura 3	– Relação entre produtos em geral, design for all, produtos assistivos, de reabilitação e médicos.	25
Figura 4	– Distribuição percentual da população residente que possui ao menos um tipo de deficiência.	27
Figura 5	– Perspectiva de envelhecimento da população brasileira entre os anos 2000 e 2030.	28
Figura 6	– Modelo Unificado do PDP	33
Figura 7	– Abordagem de Tim Brown.	38
Figura 8	– <i>Design Thinking</i> proposto pela d.school.	38
Figura 9	– Divergência e convergência no modelo proposto pela d.school	39
Figura 10	– Processo de design proposto pela IDEO.	40
Figura 11	– <i>Technology Readiness Level</i> proposto pela NASA	42
Figura 12	– Comparação entre aeronave com um e dois corredores.	53
Figura 13	– Modelo de cadeiras de rodas on-board dobrável da Innovint	56
Figura 14	– Proposta de solução para cadeirantes da empresa britânica PriestmanGoode.	56
Figura 15	– Framework do DRM aplicado ao projeto	62
Figura 16	– Esquema do método de <i>Design Thinking</i>	67
Figura 17	– Metodologia ME310 aplicada no cronograma do projeto.	68
Figura 18	– Evolução dos protótipos das etapas CFP e Dark Horse	71
Figura 19	– Cadeira Embraccess e plataforma de transporte de carga	72
Figura 20	– Protótipos da etapa CFP	75
Figura 21	– Sequência evolutiva dos desenhos conceituais da cadeira de rodas.	76
Figura 22	– Protótipo final da cadeira de rodas em madeira.	77
Figura 23	– Esquema do método de suporte.	84
Figura 24	– Exemplo de aplicação do método de suporte	85
Figura 25	– Fases do modelo do PDP Unificado correspondentes aos projetos analisados.	86
Figura 26	– Fases propostas para o modelo	87

Figura 27	– Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o transporte aéreo.	89
Figura 28	– Proposta das fases e etapas do modelo.	91
Figura 29	– Interações entre os elementos do modelo e resultados de cada fase.	92
Figura 30	– Inserção do uso dos <i>conceptual models</i> no modelo proposto .	94
Figura 31	– Sugestão de aplicação do DT em processos simplificados . . .	95
Figura 32	– Projeto em 3D do lavatório acessível.	98
Figura 33	– Foto do protótipo final do lavatório construído em escala real.	99
Figura 34	– Tela inicial da calculadora de TRL do AFRL.	118
Figura 35	– Detalhes de preenchimento da calculadora TRL do AFRL. . . .	119

LISTA DE QUADROS

Quadro1	– Tipos de projetos possíveis dentro do DRM.	63
Quadro 2	– Compilação de características relevantes dos projetos analisados.	78
Quadro 3	– Compilação das características levantadas para o desenvolvimento de produtos de TA.	81
Quadro 4	– Características relevantes do Projeto 3	100
Quadro 5	– Verificação do Projeto 3 segundo o modelo proposto	101
Quadro 6	– Resultado do cálculo do TRL do Projeto 1	120
Quadro 7	– Resultado do cálculo do TRL do Projeto 2	120
Quadro 8	– Resultado do cálculo do TRL do Projeto 3	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAATE	Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe
ABEAR	Associação Brasileira das Empresas Aéreas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AT	<i>Assistive technology</i>
ATIA	<i>Assistive Technology Industry Association</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFP	Critical Functional Prototype
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DP	Desenvolvimento de Produto
DRM	<i>Design Research Methodology</i>
DT	Design Thinking
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Federal Drugs Administration</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT	Instituto de Ciência e Tecnologia
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
HAAT	<i>Human Activity Assistive Technology Model</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NtK	<i>Need to Knowledge Model</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PDP	Processo de desenvolvimento de produto
PcD	Pessoa(s) com Deficiência
PI	Propriedade intelectual
RESNA	<i>Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America</i>
RN	Resolução Normativa
SUGAR	<i>Stanford University Global Alliance for Redesign</i>
TA	Tecnologia Assistiva
USP	Universidade de São Paulo
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
SUMÁRIO.....	13
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVO DO TRABALHO	17
1.2. ETAPAS DA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1. TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	21
2.1.1. O que é tecnologia assistiva?.....	21
2.1.2. Design universal e tipos de design acessível	22
2.1.3. Caracterização das tecnologias assistivas	24
2.2. DADOS POPULACIONAIS.....	26
2.2.1. Dados sobre pessoas com deficiência.....	26
2.2.2. Setor de pesquisa	29
2.3. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	31
2.3.1. Processo de desenvolvimento de produtos.....	32
2.3.2. <i>Abordagem centrada no usuário</i>	35
2.3.3. <i>Design Thinking</i>	36
2.3.4. <i>TRL - Technology Readiness Level</i>	41
2.4. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE TECNOLOGIA ASSISTIVA.....	44
2.4.1. Prototipagem rápida para tecnologias assistivas.....	48
2.5. SETOR DE TRANSPORTE AÉREO.....	49
2.5.1. Relevância da acessibilidade no setor aéreo	50
2.5.2. Mercado aéreo mundial e nacional – passageiros transportados.....	51
2.5.3. <i>Stakeholders</i> no mercado aéreo.....	51
2.5.4. Classificação de aeronaves.....	52
2.5.5. Tecnologia assistiva no transporte aéreo	54
2.5.6. Normas e regulamentações com impacto em produtos aeronáuticos	57

3. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3.1. <i>DESIGN RESEARCH METHODOLOGY</i>	60
4. RESULTADOS.....	65
4.1. RESEARCH CLARIFICATION.....	65
4.2. ESTUDO DESCRITIVO I - SITUAÇÃO ATUAL	65
4.2.1. Projeto 1	66
4.2.2. Projeto 2	72
4.2.3. ANÁLISE DOS PROJETOS	77
4.3. ESTUDO PRESCRITIVO.....	82
4.3.1. Método de análise de grupos de usuário.....	82
4.3.2. Modelo de referência para pesquisa em desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo	85
4.4. ESTUDO DESCRITIVO II	96
4.4.1. Projeto 3	96
4.4.2. Aplicação do modelo	101
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	102
6. CONCLUSÕES	105
7. LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	106
REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A – Cálculo do TRL dos protótipos dos projetos	118

1. INTRODUÇÃO

Tecnologia assistiva (TA) é um termo bastante utilizado na literatura e possui diversas definições muito semelhantes, mas não há um consenso. Uma das definições, criada pela ISO (*International Organization for Standardization*) para estabelecer uma classificação para os produtos de tecnologia assistiva, considera como produtos de TA qualquer dispositivo, equipamento, instrumento ou software criado e disponibilizado para o uso de ou para pessoas com deficiência (ISO, 2011).

A tecnologia assistiva mais conhecida é a cadeira de rodas, que pode ser utilizada não apenas por pessoas com deficiência nos membros inferiores, mas também por pessoas com mobilidade reduzida temporária, como, por exemplo, após procedimentos cirúrgicos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008). Contudo, tecnologia assistiva engloba também soluções para pessoas com outras deficiências ou restrições funcionais, como visual, auditiva, deficiências cognitivas e intelectuais.

A necessidade por soluções de tecnologia assistiva vem aumentando nas últimas décadas como consequência do aumento da expectativa de vida da população e também do seu crescimento e envelhecimento, tanto a nível mundial quanto a nível nacional.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o IBGE, a população brasileira passou de 170 milhões de habitantes no ano 2000 para 204 milhões em 2015, com perspectiva de atingir a casa de 230 milhões em 2030. Isso representa um aumento de cerca de um terço da população em apenas 30 anos (IBGE, 2016).

Além do crescimento populacional, que sozinho representa um maior número de pessoas com deficiência, o IBGE prevê também a progressão do envelhecimento da população nas próximas décadas.

Não obstante o crescimento da população, que sozinho já representa oportunidades de mercado no setor de tecnologia assistiva, o envelhecimento da população aumenta ainda mais as oportunidades, pois idosos são um público importante desse mercado uma vez que podem necessitar de alguma tecnologia assistiva ao longo da vida. Segundo Hersh (2008), pessoas com deficiência e/ou pessoas idosas são os usuários principais de tecnologias assistivas, e seus requisitos devem ser levados em consideração no design de produtos de TA.

Além de gerar oportunidades de mercado no setor de tecnologia assistiva, o crescimento e o envelhecimento da população aumentam as exigências em termos

de acessibilidade. A exigência por acessibilidade cresce em todos os tipos de ambiente, seja em casa, no trabalho, nas ruas, no transporte público, em ambientes públicos. E essa exigência acaba por gerar necessidades em diversos setores da economia. Uma delas é a necessidade de ambientes acessíveis, que passa a ser uma questão cada vez mais relevante.

Diversos setores da economia são impactados com aumento da demanda da população e aumento das exigências. O setor de transporte aéreo, por exemplo, é impactado com aumento no volume de passageiros, ao mesmo tempo em que fatores como aeronaves mais modernas e mais eficientes no consumo de combustíveis e menores custos de operação (redução de 57% nos custos em duas décadas) também incentivam a expansão do mercado. Em 2015 foram aproximadamente 100.000 voos diários que transportaram 3,5 bilhões de passageiros, contra 2 bilhões de passageiros em 2004, ou seja, um aumento de 75% em apenas uma década (IATA, 2016a, 2016b).

Além disso, o envelhecimento da população por si só representa uma tendência de aumento no número de passageiros com maior idade (RAYMAN, 1997).

Como resultado, um maior número de passageiros com deficiência, idosos ou passageiros com alguma necessidade especial passa a ser transportado, o que gera necessidade de ampliação e melhoria das soluções de tecnologia assistiva existentes ou o desenvolvimento de novas soluções também no setor de transporte aéreo.

Considerando o ambiente de uma aeronave, a acessibilidade se torna crítica especialmente devido a restrições de peso, de espaço, e a procedimentos de segurança, resultando em dificuldades no acesso de pessoas com diversas deficiências ou limitações, não apenas físicas, mas também cognitivas. Fatores como esses tornam complexo o desenvolvimento de soluções de acessibilidade também no setor de transporte aéreo.

Portanto, a necessidade de soluções para idosos e pessoas com deficiência leva a oportunidades para apoio ao desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva. Especificamente no contexto brasileiro, o mercado de tecnologias assistivas é ocupado por poucas empresas, a maioria delas estrangeira, que importam soluções para o mercado nacional. Consequentemente os produtos possuem custos elevados e impeditivos que impedem o acesso de uma grande parcela da população.

Por parte do Governo, nas últimas décadas tem havido incentivos associados ao Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência, em conjunto com financiamentos de projetos por órgãos do Governo como CNPq, CAPES e FINEP.

Neste contexto, a pergunta de pesquisa que incentiva este trabalho é como facilitar e/ou aperfeiçoar o desenvolvimento de projetos de produtos de tecnologia assistiva em centros de pesquisa e instituições de ensino superior?

Este trabalho foca no contexto da acessibilidade no setor de transporte aéreo, analisando casos de projetos de desenvolvimento de produtos de TA para acessibilidade em aeronaves.

1.1. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo de referência para o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo em centros de pesquisa.

O modelo é focado na fase conceitual do processo de desenvolvimento de produto e desenhado no recorte contextual de centros de pesquisa e instituições de ensino com base em estudos de casos de projetos de pesquisa específicos para o desenvolvimento de produtos de TA para o setor de transporte aéreo.

A intenção é sistematizar a experiência acumulada na área de DP de TA para o setor de transporte aéreo, de forma que o processo possa ser replicado em outros projetos. O modelo visa contribuir para a geração de conceitos de produtos que possam resultar na seleção de conceitos para posterior desenvolvimento detalhado e registro de propriedade intelectual (PI), se for o caso.

Os objetivos específicos são:

- avaliar projetos de DP de TA para o setor de transporte aéreo;
- avaliar se a abordagem do *design thinking* é uma boa opção para o DP de TA;
- gerar a proposta de um modelo para o DP de TA em centros de pesquisa e IES.

1.2. ETAPAS DA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

As atividades e a sequência lógica de etapas realizadas neste trabalho estão ilustradas na Figura 1 a seguir.

As etapas seguem a proposta do método DRM - *Design Research Methodology*, cujo *framework* é utilizado na estruturação e organização das etapas de execução desta pesquisa. O método, que será detalhado mais adiante na Seção 3, propõe quatro etapas de trabalho: *Research Clarification*, *Descriptive Study I*, *Prescriptive Study*, *Descriptive Study II*. Este trabalho passa pelas quatro etapas propostas pelo DRM. A primeira, chamada de *Research Clarification*, corresponde à revisão de literatura. Na segunda etapa do DRM, *Descriptive Study I*, são apresentados estudos de casos de projetos envolvendo o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva. Na terceira etapa, *Prescriptive Study*, são propostas soluções com base em informações encontradas na literatura e nos estudos de caso realizados no DS-I para atender os objetivos desta pesquisa. Na quarta etapa, *Descriptive Study II*, são avaliadas as soluções propostas na etapa anterior.

Figura 1 - Etapas da organização do trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

Na etapa de *Research Clarification* é feita uma revisão sistemática de literatura, na qual são abordados os temas de tecnologia assistiva (TA), transporte aéreo, processo de desenvolvimento de produto (PDP) e desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva, além de uma análise de dados populacionais com foco em pessoas com deficiência.

Em seguida, na etapa de estudo descritivo (*Descriptive Study I*) são avaliados dois projetos que foram realizados para o desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo.

Após avaliação dos projetos, e com base na revisão de literatura realizada, segue a etapa seguinte de estudo prescritivo (*Prescriptive Study*), em que são propostas soluções para as questões levantadas.

Na quarta e última etapa, *Descriptive Study II*, o modelo proposto é aplicado sobre um terceiro projeto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica deste artigo é baseada na metodologia proposta por Conforto, Amaral e Silva (2011) que propõem um roteiro para a realização de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) para a área de gestão de operações, especificamente voltado para o tema de desenvolvimento de produtos.

A realização de uma revisão bibliográfica sistemática (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; LEVY; ELLIS, 2006) auxilia o pesquisador a compreender e dimensionar o corpo de conhecimento referente ao assunto estudado; permite embasamento teórico para o estudo; apresenta as justificativas para o estudo; contribui para a definição e estruturação dos objetivos, questões de pesquisa e métodos do estudo. Além disso, a RBS permite não apenas identificar as pesquisas já existentes na área, mas também identificar as lacunas na teoria, o que pode ser uma fonte para outras pesquisas (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Para a revisão bibliográfica de tecnologia assistiva e de desenvolvimento de produto foi utilizada a base de dados ISI *Web of Knowledge*, e também buscas na ferramenta Google Acadêmico.

A pesquisa realizada inicialmente na base de dados ISI *Web of Knowledge* e utilizou os termos “*product development*” e “*assistive*” (*strings* “*product development*” AND “*assistive*”) trazendo como resultado uma lista com apenas 25 artigos. Para incrementar essa lista, foi realizada uma nova busca, desta vez utilizando os termos “*product development*” e “*assistive*” ou “*inclusive*” ou “*rehabilitation*” – *strings* utilizadas: “*product development*” AND (“*assistive*” OR “*inclusive*” OR “*rehabilitation*”). O resultado da busca revelou uma lista com 82 artigos (em Junho/2015). Após análise dos títulos e dos resumos dos artigos, foi possível concluir que nenhum deles tratava do processo pleno de desenvolvimento de produto. Nova pesquisa na bases do ISI *Web of Knowledge* foi realizada ao final dos trabalhos em Dezembro de 2016, com um acréscimo de apenas 7 artigos, num total de 89.

Devido ao resultado obtido na busca da base de dados ISI, foi realizada uma busca no site de pesquisas Google Acadêmico com a finalidade de buscar publicações fora da base de dados anterior. A busca foi realizada com os termos “*product development*” e “*assistive*”, e dentre os resultados obtidos foram encontrados artigos, livros sobre tecnologia assistiva, publicações de conferências e sites de empresas prestadoras de serviço de tecnologia assistiva.

Dentre os artigos encontrados, destacaram-se três trabalhos com títulos relacionados ao tema de desenvolvimento de produto de tecnologias assistivas (HERSH; JOHNSON, 2008; LANE, 2009; OKUMURA; CANGIOLIERI JUNIOR, 2011)

Dentre os livros encontrados está o *Assistive Technologies – Principles and Practices* (COOK; POLGAR, 2008), citado em alguns dos trabalhos encontrados.

Das publicações de conferências, alguns trabalhos apresentavam títulos aparentemente relacionados ao tema, mas não puderam ser analisados porque não foi possível acessar os textos dos anais na sua integralidade. Muitas publicações nessa área são de acesso restrito a revistas e jornais específicos que não constam nos acessos disponíveis para a Universidade de São Paulo (as revistas da RESNA e da AAATE, por exemplo), o que dificulta a busca.

Além dos resultados das buscas no ISI e no Google Acadêmico, outras referências foram encontradas a partir de leitura do material encontrado.

Depois de realizada a primeira busca, foi adquirido acesso ao jornal *Assistive Technology* da RESNA, onde foi possível acessar parte do material não indexado no ISI que havia sido encontrado a partir das buscas no Google Acadêmico, além de outras referências que não haviam sido apontadas nas buscas anteriores. Por fim, o autor completou a lista de referências após participação na conferência anual da RESNA ocorrida em Julho de 2016, com trabalhos publicados na conferência (FLAGG et al., 2013; LANE, 2016).

Dessa maneira, o conteúdo da revisão de literatura engloba seis tópicos, conforme ilustrado na Figura 1. Primeiramente é apresentado o conceito de tecnologia assistiva (Seção 2.1). Em seguida é feita uma análise dos dados populacionais com foco em pessoas com deficiência (Seção 2.2), seguido por uma avaliação sobre processos de desenvolvimento de produto, desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva, informações do setor de transporte aéreo, e por fim o método DRM é explicado, já como parte da seção de Material e Métodos (Seção 3).

2.1. TECNOLOGIA ASSISTIVA

2.1.1. O que é tecnologia assistiva?

O termo tecnologia assistiva é bastante utilizado na literatura, mas nenhuma definição é conclusiva e totalmente aceita (COOK; POLGAR, 2008; HERSH, 2010). É possível encontrar diversas definições para o termo, todas muito similares.

De acordo com a ATIA (*Assistive Technology Industry Association*, dos Estados Unidos), tecnologia assistiva é qualquer item, equipamento, dispositivo ou *software* que possa manter ou melhorar a função de uma pessoa com deficiência. Podem ser produtos ou serviços que auxiliem pessoas com dificuldade na fala, escrita, visão ou locomoção (ATIA, 1999).

Segundo a AAATE (*Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe*), tecnologia assistiva é um termo abrangente para indicar um produto ou serviço baseado em tecnologia que auxilie pessoas de qualquer idade que possuam limitações na vida diária, educação, trabalho ou lazer (AAATE, 2012).

Em 2007 foi criada uma norma ISO (*International Organization for Standardization*) para estabelecer uma classificação para os produtos de tecnologia assistiva. A ISO considera como produtos de TA qualquer dispositivo, equipamento, instrumento ou *software* criado e disponibilizado para o uso de ou para pessoas com deficiência (ISO, 2011).

Para Hersh and Johnson (2008), tecnologia assistiva é um termo genérico que cobre desde tecnologias, equipamentos, dispositivos, serviços, sistemas até processos que possam ser utilizados por ou para pessoas com deficiência ou idosos e que lhe permita realizar atividades com independência, segurança e facilidade.

Cook & Polgar (2008), autores do livro “*Cook & Hussey’s Assistive Technologies – Principles and Practices*”, uma das referências na área, assumem a definição de tecnologia assistiva proposta pela lei 108-364 do Governo dos Estados Unidos.

A lei norte-americana número 108-364, de 2004, revisão do *Assistive Technology Act* de 1993, define tecnologia assistiva como aquela tecnologia que pode ser utilizada em equipamentos de tecnologia assistiva ou serviços de tecnologia assistiva.

De acordo com o *Assistive Technology Act*, o termo “equipamentos de TA” se refere a “itens, peças, equipamentos ou sistemas de produto adquiridos comercialmente,

modificados ou personalizados que são utilizados para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais de uma pessoa com deficiência”. O termo “serviços de TA” se referem a “serviços que auxiliem diretamente uma pessoa com deficiência na seleção, aquisição ou uso de um equipamento de TA”. (U.S.GOVERNMENT, 1998)

Já o Governo Brasileiro adota que *“Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social”* (BRASIL - SDH/PR, 2009)

Percebe-se que as definições são similares e variam apenas pelo público-alvo (pessoas com alguma deficiência ou pessoas idosas) de acordo com o foco dos autores, mas todas consideram basicamente soluções que possam auxiliar pessoas que possuem alguma limitação devido a alguma deficiência ou à idade.

Cook & Polgar (2008) expandem o conceito com a definição de sistema de tecnologia assistiva, que consistiria de um aparato de tecnologia assistiva, uma pessoa com alguma deficiência e o ambiente onde a atividade funcional deve ser realizada.

2.1.2. Design universal e tipos de design acessível

Vinculado à tecnologia assistiva está o termo design universal, ou *design for all* (design para todos) como é disseminado na Europa, que é uma abordagem cujo objetivo é criar produtos acessíveis e utilizáveis pelo maior número de pessoas possível, independente de deficiência, idade, sexo, ou classe social (HERSH, 2010). Design universal pode ser definido como design de ambientes ou produtos que pode ser utilizado por pessoas de qualquer idade ou habilidade sem a necessidade de adaptações. (MACE, 1998; RONALD L. MACE, GRAEME J. HARDIE, 1991; STORY, 1998). E quando bem aplicado, se adapta tão bem ao ambiente ou produto que se torna invisível (MACE, 1998).

Após um esforço de alguns anos de pesquisa nos Estados Unidos por uma equipe do Centro para Design Universal da Universidade Estadual da Carolina do Norte, foi proposto um conjunto de sete princípios de design universal para guiar o processo

de design e avaliar novos designs ou designs existentes, e também para ensinar estudantes e profissionais (CONNELL et al., 1997; STORY, 1998). São eles:

1. Uso equitativo: o design deve ser útil e comercializável para pessoas com diversas habilidades;
2. Uso flexível: o design deve considerar uma ampla gama de habilidades e preferências individuais;
3. Uso simples e intuitivo: o uso do design deve ser de fácil entendimento, independente do conhecimento do usuário, sua experiência, habilidades ou nível de concentração;
4. Informação perceptível: o design deve comunicar informações de forma efetiva para o usuário, independente das condições ambientais ou habilidades sensoriais do usuário;
5. Tolerância a erros: o design deve evitar e minimizar riscos e consequências adversas de seu uso acidental ou não intencional;
6. Baixo nível de esforço físico: o design deve ser utilizado de forma eficaz e confortável com mínimo de esforço físico;
7. Tamanho e espaço para aproximação e uso: deve prover tamanho e espaço adequados à aproximação, alcance, manipulação e uso, independente do tamanho do usuário, sua postura ou sua mobilidade.

Apesar da disseminação do conceito de design universal, é mais comum encontrar soluções de design acessível.

Design acessível pode ser definido como aquele que atende os requisitos prescritos para o uso por uma pessoa com deficiência (PcD), mas normalmente é feito com um design especial separado, o que acaba segregando os usuários. Um exemplo são rampas de acesso construídas ao lado de escadas. Muitas vezes são funcionalidades adicionadas depois de pronta uma construção, muitas vezes por força da lei, deixando clara a falha do desenho inicial em considerar PcD.

Outra forma comum é o design adaptável, que são modificações feitas a um design padrão com o propósito de permitir seu uso por PcD. Um exemplo seriam pegas mais largas para uso de utensílios de cozinha por PcD. Assim como o design acessível, resulta em soluções segregadas e mais caras.

Há também soluções de design transgeracionais, que consideram as mudanças que acontecem com o envelhecimento do usuário, e assim servem para qualquer idade. Essas soluções cobrem um grande número de usuário, apesar de não considerar questões causadas por doenças ou acidentes, questões de gênero, culturais ou de educação (STORY, 1998).

Figura 2 – Relação entre design acessível, adaptável, transgeracional e design universal

Fonte: Adaptado de Story (1998)

Dessa forma, a Figura 2 ilustra como o design universal pode ser caracterizado como uma mistura de cada um dos demais: pode ser transgeracional, com caráter mais inclusivo em relação à idade, além de poder ser algumas vezes adaptável, mas sempre acessível.

2.1.3. Caracterização das tecnologias assistivas

Há também certa confusão entre produtos de tecnologia assistiva, produtos de reabilitação e produtos médicos, que muitas vezes são confundidos especialmente por pessoas de fora da área, mas há diferenças entre eles.

Para Hersh (2008), há proximidade e sobreposição das categorias de produtos, equipamentos e serviços relacionados a tecnologia assistiva, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Relação entre produtos em geral, *design for all*, produtos assistivos, de reabilitação e médicos

Fonte: Adaptado de Hersh (2008)

Segundo o autor, eles podem ser categorizados da seguinte forma, com certa sobreposição entre as categorias:

- Produtos em geral: são aqueles desenvolvidos para a população em geral, normalmente não considerando as necessidades de PcD ou outros grupos da população;
- *Design for all*, ou design universal: produtos feitos a partir de uma abordagem de design que considera acessibilidade e usabilidade para um maior número de usuários, independente de fatores como deficiência, idade, cultura, etc.
- Produtos assistivos: produtos desenhados para remover as barreiras para PcD ou idosos;
- Produtos de reabilitação: produtos desenhados para restabelecer funções de PcD ou idosos ou com problemas de saúde;
- Produtos médicos: produtos desenhados para suportar práticas de cuidados da saúde e promover o tratamento, melhora ou cura de pessoas com alguma doença ou problemas de saúde.

Apesar de serem usados por PcD e idosos, produtos de reabilitação e assistivos são diferentes no ponto que os assistivos auxiliam a remover as barreiras entre o usuário e o ambiente, enquanto os de reabilitação auxiliam o usuário para superar suas próprias limitações (HERSH; JOHNSON, 2008).

Dentre os produtos de tecnologia assistiva, a cadeira de rodas é a solução mais comum e mais conhecida pelo público em geral, pois pode ser utilizada não apenas por pessoas com deficiência, mas também por pessoas que tenham ou estejam com alguma dificuldade de caminhar ou se locomover, incluindo crianças, adultos ou idosos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008). Além da cadeira de rodas, outros exemplos de tecnologia assistiva são as próteses de membros inferiores ou de membros superiores utilizadas por pessoas amputadas, uma vez que o objetivo de seu uso é remover a limitação causada pela ausência do membro. Equipamentos que auxiliam pessoas a caminhar, como bengalas, muletas e exoesqueletos, e equipamentos utilizados por atletas paraolímpicos em competições também são considerados tecnologias assistivas.

2.2. DADOS POPULACIONAIS

2.2.1. Dados sobre pessoas com deficiência

Pessoas com deficiência formam um grupo heterogêneo e com grande diversidade, mas alguns estereótipos são comuns, como pessoas em cadeira de rodas (com deficiência motora nos membros inferiores), pessoas surdas (com deficiência auditiva) e pessoas cegas (com deficiência visual) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que mais de um bilhão de pessoas no mundo todo apresentem algum tipo de deficiência, o que corresponde a cerca de 15% da população mundial. Além disso, aproximadamente 1% da população mundial necessita de cadeiras de rodas para se locomover (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008, 2011).

A medição estatística do número de pessoas com as diversas formas de deficiência é complexa, e as diferentes abordagens adotadas por cada país influenciam os resultados de censos e pesquisas. Além disso, pessoas com problemas crônicos de saúde, dificuldade de comunicação ou outras condições podem não estar incluídas

nos resultados referentes a deficiências. Dessa forma, a OMS entende que os números não são definitivos, mas um reflexo da situação atual e dos dados disponíveis (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

No Brasil, de acordo com o Censo Demográfico de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quase um quarto da população brasileira sofre com algum tipo de deficiência, dentre as quais a grande maioria corresponde a pessoas com deficiência visual, seguido de pessoas com deficiência motora. A Figura 4 apresenta a distribuição percentual da população residente que possui ao menos um tipo de deficiência, mostrando o detalhamento dos 23,9% de pessoas que possuem alguma deficiência. Vale notar que a somatória dos valores não corresponde à somatória, pois há pessoas que apresentam mais de um tipo de deficiência.

Figura 4 – Distribuição percentual da população residente que possui ao menos um tipo de deficiência

Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

A classificação dos dados do Censo foi feita com base nas recomendações da Organização Mundial de Saúde, e considera aquelas pessoas que declararam ter grande dificuldade ou não conseguirem ver, ouvir ou se locomover de modo algum, ou ter deficiência mental ou intelectual.

Os resultados apresentados pelo Censo de 2011 apresentam similaridades com os dados apresentados pela OMS. Apenas os dados referentes à deficiência visual estão em um patamar muito acima da média mundial. Contudo, conforme apontado pela OMS, variações nos resultados de censos ou pesquisas de alguns países podem ter origem na abordagem ou no formato da pesquisa realizada (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Além de deficiência visual, o segundo maior

grupo é o de pessoas com alguma deficiência motora, com 7% da população, ou 14 milhões de pessoas (IBGE, 2010, 2012).

Contudo, os dados sobre pessoas com deficiência motora não mostram especificamente quantas dessas pessoas precisam ou utilizam cadeira de rodas.

Na ausência de dados oficiais sobre o número de cadeirantes no país e considerando a média mundial de 1% fornecida pela OMS, pode-se estimar a população cadeirante no país por volta de 10 milhões de pessoas – 1% dos 202 milhões de habitantes (IBGE, 2014; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

Além disso, o constante crescimento populacional contribui para o aumento do número absoluto de pessoas com deficiência.

Ao longo do Século XX, a população brasileira passou por sucessivos aumentos, tendo crescido cerca de dez vezes entre os anos 1900 e 2000 (IBGE, 2001). No ano 2000 o país contava com cerca de 170 milhões de brasileiros, número que subiu para 204 milhões em 2015, com perspectiva de atingir a casa de 230 milhões em 2030. Isso representa um aumento de cerca de um terço da população em apenas 30 anos (IBGE, 2016a).

Apesar do crescimento elevado do último século, assim como tem acontecido nos países da Europa, a taxa de natalidade tem caído nas últimas décadas no Brasil, levando a população brasileira a um processo de envelhecimento, de forma que a pirâmide etária se alarga no topo e se estreita em sua base.

Figura 5 – Perspectiva de envelhecimento da população brasileira entre os anos 2000 e 2030

Fonte: Adaptado de IBGE (2016)

Considerando que o envelhecimento da população representa um aumento no número de idosos, tende a aumentar a quantidade de pessoas que necessitam do auxílio de tecnologias assistivas, além de tornar a acessibilidade uma questão mais relevante no dia-a-dia da população.

Na Figura 5 é possível perceber a perspectiva de envelhecimento da população entre os anos 2000 e 2030. Entre 2000 e 2030, a previsão é que a população de idosos (pessoas acima de 65 anos) salte de 5,6% para 13,4% (IBGE, 2016a). Ainda segundo o IBGE, a previsão é que a população brasileira com mais de 60 anos de idade atinja quase 30% em 2050 (IBGE, 2016b).

Com base nesses dados, percebe-se que tanto a nível nacional como a nível mundial existem mercados e oportunidades a serem exploradas em termos do desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva.

2.2.2. Setor de pesquisa

Entretanto, apesar dos avanços e crescimento do mercado de tecnologias assistivas observados nos últimos anos, ainda existe pouca pesquisa sobre o processo de desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva, apesar de existirem inúmeros indicadores de desenvolvimento, como detalhado a seguir.

No Brasil, especialmente a partir do ano 2011, foram criados incentivos por parte do Governo Federal no âmbito de tecnologias assistivas por meio do Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência - Viver Sem Limite. O plano foi implantado em 2011 por meio de um decreto presidencial com base na Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência da Organização das Nações Unidas da ONU. O plano tem como objetivo de implantar novas iniciativas e intensificar as ações já existentes em benefício das pessoas com deficiência, como incentivo para pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico e linhas de financiamento mais acessíveis para compra de equipamentos de tecnologia assistiva. O orçamento inicial do programa era de R\$ 7,6 bilhões para o triênio 2012-2014 (SDH-PR/SNPD, 2011).

Uma das ações do Plano Viver Sem Limite envolve a área de pesquisa e desenvolvimento. Neste sentido, foram abertos e implementados editais através de órgãos como a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

A FINEP apoia projetos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias assistivas desde 2005, tendo lançado em 2011 um programa específico para o tema chamado Programa de Inovação em Tecnologia Assistiva, em suporte ao programa Viver Sem Limite do Governo Federal. O objetivo da FINEP é fomentar o desenvolvimento da indústria de produtos de tecnologia assistiva no país. Em 2015, a FINEP lançou um edital para apoiar institutos de ciência e tecnologia (ICTs) em projetos de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação para pessoas com deficiência, idosos e mobilidade reduzida no valor total de R\$ 25 milhões (FINEP, 2015).

Em termos de pesquisa na área acadêmica, foi lançado um edital de pesquisa do CNPq em 2013 para projetos exclusivos de pesquisas de tecnologia assistiva que disponibilizou cerca de R\$ 13 milhões para projetos de pesquisa para instituições de todo o país (CNPQ, 2013; MCTI-SECIS/CNPQ, 2013). A CAPES também lançou um edital em 2014 para projetos na área com aplicação de quase R\$ 20 milhões (CAPES, 2014). Este trabalho de mestrado é realizado no âmbito de projetos dos editais desses dois editais: 84/2013 do CNPq e 59/2014 da CAPES.

No final de 2016 foi lançado novo edital do CNPq como forma de continuidade dos investimentos anteriores. Dessa vez, foi disponibilizado o valor de R\$ 5 milhões para projetos de até R\$ 200 mil.

Esforços como esses de incentivo à pesquisa em tecnologia assistiva por parte do Governo Federal mostram a crescente importância do tema na sociedade brasileira. Apesar disso, esse esforço em termos financeiros ainda é pequeno quando comparado a países que possuem mais experiência e histórico na área de tecnologias assistivas, como, por exemplo, os EUA, que disponibilizam anualmente apenas para alguns Estados mais do que o montante investido pelo CNPq no Edital de 2016.

Além disso, pelo fato de o esforço do Governo brasileiro ainda ser pequeno e recente, ainda não há um histórico de projetos e poucos dados para se acompanhar indicadores e evolução da pesquisa na área no país. Por fim, a ausência de uma programação de médio e longo prazo com a disponibilização de recursos anuais impede a formação contínua dos grupos de pesquisa já beneficiados e compromete a evolução das pesquisas já iniciadas.

2.3. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Considerando os esforços para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, o tema de desenvolvimento de produto passa a ser relevante.

O processo de desenvolvimento de produtos transforma oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em resultados com viabilidade comercial (CLARK; FUJIMOTO, 1991). Além disso, pode ser considerado um processo de negócios (ROZENFELD et al., 2006).

A gestão do ciclo de vida do produto, ou *Product Lifecycle Management* (PLM) em inglês, aborda a gestão dos processos de negócio e informação ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a ideia inicial e seu projeto, passando pelo processo de produção, até o descarte final do produto após o uso. A evolução da visão de gerenciamento do processo de desenvolvimento de produtos tem relação com a evolução dos processos de gestão de empresas (ROZENFELD et al., 2006).

Contudo, a execução eficaz de um processo de desenvolvimento de produto, que resulte em um produto de sucesso, apresenta grandes dificuldades para as organizações. Algumas empresas podem conseguir desenvolver um ou outro produto com sucesso, mas manter um desempenho constante no lançamento de consecutivos produtos de sucesso apresenta um grau de dificuldade ainda maior. Dessa forma, a estruturação de um processo de desenvolvimento de produtos torna-se uma vantagem competitiva e pode fazer diferença para a empresa no longo prazo, ao passo que pode contribuir para o aumento da taxa de sucesso de novos produtos.

Para esta finalidade, diversos modelos surgiram nas últimas décadas, muitos dos quais baseados no modelo *Stage-Gate* proposto por Cooper (2008), com etapas e marcos de transição bem definidos ao longo do processo de desenvolvimento.

O processo de desenvolvimento de produto conhecido como PDP Unificado (ROZENFELD et al., 2006) é reconhecido tanto no meio acadêmico quanto no mercado.

2.3.1. Processo de desenvolvimento de produtos

O objetivo de qualquer projeto de desenvolvimento de produto ou de serviço é transformar uma ideia em realidade, desde o conceito até o produto específico que atenda as necessidades de mercado (CLARK; FUJIMOTO, 1992).

Assim, o processo de desenvolvimento de produto ou de serviço permite uma organização transformar oportunidades de mercado e questões técnicas em produtos ou serviços com resultados comerciais (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o processo de desenvolvimento de produto (PDP) é um conjunto de atividades que buscam chegar às especificações de projeto e do processo de produção de um produto, considerando as necessidades do mercado, as possibilidades e restrições tecnológicas, e as estratégias da empresa. Para ser eficaz e eficiente, é necessário garantir o desempenho do processo, que depende de um modelo de gestão, que por sua vez possa ser utilizado em outros projetos de desenvolvimento de produtos da empresa.

Para Schuh et al. (2008), os modelos de referência de indústria compreendem boas práticas e podem ser o ponto de partida para inovações. Porém, o modelo não será adequado a todas as empresas do segmento, pois os processos variam de acordo com as características próprias de cada empresa.

Com o objetivo de apresentar um modelo que contenha as melhores práticas em desenvolvimento de produtos, Rozenfeld et al. (2006) propõem o chamado Modelo Unificado do PDP. O modelo tomou como base o desenvolvimento de bens duráveis e de equipamentos, mas, segundo os próprios autores, pode ser adaptado para o desenvolvimento de outros tipos de produtos.

O modelo, que será adotado como modelo-base neste trabalho, está representado na Figura 6 e é composto de três macro fases e nove fases, cada uma delas com fluxos detalhados de atividades e tarefas. As três macro fases são:

- Pré-desenvolvimento;
- Desenvolvimento;
- Pós-desenvolvimento.

Cada fase inclui uma série de etapas e atividades de diversas áreas, como gestão de projetos, marketing, engenharia de produto, produção, engenharia de processo, qualidade.

O escopo do produto, recursos necessários, cronograma, riscos e viabilidade econômica do projeto são definidos na etapa de Planejamento do Projeto da macro fase de Pré-desenvolvimento.

Figura 6 – Modelo Unificado do PDP

Fonte: ROZENFELD et al. (2006)

As etapas da fase Planejamento do Projeto incluem, entre outras atividades:

- Definir os interessados do projeto
- Definir escopo do produto;
- Definir e detalhar escopo do projeto;
- Definir atividades e sequências;
- Preparar cronograma;
- Analisar viabilidade econômica.

Como resultado, tem-se o Plano de Projeto, que deve incluir detalhes como: o escopo do produto e do projeto, atividades, cronograma, prazos, orçamento, equipe responsável, recursos necessários. Na fase seguinte de Projeto Informacional, já na

macro fase de Desenvolvimento, o objetivo é elaborar um conjunto de informações o mais completo possível sobre o produto, chamado especificações-meta do produto, com base nas informações já coletadas. São identificados os clientes e identificados os seus requisitos para definir e especificar o produto.

As etapas da fase de Projeto Informacional incluem:

- Revisar e atualizar o escopo do produto;
- Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes;
- Identificar requisitos dos clientes do produto;
- Definir requisitos do produto;
- Definir especificações meta do produto;
- Atualizar o plano do projeto, que se estende até a fase seguinte.

A partir das informações coletadas na fase anterior, na fase de Projeto Conceitual é feita uma busca por soluções em busca da concepção do produto. Na busca de soluções já existentes são feitos *benchmarkings* e busca de patentes, por exemplo. Em seguida, ideias são geradas com base nos requisitos e demais informações já levantadas, como por exemplo, em seções de *brainstormings*, para definir princípios de soluções e soluções alternativas, que serão avaliados e reavaliados até a escolha da solução final. Por fim, é gerada uma concepção do produto, que deve incluir a arquitetura do produto (sua lista técnica e interfaces), layout e estilo do produto, macroprocessos de fabricação e montagem.

As etapas da fase de Projeto Conceitual incluem:

- Modelar o produto funcionalmente;
- Definir princípios de solução para as funções;
- Definir alternativas de solução para o produto;
- Desenvolver alternativas de solução;
- Definir arquitetura;
- Selecionar concepções alternativas;
- Atualizar o plano do projeto.

A solução escolhida é então levada para a etapa seguinte de Projeto Detalhado, na qual são feitas as especificações de produto e de projeto e ajustes necessários para a sua produção efetiva nas fases seguintes de Preparação da Produção e Lançamento do Produto.

Em seguida há a fase de Preparação para Produção, que é seguida pela fase Lançamento do Produto.

Percebe-se que o modelo de referência do PDP Unificado contempla fases e etapas que se adéquam a diversos setores, indústria, tecnologia, produtos, etc. Dessa forma, os autores mostram que o modelo de referência funciona como um modelo genérico que pode ser adaptado a um processo específico de uma empresa específica, ou a um projeto de um produto específico, ou pode ainda ser transformado em um modelo de referência de uma empresa de forma a abranger todos os seus processos e produtos (ROZENFELD et al., 2006).

De fato, há diversas obras disponíveis na literatura que tratam de adequar um modelo de PDP a cenários ou indústrias específicas por meio da criação de modelos de referência específicos. Como exemplos, vale citar o modelo de referência para produtos mecatrônicos (BARBALHO; ROZENFELD, 2013), o modelo de referência para produtos cerâmicos (BORDIGNON, 2013) e o modelo de referência para produtos automotivos (SILVA, 2013).

De acordo com uma pesquisa realizada no Brasil entre os anos de 2001 e 2011 por meio da lista de programas de pós-graduação da ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção) foram realizados 32 trabalhos sobre modelos para o PDP (MORETTI, 2012). De acordo com esta pesquisa, 22 eram dissertações de mestrado e os outros 10 eram teses de doutorado, e foram realizados em apenas 28% (ou 9) dos programas de pós-graduação existentes no Brasil. Esses números mostram que ainda há potencial para estudos sobre este tema.

2.3.2. Abordagem centrada no usuário

O processo de desenvolvimento de um produto de sucesso é complexo (CLARK; FUJIMOTO, 1991). Os projetistas muitas vezes desconhecem as necessidades específicas da pessoa para a qual estão projetando, o que torna não triviais os conceitos de solução e dificulta o desenvolvimento de um produto mais atraente para o usuário. Ter conhecimento e experiência em um determinado mercado ou

tecnologia em particular é essencial para o desenvolvimento de um novo produto. Porém, muitas vezes a equipe possui conhecimentos limitados ou restritos ao portfólio de produtos e tecnologias utilizadas pela empresa (LESTER, 1998). Essa limitação pode comprometer o resultado do projeto de uma solução não conhecida.

Kutz (2003) comenta que os engenheiros projetistas tradicionais tendem a focar na função do produto, dando pouca importância à forma e usabilidade, enquanto o oposto poderia levar a um design de produto mais acessível para pessoas com deficiência, produzindo como resultado um produto melhor para todos e com potencial de aumento de *market share*. O autor sugere que, com um pouco de criatividade, é possível projetar e produzir produtos que não deixem de lado os percentis de 5% abaixo e 95% acima da média população.

Pesquisas recentes mostram que a aproximação da equipe de desenvolvimento com o usuário final para um entendimento mais profundo da situação dos usuários logo nas fases iniciais de design facilita a geração de novos conceitos, além de contribuir para um maior potencial comercial da solução, especialmente no que se refere a tecnologias assistivas (WILKINSON; DE ANGELI, 2014).

2.3.3. *Design Thinking*

A abordagem do *design thinking* surgiu a partir da evolução de uma série de questionamentos a partir da década de 1960 e transformações na forma de trabalhar o desenvolvimento de produto do lado da engenharia com base nos conceitos e na maneira de trabalhar da área do design na tentativa de solucionar os chamados *weaked problems*, que são problemas complexos, mal formulados, com informações confusas, envolvimento de diversas partes com valores conflitantes (BUCHANAN, 1992).

Na década de 1970 na universidade de Stanford, professores como Rolf Faste discutiram sobre metodologias de projeto, criticando a forma como a engenharia era ensinada e incentivando maior estímulo da criatividade, defendendo a aplicação do modo de trabalho do designer.

O termo *design thinking* surgiu em 1987 no livro homônimo do professor de arquitetura da Universidade Harvard Peter Rowe, que comenta sobre os modos criativos na área da arquitetura e da racionalidade da escolha de soluções que satisfaçam melhor os requisitos (ROWE, 1987). Dessa forma, o design thinking

surgiu como uma metodologia para ser utilizada por profissionais de outras áreas além do design.

Tim Brown (2008) denomina o *design thinking* como sendo uma metodologia que permeia todo o espectro das atividades de inovação, com um design centrado no ser humano (*human-centered design*). O autor sintetiza o *design thinking* como uma disciplina que utiliza da sensibilidade do designer e de métodos para atender às necessidades das pessoas com o que é tecnologicamente e economicamente viável se convertendo em valor para o cliente e oportunidade de mercado.

Brown (2008) inclusive comenta que a metodologia do *design thinking* não é algo novo, mas uma abordagem que já foi utilizada inclusive em casos clássicos da História em antigas invenções. Ele usa como exemplo a abordagem utilizada na invenção da lâmpada por Thomas Edison, que se preocupou não apenas com a criação da lâmpada incandescente em si, mas também com todo o sistema de geração e transmissão de energia elétrica que possibilitasse o uso da lâmpada pelos usuários, uma vez que redes de energia elétrica ainda não estavam disponíveis para todos e sua disponibilidade era um requisito fundamental para a disseminação do uso da lâmpada incandescente. Assim, Tim Brown comenta que a abordagem de Edison foi muito próxima ao que hoje é conhecido como *design thinking* e mostra que exige bastante esforço (BROWN, 2008).

Ainda segundo ele, o *design thinking* utiliza os métodos e sensibilidade dos designers para mesclar o que é tecnologicamente e economicamente viável para suprir as necessidades do usuário.

Para Johansson-Sköldberg, Woodilla, Çetinkaya (2013), o *design thinking* é um “discurso em que a prática do design e competência são usados para além do contexto de projeto (incluindo a arte e arquitetura), para e com as pessoas, sem um fundo acadêmico em design, especialmente em gestão”.

A adoção do *design thinking* em projetos gerou diversas abordagens, cada uma delas utilizando o *design thinking* de uma forma distinta.

A abordagem proposta por Brown é centrada no usuário, e moldada em um formato cíclico dividido em três grandes etapas (vide Figura 7):

- Inspiração, quando são feitas pesquisas para busca de soluções;
- Ideação, para criar e testar ideias e soluções;

- Implementação, que leva em consideração a percepção de mercado e realiza a implementação comercial e industrial, e pode viabilizar o início de um novo ciclo de desenvolvimento.

Figura 7 – Abordagem de Tim Brown (2008)

Fonte: Adaptado de Brown (2008)

A abordagem proposta pela d.school (*Hasso Plattner Institute of Design at Stanford*) é chamada de *Bootcamp Bootleg* (D.SCHOOL, 2009) e está ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – *Design Thinking* proposto pela d.school

Fonte: Adaptado de d.school (2008)

Ela é dividida em cinco fases:

- Empatia: processo centrado no usuário, para imergir, engajar e observar o problema. É a etapa base do processo e seu objetivo é analisar e entender as reais necessidades da *persona*;

- Definição: fazer uma síntese, apresentar um foco do problema ou ponto de vista. As informações até então coletadas do usuário e do contexto do projeto são reunidas e analisadas para definir o foco e diretrizes para o restante do projeto;
- Ideação: geração de ideias, exploração de soluções. Ideias devem ser geradas em quantidade em atividades como, por exemplo, *brainstorming*;
- Prototipação: fazer, produzir as ideias em um contexto mais real, não totalmente, mas trazendo o caráter material. Os protótipos físicos devem ser desenvolvidos rapidamente, de forma a permitir seu entendimento e refinar as soluções para as ideias levantadas;
- Testes: para redefinir soluções e colocar o protótipo em contato com as pessoas. Ao testar as soluções com os usuários é possível aprimorar os protótipos e verificar a eficácia e utilidade das ideias e soluções.

A aplicação dessa abordagem inclui técnicas como mapa de empatia, mapa do cotidiano e *bodystorm* (simular as ideias com o corpo), dentre outras.

Figura 9 – Divergência e convergência no modelo proposto pela d.school

Fonte: Almeida et al. (2015)

A ilustração da Figura 9 revela que a abordagem da d.school possui um caráter linear em que as fases se sobrepõem, e evidencia no processo as fases de expansão de ideias (empatia e ideação) e outras de foco (definição e prototipação).

Além disso, é importante observar que há momentos de divergência, quando o foco principal do projeto é buscar conceitos e propostas além do escopo inicial de análise e que inclui o levantamento de informações e a geração de novas ideias, e também momentos de convergência, em que o foco é estabelecer as definições do projeto incluindo o refinamento dos conhecimentos na etapa de síntese e o refinamento dos requisitos na etapa de desenvolvimento de protótipos.

Outra abordagem, muito utilizada por organizações empresariais, é a proposta pela empresa de consultoria IDEO.

Assim como a abordagem da d.school, a proposta da IDEO (Figura 10) também envolve fases de divergência de pensamentos (fase de Descoberta e fase de Ideação) e etapas de convergência (fase de Interpretação e fase de Experimentação).

Figura 10 – Processo de design proposto pela IDEO

Fonte: Adaptado de IDEO (2012)

O processo de design proposto pela IDEO é dividido em cinco fases:

- Descoberta, para entendimento do problema e pesquisa;
- Interpretação, onde se conta histórias, se interpreta as informações em busca de significado e oportunidades;

- Ideação, para geração e refino de ideias de soluções;
- Experimentação, para geração de protótipos, testes e feedbacks;
- Evolução, para avaliar os aprendizados.

Conforme ilustrado na Figura 10, as fases desse processo de design apresentam características de divergência ou de convergência de ideias, por exemplo, ampliando as possibilidades na etapa de ideação e reduzindo as possibilidades ao prototipar na etapa de experimentação.

2.3.4. TRL - *Technology Readiness Level*

Para auxiliar na classificação dos protótipos ao longo do processo de desenvolvimento, diversas empresas em diversas indústrias utilizam uma escala criada pela NASA chamada TRL.

O TRL (*Technology Readiness Level*, ou Nível de Maturidade Tecnológica em português) é um sistema de medição sistemático criado para avaliar o grau de maturidade de novas tecnologias no desenvolvimento de sistemas complexos e permite uma comparação consistente entre tipos diferentes de tecnologia (CONROW, 2011; MANKINS, 1995, 2009; NASA, 2007; SHISHKO; ASTER, 1995).

Criado pela NASA na década de 1970, o TRL passou a ser utilizado também pelo Departamento de Defesa dos EUA na década de 1980, e se difundiu na indústria a partir da década de 1990, sendo atualmente utilizado em diversos tipos de indústrias que não apenas a aeroespacial (CONROW, 2011).

O modelo inclui cinco etapas: pesquisa básica sobre conceitos e novas tecnologias; desenvolvimento da tecnologia focado em uma ou mais aplicações específicas; desenvolvimento e demonstração da tecnologia para cada aplicação antes do desenvolvimento do sistema completo para tal aplicação; desenvolvimento do sistema para a fabricação da primeira versão; lançamento e operação.

Os níveis de maturidade tecnológica são classificados entre essas etapas, e vão de 1 a 9, conforme ilustrado na Figura 11.

Por exemplo, tecnologias testadas, aprovadas e prontas para operação são classificadas como nível TRL 9, enquanto tecnologias ainda em fase experimental são classificadas como nível TRL 3. A tecnologia atinge determinado nível apenas quando cumpre os seus requisitos, ou seja, uma tecnologia só atinge o nível 8 após

completar sua construção e qualificação através de testes e demonstrações. Enquanto em testes de qualificação, ela ainda se encontra em nível 7 (NASA, 2007, 2012).

Figura 11 – Technology Readiness Level proposto pela NASA

Fonte: Adaptado de NASA (2012)

Em um nível mais macro, o nível TRL de uma tecnologia impacta o nível TRL do sistema e subsistemas nos quais ela está inserida.

Na análise do TRL em sistemas complexos compostos de sistemas, subsistemas e componentes, o nível TRL de um sistema ou subsistema é tão menor quanto o TRL do menor dos subsistemas ou componentes com os quais possui interface. Isso significa que o nível TRL da tecnologia aplicada em um componente vai impactar o nível de TRL do seu subsistema, e consequentemente do seu sistema. Uma

analogia pode ser feita com o elo mais fraco de uma corrente, que é tão forte quanto o seu elo mais fraco.

Se o nível TRL de um componente for menor que o nível TRL dos demais, por exemplo, 7 contra 8 dos demais, seu subsistema terá nível 7 até que este componente atinja o nível TRL 8. Ao mesmo tempo, se este componente impacta subsistemas com os quais possui interface. Se o componente TRL 7 possui interface com um componente TRL 9 de outro subsistema, tal subsistema está comprometido pelo TRL 7 deste componente. Isso significa que o nível TRL de um subsistema só atinge nível 9 quando todos os componentes tiverem alcançado nível 9.

Em termos de processos, o nível TRL pode ter impacto no *road mapping* de produtos e esforços de melhoria.

Além disso, a escala do TRL não é definitiva. Ela pode ser subjetiva e imprecisa, ao ponto de a mesma tecnologia ser classificada em níveis diferentes se avaliada por equipes distintas. Contudo, as pessoas em favor da tecnologia podem interpretá-la com um nível TRL mais elevado que outras pessoas (OLECHOWSKI; EPPINGER; JOGLEKAR, 2015).

Pesquisa realizada com profissionais que utilizam a escala TRL em diversas indústrias destaca alguns desafios para o uso da escala TRL, sendo os quatro principais: integração, maturidade de interface, escopo de avaliação e mudanças de ambiente (TOMASCHEK et al., 2016).

Em termos de integração, a escala TRL avalia cada componente independentemente, não contemplando integração com outros componentes ou sistemas. Uma vez que cada componente é integrado com outros num sistema mais complexo, mudanças em um componente requerem mudanças em componentes conectados.

Da mesma forma, a escala TRL não contempla o nível de maturidade da interface. Em termos de escopo de avaliação, a indústria utiliza abordagens diferentes e não padronizadas, uma vez que não há uma recomendação oficial. Além disso, há desafios ao se avaliar TRL em melhoria de sistemas existentes ao repor um componente antigo por um novo ou ao aplicar um sistema em um novo ambiente (TOMASCHEK et al., 2016).

2.4. DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE TECNOLOGIA ASSISTIVA

Hersh (2008) mostra que os usuários principais de tecnologias assistivas são pessoas com deficiência e/ou pessoas idosas, e afirma que seus requisitos devem ser levados em consideração no design de produtos de TA.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde aproximadamente 70 milhões de pessoas no mundo todo, ou seja, cerca de 1% da população mundial, precisam de cadeiras de rodas para se locomover (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008). Contudo, apenas 5% das pessoas que precisam de uma cadeira de rodas tem acesso a uma cadeira adequada à sua situação (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013). Este dado mostra possibilidades de mercado para este tipo de produto.

Perante o envelhecimento da população e uma maior exigência do mercado por acessibilidade, ambientes e produtos com design universal tornam-se cada vez mais atraentes ao público e viáveis comercialmente (MACE, 1998).

Considerando o já mencionado envelhecimento da população e o seu crescimento, as oportunidades são ainda maiores.

Contudo, mesmo em países como os EUA, onde o incentivo e investimentos para pesquisa na área de tecnologias assistivas é grande, há dificuldades em converter pesquisa em resultados finais concretos como produtos de TA para o usuário final. Em uma pesquisa realizada nos centros de engenharia de reabilitação do país envolvendo 78 projetos de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, Lane (2009) mostra que, apesar do sucesso no desenvolvimento de protótipos durante os projetos de pesquisa, apenas cerca de um quarto deles completaram com sucesso a transferência de tecnologia para o mercado e usuário final. O autor atribui a causa a deficiências na seleção inicial do problema abordado e a problemas de gestão e planejamento de projetos e de recursos.

Eventualmente, produtos de tecnologia assistiva podem até fazer a transição para produtos de consumo convencionais. Um exemplo é o fone de ouvido sem fio, desenvolvido na década de 1980 inicialmente para auxiliar pessoas com problemas auditivos a assistir televisão. De um produto específico de TA com um preço de elevado na época, tornou-se um produto de consumo para uso residencial e muito buscado por aficionados por áudio (MACE, 1998).

Além da possibilidade de se transformar em produtos comuns, uma vez que podem ser utilizados mesmo por pessoas que não possuem deficiência, os produtos de tecnologia assistiva podem ser confundidos com produtos de reabilitação ou até com produtos médicos (HERSH, 2010).

Muitos dos trabalhos encontrados durante a revisão de literatura com referência a produtos de tecnologia assistiva apresentam experimentos de uso de produtos assistivos, e estudos e avaliações do uso de produtos de TA na área médica ou de reabilitação, como o acesso a celulares e computadores por pessoas com distúrbios neurológicos (BURGSTAHLER et al., 2011) e questões de direção de veículos por pessoas idosas (EBERHARD et al., 2006).

Demers et al. (2009) propõem um framework para avaliação de produtos de TA sob a ótica dos cuidadores. O estudo identificou uma lista de potenciais variáveis para a serem consideradas ao avaliar a experiência dos cuidadores de usuários de TA. Além disso, o estudo aponta para a importância da experiência do cuidador e não apenas dos usuários de TA no processo de avaliação.

Outros se aproximam mais do desenvolvimento de produto, como Pedroso et al. (2014), por exemplo, que apresentam um estudo de caso do desenvolvimento de um produto para auxiliar pessoas com deficiência visual e sugere que os requisitos levantados no projeto para pessoas com deficiência visual podem ser utilizados em outros projetos para o desenvolvimento de produtos para o mesmo público.

Outros autores se aproximam ainda mais do processo de desenvolvimento, como é o caso de Hersh (2008), Cook & Polgar (2008), Okumura e Cancigliari Junior (2011), e Flagg et al. (2013).

Hersh (2008) aprofunda mais no design e avaliação de produtos de tecnologia assistiva, e mostra a relação dos produtos de tecnologia assistiva com produtos de reabilitação, produtos médicos, e produtos em geral, fazendo a distinção entre eles. Além disso, apresenta algumas semelhanças e diferenças dos produtos de tecnologia assistiva. Como semelhança pode-se citar que um produto de tecnologia assistiva deve ter o seu desenvolvimento centrado no usuário, deve apresentar facilidade e intuitividade de uso para atender às necessidades específicas do usuário, e estar de acordo com normas e legislações nacionais e internacionais. Em termos de diferenças, é válido citar que muitos dos produtos são feitos para uso exclusivo da pessoa com deficiência, não sendo possível seu uso por pessoas com

outras deficiências ou mesmo sem deficiência; falta de acesso aos produtos para quem realmente precisa; e dificuldade de uso.

Uma abordagem mais próxima ao desenvolvimento de produto é o *framework* HAAT proposto por Cook & Polgar (2008). Denominado de modelo de tecnologia assistiva para atividade humana (HAAT, *Human Activity Assistive Technology model*, em inglês), tem como objetivo o entendimento do posicionamento da tecnologia assistiva na vida de pessoas com deficiência, guiando aplicações clínicas e pesquisas investigativas, com foco no componente humano, na tecnologia e nos contextos (social, cultural, físico e institucional). O componente humano inclui elementos físicos, emocionais e cognitivos. A atividade inclui atividades pessoais, lazer atividades produtivas. E o contexto considera os contextos físico, cultural, social e institucional.

O modelo HAAT considera que as necessidades se originam dos aspectos da vida da PcD e que o objetivo do sistema de tecnologia assistiva é definido pelas atividades realizadas por ela. As atividades em conjunto com os contextos de uso e as habilidades da PcD determinam as características da tecnologia assistiva.

Contudo, o HAAT não tem como foco o processo de desenvolvimento de produto, mas sim a forma como ele é aplicado. Por isso, esse e outros trabalhos são chamados de “*conceptual models for assistive technology outcomes*”, algo como modelos conceituais para resultados de tecnologia assistiva.

Alguns desses trabalhos são comparados entre si por Lenker e Paquet (2003) e por Alves e Matsukura (2016).

Para Lenker e Paquet (2003), “*os modelos conceituais proveem uma base teórica para o avanço do desenvolvimento científico e melhorias nas práticas profissionais*”.

Todos esses modelos conceituais focam na avaliação dos produtos de TA sob o ponto de vista dos profissionais de reabilitação e da área da saúde, sejam os responsáveis pela prescrição do produto de TA ou os cuidadores dos usuários de TA, com foco específico na avaliação de características como o tipo de dispositivo, características do usuário e características do meio ambiente.

Percebe-se, assim, que esses modelos têm como mérito a avaliação, desenvolvimento e prescrição de soluções específicas para um usuário de TA, ou seja, esses modelos conceituais possuem como foco gerar resultados práticos na aplicação das tecnologias assistivas pelos profissionais da área para benefício dos

usuários, cuidadores e dos próprios profissionais da saúde. Contudo, não entram no mérito do processo de desenvolvimento de produto.

Dessa forma, apesar de também serem chamados de modelos, não correspondem a modelos de desenvolvimento de produto e, portanto, não devem ser com eles confundidos como similares ao que é proposto neste trabalho.

Além dos modelos conceituais para a prática em tecnologia assistiva, foram encontrados três trabalhos que entram no mérito do processo de desenvolvimento de produto e que se assemelham mais com o modelo proposto neste trabalho.

O primeiro é proposto por Marion Hersh (HERSH, 2010; HERSH; JOHNSON, 2008) e aponta algumas características importantes a serem consideradas, como, por exemplo, o design centrado no usuário, a aparência do produto, sua usabilidade, *design for all* ou design universal, o design da interface com a qual o usuário interage com o produto, e por fim a questão da comunicação com os usuários. Neste último ponto, a autora reforma que jargões e termos científicos podem não ser familiares para os usuários, além da necessidade de formas de comunicação alternativas considerando a individualidade e necessidades específicas de cada um.

O esquema de design centro no usuário proposto por Hersh se baseia no processo de quatro etapas e se inicia com a primeira etapa de conhecimento do usuário e as tarefas que ele deseja executar. Em seguida, são desenvolvidos novos designs para o usuário (segunda etapa), que são apresentados para teste (terceira etapa) e reavaliados numa sequência iterativa até resolver os problemas identificados ou atingir um nível de aceitação aceito pelo usuário. Esse processo é similar aos ciclos de prototipagem propostos nas abordagens do design thinking.

O segundo trabalho é proposto por Okumura e Canciglieri Junior (2011), que partem para uma abordagem para o desenvolvimento de produto inclusivo no ambiente de engenharia simultânea. Os autores propõem um processo de desenvolvimento integrado de produtos com base no conceito de engenharia simultânea, em conjunto com métodos e ferramentas do PDP e considerando questões de acessibilidade, TA, e desenho universal, com o intuito de atender um número maior de usuários. Recomendaram o envolvimento de profissionais de várias áreas no processo de desenvolvimento do produto como forma de desenvolver um produto da TA mais eficaz no atendimento da necessidade da PcD. Afirmam que o uso dos conceitos da engenharia simultânea no processo para desenvolvimento dos dispositivos da TA

resulta em menor prazo de fabricação e contribui para um produto com melhor qualidade e menor custo (CARVALHO; OKUMURA; CANGIOLIERI JUNIOR, 2010).

O terceiro é o chamado *Need to Knowledge (NtK) Model*, proposto pelo programa *Center on Knowledge Translation for Technology Transfer (KT4TT)* do *Center of Assistive Technology* da Universidade de Buffalo em NY, EUA (FLAGG et al., 2013; LANE, 2016; LANE; WOJCIK; HOWE, 2015)

O *NtK Model* tem como origem o questionamento do processo de conversão da tecnologia e inovação para sua aplicação e comercialização e sugerem que o processo de inovação deve considerar continuamente os requisitos e restrições do mercado. Basicamente, o modelo considera o processo de inovação em três níveis: nível de pesquisa que gera conceitos, nível de desenvolvimento e engenharia que gera protótipos, e nível industrial que gera inovação comercial. Dessa forma, o modelo engloba atividades e estratégias para comunicar e gerar resultados nos três níveis para os vários *stakeholders* envolvidos. Além de considerar evidências de análises acadêmicas, o modelo também considera melhores práticas da indústria para permitir resultados com aplicações práticas. Assim, o modelo apresenta uma abordagem prática e orientada ao mercado com o objetivo de permitir o retorno do investimento público em pesquisa e inovação na forma de benefícios econômico-sociais.

2.4.1. Prototipagem rápida para tecnologias assistivas

Mais recentemente, a popularização de tecnologias de prototipagem rápida como a impressão 3D tem tornado mais fácil a fabricação de dispositivos e a disseminação de soluções de tecnologias assistivas. Soluções de impressão 3D vêm sendo utilizadas na fabricação de dispositivos de TA, como, por exemplo, próteses de mão mecânica para crianças com condições congênitas ou doenças raras que causaram má formação de membros superiores (MA; ODHNER; DOLLAR, 2013; MAO3D, 2015). Neste caso específico, a organização internacional sem fins lucrativos e-NABLE – *Enabling the Future* – possui uma rede de voluntários em diversos países que produzem próteses de mão sob medida feitas em impressão 3D para crianças com tal condição (E-NABLE, 2015).

Outro exemplo é o evento TOM Global (*Tikkun Olam Makers*), criado em Israel em 2014 e já disseminado em dezenas de países. O evento reúne engenheiros,

técnicos, *makers* e entusiastas de tecnologia e voluntários para desenvolver soluções rápidas e de baixo custo para facilitar a vida de pessoas com deficiência. Em diversas edições do evento foram desenvolvidas soluções customizadas para os usuários com o uso de impressão 3D (TOM GLOBAL, 2014).

Soluções desse tipo também têm sido utilizadas em pesquisas científicas e publicadas em jornais científicos, como por exemplo Zancul et al. (2016) que utilizam um dispositivo de TA como objeto para um cenário de produção customizada pelo usuário. Moretto et al. (2016) utiliza impressão 3D para criar um molde para fabricação de próteses de orelhas. Impressão 3D tem sido também utilizada para construção de modelos reais de órgãos ou partes do corpo para auxiliar em cirurgias complexas, como, por exemplo, cirurgias cardíacas ou de reconstrução craniofacial (JACOBS et al., 2008; SWENNEN; MOLLEMANS; SCHUTYSER, 2009).

2.5. SETOR DE TRANSPORTE AÉREO

O foco da aplicação deste trabalho é no setor de transporte aéreo, em que há oportunidades para melhorias em questões de acessibilidade e de aplicação de soluções de tecnologia assistiva.

De fato, o setor também passou por aumentos consideráveis de demanda nas últimas décadas, tanto a nível nacional como internacional (ANAC, 2015; IATA, 2015a; WORLD BANK GROUP, 2015).

No Brasil, o número de voos domésticos cresceu cerca de 40% entre os anos de 2002 e 2014, enquanto o número de passageiros transportados em voos domésticos triplicou nesses doze anos (ANAC, 2015).

Com o aumento da demanda, a questão da acessibilidade no setor passa a ser ainda mais crítica, pois os ambientes de aeroportos e de aeronaves possuem muitas restrições. Ao mesmo tempo, seguindo princípios de design universal, as soluções que atendem a pessoas com deficiência devem atender a todos os públicos (STORY, 1998).

Axelson e Pedersen (2016) avaliam questões de acessibilidade para passageiros em aeroportos e companhias aéreas dos EUA e mostra que, apesar de insuficientes, existem algumas soluções em aeroportos e aeronaves, contudo parte delas é inadequada. Como exemplo crítico os autores mostram que a rampa de acesso no *finger* de alguns aeroportos possui inclinação maior que a indicada nas normas

técnicas referentes a acessibilidade de cadeiras de rodas. Neste caso, muitos dos passageiros que utilizam cadeiras de rodas perdem sua independência, uma vez que a maior inclinação causa mais força e maior velocidade da cadeira na descida e exige mais força para frear na descida durante o embarque e para subir no desembarque.

2.5.1. Relevância da acessibilidade no setor aéreo

A acessibilidade no setor de transporte aéreo é um tema importante, especialmente devido às questões de espaço no ambiente confinado das aeronaves. Há muitas barreiras que podem tornar difícil a viagem de passageiros com alguma deficiência (SILVA et al., 2016).

Perante o crescimento na demanda global e doméstica para transporte de passageiros e eventos como a recente Copa do Mundo de Futebol realizada no Brasil em 2014 e as Olimpíadas do Rio de Janeiro de 2016 (ABEAR, 2014; BAIN&COMPANY, 2013; MCKINSEY&COMPANY, 2010), o tema passa a ser ainda mais importante devido à sua criticidade.

O espaço restrito dentro das aeronaves torna o ambiente pouco confortável para passageiros que não possuem nenhuma deficiência física ou restrição de mobilidade, mas torna-se uma questão crítica para pessoas com alguma deficiência ou restrição de mobilidade.

A exigência por maior acessibilidade caminha para questões de design universal, o que torna sua aplicação em produtos e ambientes cada vez mais viável comercialmente (MACE, 1998).

Essas informações se confirmam em pesquisas publicadas nos últimos anos.

Pesquisa realizada com usuários do aeroporto de Taipei, Taiwan, mostra que os itens mais reclamados foram: ausência de lavatório acessível dentro da aeronave, serviços de cadeira de rodas e a distância da poltrona até o banheiro da aeronave (CHANG; CHEN, 2012).

Em pesquisa realizada com usuários nos 36 maiores aeroportos brasileiros, constatou-se que os maiores desconfortos dos passageiros durante o voo estão relacionados ao assento do avião e ao espaço disponível na cabine (GREGHI et al., 2013).

Outra pesquisa mostra que a grande maioria dos passageiros idosos também experimentam barreiras no transporte aéreo (NAIARA et al., 2015). Dentre as dificuldades relatadas estão longas distâncias para percorrer nos aeroportos, dificuldades com sinais de localização nos terminais, dificuldades por limitações físicas durante o embarque e o desembarque, ao subir e descer escadas e nos ônibus de transporte usados na pista. Dentro da aeronave encontram dificuldades similares às daquelas dos demais passageiros: espaço limitado, estreito, e assentos pouco confortáveis. Relatam ainda dificuldade para a retirada das bagagens das esteiras.

2.5.2. Mercado aéreo mundial e nacional – passageiros transportados

Em um período de apenas quarenta anos, a aviação mundial viu o número de passageiros transportados anualmente em todo o mundo aumentar mais de cinco vezes.

Apenas no ano de 2014 foram transportados mais de 3,2 bilhões de passageiros, segundo o *World Bank Group* (2015), com base em dados fornecidos pelas próprias companhias aéreas. Este número representa um aumento de 6,1% na quantidade de passageiros transportados em relação ao ano anterior, número maior que a média dos dez anos anteriores (IATA, 2015b).

No Brasil, a demanda de transporte de passageiros também tem crescido. Em pouco mais de dez anos, entre 2002 e 2014, o volume de passageiros transportados triplicou, passando de 38 milhões para 114 milhões de passageiros ao ano (ANAC, 2015). Além disso, há perspectiva de que esse número triplique novamente em vinte anos, caso haja investimentos para aumento da capacidade dos aeroportos (BAIN&COMPANY, 2013). Segundo a Associação Brasileira das Empresas Aéreas, a tendência é atingir quase o dobro já em 2020, chegando à casa de 211 milhões de passageiros (ABEAR, 2014).

2.5.3. Stakeholders no mercado aéreo

A cadeia de produção de aeronaves inclui grandes elos a nível global e a nível local. Em nível global encontram-se elos como os fornecedores de turbinas, os fornecedores de sistemas integrados de avionica, os fabricantes de asa e os

fabricantes de assentos aeronáuticos, enquanto a nível local encontram-se os elos importantes como as companhias aéreas, os aeroportos e seus prestadores de serviço na operação (ATAG, 2011).

Segundo a *Air Transport Action Group*, a lista de *stakeholders* envolvidos no setor de transporte aéreo engloba os aeroportos e sua administração, os fabricantes de aeronaves e seus fornecedores, os fornecedores de apoio ao serviço aéreo, os canais de venda, as operadoras (companhias aéreas), agências governamentais, operadores de turismo, e outros (ATAG, 2011).

Em se tratando de transporte de passageiros, os principais envolvidos são as companhias aéreas e os aeroportos, além dos próprios passageiros. Contudo, outros *stakeholders* são importantes, como os fabricantes de aeronaves e seus fornecedores, os prestadores de serviço aos aeroportos e às companhias aéreas, e as agências governamentais que determinam regras de operação para o setor. As agências determinam diversos requisitos para o setor, incluindo, por exemplo, a obrigatoriedade ou não de certos equipamentos para o transporte de passageiros.

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC determina as regras que as companhias aéreas devem seguir para garantir a acessibilidade e o acesso de Passageiros com Necessidades de Assistência Especial (PNAE).

A Resolução N.º 280 de 2013 da ANAC determina, entre outros pontos, o número mínimo de braços móveis nas poltronas da aeronave e a obrigatoriedade ou não de uma cadeira de rodas para uso no interior da aeronave (ANAC, 2013).

2.5.4. Classificação de aeronaves

Os fabricantes de aeronaves diferenciam seus catálogos de produtos basicamente entre aviação comercial, aviação executiva, e militar, defesa e espacial.

Aviação comercial representa o mercado de empresas de transporte aéreo. É composta por aeronaves que possam ser utilizadas pelas companhias aéreas em rotas de curta, média e longa distância. Aeronaves comerciais para transporte de passageiros podem apresentar a partir de 42 até 381 assentos (ATR, 2015; BOEING, 2015; BOMBARDIER, 2015a).

Aviação executiva representa aeronaves menores para uso particular, corporativo ou táxi aéreo. Aeronaves para uso executivo podem apresentar de 7 a 20 assentos aproximadamente (BOMBARDIER, 2015b; EMBRAER, 2015a, 2015b).

Já aviação militar ou de defesa engloba aeronaves táticas, de treinamento, de vigilância, de ataque e de transporte tático-militar (EMBRAER, 2015c).

As aeronaves utilizadas na aviação comercial para transporte de passageiros são divididas em duas categorias, *narrow-body* e *wide-body*, de acordo com o seu tamanho e quantidade de corredores e assentos por fileira. Devido a questões de dimensionamento da aeronave e de evacuação em caso de emergência, cada corredor pode ter no máximo seis assentos adjacentes. Dessa forma, aviões com mais de sete assentos por fileira devem apresentar layout com dois corredores (KROO, 2006; NIU, 1988; RAYMER, 1992).

Aeronaves cujas dimensões permitem apenas um corredor entre as poltronas dos passageiros são chamadas de *narrow-body* e são utilizadas em rotas de curta e média distância.

Figura 12 – Comparação entre aeronave com um e dois corredores

Fonte: Leeham Co. (2015)

Na Figura 12 pode-se ver a comparação da seção de uma aeronave *narrow-body* com um corredor e de uma *wide-body* com dois corredores. Aeronaves *narrow-body* podem possuir até 4 metros de largura e apresentar configurações de aproximadamente 50 até cerca de 300 assentos. Cada corredor deve permitir acesso a até seis assentos por fileira. Acima disso, a aeronave deve possuir dois corredores para facilitar o tráfego dos passageiros e da tripulação. Essas aeronaves são comumente chamadas de *wide-body* e possuem dimensão a partir de 5 metros,

suficiente para dois corredores entre as poltronas e uma maior quantidade de assentos em relação às aeronaves *narrow-body* (NIU, 1988; RAYMER, 1992). São utilizadas em rotas de longa distância e de grande volume de passageiros. Essas aeronaves podem teoricamente comportar até 853 passageiros, mas a maior aeronave em uso atualmente apresenta configuração para até 615 passageiros (AIRBUS, 2015; EMIRATES, 2015).

2.5.5. Tecnologia assistiva no transporte aéreo

No setor de transporte aéreo, a disponibilidade de ambientes com acessibilidade adequada e a disponibilidade de equipamentos de acessibilidade é limitada, e a aplicação de tecnologias assistivas é complexa devido aos inúmeros *stakeholders* envolvidos, às restrições de segurança nos aeroportos, a questões logísticas, e às restrições de segurança, espaço e peso nas aeronaves (ALMEIDA et al., 2015; BARGAR et al., 2014; NAIARA et al., 2015).

Assim, os usuários de transporte aéreo que necessitam de acessibilidade e utilizam tecnologias assistivas podem enfrentar dificuldades tanto no aeroporto, antes do embarque e depois do desembarque, como dentro das aeronaves durante o voo (SILVA et al., 2016).

Para pessoas com mobilidade reduzida, seja temporária ou definitiva, que necessitam do uso de cadeiras de rodas, as questões de espaço dentro das aeronaves exigem o uso de formas alternativas de acesso à poltrona e ao lavatório. Para acesso à poltrona, normalmente é feito o uso das cadeiras de transbordo com largura estreita o suficiente para acesso ao corredor da aeronave. O passageiro normalmente é transferido para a cadeira de transbordo logo na entrada do avião e transportado pelos comissários de bordo até a sua poltrona. Neste procedimento, o usuário pode se transferir sozinho para a poltrona se conseguir, ou pode contar com auxílio dos comissários de bordo. Este equipamento é em geral menos confortável que a própria cadeira do usuário, e a necessidade de auxílio dos comissários é, muitas vezes, não desejada (ALMEIDA et al., 2015).

Enquanto isso, a cadeira de rodas do passageiro é transportada no compartimento de bagagens, onde outros problemas podem surgir, devido ao espaço restrito do compartimento e ao manuseio do equipamento por parte dos funcionários de chão. Algumas pesquisas apontam que cerca de 60% dos passageiros já tiveram suas

cadeiras de rodas danificadas durante os procedimentos de manipulação de bagagens (ALMEIDA, 2014).

Outro problema que afeta os passageiros com alguma deficiência é a falta de acessibilidade no lavatório da aeronave. O pequeno espaço disponível torna difícil o acesso para pessoas que utilizam cadeira de rodas. Além disso, o ambiente é pouco prático para PcD em geral. Para um cadeirante, o acesso da poltrona até o lavatório é o primeiro obstáculo. Para pessoas com deficiência visual, a falta de padronização no posicionamento das partes internas do lavatório é um problema crítico. Por esses e outros motivos, muitas PcD relatam evitar a utilização do lavatório da aeronave durante o voo, especialmente em voos de longa distância (ALMEIDA et al., 2015; BARGAR et al., 2014).

Para pessoas com deficiência visual e/ou auditiva, são poucas as soluções existentes no ambiente de transporte aéreo, sendo a maioria delas, contudo, relacionada aos ambientes de aeroporto.

Existem propostas de soluções e patentes para melhorar a acessibilidade neste contexto, porém a legislação não exige claramente o uso de soluções específicas de acessibilidade nas aeronaves, o que não contribui para a ampliação no uso de soluções de acessibilidade (OSAKO, 2015).

Um exemplo é a Resolução Normativa 280/2013 (Anexo II, parágrafo 1) da ANAC que obriga os operadores a disponibilizarem cadeiras de transbordo apenas em aeronaves com mais de 100 passageiros. Contudo, não detalha especificações para o equipamento (ANAC, 2013).

Um dos modelos utilizados pelas companhias aéreas é apresentado na figura 13. O modelo, oferecido pela Innovint, empresa alemã de produtos para interiores de aeronaves, é leve e dobrável para facilitar seu armazenamento dentro da aeronave, e segue o padrão ARP 4120 da *SAE International* e também as normas da LBA (*Luftfahrt-Bundesamt*, ou Escritório Federal de Aviação, da Alemanha). Contudo, este modelo proporciona pouco conforto para o passageiro e seu design permite o uso apenas por um grupo limitado de passageiros, uma vez que seu uso não é adequado para passageiros com paraplegia sem força e mobilidade no tronco ou passageiros com tetraplegia.

Figura 13 – Modelo de cadeiras de rodas on-board dobrável da Innovint

Fonte: Innovint (2014)

Outro exemplo é a cadeira de rodas proposta pela PriestmanGoode, vista na Figura 14. O projeto ganhou prêmios de design e levantou interesse de companhias aéreas inglesas devido aos Jogos Olímpicos de 2012. Porém, apesar de interessante e aparentemente viável tecnicamente, o projeto ainda não chegou ao mercado.

Figura 14 – Proposta de solução para cadeirantes da empresa britânica PriestmanGoode

Fonte: PriestmanGoode (2014)

A proposta apresentada pela PriestmanGoode inclui uma cadeira de rodas que se encaixa sobre a estrutura do assento do avião, porém ela exige de forma que a cadeira com o passageiro entre um pouco a frente do assento e em seguida se

encaixe em um movimento para trás, exigindo um *pitch* (distância até a cadeira da fileira da frente) maior do que o convencional em utilização pela maioria das companhias aéreas.

Esse ponto, contudo, pode significar a redução da quantidade de fileiras e assentos na aeronave, o que gera conflito com os interesses comerciais. Uma vez que um dos objetivos das companhias aéreas é alcançar a maior taxa de ocupação possível nos voos, a redução de assentos pode significar menos passageiros, o que em teoria reduziria a lucratividade do voo nas mesmas condições de tarifa. Contudo, um *pitch* maior passa a sensação de maior conforto para o passageiro, o que pode ser um diferencial em comparação com outras companhias aéreas e contribuir para atrair mais passageiros e, conseqüentemente, aumentar a taxa de ocupação do voo.

2.5.6. Normas e regulamentações com impacto em produtos aeronáuticos

O desenvolvimento de produtos aeronáuticos deve atender às normas e regulamentações estabelecidas por diversas agências e organizações internacionais, como IATA e EASA, e órgãos de aviação nacionais, como a ANAC no Brasil, a FAA (*Federal Aviation Agency*) nos EUA e a LBA (*Luftfahrt-Bundesamt*, o Escritório Federal de Aviação) na Alemanha.

As normas e regulamentações ditam características obrigatórias ou necessárias para aeroportos e também para aeronaves e produtos que podem ser utilizados em seu interior. Dessa forma, são fontes de informação cruciais para o desenvolvimento de produtos aeronáuticos.

Dentre as normas e regulamentações encontradas estão:

- RN 280/2013 da ANAC sobre os procedimentos relativos à acessibilidade de passageiros com necessidade de assistência especial ao transporte aéreo;
- NBR 14273 da ABNT - Acessibilidade da pessoa portadora de deficiência no transporte aéreo comercial;
- NBR 9050 da ABNT - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- ARP4120 da SAE (*Society of Automotive Engineers*) específica para cadeiras de rodas *on-board*;

- EASA/FAR 25.853 da *European Aviation Safety Agency* - critérios de teste de inflamabilidade para materiais utilizados na fabricação de aeronaves;
- *Manual on Access to Air Transport by Persons with Disabilities* da ICAO (*International Civil Aviation Organization*);
- *Resolution 700 - Acceptance and Carriage of Incapacitated Passengers*, da IATA;
- 14 CFR Part 382 (Nondiscrimination on the Basis of Disability in Air Travel) do *U.S. Department of Transportation*;
- *Regulation (EC) No 1107/2006 of the European Parliament and of the Council of 5 July 2006 concerning the rights of disabled persons and persons with reduced mobility when travelling by air*.

Apesar da Resolução 700 da IATA valer para todas as companhias aéreas, há normas específicas regionais que podem gerar regulamentações diferentes. Essa diversidade de regulamentações faz com que os passageiros com mobilidade reduzida estejam sujeitos a certas regras de acordo com a companhia aérea escolhida e o destino final dos voos. Para muitas companhias aéreas europeias, as regras mudam a depender do destino final devido à legislação regional (REDUCED MOBILITY RIGHTS, 2015).

Nos EUA, por exemplo, a regulamentação 14 CFR Part 382 do Departamento de Transporte determina que a companhia aérea é a única responsável pelos serviços de acessibilidade oferecidos aos seus passageiros com mobilidade reduzida, desde de a chegada do passageiro no terminal do aeroporto até o embarque, desembarque e saída do terminal final. Contudo, a regulamentação europeia (*EU Regulation 1107/2006*) divide essa responsabilidade entre as companhias aéreas e os terminais de aeroportos. Nesse caso, as companhias aéreas auxiliam o passageiro durante o embarque e desembarque, enquanto o aeroporto é responsável pelos serviços nas dependências do terminal. Essa diferença de regulamentações dá margem para falhas nos serviços para os passageiros com mobilidade reduzida, por exemplo, na chegada de voos de companhias norte-americanas em aeroportos europeus (REDUCED MOBILITY RIGHTS, 2015).

No Brasil, a Resolução Normativa 280/2013 da ANAC dispõe sobre os procedimentos referentes à acessibilidade de passageiros com necessidade de

assistência especial ao transporte aéreo. A Resolução Normativa define regras que as companhias aéreas e aeroportos devem seguir. No Anexo II, por exemplo, define sobre a obrigatoriedade da presença de uma cadeira de rodas de bordo no interior de aeronaves com capacidade maior ou igual a 100 passageiros (ANAC, 2013). Neste caso, porém, a norma isenta aeronaves menores, normalmente utilizadas em rotas regionais mais curtas, de fornecer a solução para os passageiros cadeirantes durante o voo. Dessa forma, as aeronaves menores não costumam oferecer acesso aos passageiros com cadeira de rodas, uma vez que não são obrigadas a possuir corredor com largura suficiente.

No mesmo Anexo II na Resolução 280, a ANAC obriga os operadores a disponibilizarem descanso de braço móvel ao menos metade dos assentos de corredor em aeronaves com 30 ou mais assentos. Contudo, deixa claro que não obriga o operador a prover descanso de braço móvel naqueles assentos o passageiro seja impedido de ocupar por questões de segurança.

Características importantes para produtos aeronáuticos, como materiais resistentes com baixa flamabilidade, resistência mecânica em condições de voo sob ação de força gravitacional elevada, também são definidas em normas.

A EASA, agência europeia de segurança na aviação, estabelece na norma EASA/FAR 25.853 critérios de teste de flamabilidade para materiais utilizados na fabricação de aeronaves. Dessa forma, estabelece requisitos de flamabilidade a serem seguidos pelos fabricantes.

Por exemplo, uma das cadeiras de rodas *on-board* (para uso dentro da aeronave) utilizadas pelas companhias aéreas brasileiras é o modelo dobrável fornecido pela empresa Innovint, que é utilizada por mais de 70 companhias aéreas ao redor do mundo (Figura 13). De acordo com o fabricante, seu produto utiliza materiais com baixa tendência de propagação de chamas, e foi projetada com características técnicas conforme a norma ARP4120 da SAE específica para cadeiras de rodas *on-board*. Além disso, o fabricante informa também que o produto é aprovado pela LBA (*Luftfahrt-Bundesamt*), órgão de aviação do Governo alemão (INNOVINT, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho utiliza como método de pesquisa o *Design Research Methodology* (DRM) proposto por Blessing e Chakrabarti (2009). Esta pesquisa teve suas etapas de execução baseadas na proposta do DRM e foi estruturada em quatro etapas:

- *Research Clarification*,
- *Descriptive Study I*,
- *Prescriptive Study*,
- *Descriptive Study II*.

O DRM e suas etapas estão descritos a seguir.

3.1. *DESIGN RESEARCH METHODOLOGY*

Este trabalho emprega a metodologia *Design Research Methodology* (DRM).

Blessing e Chakrabarti (2009) propõem uma abordagem e um conjunto de métodos de suporte e diretrizes para o desenvolvimento de pesquisa em engenharia e design que chamam de *Design Research Methodology* (DRM). O objetivo do DRM é suprir a necessidade de projetos de pesquisa de design, especialmente no que se refere ao método e rigor científico.

Segundo os autores, as pesquisas em engenharia de design normalmente levantam três problemas: falta de uma visão geral das pesquisas atuais, falta de aplicação prática para os resultados da pesquisa, e falta de rigor científico.

O DRM visa atacar justamente esses três problemas, sistematizando a pesquisa de forma a analisar aquilo já existente, aumentar o rigor científico da pesquisa e permitir colocar os resultados em prática.

O framework do DRM considera quatro principais etapas de pesquisa, descritas a seguir: *Research Clarification*, *Descriptive Study I*, *Prescriptive Study*, *Descriptive Study II*.

A etapa de *Research Clarification* (RC) representa a análise e revisão de literatura, na qual o pesquisador tenta encontrar evidências ou indicações que o ajude a formular e/ou verificar suas questões de pesquisa. Nesta etapa é feita a definição do

problema e dos fatores a serem atacados, e também podem ser formulados critérios de medição e avaliar os resultados da pesquisa.

Na etapa seguinte, *Descriptive Study I* (DS-I), após definição dos objetivos da pesquisa, é feita uma revisão da literatura para elaboração da descrição inicial da situação existente. A descrição deve ser detalhada o suficiente para determinar os fatores que devem ser endereçados para melhorar o esclarecimento das atividades da forma mais efetiva e eficiente possível. Porém, como muitas vezes não encontram fatores suficientes na literatura para determinar claramente quais são os fatores cruciais, a metodologia DRM propõe observar e entrevistar engenheiros e designers no trabalho para obter melhor entendimento da situação atual, antes de passar para a próxima etapa e começar o desenvolvimento da ferramenta de suporte para atacar esses fatores. Essa análise de dados empíricos revela as características típicas da definição insuficiente do problema e mostra que essa insuficiência na etapa anterior está relacionada ao grande tempo gasto em modificações nas etapas iniciais do processo (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

Na etapa *Prescriptive Study* (PS), o pesquisador utiliza os conhecimentos de entendimento da situação atual adquiridos até o momento para elaborar uma versão inicial da situação desejada. Essa descrição deve representar sua visão de como endereçar um ou mais fatores da situação atual de forma a levar ao atingimento da situação desejada. Diversos cenários devem ser avaliados, com variação dos diversos fatores, para a escolha do fator mais promissor para se focar. Com o objetivo de trabalhar o fator escolhido, tem-se início o desenvolvimento sistemático de uma ferramenta de suporte. A experiência e o entendimento dos fatores feitos na etapa anterior, em conjunto com a descrição detalhada da situação atual são usados para o desenvolvimento do suporte. Para desenvolver o suporte de maneira sistemática, utilizam a metodologia. Após esclarecer as atividades e desenvolver um desenho conceitual, tem-se o conceito de uma ferramenta de suporte, que espera-se suportar a solução do problema definido. A ferramenta é construída e testes de avaliação são feitos na etapa seguinte para testar seu funcionamento. Podem ser feitos vários cenários possíveis ao variar os fatores. Pode ainda não ficar claro se o suporte tem os efeitos desejados, devido às muitas premissas sobre as quais a situação desejada e o desenvolvimento do suporte foram baseados (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

Assim, na etapa *Descriptive Study II* (DS-II), a ferramenta é testada e avaliada, para verificar se tem os impactos desejados e se tem capacidade de atingir a situação desejada. Após testes e avaliações, pode-se repetir o ciclo, retornando ao DS-I para revisar os fatores e depois refazendo a ferramenta em PS para novos testes de avaliação em DS-II (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

Na etapa *Descriptive Study II* os pesquisadores vão investigar os impactos da nova ferramenta de suporte e sua capacidade de atingir a situação desejada. São realizados estudos empíricos, nos quais é avaliada a aplicabilidade do suporte (se é capaz de atingir os fatores escolhidos), e também para avaliar a sua utilidade baseado nos critérios definidos anteriormente. Com os testes, os pesquisadores podem descobrir, por exemplo, que a ferramenta de suporte inclui apenas parte da solução desejada, e identificam efeitos não previstos. Com isso, concluem que a ferramenta é promissora, mas ainda serão necessárias mais investigações da situação atual, e a situação desejada precisará ser adaptada antes de alterações da ferramenta, e por isso recomendam voltar à etapa DS-I, ou seja, se os resultados obtidos na etapa DS-II não forem satisfatórios em termos da definição da situação desejada e dos objetivos propostos, o processo pode voltar à etapa DS-I para revisão da situação desejada antes de alterar a ferramenta para novos testes em DS-II (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

A Figura 15 ilustra as quatro etapas de pesquisa mostra o relacionamento entre elas, os dados utilizados em cada uma e também seus resultados.

Figura 15 – Framework do DRM aplicado ao projeto

Fonte: Adaptado de Blessing e Chakrabarti (2009)

O *framework* proposto é um processo iterativo e flexível, com a possibilidade de executar etapas em paralelo ou pular alguma, ou ainda variar o nível de profundidade entre elas. As setas da figura ilustram o processo básico e as iterações possíveis entre as etapas.

Contudo, a metodologia prevê uma diversidade de projetos de pesquisa que podem ser executados utilizando as quatro etapas propostas, ou até mesmo três ou duas delas. Pode haver projetos com objetivo apenas de levantamento de requisitos que passem apenas pelas etapas de RC e DS-I. Outros podem ser prescritivos e avançar até o desenvolvimento de alguma ferramenta de suporte, passando pelas etapas de RC, DS-I e OS. Enquanto outros podem ainda avançar para etapa de testes e validação do suporte, atingindo assim a etapa DS-II.

Dessa forma, os projetos não precisam passar necessariamente por todas as quatro etapas.

Analisando as possíveis variações de projeto e considerando que são quatro etapas da metodologia, que um projeto sempre se inicia pela etapa de RC, e que as etapas podem ser executadas na forma de um estudo mais extenso e detalhado (*comprehensive study*) ou na forma de um estudo de revisão (*review-based study*), autores propõem sete tipos de projeto, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de projetos possíveis dentro do DRM

Research Clarification	Descriptive Study I	Prescriptive Study	Descriptive Study II
1. Review-based →	Comprehensive		
2. Review-based →	Comprehensive →	Initial	
3. Review-based →	Review-based →	Comprehensive →	Initial
4. Review-based →	Review-based →	Review-based Initial/Comprehensive →	Comprehensive
5. Review-based →	Comprehensive →	Comprehensive →	Initial
6. Review-based →	Review-based →	Comprehensive →	Comprehensive
7. Review-based →	Comprehensive →	Comprehensive →	Comprehensive

Fonte: Adaptado de Blessing e Chakrabarti (2009)

O primeiro tipo envolve uma etapa de revisão de literatura (*Research Clarification*) seguida da etapa de estudo descritivo 1 (*Descriptive Study I*) mais aprofundada.

O segundo tipo envolve uma etapa de revisão de literatura (*Research Clarification*) seguida de estudo descritivo 1 e estudo prescritivo (*Prescriptive Study*). No estudo prescritivo são propostas soluções para questões identificadas na etapa anterior.

O terceiro tipo expande o trabalho com a etapa de estudo descritivo 2 (*Descriptive Study II*) em que são testadas as soluções propostas no estudo prescritivo.

No quarto tipo, é feito um novo estudo prescritivo de forma que sejam reavaliados alguns pontos das soluções propostas com base nos testes efetuados na etapa de estudo descritivo 2.

Ao avaliar os diversos projetos, os autores perceberam que a maioria dos trabalhos de doutorado costumam cair nos tipos de projeto 1, 2, 3, ou 4. Segundo eles, o objetivo inicial de muitos trabalhos de doutorado costuma ser os tipos 5 e 6, mas devido a fatores como tempo e recursos limitados muitas vezes acabam caindo nos tipos 2 e 3. Já o tipo 7, por envolver trabalhos mais extensos e detalhados, costuma ser comum em trabalhos mais abrangentes de grupos de pesquisa.

Este trabalho se encaixa no tipo de projeto 3, que contempla as etapas de *Research Clarification*, *Descriptive Study I*, *Prescriptive Study* e *Descriptive Study II*.

No contexto deste trabalho, a etapa de *Research Clarification* corresponde à revisão sistemática de literatura (realizada na Seção 2).

A etapa de *Descriptive Study I* corresponde à análise de dois projetos que foram realizados pelo grupo de pesquisa. Os dois projetos analisados correspondem a um estudo de caso e uma pesquisa-ação.

Na etapa *Prescriptive Study*, são propostas duas soluções. A partir da aplicação do DRM nos projetos de DS I e da revisão de literatura realizada na RC, é proposto um modelo (de referência) para o desenvolvimento de produtos de tecnologias assistivas para o setor de transporte aéreo. Além do modelo, é também proposto um método de análise de grupos de usuários.

Por fim, na etapa *Descriptive Study II* um terceiro projeto é utilizado para avaliar a aplicação do modelo proposto.

4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados atingidos em cada uma das três etapas da pesquisa.

4.1. RESEARCH CLARIFICATION

Nesta etapa são pesquisadas e analisadas as referencias bibliográficas relevantes para o trabalho.

Esta etapa corresponde à Seção 2 deste trabalho, em que foi realizada uma revisão de literatura sobre o setor de transporte aéreo, sobre tecnologia assistiva, e também sobre desenvolvimento de produtos.

Com base na revisão de literatura realizada, percebe-se que há uma lacuna quando o assunto é o processo de desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva, com poucas obras tratando do assunto. Conforme já mencionado, não foi encontrado, por exemplo, um modelo de referência para o PDP de TA.

4.2. ESTUDO DESCRITIVO I - SITUAÇÃO ATUAL

Nesta etapa são analisados dois projetos que envolvem o desenvolvimento de soluções de tecnologia assistiva e que foram realizados pela equipe do grupo de pesquisa entre os anos de 2013 e 2015.

Os projetos foram numerados de 1 a 2 e serão detalhados a seguir:

- Projeto 1: Projeto ME310 Embraccess: realizado entre 2013-2014;
- Projeto 2: Projeto CNPq cadeira de rodas: realizado entre 2014-2015.

O primeiro projeto, um estudo de caso, foi avaliado a partir de análise documental e entrevista com os participantes, uma vez que foi realizado antes do início deste trabalho de pesquisa. No segundo projeto, que se enquadra como uma pesquisa-ação, o pesquisador teve participação ativa, trabalhando como gestor do projeto, financiado por meio de um edital do CNPq.

4.2.1. Projeto 1

O primeiro caso estudado é o projeto realizado na disciplina ME310 *New Product Design Innovation* da Universidade de Stanford. O projeto, realizado entre 2013 e 2014, foi analisado com base na documentação e entrevistas com os participantes membros da equipe, sendo quatro alunos e quatro professores.

A seguir será contextualizado o cenário do projeto, a metodologia e suas etapas e resultados.

Contexto

A disciplina ME310 *New Product Design Innovation* é uma disciplina oferecida no curso de pós-graduação em engenharia mecânica da Universidade de Stanford. A disciplina tem por objetivo capacitar alunos para desenvolver soluções inovadoras para problemas reais.

Os grupos de alunos atuam em projetos complexos de engenharia patrocinados por empresas parceiras da disciplina. As empresas fornecem demandas reais de projetos, e os alunos trabalham em grupos multidisciplinares aplicando a abordagem de *design thinking* proposta pela disciplina para desenvolver soluções (ALMEIDA et al., 2015; BARGAR et al., 2014; CARLETON; LEIFER, 2009; ME310, 2014).

Os grupos de trabalho são internacionais e atuam pelo menos em dois países, sendo uma parte em Stanford e outra parte em uma ou mais universidades de outros países. Tipicamente, cada grupo tem entre seis e oito membros, sendo metade da universidade de Stanford e a outra metade de universidades parceiras. A proposta é criar grupos heterogêneos, com pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

Os projetos têm duração de um ano letivo, iniciando em meados de outubro e finalizando em junho do ano seguinte, de acordo com o calendário de Stanford.

No projeto aqui analisado, a equipe de alunos e professores da USP contou com a parceria de uma empresa brasileira do setor aeronáutico, que ofereceu a demanda do projeto. A empresa parceira propôs o seguinte tema para o projeto: “desenvolvimento de artefatos e de processos para aprimorar a experiência de voo de pessoas com deficiência e mobilidade reduzida no transporte aéreo”.

Abordagem de projeto

A abordagem metodológica de projeto adotada pela disciplina é baseada na abordagem de *design thinking* proposta pela d.school de Stanford e está ilustrada nas figuras Figura 16 e 17.

Figura 16 – Esquema do método de *Design Thinking*

Fonte: ALMEIDA et al. (2015)

Em cada uma das etapas são realizados ciclos envolvendo atividades de ideação e de prototipagem, conforme ilustrado na Figura 17.

A partir da definição do problema, são entendidas as necessidades dos usuários como base para geração de ideias, que são prototipadas e testadas com os usuários. O ciclo de projeto foi repetido nas etapas seguintes, visando o aprimoramento das soluções propostas.

A metodologia é dividida em cinco etapas: 1. *Benchmarking & Needfinding com Critical Functional Prototype*, 2. *Dark Horse*, 3. *Funktional*, 4. *Functional*, e 5. *Final Prototype*.

A Figura 16 ilustra a metodologia proposta pela disciplina e o cronograma do projeto com as etapas distribuídas ao longo dos meses de projeto e com as identificações de ciclos de prototipagem em cada uma delas.

Figura 17 – Metodologia ME310 aplicada no cronograma do projeto

Fonte: ALMEIDA et al. (2015)

Na etapa 1 do projeto, foram realizadas três atividades: *benchmarking*, *needfinding* e *Critical Functional Prototype*. Nessa primeira etapa do projeto, é feito um levantamento de *benchmarking* e *needfinding* com o intuito de estabelecer um primeiro contato com as tecnologias, produtos e soluções já existentes, e buscar um entendimento do problema junto aos usuários e pessoas ligadas à área em questão. Em seguida, são feitos *brainstormings* para geração das primeiras ideias e definição da função crítica, o que deve gerar uma série de primeiros protótipos (*Critical Functional Prototype*).

A segunda etapa, denominada *Dark Horse*, corresponde à exploração de uma ideia mais inusitada, porém promissora, com elevados ganhos caso implantada.

Após o *Dark Horse* é escolhida uma ou mais funções serão utilizadas para o protótipo final. Nesta etapa, denominada *Funktional*, são feitos os protótipos funcionais para explorar as possibilidades de solução.

Na etapa seguinte, a funcionalidade é melhor desenvolvida, buscando-se protótipos mais aprimorados (etapa *Functional*).

Por último, na quinta etapa, o *Final Prototype*, é construído o protótipo final.

Execução do projeto

O projeto teve duração de oito meses, entre outubro de 2013 e junho de 2014.

A Figura 16 ilustra o cronograma e os ciclos de projeto executados ao longo da disciplina, relacionando os ciclos de prototipação com o cronograma da disciplina.

A equipe participante no projeto foi composta por dois grupos multidisciplinares de alunos, sendo um grupo com quatro alunos da USP (uma aluna de design, dois alunos da engenharia de produção e um aluno da engenharia de computação) e um grupo com três alunos de Stanford (dois alunos de engenharia mecânica e uma aluna de engenharia aeronáutica). Além dos alunos, também participaram como apoio três professores da USP, três professores de Stanford, dois assistentes de pesquisa de Stanford e dois pesquisadores da USP.

Na primeira etapa do projeto, foram realizadas pesquisas de benchmarking de soluções existentes para diferentes tipos de deficiência, uma vez que o escopo e a persona do projeto ainda não estavam definidos.

Na pesquisa de *benchmarking*, foi percebido o grande volume de soluções voltadas para cadeirantes. Soluções existentes para o transporte terrestre (ônibus, vans e carros) foram identificadas como plausíveis para serem utilizadas em aeronaves.

Dentre as diversas tecnologias existentes, algumas relevantes foram: rampa para acesso à entrada de cadeirantes em ônibus; mecanismo de elevação de cadeira de rodas (para vans, ônibus e carros); elevador para cadeira de rodas para plataforma de ônibus; sistema de travamento de cadeira em ônibus; cadeira de corredor para avião, com transferência lateral.

Também foram encontradas soluções para passageiros com força limitada na parte superior do corpo, e que poderiam ser úteis para a colocação de bagagem nos compartimentos superiores.

Uma questão importante que foi observada é a necessidade de customização dos produtos para atender as necessidades específicas de cada pessoa. Por exemplo, no caso da cadeira de rodas, há diversos tipos de almofadas para assentos (gel, bolhas de ar, espuma).

Além dessas soluções, foram levantadas também patentes registradas que pudessem de alguma forma contribuir para a experiência de voo de pessoas com deficiência.

Para finalizar a etapa de *benchmarking*, foram pesquisados projetos de design que tratavam de novidades sobre o tema deficiência em aviação. Foram encontradas

soluções para pessoas com restrição de mobilidade (*Air Access* da empresa inglesa Priestmangoode; *Skycare Chair* by Brian Liang; MAMUTH, módulo remoto para embarque acessível da Ortobras; Assento *Economy Skycouch* da Recaro) e pessoas com deficiência auditiva (*Hand Talk App* e *Sign Language Ring*).

Foi também avaliada a questão regulatória, sendo pesquisadas as normas da ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. Alguns pontos relevantes foram observados e anotados pela equipe a partir das informações contidas na Resolução Nº 280 (ANAC, 2013).

Na etapa de *needfinding* foram entrevistadas pessoas com deficiência e pessoas ligadas à área. Além disso, a equipe também fez observações durante voos comerciais realizados por membros da equipe. Como resultados das entrevistas foram levantados alguns problemas pelos quais as pessoas com deficiência passam durante o voo.

Como resultado dessas observações, o *needfinding* e o *benchmarking* levaram a alguns temas importantes para serem abordados no projeto, tais como: serviço ao cliente, independência e controle, preferências de poltronas, solução com design universal.

Em seguida, tiveram lugar as atividades com foco em prototipação. Ao todo, foram cinco ciclos de projeto que envolveram prototipação: *Critical Experience Prototype* e *Critical Functional Prototype* (CFP), em que foram feitos seis protótipos distintos a partir de ideias levantadas nas primeiras sessões de *brainstorming*; *Dark horse*, com três protótipos; *Funktional*; *Functional*; e *Final Prototype*. Somados, foram gerados vinte e dois protótipos em todas essas fases, desde protótipos aplicativo de celular, protótipos físicos de papel e massa de modelar até protótipos de tamanho real.

Na etapa de CFP, foram feitos protótipos de poltronas deslizantes em trilhos (protótipos em papel e em tamanho real com cadeiras de escritório), protótipo de aplicativo para aeroporto, um protótipo de cadeira giratória e outro de um robô/carrinho para bagagem também foram feitos.

Na etapa de *Dark Horse*, foi explorado o problema de acessibilidade dos banheiros das aeronaves. A proposta de solução foi um assento rotativo na parede do banheiro que facilitaria a entrada de passageiro com mobilidade reduzida. Foram construídos três protótipos para a solução, um primeiro de papel, um segundo de madeira em tamanho real, e um terceiro com o aperfeiçoamento do mecanismo giratório. Apesar

de bem recebida pelos usuários, essa ideia foi abandonada devido à dificuldade técnica de implantação.

A Figura 18 mostra alguns dos protótipos que foram construídos nas etapas de CFP e *Dark Horse*.

Figura 18 – Evolução dos protótipos das etapas CFP e *Dark Horse*

Fonte: Almeida (2014)

Na etapa *Funktional*, o protótipo de um assento de transferência deslizante foi construído em madeira e roletes de alumínio.

Na etapa seguinte, *Functional*, o mecanismo de deslizamento foi aperfeiçoado, com nova opção de deslizamento que exigia menos esforço, e um mecanismo de trava.

Para o protótipo final a equipe construiu a cadeira com a função de deslizamento lateral e assento integrado à poltrona do interior da aeronave, além de um apoio frontal de tronco, uma das ideias levantadas anteriormente.

Em paralelo, a equipe de Stanford desenvolveu uma plataforma para o transporte da cadeira de rodas do passageiro, com foco em resolver o problema de avaria das cadeiras durante o transporte (BARGAR et al., 2014).

A solução final, composta pela cadeira e pela plataforma, ambos em escala real e funcionais (vide Figura 19), foi apresentada pela equipe na exposição final do curso em junho de 2014 no campus da Universidade de Stanford.

Figura 19 – Protótipos finais da cadeira Embraccess e da plataforma de transporte de carga

Fonte: Almeida (2014)

Para a demonstração durante o evento, foi simulada no *stand* uma cabine de aeronave, com poltronas enfileiradas e de forma que uma pessoa pudesse ter a experiência de entrada e saída da poltrona pelo corredor da aeronave.

4.2.2. Projeto 2

Contexto

O projeto 2 faz parte de um projeto maior realizado pela equipe do Núcleo de Pesquisa em Tecnologia Assistiva para o Transporte Aéreo sediado no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O projeto contava com um grupo multidisciplinar de seis alunos de iniciação científica dos cursos de design e engenharia, um pesquisador e quatro professores, e teve início em agosto de 2014 com duração prevista de dois anos.

O projeto inclui a entrega de quatro soluções para aprimoramento do acesso e utilização do transporte aéreo por pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida: uma solução de cadeira de rodas, uma solução de banheiro acessível, uma solução de controles de poltrona e uma solução para o processo de embarque e desembarque. As entregas foram divididas e distribuídas em um cronograma ao

longo do tempo total do projeto. Na primeira entrega houve o envolvimento de todos os seis alunos, que se dividiram em grupos menores para as demais entregas.

A análise aqui descrita foi feita com base no acompanhamento da primeira das quatro entregas, que corresponde ao projeto de uma cadeira de rodas para facilitar o embarque e desembarque, o acesso ao assento do avião e a mobilidade no interior da aeronave para pessoas com mobilidade reduzida.

Abordagem de projeto

A abordagem metodológica adotada no projeto de desenvolvimento da cadeira de rodas foi inspirada na abordagem baseada em *design thinking* proposta na ME310, e teve como base um cronograma estruturado em cinco etapas, nas quais são realizados ciclos de ideação, prototipagem e teste.

As etapas utilizadas no projeto foram:

- *Benchmarking*;
- *Needfinding*;
- *Critical functional prototype*;
- *Functional*;
- *Final prototype*.

Execução do projeto

Na fase de *benchmarking* foram levantadas quais eram as soluções já existentes no mercado. Essa busca envolveu a busca de produtos comerciais, conceitos, e bancos de dados de patentes.

Na fase de *needfinding* a equipe buscou entender as necessidades das pessoas que utilizam uma cadeira de rodas em viagens de avião. Foram feitos contatos com cadeirantes, comissários de bordo e funcionários de uma empresa aérea. Dessa forma, foi possível entender as necessidades e pontos de vista dos diferentes *stakeholders* envolvidos na questão. Além do próprio cadeirante, foi importante ouvir os comentários e ponto de vista dos comissários de bordo, que são os responsáveis por auxiliar o cadeirante com o uso da cadeira de rodas *on-board* no caminho até a poltrona.

Além de comissários, foram também ouvidos funcionários da área de desenvolvimento de produto de uma companhia aérea, equipe responsável pelas soluções que atendem às pessoas com deficiência. Foi importante entender o ponto de vista do operador, uma vez que ele tem o poder de vetar ou autorizar uma determinada solução. Foi percebido que grande parte do trabalho dessas empresas é realizado com base em normas técnicas e resoluções normativas vigentes na área de atuação da empresa. Se a empresa atua apenas no mercado doméstico, realizando apenas voos no Brasil, ela deve se ater às exigências das normas da ANAC e da INFRAERO. Se a empresa atua em outros países, é necessário o entendimento das normas locais de cada um deles para garantir o cumprimento das exigências locais.

As normas da ANAC e da INFRAERO, assim como as normas de outros países, são baseadas nas normas propostas pela IATA (*International Air Transport Association*). Contudo, a interpretação das normas internacionais e sua adaptação local diferem entre cada país, o que exige maior cautela no entendimento de cada uma das normas locais.

Com essas informações em mãos, foi levantada uma lista de requisitos para o protótipo para diversas pessoas com deficiência.

Na etapa *critical functional prototype*, a equipe elaborou ideias para solucionar os diversos problemas identificados no uso de uma cadeira de rodas em uma aeronave. A partir de várias sessões de *brainstorming*, foi possível levantar uma lista de 14 ideias, que foram prototipadas de forma simples utilizando papel, madeira, tubos PVC e impressão 3D em material plástico.

A Figura 20 mostra alguns dos protótipos criados nesta etapa do projeto. Devido a questões de cronograma de projeto e calendário de aulas dos alunos, a equipe do projeto decidiu por não realizar a etapa *dark horse*, de forma a tentar evitar atrasos no projeto.

Os protótipos desenvolvidos nesta etapa se caracterizam por serem protótipos mais conceituais e pouco funcionais, com o objetivo de explorar as ideias geradas e suas possibilidades. Dessa forma, são protótipos mais simples, de rápida construção e construídos com o uso de materiais de fácil manuseio e acesso, como, por exemplo, papel cartão, massa de modelagem, arames e espuma.

Figura 20 – Protótipos da etapa CFP

Fonte: Elaborado pelo autor com base em material de projeto da equipe

Para a etapa seguinte (*functional*) foram selecionadas as ideias que seriam utilizadas no desenvolvimento do projeto

Assim, foram feitas análises técnicas de mecanismos para escolher aqueles que se adequavam às características e funcionalidades escolhidas. Dentre as funcionalidades selecionadas estavam:

- Largura máxima de 50 cm, suficiente para passar pelos corredores de aviões fabricados pela Embraer, Boeing e Airbus;
- Deslizamento lateral do assento entre poltrona e cadeira;
- Mecanismo fácil de travamento do assento antes e depois do deslizamento;
- Apoio para os pés durante o deslizamento;
- Alça ergonômica para empurrar e puxar a cadeira;
- Opção de espaço para guardar mochila ou bolsa do cadeirante;
- Apoio de braço que acompanhasse o deslizamento;
- Encosto ergonômico para as costas.

Uma das questões técnicas que restringia bastante as soluções dadas pela equipe do projeto era a restrição de peso dentro da aeronave. Para evitar o desenvolvimento de uma cadeira pouco confortável como a cadeira de rodas *on-board* dobrável existente no mercado e para garantir mais funcionalidades na nova cadeira associada a uma maior liberdade para a equipe de desenvolvimento no projeto, foi tomada a decisão de desenvolver a proposta de uma cadeira de rodas que não seria embarcada, ou seja, uma cadeira de rodas que pudesse oferecer maior conforto e mais funcionalidades para o passageiro sem limitação de peso, e que ficasse disponível no próprio aeroporto.

A partir dessa decisão foram levantadas informações para a proposta de outra entrega do projeto, o processo de embarque e desembarque, que seria associado à cadeira de rodas em questão. A partir deste ponto, uma das alunas trabalhou em outra das quatro entregas do projeto para o desenvolvimento de uma proposta de processo de embarque e desembarque adequado à nova cadeira, com um conceito envolvendo aeroportos com opção de *finger* para embarque.

Figura 21 – Sequência evolutiva dos desenhos conceituais da cadeira de rodas

Fonte: Elaborado pelo autor com base em material de projeto da equipe

Com as informações de funcionalidades em mãos, foi iniciado o projeto do novo protótipo. Foram elaboradas diversas versões de desenhos do protótipo, dentre desenhos conceituais e desenhos técnicos.

Na Figura 21 pode-se ver uma sequência evolutiva dos desenhos conceituais ao longo das etapas finais do projeto.

Figura 22 – Protótipo final da cadeira de rodas em madeira

Fonte: Elaborado pelo autor com base em material de projeto da equipe

Na etapa *final prototype*, a proposta final do protótipo da cadeira foi apresentada, com projeto virtual, desenhos técnicos, e lista de componentes necessários para a construção. Em uma etapa posterior, o protótipo final da cadeira em escala real foi construído em madeira para testes funcionais (Figura 22).

4.2.3. ANÁLISE DOS PROJETOS

Outra questão avaliada é o escopo do desenvolvimento dos protótipos *versus* a capacidade de realização dos alunos. É válido analisar se a capacidade de realização dos alunos selecionados para o projeto atende o escopo previsto. Esta é uma avaliação subjetiva, mas deve ser levada em consideração.

Caso se perceba que a capacidade dos alunos está aquém do desejado, pode ser necessário reduzir o escopo técnico do desenvolvimento dos protótipos de forma a se adequar melhor ao prazo de duração das bolsas. Sob esse ponto de vista, o caso do projeto 2 pode servir de lição para projetos futuros, de forma que o escopo do

projeto seja readequado de forma para que possa ser executado pelos alunos durante o prazo tradicional de 12 meses das bolsas de iniciação científica (ITI).

Além disso, é necessário considerar os conflitos de agenda dos alunos participantes, que muitas vezes dificulta a realização de reuniões de grupo. Conflitos de agenda podem gerar atrasos significativos no projeto e afetar o gerenciamento do cronograma. É preciso gerenciar bem este ponto a fim de evitar atrasos ao longo do projeto. Dessa forma, conflitos de agenda podem se tornar um ponto crítico.

Os protótipos resultados deste projeto foram bem avaliados ao final do projeto pela própria equipe e seus pares.

Um diferencial deste projeto foi o contato inicial com pessoas com deficiência, que aconteceu nas etapas iniciais de cada um dos ciclos de projeto. Este contato se mostrou importante não apenas para o levantamento de informações, mas para uma maior proximidade da equipe com a realidade dos usuários, o que contribui para o resultado final.

Os protótipos em tamanho real se mostraram frágeis, e por isso não puderam ser usados para testes com pessoas.

O Quadro 2 a seguir mostra a compilação das características mais relevantes dos dois projetos analisados.

Quadro 2 – Compilação de características relevantes dos projetos analisados

CARACTERÍSTICA	PROJETO 1	PROJETO 2
Escopo	Aberto	Fechado (definido em proposta)
Financiamento	Privado	Público (CNPq)
Tempo de projeto	9 meses	12 meses
Uso do <i>Design Thinking</i>	Sim	Sim
Membros na equipe	7 alunos (4 USP e 3 Stanford)	6 alunos
Multidisciplinaridade	Sim	Sim
Cursos envolvidos	Engenharia, Design	Engenharia, Design
Demais membros da equipe do projeto	4 professores, 2 assistentes	3 professores 1 assistente
Alunos envolvidos na solução final	4	6

Origem das principais features do protótipo final	Equipe	Usuários
Contato com usuários na etapa inicial (<i>needfinding</i> e <i>benchmarking</i>)	Sim	Sim
Contato com usuários nas etapas de prototipação	Não	Sim
Quantidade de protótipos criados	50	30
Protótipo final criado	Cadeira de rodas (Embraccess)	Cadeira de rodas (CNPq)
Protótipos funcionais testados com usuários?	Não	Não
TRL do protótipo final *	3	3
Atividades em comum com o PDP Unificado?	Sim	Sim
Atividades em comum com a Fase Planejamento do Produto	<ul style="list-style-type: none"> • Definir os interessados do projeto • Definir escopo do produto; • Definir e detalhar escopo do projeto. 	
Atividades em comum com a Fase Projeto Informacional	<ul style="list-style-type: none"> • Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes; • Identificar requisitos dos clientes do produto; • Definir requisitos do produto; • Definir especificações meta do produto. 	
Atividades em comum com a Fase Projeto Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar o produto funcionalmente; • Definir princípios de solução para as funções; • Definir alternativas de solução para o produto; • Desenvolver alternativas de solução; • Definir arquitetura; • Selecionar concepções alternativas. 	

* Para maiores detalhes, o cálculo do TRL dos protótipos é exposto no Apêndice A.

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do cruzamento das informações coletadas dos projetos com informações verificadas na revisão de literatura, foi possível levantar algumas características referentes a produtos de tecnologia assistiva.

O Quadro 3 apresenta uma compilação dessas características. Parte delas foi verificada na literatura e observada nos projetos analisados, enquanto algumas outras foram identificadas a partir dos projetos.

Em termos de equipe de projeto, a multidisciplinaridade dos membros das equipes, com a presença de alunos das diversas engenharias e alunos do curso de design, mostrou bons resultados.

Outra característica relevante é a quantidade de protótipos gerados ao longo dos projetos, que aparentemente contribuiu para

É sabido, por exemplo, que o DP de TA exige proximidade com o usuário para entendimento de suas necessidades (COOK; POLGAR, 2008; HERSH; JOHNSON, 2008; KUTZ, 2003; WILKINSON; DE ANGELI, 2014). Devido às especificidades e peculiaridades de cada deficiência e das inúmeras variações dentro de um mesmo grupo de pessoas com uma mesma deficiência, as soluções específicas para atender cada pessoa com deficiência tendem a ser personalizadas e consequentemente de baixa escalabilidade, especialmente no que se refere àquelas pessoas que são cadeirantes. Por exemplo, no caso de paraplégicos lesionados, a lesão na mesma vértebra em pessoas diferentes muitas vezes leva a sequelas diferentes. No caso de paralisia cerebral, dificilmente duas pessoas com paralisia possuem as mesmas limitações e necessidades e, portanto, precisam de cadeiras de rodas específicas para o seu caso e sua postura em particular. Dessa forma, as especificidades de cada caso podem levar a soluções mais complexas. Essa questão pôde ser observada nos projetos 1 e 2.

A questão de aproximação com o usuário para entendimento de suas necessidades se confunde com o design centrado no usuário, características do DT que se encaixam no desenvolvimento de produtos de TA, e por isso observa-se a presença de autores do *design thinking* no Quadro 3.

Quadro 3 – Compilação das características levantadas para o desenvolvimento de produtos de TA

CARACTERÍSTICAS REFERENTES A PRODUTOS DE T.A.	ORIGEM	PROJETOS	AUTORES
<i>Variação de condições entre pessoas com o mesmo tipo de deficiência</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Cook and Polgar (2008), Hersh (2008), Mace (1998)
<i>Muitas especificidades devido à diversidade de deficiências e características individuais das PcD</i>	Literatura/ Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Cook and Polgar (2008), Hersh (2008), Mace (1998)
<i>Baixa escala de produção</i>	Literatura	-	Almeida et al. (2015), Cook and Polgar (2008), Hersh (2008)
<i>Indícios de uma boa aplicabilidade do design thinking no desenvolvimento de soluções de TA</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Almeida et al. (2015)
<i>Necessidade obrigatória de um bom entendimento do usuário</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Almeida et al. (2015), Brown (2008), Cook and Polgar (2008), D.school (2009), Hersh (2008), IDEO (2012), Mace (1998)
<i>Participação de usuários nas etapas iniciais de projeto</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Cook and Polgar (2008), Hersh (2008), Kutz (2003), Wilkinson and De Angeli (2014)
<i>Participação do usuário nos inúmeros testes e avaliações</i>	Literatura / Projetos	Projeto 2	Wilkinson and De Angeli (2014)
<i>Empatia pelo usuário e pela solução escolhida</i>	Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Kutz (2003)
<i>Equipes de projeto multidisciplinares</i>	Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Brown (2008), D.school (2009), IDEO (2012), Hersh (2008)
<i>Diversos ciclos de prototipagem aceleram a descoberta de falhas e contribuem para melhores soluções em prazo menor</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1	Brown (2008), D.school (2009), IDEO (2012)
<i>Prototipagem rápida dá agilidade e facilita a personalização / customização em tecnologias assistivas</i>	Literatura / Projetos	Projeto 2	Ma, Odhner, Dollar (2013), E-NABLE (2015), Mao3D (2015), Moretto et al. (2016), Zancul et al. (2016)
<i>Dependência de normas técnicas e regulamentações</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Hersh (2008), Silva et al. (2016)
<i>No setor de transporte aéreo, dependência de normas internacionais e resoluções normativas de órgãos reguladores governamentais e entidades do setor de aviação</i>	Literatura / Projetos	Projeto 1 Projeto 2	Chang e Chen (2012), Silva et al. (2016)

Fonte: Elaborado pelo autor

O contato com o usuário nas etapas iniciais de *needfinding* e *benchmarking* e nas etapas de prototipação foram observadas nos projetos 1 e 2, ao passo que não foram realizados testes com a participação do usuário. O motivo foram questões técnicas que não permitiram protótipos robustos o suficiente para teste com pessoas. Além disso, para a realização de testes envolvendo usuários reais, um protocolo de teste deve ser submetido ao Comitê de Ética da universidade, o que não aconteceu nos dois projetos.

Outros pontos que foram observados nos dois projetos foram a questão da variedade de condições entre pessoas com o mesmo tipo de deficiência, o que por sua vez leva a uma baixa escalabilidade das soluções. Por exemplo, pessoas com paraplegia têm necessidades diferentes a depender do grau de lesão e do biótipo da pessoa, que ocasionam necessidades específicas em termos de cadeira de rodas.

Altura da cadeira, largura do assento, tipo de almofada, altura e extensão dos apoios de braço e pernas são algumas das variáveis que devem ser levadas em consideração. Além disso, no caso de pessoas com tetraplegia, a quantidade de variáveis é ainda maior, e, portanto, a mesma cadeira dificilmente serviria a duas pessoas diferentes.

A lista de características apresentadas é levada em consideração para a criação do modelo específico de desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo, mas grande parte das características pode ser utilizada em um modelo para o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva em geral.

4.3. ESTUDO PRESCRITIVO

Nesta seção são descritas as soluções propostas como prescrição deste trabalho.

Além da proposta de um modelo de referência para o desenvolvimento de produtos de TA, esta pesquisa teve também como resultado a proposta de um método de análise de grupos de usuários. O método foi criado ao longo do projeto 2 descrito na Seção 4.2.2 com o objetivo de avaliar e definir o foco do projeto em relação aos usuários (pessoas com deficiência). Dessa forma, o método pode ser entendido como co-produto do modelo de DP de TA.

4.3.1. Método de análise de grupos de usuário

Durante a execução do projeto 2 (seção 4.2.2. Projeto 2), foi desenvolvido um método de análise de grupos de usuários.

Para a realização das primeiras etapas do projeto, era necessário definir e caracterizar um usuário para o qual o protótipo seria criado, a chamada *persona*. Para a realização das etapas de benchmarking e de *needfinding* foi definido que a *persona* seria uma pessoa com paraplegia ou com alguma restrição de mobilidade nos membros inferiores que a faça necessitar de uma cadeira de rodas. Essa *persona* deveria ter força suficiente no tronco e nos membros superiores para se suportar sentada e realizar uma transferência entre assentos, como a transferência da cadeira de rodas para o assento aeronáutico. Dessa forma, o desenvolvimento

não enfocou num primeiro momento aqueles cadeirantes que não conseguem suportar o próprio tronco, como, por exemplo, uma pessoa com tetraplegia.

Durante as fases de *needfinding* e durante as atividades de ideação nas etapas seguintes, a equipe se deparou com inúmeras variações de lesão e necessidades específicas de cada cadeirante que conflitavam com várias das ideias de soluções. Considerando que há diversas condições e deficiências que podem levar uma pessoa a necessitar de uma cadeira de rodas, e também a diversidade de condições dentro do mesmo grupo de pessoas com a mesma deficiência, dois principais problemas relacionados foram identificados: primeiro, a dificuldade de caracterizar a demanda específica da persona, sem que isso restringisse demais o foco de aplicação; por último, a dificuldade de definir uma solução técnica que atendesse um grupo maior de pessoas, provendo escala necessária para a sua aplicação, uma vez que a solução deveria estar disponível em aeroportos e em aeronaves para atender o maior número possível de pessoas.

Dessa forma, a cada novo conflito de conceito de soluções versus requisitos, a definição inicial da persona e suas necessidades voltavam à tona e geravam questionamentos quanto às ideias a serem levadas adiante.

Para apoiar a equipe de desenvolvimento no processo de decisão, foi proposta a criação de uma ferramenta que pudesse relacionar os requisitos de produto, os requisitos de usuário e os grupos de usuários caracterizados de acordo com sua deficiência.

O método criado visa auxiliar a equipe de desenvolvimento na decisão de quais requisitos e quais grupos de usuários serão atendidos.

O desenvolvimento do método demandou o levantamento e classificação de grupos de usuários de produtos de tecnologia assistiva, mais especificamente de cadeiras de rodas. Assim, por meio de revisão sobre as condições médicas que levam uma pessoa a utilizar uma cadeira e entrevista com um profissional da área, foram selecionados nove grupos de usuários de cadeiras de rodas: idosos, pessoas com lesão temporária, obesos, pessoas com paresia, pessoas com poliomielite (paralisia infantil), paraplégicos L1-L5 (paraplégicos com controle de quadril e tronco), paraplégicos T9-T12 (paraplégicos com controle de tronco), paraplégicos T1-T8 (paraplégicos com pouco controle de tronco) e tetraplégicos C6-C8 (tetraplégicos com alguma mobilidade no tronco e membros superiores).

O método proposto consiste em uma tabela para suporte à análise e tomada de decisão, em que os diversos requisitos que foram levantados para o produto estão dispostos em linhas e os diversos grupos de usuários de tecnologia assistiva estão dispostos em colunas. Requisitos de produto e requisitos de usuário foram considerados em conjunto, sem distinção. Cada um dos requisitos é avaliado para cada um dos grupos de usuários. Dessa forma, é possível fazer um cruzamento das informações e identificar quais são os requisitos mais importantes para a lista de usuários considerados e também quais seriam os usuários mais beneficiados com o atendimento de um determinado requisito levantado.

Além disso, a tabela possui uma coluna adicional à sua esquerda, na qual são apresentadas as opções de solução para cada conjunto requisito / usuário, conforme é possível visualizar na Figura 23.

Figura 23 – Esquema do método de suporte

		GRUPOS DE USUÁRIOS						
LISTA DE SOLUÇÕES	LISTA DE REQUISITOS							

Fonte: ROCHA et al., 2015

A tabela foi preenchida com os grupos de usuários nas colunas à direita e a lista de requisitos distribuídos em linhas.

Cada um dos requisitos foi marcado para os grupos de usuários que atendia, de forma que ao final se tivesse uma matriz com os grupos de usuários e requisitos relacionados. À esquerda da tabela foram acrescentadas as soluções propostas para cada requisito, relacionando assim as soluções com os grupos de usuários.

A partir do preenchimento dos dados e da utilização do método, foi possível classificar e identificar quais eram os requisitos mais importantes para os grupos de usuários (Figura 24).

Figura 24 – Exemplo de aplicação do método de suporte

SOLUÇÕES	LISTA DE REQUISITOS	GRUPOS DE USUÁRIOS								
		IDOSOS	LESÃO (temporária)	OBESOS	PARALISIA	PARALISIA (sequelas de poliomielite)	PARAPLEGIA L1-L5	PARAPLEGIA T9-T12	PARAPLEGIA T1-T8	TETRAPLEGIA C6-C8
Regulagem do tamanho do encosto/ largura/ altura; Ajustes para pernas	ADAPTÁVEL			X	X	X	X	X	X	X
Ponto de apoio - poltrona/ base	APOIO PARA TRANSFERÊNCIA				X	X	X	X	X	X
Apoio só lateral/ Apoio frontal	SUSTENTAÇÃO NA TRANSFERÊNCIA								X	X
Automatizada; Tábua de transferência; Deslizamento; Assento deslizável	FACILITAR A TRANSFERÊNCIA	X						X	X	X
Puxador ergonômico; Travamento de rodas	AUXÍLIO COMISSÁRIOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Apoio de costas ergonômico	APOIO DE COSTAS			X				X	X	X
Cintos; Barra para segurar pernas; Retrátil; Ajustável	APOIO PARA OS PÉS	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sem cantos vivos; Apoio retrátil; Braço da Embraccess	SEGURANÇA LATERAL	X							X	X
Roda grande; Roda 360°	SUPERAR OBSTÁCULOS	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Roda traseira > roda dianteira; 3 rodas; Mais pontos de base	ESTABILIDADE				X	X	X	X	X	X
Apoio de cabeça; Trava de montanha russa; Encosto até a cabeça	SUSTENTAÇÃO/ SEGURANÇA DO TRONCO							X	X	X

Fonte: ROCHA et al., 2015

Além disso, a ferramenta permite identificar o grupo de usuários que cada requisito atende, e também quais usuários seriam mais beneficiados por um determinado conjunto de requisitos. Essa análise pode auxiliar na escolha e manutenção de requisitos do produto.

4.3.2. Modelo de referência para pesquisa em desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo

Conforme proposto por Rozenfeld et al. (2006) e mostrado em algumas das obras encontradas na revisão de literatura deste trabalho, um modelo de referência pode dar origem a modelos específicos para um tipo de indústria, para uma empresa ou para um processo. O modelo do PDP Unificado, como modelo genérico, não possui especificidades de uma determinada indústria ou setor. Contudo, pode ser adaptado conforme questões específicas de um cenário com atividades específicas da indústria, empresa ou processo em questão.

No caso do modelo de desenvolvimento de produtos de TA, o modelo deve conter etapas e atividades referentes ao desenvolvimento específico de produtos de TA,

que em outras indústrias ou setores podem ser desnecessários ou de baixa relevância. Da mesma forma, em se tratando do desenvolvimento de soluções para o setor de transporte aéreo, o modelo deve conter etapas e atividades específicas do setor.

Os projetos avaliados na Seção 4.2 correspondem ao levantamento de informações e à criação de conceitos e protótipos funcionais. Analisando-os sob a perspectiva do modelo do PDP Unificado e conforme informações já observadas no Quadro 2, pode-se considerar que o conteúdo dos projetos corresponderia às fases de Planejamento do Projeto, Projeto Informacional e Projeto Conceitual.

Figura 25 – Fases do modelo do PDP Unificado correspondentes aos projetos analisados

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 25 ilustra e identifica as fases do modelo do PDP (2, 3 e 4 na figura) que podem corresponder às fases, etapas e atividades desenvolvidas nos projetos de TA analisados.

Considerando que o desenvolvimento de produtos de TA exige uma proximidade maior com o usuário, o uso de uma abordagem centrada no usuário seria o ideal. O modelo do PDP Unificado contempla atividades de entendimento do usuário (atividade de identificação de requisitos dos clientes, na fase de Projeto Informacional), mas no caso do DP de TA o processo exige um esforço mais intenso

nesse sentido ao longo das demais etapas para definição e conceituação do produto.

Dessa forma, a abordagem do *design thinking* pode ser adotada para o desenvolvimento de produtos de TA, com uso das etapas do *design thinking* como etapas de projeto. Assim, o modelo do PDP de TA passa a contemplar uma visão com foco no usuário ao longo das fases e etapas do processo.

São três as fases propostas para o modelo (Figura 26):

- Avaliação e entendimento do usuário;
- Desenvolvimento de conceitos;
- Prototipagem final.

Figura 26 – Fases propostas para o modelo

Fonte: Elaborado pelo autor

Na fase de avaliação e entendimento do usuário, o objetivo é a inserção da equipe no ambiente do usuário. Nessa fase é feita uma contextualização para introduzir a equipe de projeto na realidade do usuário, seja ele uma pessoa com deficiência ou uma pessoa idosa, tendo como resultado o envolvimento da equipe com o usuário.

Em seguida, é realizada a etapa de *Needfinding*, em que se busca entender as reais necessidades dos usuários através do contato da equipe com usuários, cuidadores, familiares, profissionais da saúde e todos aqueles envolvidos de alguma maneira com os usuários. Para tal, ferramentas como jornada do usuário (*user journey*) e blueprint podem ser utilizadas para coleta e organização de informações.

É realizada também uma pesquisa de *Benchmarking* para conhecer o que já existe de soluções disponíveis no mercado, o que há em termos de pesquisa científica, patentes registradas, normas e regulamentações técnicas que podem impactar o desenvolvimento de soluções para o caso específico do projeto. Por exemplo, no caso de desenvolvimento de cadeiras de rodas, há normas técnicas específicas da ABNT que determinam condições técnicas. No caso de soluções para pessoas com deficiência visual, há normas específicas da ABNT que se referem, por exemplo, a requisitos de arquitetura e de construção civil.

A fase de Desenvolvimento de conceitos é composta de quatro etapas, todas oriundas da abordagem do DT, e que envolvem ciclos iterativos de ideação e prototipação.

Na etapa do CFP (*Critical Functional Prototype*), são determinadas quais são as funções críticas mais importantes para o usuário que devem ser desenvolvidas na solução. Nesta fase do projeto é onde surge a maioria das ideias de solução.

Na etapa do *Dark Horse* são desenvolvidas ideias de solução pouco convencionais, mas com grande possibilidade de impacto.

Ao final do *Dark Horse* devem ser selecionadas quais ideias serão desenvolvidas e levadas para o protótipo final.

Em seguida, há duas etapas para o desenvolvimento e aprimoramento das funcionalidades das ideias escolhidas.

A primeira, chamada de *Funktional*, inclui sessões de ideação e prototipação das ideias escolhidas. A segunda, chamada de *Functional*, é a responsável pelo aprimoramento da funcionalidade, com melhorias em pontos fracos já identificados e testados, com o uso de novos materiais e/ou técnicas de fabricação.

Por fim, na fase final do projeto são desenvolvidos os protótipos finais. Os protótipos finais devem ser construídos de forma que possam ser testados e/ou avaliados pelos usuários já envolvidos no projeto assim como também por outros usuários, cuidadores, familiares e demais pessoas envolvidas com os usuários.

É importante que o resultado gerado na fase de Protótipo final seja de fácil demonstração, tenha um design agradável ao usuário, e que, se possível, chame a atenção, pois o protótipo final terá a função de fazer propaganda do projeto. Além disso, será utilizado como referência para continuidade e futuro desenvolvimento de produto comercial.

A Figura 27 mostra o sequenciamento das etapas das fases do modelo.

Figura 27 – Modelo para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o transporte aéreo

Fonte: Elaborado pelo autor

As etapas possuem algumas características em comum, que devem ser garantidas ao longo do projeto, como o já mencionado envolvimento do usuário final.

Além disso, no caso de produtos de TA, há também forte dependência de normas técnicas e regulamentações, conforme mencionado no Quadro 3. Por isso é importante que sejam levados em consideração ao longo do processo os requisitos necessários para aprovação do produto junto aos órgãos nacionais como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária no Brasil (ANVISA) ou a *Federal Drugs Administration* nos EUA (FDA), uma vez que a aprovação desses órgãos é determinante para a autorização de comercialização do produto e seu lançamento.

No caso do processo de aprovação da ANVISA, o processo é longo e demorado, podendo levar desde alguns meses a alguns anos.

Em se tratando do DP para o setor de aeronáutica, há questões regulatórias de órgãos internacionais como a IATA e órgãos regionais e nacionais como a EASA e a ANAC (também já mencionado no Quadro 3).

Algumas dessas questões têm maior impacto na fase de desenvolvimento detalhado do projeto, mas podem ser avaliadas precocemente já nas etapas de desenvolvimento conceitual. Como exemplo, o esforço que a estrutura de uma poltrona deve suportar durante pouso e decolagem é um requisito importante, mas que pode ser considerado apenas na etapa de desenvolvimento detalhado, na forma de avaliação de materiais mais resistentes ou modificações no desenho da estrutura. Neste caso, na etapa de desenvolvimento conceitual, a equipe desenvolvimento produto pode trabalhar com maior liberdade no design do produto ou de uma peça específica sem a necessidade de atender rigorosamente a exigência na construção dos conceitos e seus protótipos, uma vez que detalhes técnicos referentes a ela serão tratados mais adiante quando do desenvolvimento detalhado do produto para produção final.

Já o uso de materiais com maior resistência a combustão pode ser levada em conta na fase conceitual, como, por exemplo, a escolha dos tecidos das poltronas, uma vez que a sensação ao toque, a textura, a maleabilidade, a cor do tecido podem ser fatores já analisados nessa fase.

Dessa forma, o modelo proposto inclui a avaliação das normas e regulamentações referentes tanto a tecnologia assistiva quanto ao setor aeronáutico, conforme ilustrado nas Figuras 26, 27 e 28. A intensidade da interação com normas e regulamentações não é a mesma em todas as fases e etapas, mas devem ser levadas em consideração desde o início das ideias e desenvolvimento dos protótipos, com o cuidado de não se tornar um limitante nas atividades de ideação.

Além de normas e regulamentações, outras questões também são comuns a todas as fases do modelo. A participação de usuários desde o início das atividades melhora o entendimento das questões específicas dos usuários da tecnologia assistiva em desenvolvimento, além de diminuir os riscos de abandono do uso da tecnologia assistiva que é desenvolvida. Por isso, sejam os usuários pessoas com deficiência ou pessoas idosas, é importante que a equipe de projeto se dedique a entender suas necessidades, incluindo atividades do dia-a-dia que não são óbvias para aquelas pessoas que não possuem limitações ou restrições. Apenas o usuário

pode transmitir a sua real necessidade e assegurar para a equipe de projeto se uma determinada proposta de solução é ou não necessária e/ou eficiente para uso.

Além de usuários, a participação de profissionais da saúde envolvidos com o usuário também é relevante, uma vez que possibilita o entendimento através do ponto de vista daqueles que lidam diretamente com os usuários e os auxiliam em atividades do dia-a-dia. Da mesma forma, o envolvimento deles reduz o risco de abandono do uso da tecnologia assistiva.

Tanto a participação dos usuários quanto a participação de profissionais da saúde não acontece com a mesma intensidade em todas as fases e atividades. A interação com os usuários e profissionais deve ser mais intensa nas etapas iniciais de contextualização e *needfinding*, e deve se manter no mínimo constante nas etapas de desenvolvimento de conceitos para avaliação dos protótipos desenvolvidos e possíveis testes de uso. O intuito é adquirir opiniões sobre as soluções propostas tanto do ponto de vista do usuário final como dos profissionais de saúde que auxiliam o usuário.

E no desenvolvimento dos conceitos finais, é importante que sejam levadas em consideração questões de design universal para que a solução desenvolvida seja o mais natural possível para o usuário e para demais pessoas que podem ser impactadas ou envolvidas no uso da tecnologia assistiva (Figuras 26, 27 e 28).

Figura 28 – Proposta das fases e etapas do modelo

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 28 mostra a estrutura das fases e etapas proposta do modelo para desenvolvimento de conceitos de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo com os *gates* de tomada de decisão (losangos) entre as etapas e os ciclos de prototipagem. Utiliza a abordagem do design thinking no desenvolvimento do conceito, como forma de abordagem centrada no usuário (*user-centered*), além de contemplar atividades específicas para o desenvolvimento de tecnologias assistivas para o setor de transporte aéreo.

Os requisitos exigidos pelas normas e regulamentações do setor podem ser definidos como metas e utilizados como parâmetros de avaliação durante os *gates* ou atividades de avaliação entre etapas e fases do processo (losangos ilustrados entre as etapas do processo na Figura 28).

A Figura 29 ilustra o relacionamento entre as fases do modelo, a lista de etapas em cada uma das fases, os resultados esperados de cada uma delas e a relação dos demais elementos com as fases do modelo (normas e regulamentações, participação do usuário, envolvimento de profissionais da saúde, e design universal).

Figura 29 – Interações entre os elementos do modelo e resultados de cada fase

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura reforça a necessidade de envolvimento em todas as três fases com as questões da participação do usuário, do design universal, do envolvimento de profissionais da área de saúde, e de normas e regulamentações da área.

Por fim, o modelo proposto considera também o uso dos níveis TRL para classificação dos produtos desenvolvidos nos projetos como forma de avaliar sua evolução. O nível TRL do protótipo final pode ser calculado ao final do processo de forma a se ter uma informação relevante para o próximo nível de desenvolvimento do produto, caso o conceito seja posteriormente desenvolvido. Tomando como referência as etapas do modelo do PDP Unificado, o TRL seria uma informação útil na transição para futuros projetos de continuidade do desenvolvimento do protótipo ou, em caso de aplicação na indústria, para as fases seguintes de desenvolvimento de produto que não estão contempladas neste modelo, mas que corresponderiam, por exemplo, à fase de Projeto Detalhado do PDP Unificado.

Há também a possibilidade de integração com os *conceptual models for AT outcomes* comentados por Hersh (2008) e avaliados por Lenker e Paquet (2003) e Alves e Matsukura (2016) e comentados na Seção 2.4. Esses modelos conceituais não correspondem a modelos de processo de desenvolvimento de produto, mas a modelos de abordagem de usuários, cuidadores e profissionais da área para a adaptação e uso dos produtos de tecnologia assistiva, e tem origem nas áreas de saúde (terapia ocupacional, reabilitação e fisioterapia). Tomando em consideração seus objetivos, esses modelos poderiam ser utilizados a partir da etapa de *needfinding* para levantamento de requisitos até os testes dos protótipos nas etapas seguintes com avaliação por parte dos usuários, de forma a agregar ao processo de desenvolvimento do produto do ponto de vista informações de requisitos e necessidades específicas do usuário final, seja ele o usuário ou o cuidador.

A Figura 30 ilustra a possibilidade de inserção dos chamados *conceptual models for assistive technology outcomes* de tecnologia assistiva (HERSH, 2010; LENKER; PAQUET, 2003) no modelo proposto neste trabalho.

Figura 30 – Inserção do uso dos *conceptual models* no modelo proposto

Fonte: Elaborado pelo autor

Avançando a utilização futura do modelo para a indústria, de forma simplificada, algumas empresas dividem o seu processo de desenvolvimento em fases de desenvolvimento tecnológico e fase de desenvolvimento de produto.

Nesses casos, o desenvolvimento tecnológico se estende até a fase de projeto conceitual do modelo do PDP Unificado, enquanto o desenvolvimento de produto continua a partir da fase de projeto detalhado com o envolvimento da área de engenharia para especificações, construção e testes do produto antes do início da produção e comercialização.

Para aplicação do DT nessas etapas é importante garantir que as interfaces entre as áreas de desenvolvimento tecnológico e de desenvolvimento de produto devem permitir uma troca de informações eficiente (LAKEMOND et al., 2007).

Nesse tipo de abordagem, o modelo utilizaria as etapas de *design thinking* nas etapas dentro da fase de desenvolvimento tecnológico, com ênfase e foco no usuário. A Figura 31 representa esta proposta de forma simplificada.

Em empresas que utilizam processos de desenvolvimento de produto tradicionais, do tipo *Stage-Gates*, similares ou baseados em modelos como o do PDP Unificado, a solução proposta neste trabalho poderia ser utilizada na fase inicial do processo onde são desenvolvidos os conceitos de produto. Muitas empresas possuem áreas e equipes bem definidas e distintas dentro do processo de DP. O processo pode iniciar por uma área focada no desenvolvimento de conceitos e novas soluções, cujos resultados são posteriormente entregues para a área de engenharia área focada no desenvolvimento de produtos finais, que desenvolve os aspectos técnicos e torna viável a produção real daquele produto, que posteriormente é entregue para a área de produção para de fato ser produzido.

A depender da empresa, a etapa de desenvolvimento de conceitos, ou a área da empresa responsável por ela, muitas vezes é chamada de desenvolvimento tecnológico, ou pré-desenvolvimento.

Figura 31 – Sugestão de aplicação do DT em processos simplificados

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse contexto, a proposta deste trabalho poderia ser inserida nesta etapa inicial, com a utilização da abordagem do design thinking para a geração de conceitos. A Figura 31 ilustra um processo tradicional de DP e uma proposta de uso do mesmo processo com o modelo proposto neste trabalho.

Como já mencionado, o foco do modelo é no desenvolvimento conceitual de produtos para o ambiente de pesquisa, o modelo se limita até a fase de desenvolvimento conceitual e não contempla as fases e atividades referentes a Produção, Lançamento do Produto, e etapas de Pós-desenvolvimento.

4.4. ESTUDO DESCRITIVO II

Nesta etapa, um terceiro projeto será utilizado como exemplo para avaliar a aplicação do modelo proposto. O projeto em questão, aqui denominado Projeto 3, corresponde ao desenvolvimento de um conceito de lavatório acessível para aeronaves. A análise deste projeto corresponde a um estudo de caso com análise de documentação e entrevista com os participantes do projeto.

4.4.1. Projeto 3

O Projeto 3 foi realizado em 2015 como parte do projeto do CNPq já mencionado anteriormente

Contexto

A análise aqui descrita foi feita com base no acompanhamento da segunda das quatro entregas do projeto mencionado no item anterior, que corresponde ao lavatório (ou banheiro) da aeronave acessível para pessoas com mobilidade reduzida. Conforme já mencionado, o projeto inclui a entrega de quatro soluções para aprimoramento do acesso e utilização do transporte aéreo por pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. A denominação “Projeto 3” corresponde ao lavatório (ou banheiro) acessível.

As entregas foram divididas e distribuídas em um cronograma ao longo do tempo total do projeto. Nesta segunda entrega houve o envolvimento principal de um dos alunos, que utilizou o projeto para o seu trabalho final no curso de Engenharia Naval. Os demais alunos se envolveram nas diversas atividades de *brainstorming*.

Abordagem de projeto

A abordagem metodológica adotada no projeto de desenvolvimento do lavatório acessível foi inspirada na abordagem baseada em *design thinking* proposta na ME310, e teve como base um cronograma estruturado em cinco etapas, nas quais são realizados ciclos de ideação, prototipagem e teste.

As etapas utilizadas no projeto foram:

- *Benchmarking e Needfinding;*

- *Critical functional prototype;*
- *Dark horse*
- *Functional;*
- *Final prototype.*

Execução do projeto

Na fase de *benchmarking* foram levantadas quais eram as soluções já existentes no mercado. Essa busca envolveu a busca de produtos comerciais, conceitos, e bancos de dados de patentes.

Com base nas pesquisas realizadas foi definida uma lista de seis parâmetros relevantes para soluções em termos de acessibilidade e experiência do usuário: independência, rapidez de operação, design universal, espaço, higiene, e privacidade.

Foram encontradas patentes recentes (registradas entre os anos de 2012 e 2014) desenvolvidas por fabricantes de aeronaves e por fornecedores. Os trabalhos registrados envolvem soluções que permitem a união de módulos de lavatório adjacentes com movimento de partes e paredes para permitir maior espaço interno para acomodar o passageiro com a porta do lavatório fechada. Contudo, os procedimentos propostos por essas soluções são demorados e não levam em consideração o espaço para transferência com privacidade.

A partir das informações levantadas, foram definidos três critérios para o design da nova solução:

- Lavatório com privacidade acústica e visual e com espaço suficiente para acomodar o passageiro com a cadeira de rodas e um acompanhante;
- Espaço suficiente para manobra com a cadeira para o percentil 95 dos passageiros europeus do sexo masculino;
- Dispositivos do lavatório com alcance para o percentil 5 de uma passageira asiática do sexo feminino.

Dessa forma, a solução seria suficiente para atingir a população de passageiros com maior estatura e a população com menor estatura.

Na fase de *critical functional prototype* (CFP) foram realizados duas sessões de *brainstorming* com quatro e cinco participantes. A única restrição considerada foi limite físico das dimensões das paredes da aeronave. Como resultado, foram geradas 48 ideias. Na fase de *Dark Horse* foram geradas mais 10 soluções.

A partir da lista de ideias geradas foi feita uma pesquisa para classificar as ideias em relação aos parâmetros relevantes para a solução, definidos anteriormente. A pesquisa foi realizada através de um questionário online com 17 participantes, incluindo quatro pessoas com mobilidade reduzida.

Enquanto a literatura pesquisada indicava que rapidez de operação era um fator mais relevante, o resultado da pesquisa mostrou que maioria dos respondentes considerou design universal como o parâmetro mais importante, enquanto os cadeirantes elegeram que independência como mais importante.

Com base nos resultados, foi feito um ranking das ideias e as quatro mais votadas foram eleitas para o desenvolvimento da solução.

Na fase seguinte, as ideias foram apresentadas para dois profissionais que trabalham com projetos de acessibilidade e de aeronaves. Após os feedbacks, um protótipo em escala reduzida e um modelo virtual foram criados para análise de funcionalidades e aperfeiçoamento.

A Figura 32 mostra alguns detalhes do modelo 3D da solução final.

Figura 32 – Projeto em 3D do lavatório acessível

Fonte: Elaborado pelo autor com base em material de projeto da equipe

Como resultado, a solução proposta apresentou uma porta deslizante de fácil operação e com maior abertura (60cm contra 50cm do formato atual) que permitisse abertura facilitada com um maior espaço para a entrada de uma cadeira de rodas. A

solução também expande a área interna do lavatório ao estender a parede frontal sobre a área da saída de emergência ao lado do lavatório com o deslocamento das paredes frontal e lateral. O espaço adicional criado permite acomodar uma cadeira de rodas e um acompanhante para auxiliar o passageiro, caso necessário (Figuras 32 e 33).

Figura 33 – Foto do protótipo final do lavatório construído em escala real

Fonte: Elaborado pelo autor com base em material de projeto da equipe

Na última fase do projeto foi construído um protótipo em escala real para demonstração e avaliação da solução (Figura 33). O protótipo foi demonstrado pelo aluno durante a apresentação do seu trabalho de conclusão de curso.

A Figura 33 mostra a versão do protótipo construída em escala 1:1 com o uso de materiais como madeira, tubos de PVC e tecido. A construção desta versão permitiu a verificação das principais funcionalidades da solução.

Na estrutura interna do lavatório, o assento sanitário de forma a permitir a transferência de um cadeirante, enquanto a bancada e a pia devem estar posicionadas logo ao lado na parede do fundo do lavatório em altura suficiente para uma pessoa de baixa estatura alcançar e utilizar a pia enquanto sentada no sanitário. Para isso, a pia proposta possui um mecanismo que permite sua inclinação para baixo, facilitando assim o seu uso em posição sentada. Após estudos ergonômicos, foi definida uma inclinação de 23 graus para a pia.

O Quadro 4 a seguir resume algumas características relevantes do Projeto 3.

Quadro 4 – Características relevantes do Projeto 3

CARACTERÍSTICA	PROJETO 3
Escopo	Fechado (definido em proposta)
Financiamento	Público (CNPq)
Tempo de projeto	6 meses
<i>Design Thinking?</i>	Sim
Membros na equipe	1 aluno (apoiado por outros 4)
Multidisciplinar?	Sim
Cursos envolvidos	Engenharia, Design
Demais membros da equipe do projeto	3 professores 1 assistente
Alunos envolvidos na solução final	1
Origem das principais <i>features</i> do protótipo final	Usuários
Contato com usuários na etapa inicial (<i>needfinding e benchmarking</i>)	Sim
Contato com usuários nas etapas de prototipação	Sim
Quantidade de protótipos criados	20
Protótipo final criado	Lavatório acessível
Protótipos funcionais testados com usuários?	Não
TRL do protótipo final *	3
Atividades em comum com o PDP Unificado?	Sim
Atividades em comum com a Fase Planejamento do Produto	<ul style="list-style-type: none"> Definir os interessados do projeto Definir escopo do produto; Definir e detalhar escopo do projeto.
Atividades em comum com a Fase Projeto Informacional	<ul style="list-style-type: none"> Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus

	clientes; <ul style="list-style-type: none"> • Identificar requisitos dos clientes do produto; • Definir requisitos do produto; • Definir especificações meta do produto.
Atividades em comum com a Fase Projeto Conceitual	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar o produto funcionalmente; • Definir princípios de solução para as funções; • Definir alternativas de solução para o produto; • Desenvolver alternativas de solução; • Definir arquitetura; • Selecionar concepções alternativas.

* Para maiores detalhes, o cálculo do TRL dos protótipos é exposto no Apêndice A.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.2. Aplicação do modelo

O modelo proposto é aplicado sobre o projeto 3.

Com base na descrição da documentação do projeto, são verificadas quais etapas e subetapas do modelo foram ou não realizadas durante o projeto.

O resultado é mostrado no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 – Verificação do Projeto 3 segundo o modelo proposto

CARACTERÍSTICAS DO MODELO	PROJETO 3
Etapas Avaliação e Entendimento	Sim
<i>Needfinding</i>	Sim
<i>Benchmarking</i>	Sim
Contextualização	Sim
Busca e análise de patentes	Sim
Aproximação com usuário	Sim
Normas técnicas nacionais e internacionais	Sim
Regulamentações aeronáuticas nacionais e internacionais	Sim
Etapas Desenvolvimento de Conceitos	Sim
<i>CFP</i>	Sim

<i>Dark Horse</i>	Sim
<i>Funktional</i>	Não
<i>Functional</i>	Sim
Participação do usuário	Sim
Testes com usuários	Não
Etapa Prototipagem Final	Sim
Protótipo Final	Sim
Participação dos usuários	Não
Testes com usuários	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que a maior parte das etapas do modelo proposto foi realizada no Projeto 3. Os principais pontos considerados no modelo estavam presentes no projeto. Os pontos ausentes, especialmente as etapas de testes com usuários, poderiam ser consideradas melhorias trariam benefícios ao projeto.

Considerando que o projeto corresponde ao desenvolvimento de um produto aeronáutico, incluiu também atividades de pesquisa de patentes existentes relacionadas ao produto em questão. Além disso, foram avaliadas normas técnicas e regulamentações referentes ao setor aeronáutico, conforme proposto no modelo.

Dessa forma, o modelo poderia ser utilizado no futuro para estruturar este projeto e outros projetos similares.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a revisão de literatura e a avaliação dos três projetos na etapa DS-I, tem-se um melhor entendimento das características de produtos de TA.

A partir da revisão de literatura fica claro que as soluções de tecnologia assistiva muitas vezes são únicas, e nesses casos não demandam produção em larga escala. Características importantes foram identificadas na literatura e verificadas nos projetos analisados, como a necessidade de proximidade do usuário, tanto na etapa de *needfinding* quanto nas etapas seguintes nas atividades de prototipagem e avaliação dos protótipos.

Com base na literatura e nas análises dos três projetos em DS-I, tem-se um embasamento para identificar quais etapas do PDP são relevantes para o desenvolvimento de produtos de TA, no contexto de projetos em ambiente de pesquisa.

A literatura e os projetos avaliados forneceram informações para o entendimento de como funciona o processo de DP de TA. Essas informações possuem características mais acadêmicas e pouco mercadológicas, uma vez que os projetos analisados foram de cunho acadêmico e de pesquisa, realizados dentro de núcleos de pesquisa, sem a produção de produtos com intuito comercial. Dessa forma, o modelo em questão fica restrito ao contexto de desenvolvimento conceitual de produtos em centros de pesquisa, em grupos de pesquisa e em instituições de ensino.

Sendo assim, um passo adiante para o modelo pode ser a sua expansão e validação comercial para uso em empresas de desenvolvimento e comercialização de produtos de tecnologia assistiva.

Nesse sentido, é possível fazer comparação com modelos já consolidados. Por exemplo, o modelo proposto neste trabalho se encaixa em parte no caso do Modelo Unificado do PDP (ROZENFELD et al., 2006), correspondendo a algumas etapas específicas (Figura 25). Dessa forma, ambos poderiam ser utilizados de forma conjunta, com etapas e/ou atividades mescladas.

Além do modelo, outro resultado do projeto foi o método de análise de grupos de usuários.

O método se mostrou eficaz em sua aplicação no projeto 2 ao estabelecer relações de correspondência entre os requisitos de produto e de projeto com os grupos de usuários que seriam atendidos. Com ele foi possível sistematizar a definição dos usuários, antes informal e não estruturada. Ao permitir identificar os grupos de usuários mais atendidos por um determinado requisito e também por identificar quais eram os requisitos mais importantes não apenas para cada usuário, mas para o conjunto todo considerado. Dessa forma, mostrou-se uma ferramenta útil para a escolha e manutenção de requisitos, e para auxiliar na escolha de personas. Além disso, auxilia a decidir de forma mais assertiva e consciente em relação às ideias e soluções que seriam levadas adiante no desenvolvimento do conceito final. Para futuras pesquisas, pode ser interessante avaliar sua aplicação em outros projetos.

Assim como é adotado por diversas indústrias, o sistema de medição TRL pode ser utilizado para a classificação do nível de maturidade do desenvolvimento de um produto de tecnologia assistiva.

Em caso de continuação dos projetos dos protótipos criados nos projetos analisados, é importante salientar que testes futuros com o envolvimento de usuários devem ser submetidos em Comitê de Ética e cadastrados na Plataforma Brasil.

Em termos da equipe de alunos envolvidos nos projetos, fica a sugestão para próximos projetos de equipes menores de alunos, com dois ou três membros, devido aos conflitos de agenda que podem acontecer e contribuir para atrasos no andamento do projeto. Como exemplo, os projetos do lavatório acessível e de controles acessíveis aqui realizados tiveram bons resultados mesmo com a participação de menos alunos, além de menos atrasos durante sua execução. Contudo, equipes com alunos de engenharia e design se mostram como uma boa combinação pela combinação dos conhecimentos de ambos os lados. No caso de futura aplicação do modelo na indústria, a recomendação de equipe multidisciplinar se mantém. No caso de desenvolvimento de produtos de TA, o envolvimento direto de pessoas da área de reabilitação como membros da equipe de projeto pode ser positivo.

O envolvimento de designers na equipe também é interessante devido à versatilidade da maioria dos profissionais dessa área. Nos projetos avaliados, a vantagem da presença do designer foi percebida inúmeras vezes durante as etapas de ideação e prototipação, pela facilidade de transmitir suas ideias em sketches, ilustrações e desenhos. No geral, esse profissional contribui para um design mais bem elaborado dos protótipos e melhor usabilidade, considerando suas capacidades na área de UX (*user experience*). Dessa forma, pode aumentar as chances de sucesso do protótipo e do resultado do produto final, inclusive em termos comerciais. No caso do setor de transporte aéreo, a presença de designers na equipe para tornar o produto com design mais bem elaborado e melhor usabilidade pode inclusive contribuir para minimizar o conflito de interesses entre produtos de tecnologia assistiva e companhias aéreas.

Em termos de prototipagem, os diversos ciclos de prototipagem contribuem para a aceleração do desenvolvimento do protótipo ao antecipar falhas e melhorias nos primeiros protótipos.

Além disso, a construção de protótipos em tamanho real que possam permitir testes reais com pessoas deve ser incentivada. Contudo, a construção desses protótipos envolve maiores dificuldades técnicas com materiais, acabamento e detalhes que muitas vezes estão além do conhecimento e da capacidade técnica dos alunos. Com isso, vem a necessidade de construir parte dos protótipos externamente a partir da contratação de serviços e mão-de-obra terceirizada, o que por outro lado aumenta os custos.

6. CONCLUSÕES

No âmbito do Núcleo de Pesquisa em Tecnologia Assistiva sediado no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP, este trabalho envolveu projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos de TA específicos para o setor de transporte aéreo. Foram analisados dois projetos de DP de TA para o setor de transporte aéreo, que foram realizados pelo grupo de pesquisa e estão descritos na Seção 4.2.

Nesse contexto, o intuito deste trabalho é sistematizar o processo de desenvolvimento de produtos de TA para o setor aéreo para o núcleo de pesquisa e para outros grupos de pesquisa com a proposição de um modelo de referência específico. Como forma de atender o objetivo principal do trabalho, foi proposto o modelo de referência para o desenvolvimento conceitual de produtos de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo em centros de pesquisa.

Dessa forma, o modelo proposto pode ser adotado como exemplo para o desenvolvimento de outros projetos de DP de TA por outros grupos de pesquisa e outras instituições de ensino. Pode ser utilizado tanto para projetos com financiamento público como projetos com financiamento privado. No segundo caso, contudo, para dar continuidade ao processo de DP e alcançar o nível de produto comercial, os protótipos precisam ser detalhados e aprimorados, uma vez que os projetos avaliados na Seção 4.2 realizaram as etapas do PDP referentes ao levantamento de informações, à criação de conceitos e ao desenvolvimento de protótipos funcionais, etapas iniciais da fase de Desenvolvimento e antes de Projeto Detalhado para produção, tomando como base as fases e etapas do PDP Unificado.

O modelo está baseado em uma abordagem de *design thinking* que sugere diversas etapas de prototipagem, equipes multidisciplinares e envolvimento com usuários.

Os diversos ciclos de prototipagem permitiram explorar diversas possibilidades de solução e chegar a soluções finais mais bem elaboradas. Um dos fatores que contribui para isso é a equipe multidisciplinar, com a presença de membros de áreas diversas áreas, como engenharia e design.

Os protótipos construídos foram elaborados com base nos aprendizados acumulados ao longo dos meses de projeto dos alunos com pessoas com deficiência e profissionais da área de saúde. O envolvimento da equipe com os usuários finais se mostrou importante para atingir resultados que tenham impacto positivo para os usuários, evitando o abandono na utilização dos protótipos e futuros produtos. Além disso, o envolvimento de pessoas da área da saúde também se mostrou importante para o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva.

Nesse sentido de abordagem centrada no usuário, a abordagem do *design thinking* se mostra uma opção adequada para esse tipo de projeto.

7. LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

O modelo proposto neste trabalho foi criado com base em três projetos cujo foco eram soluções de tecnologia assistiva para o setor de transporte aéreo. O modelo foi criado com base nessas informações, mas pode servir como base para aplicação em outros setores.

Além disso, o modelo se encaixa inicialmente apenas no contexto de grupos de pesquisa de instituições de ensino. Os projetos analisados não envolveram o desenvolvimento de produtos com intuito comercial e não houve participação efetiva da área de desenvolvimento de produtos de nenhuma empresa. Dessa forma, para futura aplicação na indústria, o modelo precisa ser ampliado e reestruturado e adaptado de acordo com as características da empresa, uma vez que diversas atividades específicas não estão contempladas no âmbito de grupos de pesquisa, como, por exemplo, atividades de venda, atividades mais complexas de custos e da área financeira, ou a estratégia de produção adotada, uma vez que as indústrias contam com estratégias de produção variadas, como *make to order* (MTO), *make to stock* (MTS), *assembly to order* (ATO) ou *engineering to order* (ETO).

O contexto em que o modelo está incluído envolve rígidas normas e regulamentações que impõem diversas limitações que tornam o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva na área mais complexo, e portanto devem ser levadas em consideração desde o início de um projeto.

Considerando a limitação da área dos projetos avaliados neste trabalho, o modelo pode ser objeto de trabalhos futuros para validação no desenvolvimento de produtos diferentes de tecnologia assistiva e em outros setores de aplicação diferentes de instituições de pesquisa.

Para aplicação na indústria, é recomendado que o modelo seja validado em pesquisas futuras com base no processo desenvolvimento de produtos real em empresas. Estudos de caso com o processo de empresas fabricantes de produtos de tecnologia assistiva, como, por exemplo, fabricantes de cadeiras de rodas ou próteses para membros inferiores ou membros superiores. Além disso, conforme já mencionado, deve ser ampliado e reestruturado ou encaixado no processo existente da empresa para contemplar atividades específicas da indústria que não são contempladas no contexto de pesquisa em instituições de ensino e centros de pesquisa.

Futuros trabalhos de pesquisa também podem ser realizados com foco específico em etapas do modelo proposto, como, por exemplo, a classificação TRL de produtos de tecnologia assistiva. Como sugestão, pode ser realizada pesquisa para classificação do nível TRL de produtos em desenvolvimento ou avaliação do nível TRL de produtos existentes no mercado, ou ainda avaliação de cada etapa do desenvolvimento de um produto específico. Uma hipótese a ser analisada poderia ser se produtos de tecnologia assistiva já podem ser utilizados pelos usuários a partir de níveis TRL intermediários (níveis 5 ou 6, por exemplo). Ou ainda, a partir de qual nível TRL o produto poderia entrar em processo de validação junto aos órgãos governamentais responsáveis (ANVISA, no caso do Brasil, ou FDA no caso dos EUA).

O modelo proposto se apoia na questão do desenvolvimento centrado no usuário com o uso da abordagem do DT nas etapas de Projeto Informacional e Projeto Conceitual. Contudo, a etapa seguinte do PDP Unificado, a etapa de Projeto Detalhado não foi avaliada neste trabalho. Estudos podem ser feitos para avaliação da necessidade de envolvimento dos usuários também nesta fase seguinte do processo de DP.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela viabilização dos projetos e deste estudo.

REFERÊNCIAS

- AAATE. Assistive Technology Service Delivery System. **Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe**, 2012.
- ABEAR. **Aviação Brasileira - Agenda 2020**. São Paulo, SP: Associação Brasileira das Empresas Aéreas, 2014. Disponível em: <http://www.abear.com.br/uploads/arquivos/dados_e_fatos_arquivos_ptbr/Agenda2020_PORT_010714_300715165821.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2016.
- AFRL. **AFRL TRL Calculator**. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=741047>>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- AIRBUS. **Airbus A380 | Dimensions & key data**. Disponível em: <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/specifications/>>. Acesso em: 28 abr. 2016.
- ALMEIDA, A. M. **Contribuições do Design Thinking a partir de um projeto de acessibilidade na aviação**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014.
- ALMEIDA, A. M. et al. **Aplicação da abordagem do design thinking em um projeto de desenvolvimento de produto de tecnologia assistiva**. Anais do XXXV ENEGEP. **Anais...** Fortaleza, CE: ABEPRO, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_210_247_27254.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2015
- ALVES, A. C. DE J.; MATSUKURA, T. S. Modelos teóricos para indicação e implementação de tecnologia assistiva 1. **Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar**, v. 24, n. 3, p. 591–599, 2016.
- ANAC. **Resolução N° 280 / 2013**. Brasília, DF, Brasil.: Agência Nacional de Aviação Civil, 2013. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/resolucao/2013/RA2013-0280.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- ANAC. **Anuário do Transporte Aéreo 2014**. Brasília, DF, Brasil: Agência Nacional de Aviação Civil, 2015. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/estatistica/anuarios.asp>>. Acesso em: 19 jan. 2016.
- ATAG. **Global Air Transport Stakeholders**. Geneva, Switzerland: Air Transport Action Group, 2011. Disponível em: <www.atag.org>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- ATIA. What is Assistive Technology? **Assistive Technology Industry Association**, 1999.
- ATR. **Brochure ATR 600 Series**. Blagnac, France: ATR, 2015. Disponível em: <http://www.atraircraft.com/products_app/media/pdf/Brochure-ATR-600-SeriesBD.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2016.
- AXELSON, P. W.; PEDERSEN, J. P. Boarding Devices and Aircraft Seats: Increasing Support and Comfort. **RESNA/NCART 2016 Conference Proceedings**, p. 4, 2016.

BAIN&COMPANY. Número de passageiros pode crescer três vezes - Bain São Paulo - Bain & Company. **Valor Econômico**, p. 1, 6 fev. 2013.

BARBALHO, S. C. M.; ROZENFELD, H. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos mecatrônicos (MRM): validação e resultados de uso. **Gestão e Produção**, v. 20, n. 1, p. 162–179, 2013.

BARGAR, C. et al. **Embraccess: Redesigning the Flying Experience for Passengers with Limited Mobility**. Stanford, CA: Stanford Digital Repository, 2014. Disponível em: <<https://purl.stanford.edu/dz214cf9700>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

BLESSING, L.; CHAKRABARTI, A. **DRM, a design research methodology**. 1. ed. London: Springer-Verlag London, 2009. v. 1

BOEING. **787 Airplane Characteristics for Airport Planning**: L. Seal Beach, CA, USA: Boeing, 2015. Disponível em: <<http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/787.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

BOMBARDIER. **Bombardier Challenger 650**. Dorval, QC, CAN: Bombardier, 2015a. Disponível em: <http://businessaircraft.bombardier.com/content/dam/bombardier/en/aircraft/challenger/Fact_Sheet/BBA_Factsheet_Challenger_650_2015.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2016.

BOMBARDIER. **Bombardier Learjet 85**. Dorval, QC, CAN: Bombardier, 2015b. Disponível em: <http://businessaircraft.bombardier.com/content/dam/bombardier/en/aircraft/learjet/Fact_Sheets/9630_L85_Factsheet-INTERACTIVE.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2016.

BORDIGNON, F. **Modelo de referencia para o desenvolvimento de produtos cerâmicos considerando o ciclo de vida total do produto**. São Paulo: USP, 2013.

BRASIL - SDH/PR. **Tecnologia Assistiva - Governo Federal**. Brasília, DF, BRA: Presidência da República, 2009.

BROWN, T. Design Thinking. **Harvard Business Review**, p. 11, 2008.

BUCHANAN, R. Wicked Problems in Design Thinking. **Design Issues**, v. 8, n. 2, p. 5, 1992.

BURGSTÄHLER, S. et al. Computer and cell phone access for individuals with mobility impairments: an overview and case studies. **NeuroRehabilitation**, v. 28, n. 3, p. 183–97, jan. 2011.

CAPEs. **Programa Capes/PGTPA - CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/programa-capes-pgtpa>>. Acesso em: 6 maio. 2016.

CARLETON, T.; LEIFER, L. **Stanford's ME310 Course as an Evolution of Engineering Design**. Proceedings of CIRP Design Conference. **Anais...** Cranfield: Cranfield University Press, 2009. Disponível em: <<https://wiki.aalto.fi/download/attachments/44302349/9+Carleton-Leifer+CIRP+ME310.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2016

CARVALHO, C. E. B. DE; OKUMURA, M. L. M.; CANGIOLIERI JUNIOR, O. A. engenharia simultânea aplicada ao processo de desenvolvimento de produtos especiais. **XXX ENEGEP Anais**, 2010.

CHANG, Y.-C.; CHEN, C.-F. Meeting the needs of disabled air passengers: Factors that facilitate help from airlines and airports. **Tourism Management**, v. 33, n. 3, p. 529–536, 2012.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry**. Boston: Harvard Business School Press, 1991.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. Product development and competitiveness. **Journal of the Japanese and International Economies**, v. 6, n. 2, p. 101–143, jun. 1992.

CNPQ. **Edital destina R\$ 13 milhões a projetos em tecnologia assistiva**. Disponível em: <http://www.cnpq.br/web/guest/noticiasviews/-/journal_content/56_INSTANCE_a6MO/10157/1291940>. Acesso em: 9 dez. 2015.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP 2011**, 2011.

CONNELL, B. R. et al. **The Principles of Universal Design (Version 2.0)**. 2. ed. Raleigh: The Center for Universal Design - North Carolina State University, 1997.

CONROW, E. H. Estimating Technology Readiness Level Coefficients. **Journal of Spacecraft and Rockets**, v. 48, n. 1, p. 146–152, 23 jan. 2011.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Cook and Hussey's assistive technologies: principles and practice, Third Edition**. 3rd. ed. St Louis, Missouri: Elsevier Inc., 2008.

COOPER, R. G. Perspective: The Stage-Gate ® Idea-to-Launch Process—Update, What's New, and NexGen Systems. **Journal of Product Innovation Management**, v. 25, n. 3, p. 213–232, 2008.

D.SCHOOL. **Bootcamp Bootleg**. Stanford: Hasso Platner Institute of Design at Stanford, 2009.

DEMERS, L. et al. A conceptual framework of outcomes for caregivers of assistive technology users. **American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists**, v. 88, n. 8, p. 645–55–8, 691, ago. 2009.

E-NABLE. **ENABLING THE FUTURE - A Global Network Of Passionate Volunteers Using 3D Printing To Give The World A “Helping Hand”**. Disponível em: <<http://enablingthefuture.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

EBERHARD, J. et al. Strategies and tools to enable safe mobility for older adults. **Topics in Geriatric Rehabilitation**, v. 22, n. 1, p. 3–17, 2006.

EMBRAER. **Phenom 100**, 2015a. Disponível em: <http://www.embraerexecutivejets.com/Brochures/brochura_Phenom_100.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2016

EMBRAER. **Legacy 500**, 2015b. Disponível em: <http://www.embraerexecutivejets.com/Brochures/brochura_legacy500.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2016

EMBRAER. **Embraer - Relatório Anual 2014**. São José dos Campos, SP, Brasil: EMBRAER, 2015c. Disponível em: <http://www.embraer.com.br/Documents/Relatorio-Anual/RELATORIO_ANUAL_2014_PORT.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

EMIRATES. **Emirates A380 Specifications**. Disponível em: <https://www.emirates.com/au/english/flying/our_fleet/emirates_a380/emirates_a380_specifications.aspx>. Acesso em: 17 nov. 2016.

FINEP. **Finep lança edital voltado para ICTs no valor de R\$ 25 milhões**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/5091-finep-lanca-edital-voltado-para-icts-no-valor-de-r-25-milhoes>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

FLAGG, J. L. et al. Need to Knowledge (NtK) Model: an evidence-based framework for generating technological innovations with socio-economic impacts. **Implementation Science**, v. 8, n. 1, p. 21, 15 dez. 2013.

GREGHI, M. F. et al. Brazilian passengers' perceptions of air travel: Evidences from a survey. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 27–31, 2013.

HERSH, M. A. The Design and Evaluation of Assistive Technology Products and Devices Part 1: Design. In: STONE, J.; BLOUIN, M. (Eds.). . **International Encyclopedia of Rehabilitation**. Buffalo: Center for International Rehabilitation Research Information and Exchange (CIRRIE), 2010.

HERSH, M. A.; JOHNSON, M. A. On modelling assistive technology systems – Part I: modelling framework. **Technology and Disability**, v. 20, n. 3, p. 193–215, 2008.

IATA. **World Air Transport Statistics 59 (2015 edition)**. Miami: International Air Transport Association, 2015a. Disponível em: <<https://www.iata.org/publications/Documents/wats-59-final.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

IATA. **IATA Annual Review 2015**. Miami: International Air Transport Association, 2015b. Disponível em: <<http://www.iata.org/about/Documents/iata-annual-review-2015.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2016.

IATA. **IATA Annual Review 2016**. Miami: International Air Transport Association, 2016a. Disponível em: <<https://www.iata.org/publications/Documents/iata-annual-review-2016.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

IATA. **IATA Fact Sheet: Industry Statistics**. Miami: International Air Transport Association, 2016b. Disponível em: <http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-industry-facts.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2016.

IBGE. **Tendências Demográficas - Censo 2000**. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv773.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 - Características Gerais da População, Religião, e Pessoas com Deficiência.** Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2015.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 - Características Gerais da População, Religião e Pessoas com Deficiência.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000009352506122012255229285110.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2015.

IBGE. **Censo 2014 - Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2014.** Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2014/estimativa_dou_2014.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2015.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em: 21 jan. 2016a.

IBGE. **Brasil em números.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016b. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2/bn_2016_v24.pdf>.

IDEO. Design Thinking for Educators Toolkit. **Ideo**, v. 1, p. 94, 2012.

INNOVINT. **Innovint Passenger Service On-Board Wheelchair.** Hamburg Innovint GmbH, 2014. Disponível em: <http://www.innovint.de/uploads/airline-interior/IAI_OBW-2218_Rev.1.2.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016

ISO. ISO 9999:2011 - Assistive products for persons with disability - Classification and terminology. **International Organization for Standardization**, 2011.

JACOBS, S. et al. 3D-Imaging of cardiac structures using 3D heart models for planning in heart surgery: a preliminary study. **Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery**, v. 7, n. 1, p. 6–9, 2008.

JOHANSSON-SKÖLDBERG, U.; WOODILLA, J.; ÇETINKAYA, M. Design thinking: Past, present and possible futures. **Creativity and Innovation Management**, v. 22, n. 2, p. 121–146, 2013.

KROO, I. **Aircraft Design: Synthesis and Analysis.** Stanford, CA: Stanford University, 2006.

KUTZ, M. **Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design.** NY: McGraw-Hill Professional, 2003.

LAKEMOND, N. et al. Interfaces between technology development, product development and production: Critical factors and a conceptual model. **International Journal of Technology Intelligence and Planning**, v. 3, n. 4, p. 317–330, 2007.

LANE, J. P. Delivering the D in R&D: Increasing product outcomes from R&D projects. **Assistive Technology Research Series**, v. 25, p. 736–741, 2009.

LANE, J. P. The Need To Knowledge (Ntk) Model Variants: A Common Framework For Four Types Of Technology Project Outputs. **RESNA/NCART 2016 Conference Proceedings**, 2016.

LANE, J. P.; WOJCIK, B. W.; HOWE, C. VAN. Assistive Technology Outcomes and Benefits Focused Issue: Knowledge Translation and Technology Transfer in Assistive Technology Winter 2015 Focused Issue Assistive Technology Outcomes and Benefits. **Assistive Technology Outcomes and Benefits Focused Issue: Knowledge Translation and Technology Transfer in Assistive Technology**, v. 9, n. 1, 2015.

LEEHAM CO. **Redefining the 757 replacement: Requirement for the 225/5000 Sector, Part 4**. Disponível em: <<http://leehamnews.com/2015/03/08/redefining-the-757-replacement-requirement-for-the-2255000-sector-part-4/#more-14604>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

LENKER, J. A.; PAQUET, V. L. A review of conceptual models for assistive technology outcomes research and practice. **Assistive technology: the official journal of RESNA**, v. 15, n. 1, p. 1–15, 22 jan. 2003.

LESTER, D. H. Critical Success Factors for New Product Development. **Research-Technology Management**, v. 41, n. 1, p. 8, 27 jan. 1998.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, v. 9, p. 181–212, 2006.

MA, R. R.; ODHNER, L. U.; DOLLAR, A. M. **A modular, open-source 3D printed underactuated hand**. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. **Anais...** IEEE, maio 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6630954/>>. Acesso em: 26 maio. 2017

MACE, R. L. Universal design in housing. **Assistive technology: the official journal of RESNA**, v. 10, n. 1, p. 21–8, 22 jan. 1998.

MANKINS, J. C. Technology Readiness Levels. **White Paper April**, v. 6, n. 2, p. 5, 1995.

MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: A retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9–10, p. 1216–1223, 2009.

MAO3D. **Impressão 3d e próteses de membro superior**. Disponível em: <<https://mao3d.wordpress.com/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

MCKINSEY&COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil - Relatório consolidado**. Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/pesquisa/chamada3/sumario_executivo.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2016.

MCTI-SECIS/CNPQ. **CHAMADA MCTI-SECIS/CNPq Nº 84/2013 – TECNOLOGIA ASSISTIVA**. Disponível em: <www.cnpq.br>. Acesso em: 9 dez. 2015.

ME310. **ME310 Design Innovation at Stanford University | About 310**. Disponível em: <http://web.stanford.edu/group/me310/me310_2014/about.html>. Acesso em: 18 jun. 2015.

MORETTI, I. C. **Modelos de referência para desenvolvimento de produtos: análise da contribuição acadêmica**. Anais XXXII ENEGEP. Anais...Rio de Janeiro: 2012Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STO_161_940_19867.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2016

MORETTO, E. G. et al. **Elaboração de Próteses Auriculares Individualizadas por Meio de Manufatura Auxiliada por Computador**. XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Anais... Porto Alegre: 2016. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wim/2016/001.pdf>>

NAIARA, T. et al. **Brazilian air transport: experiences of elderly passengers**. Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA. Anais... Melbourne: 2015. Disponível em: <<http://www.iea.cc/congress/2015/654.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2017

NASA. **NASA Systems Engineering Processes and Requirements.NASA Online Directives Information System**. Washington, DC: NASA, 2007. Disponível em: <http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal_ID=N_PR_7123_001B_&page_name=AppendixE>.

NASA. **Technology Readiness Level**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html>. Acesso em: 19 fev. 2016.

NIU, M. C.-Y. **Airframe Structural Design**. Second ed. Burbank, California, USA: Conmilit Press Ltd., 1988.

OKUMURA, M. L. M.; CANGIOLIERI JUNIOR, O. A Engenharia Simultânea aplicada no desenvolvimento de produtos inclusivos: uma proposta de framework conceitual. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP**, 2011.

OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. **Technology readiness levels at 40: A study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities**. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Anais... 2015

OSAKO, L. F. **Design thinking on the development of an improved concept of toilet usage in airplanes for persons with reduced mobility**. São Paulo: Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, 2015.

PRIESTMANGOODE. **Air Access by PriestmanGoode - Press Release**. London: PriestmanGoode, 2014. Disponível em: <<http://www.priestmangoode.com/wp-content/uploads/2014/12/PG-Air-Access-Press-Release.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2016

RAYMAN, R. B. Passenger safety, health, and comfort: a review. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 68, n. 5, p. 432–40, maio 1997.

RAYMER, D. P. **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. 2nd. ed. Washington, DC, USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1992.

REDUCED MOBILITY RIGHTS. **People with Reduced Mobility Travel Rights**. Disponível em: <<http://www.reducedmobility.eu/people-with-reduced-mobility-travel-rights.html>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

ROCHA, A. M. et al. Um método de análise de requisitos para o desenvolvimento de produtos de tecnologia assistiva. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Gestão da Inovação e Desenvolvimento de Produtos**, 2015.

RONALD L. MACE, GRAEME J. HARDIE, J. P. P. Accessible Environments: Towards Universal Design. In: W.E. PREISER, JC. VISCHER, E. T. W. (Ed.). **Design Intervention: Toward a More Humane Architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. p. 32.

ROWE, P. G. **Design thinking**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1987.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SCHUH, G. et al. Process oriented framework to support PLM implementation. **Computers in Industry**, v. 59, n. 2–3, p. 210–218, 2008.

SDH-PR/SNPD. **Viver sem Limite - Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência**. Brasília: Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República - SDH/PR, 2011. Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/viver-sem-limite>>. Acesso em: 9 dez. 2015.

SHISHKO, R.; ASTER, R. NASA Systems Engineering Handbook. **NASA Systems Engineering Handbook**, v. 6105, n. June, p. 360, 1995.

SILVA, G. C. DA. **Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento do produto automotivo e diretrizes para seleção de protótipos virtuais e físicos**. São Paulo: USP, 2013.

SILVA, T. N. R. DA et al. **Passageiros com deficiência no transporte aéreo brasileiro: diferentes atores, perspectivas semelhantes**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2016. v. 24

STORY, M. F. Maximizing usability: the principles of universal design. **Assistive technology : the official journal of RESNA**, v. 10, n. 1, p. 4–12, 22 jan. 1998.

SWENNEN, G. R. J.; MOLLEMANS, W.; SCHUTYSER, F. Three-Dimensional Treatment Planning of Orthognathic Surgery in the Era of Virtual Imaging. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 67, n. 10, p. 2080–2092, 2009.

TOM GLOBAL. **TOM: Tikkun Olam Makers**. Disponível em: <<http://tomglobal.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

TOMASCHEK, K. et al. **A Survey of Technology Readiness Level Users**. INCOSE International Symposium (IS 2016). **Anais...** Edinburgh: jul. 2016. Disponível em:

<<http://doi.wiley.com/10.1002/j.2334-5837.2016.00283.x>>. Acesso em: 30 nov. 2016

U.S.GOVERNMENT. 108th Congress Public Law 364 - Assistive Technology Act. **108th U.S. Congress**. Washington: U.S. Congress. 1998, p. 118.

WILKINSON, C. R.; DE ANGELI, A. Applying user centred and participatory design approaches to commercial product development. **Design Studies**, v. 35, n. 6, p. 614–631, nov. 2014.

WORLD BANK GROUP. **Air transport - passengers carried in World**. Washington: World Bank Group, 2015. Disponível em: <<http://www.tradingeconomics.com/world/air-transport-passengers-carried-wb-data.html>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines on the provision of Manual Wheelchairs in less resourced settings**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2008. Disponível em: <<http://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines/en/>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO | World report on disability**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/en/>. Acesso em: 5 maio. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Wheelchair Service Training Package**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2013. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78236/1/9789241503471_reference_manual_eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 2 jun. 2015.

ZANCUL, E. D. S. et al. PLM process and information mapping for mass customisation based on additive manufacturing. **International Journal of Product Lifecycle Management**, v. 9, n. 2, p. 159, 2016.

APÊNDICE A – Cálculo do TRL dos protótipos dos projetos

Para o cálculo do TRL (*Technology Readiness Level*) dos protótipos descritos na seção 4 foi utilizada uma calculadora de TRL disponibilizada pelo *Air Force Research Laboratory* (AFRL) do Departamento de Defesa dos EUA (AFRL, 2004).

O AFRL disponibiliza um arquivo Excel com instruções para preenchimento. A calculadora permite calcular o TRL de produtos de hardware, de software, ou de hardware e software. A calculadora consiste basicamente em uma lista de etapas/atividades determinadas e agrupadas por níveis da escala TRL.

Para utilizar a calculadora primeiro deve-se determinar se o produto é apenas de hardware, ou de software, ou se envolve hardware e software. Informações básicas do projeto são preenchidas, como o nome do projeto, pessoa responsável, qual sistema ou subsistema será calculado, e o número do seu WBS (Figura 34).

Figura 34 – Tela inicial da calculadora de TRL do AFRL

The screenshot shows the 'TRL Calculator' interface. At the top, there's a 'Close Calculator' button. Below it, a header bar contains 'TRL Assessment Start', 'TRL Calculator', and 'Instructions'. The main area is a grid with 9 columns representing TRL levels (1-9). The grid is divided into three sections: 'Technology Readiness Level Achieved' (Hardware, Software), 'Technology Readiness Level Achieved' (Software, Hardware), and 'Manufacturing Readiness Level Achieved' (Hardware). To the right of the grid, there are checkboxes for 'Hide blank rows', 'Change yellow set point below.', 'Green set point: 100%', and 'Yellow set point: 50%'. Below the grid, there are buttons for 'Reset Calculator & Summary pages', 'Reset Calculator Only', 'Readiness Levels', 'TRL Project WBS Summary', and 'Summary of Evaluation'. At the bottom, there are input fields for 'Sys/subsys/comp:', 'Project:', 'WBS#:', 'Evaluator:', 'SW Mission Class:', 'Safety Critical?', and 'Date:'. The 'Project:' field is filled with 'Projeto 3', 'Evaluator:' with 'Alexandre Rocha', and 'Date:' with '11/10/16'.

Fonte: Adaptado de AFRL (2004)

Em seguida são marcados os itens que representam as etapas no desenvolvimento do produto que já estão concluídas ou em andamento com a informação de percentual de conclusão de cada uma. Dessa forma, a calculadora determina qual o nível TRL do produto em questão.

Foram criados três arquivos distintos para o cálculo do TRL dos projetos envolvidos neste trabalho. Dessa forma foi possível calcular individualmente o nível TRL de cada um dos três projetos (Projeto 1 e Projeto 2 da Seção 4.2 e Projeto 3 da Seção 4.4).

Figura 35 – Detalhes de preenchimento da calculadora TRL do AFRL

☐ Do you want to assume completion of TRL 1?

HW/SW/Mfg	% Complete	LEVEL 1 (Check all that apply or use slider for % complete)
H	< 100	☒ Research hypothesis formulated?
H	< 100	☒ Basic scientific principles observed?
H	< 100	☒ Physical laws and assumptions underpinning observations defined?
H	< 100	☒ Physical laws and assumptions underpinning observations verified?
H	< 100	☒ Basic elements of technology identified?
H	< 100	☒ Scientific knowledge generated underpinning hypothesis?
H	< 100	☒ Peer reviewed publication of studies confirming basic principles?

Reset Level 1

Level 1 Exit Criteria

TRL

SRL

Level 1 Comments:

☐ Do you want to assume completion of TRL 2?

HW/SW/Mfg	% Complete	LEVEL 2 (Check all that apply or use slider for % complete)
H	< 100	☒ A concept formulated?
H	< 100	☒ Basic scientific principles underpinning concept identified?
H	< 100	☒ Preliminary analytical studies confirm basic concept?
H	< 100	☒ Application identified?
H	< 100	☒ Preliminary design solution identified?
H	< 100	☒ Preliminary system studies show application to be feasible?
H	< 100	☒ Preliminary performance predictions made?
H	< 100	☒ Modeling & Simulation used to further refine performance predictions and confirm benefits?
H	< 100	☒ Benefits formulated?
H	< 100	☒ Research & development approach formulated?
H	< 100	☒ Preliminary definition of Laboratory tests and test environments established?
H	< 100	☒ Concept/application feasibility & benefits reported in scientific journals/conference proceedings/technical reports?

Reset Level 2

Level 2 Exit Criteria

TRL

SRL

Level 2 Comments:

☐ Do you want to assume completion of TRL 3?

HW/SW/Mfg	% Complete	LEVEL 3 (Check all that apply or use slider for % complete)
H	< 100	☒ Critical functions/components of the concept/application identified?
H	< 100	☒ Subsystem or component analytical predictions made?
H	< 100	☒ Subsystem or component performance assessed by Modeling and Simulation?
H	< 100	☒ Preliminary key parameters performance metrics established?
H	< 100	☒ Laboratory tests and test environments established?
H	< 100	☒ Laboratory test support equipment and facilities completed for component/proof-of-concept testing?
H	< 100	☒ Component acquisition/fabrication completed?
H	< 100	☒ Component tests completed?
H	< 100	☒ Analysis of test results completed establishing key performance metrics for components/subsystems?
H	< 100	☒ Analytical verification of critical functions from proof-of-concept made?
H	< 100	☒ Analytical and experimental proof-of-concept documented?

Reset Level 3

Level 3 Exit Criteria

TRL

SRL

Level 3 Comments:

☐ Do you want to assume completion of TRL 4?

HW/SW/Mfg	% Complete	LEVEL 4 (Check all that apply or use slider for % complete)
H	< 20	☐ Concept/application translated into detailed system/subsystem/component level breadboard design?
H	< 100	☒ Preliminary definition of operational environment completed?
H	< 50	☐ Laboratory tests and test environments defined for breadboard testing?
H	< 50	☐ Pre-test predictions of breadboard performance in a laboratory environment assessed by Modeling and Simulation?
H	< 50	☐ Key parameter performance metrics established for breadboard laboratory tests?
H	< 50	☐ Laboratory test support equipment and facilities completed for breadboard testing?
H	< 50	☐ System/subsystem/component level breadboard fabrication completed?
H	< 50	☐ Breadboard tests completed?
H	< 50	☐ Analysis of test results completed verifying performance relative to predictions?
H	< 50	☐ Preliminary system requirements for end user's application defined?
H	< 50	☐ Critical test environments and performance predictions defined relative to the preliminary definition of the operating environment?
H	< 50	☐ Relevant test environment defined?
H	< 50	☐ Breadboard performance results verifying analytical predictions and definition of relevant operational environment documented?

Reset Level 4

Level 4 Exit Criteria

TRL

SRL

Level 4 Comments:

Fonte: Adaptado de AFRL (2004)

A seguir estão as telas com o resultado de cada um dos projetos com as tabelas utilizadas e os respectivos resultados para os protótipos dos três projetos mencionados da seção 4 deste trabalho.

Quadro 6 – Resultado do cálculo do TRL do Projeto 1

Summary of the Technology's Readiness																																																					
TRL Assessment Start		TRL Project WBS Summary		Save All to TRL Project Summary			TRL Calculator Questions																																														
Sys/subsys/comp:					Program:		Projeto 1																																														
WBS #:					Evaluator:		Alexandre Rocha		Date: 11/10/16																																												
SW Mission Class:		n / a		Safety Critical?		n / a																																															
						Paste Details		Clear Details																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																													
Technology Readiness Level Achieved					Hardware		3																																														
Technology Readiness Level Achieved					Software																																																
Manufacturing Readiness Level Achieved					Hardware																																																
ASSESSMENT DETAILS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Level</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>Yellow Set Point</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>SRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yellow Set Point	TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	50%	SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yellow Set Point																																											
TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	50%																																											
SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																												
MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																												
If you wish to view the details of a given level(s) check the appropriate boxes at right and click paste. The entire page can then be saved to a new work sheet by clicking "Save All". The levels achieved and the appropriate project information is saved to the WBS summary at the same time.																																																					

Fonte: Adaptado de AFRL (2004)

Quadro 7 – Resultado do cálculo do TRL do Projeto 2

Summary of the Technology's Readiness																																																					
TRL Assessment Start		TRL Project WBS Summary		Save All to TRL Project Summary			TRL Calculator Questions																																														
Sys/subsys/comp:					Program:		Projeto 2																																														
WBS #:					Evaluator:		Alexandre Rocha		Date: 11/10/16																																												
SW Mission Class:		n / a		Safety Critical?		n / a																																															
						Paste Details		Clear Details																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																													
Technology Readiness Level Achieved					Hardware		3																																														
Technology Readiness Level Achieved					Software																																																
Manufacturing Readiness Level Achieved					Hardware																																																
ASSESSMENT DETAILS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Level</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>Yellow Set Point</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>SRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yellow Set Point	TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	50%	SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yellow Set Point																																											
TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	50%																																											
SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																												
MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																												
If you wish to view the details of a given level(s) check the appropriate boxes at right and click paste. The entire page can then be saved to a new work sheet by clicking "Save All". The levels achieved and the appropriate project information is saved to the WBS summary at the same time.																																																					

Fonte: Adaptado de AFRL (2004)

Quadro 8 – Resultado do cálculo do TRL do Projeto 3

Summary of the Technology's Readiness																																																											
TRL Assessment Start		TRL Project WBS Summary		Save All to TRL Project Summary			TRL Calculator Questions																																																				
Sys/subsys/comp:					Program:		Projeto 3																																																				
WBS #:					Evaluator:		Alexandre Rocha		Date: 11/10/16																																																		
SW Mission Class:		n / a		Safety Critical?		n / a																																																					
						Paste Details		Clear Details																																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																			
Technology Readiness Level Achieved					Hardware		3																																																				
Technology Readiness Level Achieved					Software																																																						
Manufacturing Readiness Level Achieved					Hardware																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">ASSESSMENT DETAILS</th> <th>Yellow Set Point</th> </tr> <tr> <th>Level</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>SRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>MRL</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> </tbody> </table>										ASSESSMENT DETAILS									Yellow Set Point	Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ASSESSMENT DETAILS									Yellow Set Point																																																		
Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																		
TRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																		
SRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																		
MRL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																		
If you wish to view the details of a given level(s) check the appropriate boxes at right and click paste. The entire page can then be saved to a new work sheet by clicking "Save All". The levels achieved and the appropriate project information is saved to the WBS summary at the same time.																																																											

Fonte: Adaptado de AFRL (2004)

Os resultados foram os seguintes:

- TRL Projeto 1: nível 3 calculado
- TRL Projeto 2: nível 3 calculado
- TRL Projeto 3: nível 3 calculado