VERA BEATRIZ GOMIDE DE PAULA

Análise da Gestão das Propriedades de Massa no
Desenvolvimento de Aeronaves

São Carlos 2015

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Vera Beatriz Gomide de Paula

Análise da Gestão das Propriedades de Massa no
Desenvolvimento de Aeronaves

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de mestre em
Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Processos e Gestão de
Operações.

Orientador: Prof. Tit. Henrique Rozenfeld.

São Carlos
Dezembro 2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

D278a de Paula, Vera Beatriz Gomide
Análise da Gestão das Propriedades de Massa no
Desenvolvimento de Aeronaves / Vera Beatriz Gomide de
Paula; orientador Henrique Rozenfeld. São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção e Área de Concentração em
Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Propriedades de massa. 2. Processo de
desenvolvimento de aeronaves. 3. Requisitos. 4.
Engenharia de sistemas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **VERA BEATRIZ GOMIDE DE PAULA**.

Título da dissertação: "Análise de gestão das propriedades de massa do desenvolvimento de aeronaves".

Data da defesa: 04/12/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. **Janaina Mascarenhas da Costa**
(Presidente Designada)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Titular **Fernando Martini Catalano**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Msc **Amarildo Milan**
(Empresa Brasileira de Aeronáutica SA/EMBRAER)

APROVADA

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção:

Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

À minha família.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Titular Henrique Rozenfeld pelos ensinamentos, incentivos e amizade. Entendo que não é fácil realizar orientação em tempo parcial, porém agradeço pela enriquecedora oportunidade de fazer parte de seu grupo de pesquisa.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Titular Fernando Catalano, grande mestre e amigo, e Prof. Dra. Janaina Mascarenhas pelos valiosos conselhos.

Agradeço, também, à EMBRAER S.A. por apoiar a realização dessa pesquisa. Em especial, agradeço ao Paulo Bucco, Emerson Freitas, Amarildo Milan, Neimar Vasconcellos, Stefan Lembke, André Gama, Fabiano Viana, Marcelo Matos, Paulo Gomes e todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a condução desse trabalho.

Aos meus pais, José Joaquim e Solange, e irmãos, João, Pedro e Lucas, pelo exemplo, incentivo e compreensão.

Ao Átila pelo apoio em todos os momentos.

RESUMO

DE PAULA, V. B. G. (2015). **Análise da Gestão das Propriedades de Massa no Desenvolvimento de Aeronaves**. 155p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

O desenvolvimento de produtos é reconhecido como um processo desafiador em todas as empresas. No entanto, como aeronaves são muito complexas e devem atender à uma multiplicidade de requisitos interligados, seu processo de desenvolvimento representa um desafio ainda maior. Assim, entre os diferentes requisitos a serem atendidos por uma nova aeronave, há os requisitos de custo, desempenho e sustentabilidade. As propriedades de massa da aeronave estão relacionadas com o cumprimento destes três requisitos, dessa maneira, é essencial que as estimativas iniciais de propriedades de massa sejam as mais realistas possíveis e que estas sejam rigorosamente controladas durante as fases posteriores de desenvolvimento. As principais propriedades de massa de uma aeronave são: peso, centro de gravidade, momentos e produtos de inércia.

A gestão de propriedades de massa tem diferentes características dependendo da fase de desenvolvimento do produto. O principal objetivo deste trabalho é identificar as principais características da gestão das propriedades de massa durante o desenvolvimento de aeronaves, identificar oportunidades e propor pontos de melhoria no processo executado por uma empresa desenvolvedora de aeronaves. Assim, foi realizada a síntese da revisão da literatura de maneira a permitir a identificação das características e variáveis críticas do processo, considerando suas principais dimensões: atividades e entregas, papéis e responsabilidades, estratégias e metas, e recursos e ferramentas. Posteriormente um estudo de caso estruturado foi conduzido em uma empresa desenvolvedora de aeronaves de maneira a identificar divergências entre a síntese do processo de gestão de propriedades de massa e a forma com que esta gestão é conduzida na prática. As divergências encontradas foram analisadas e geraram propostas de melhorias no processo executado na prática. Esta é uma pesquisa descritiva e a metodologia adotada é o estudo de caso participativo, uma vez que a autora participou do processo de desenvolvimento de aeronaves por três anos. Os resultados deste trabalho destacam as diferenças entre teoria e práticas de gestão de propriedades de massa, considerando principalmente a integração técnica, estratégia e responsabilidades no processo de desenvolvimento de aeronaves.

Palavras- chave: propriedades de massa, processo de desenvolvimento de aeronaves, requisitos e engenharia de sistemas

ABSTRACT

DE PAULA, V. B. G. (2015). **Analysis and proposal for improving mass properties management in the aircraft development process**. 155p. Thesis (Master) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2015.

The product development is a challenging process for any product. However, as aircraft are highly complex and should comply with a multiplicity of interconnected requirements, their design process represents a challenge of the highest order. Hence, among the various requirements to be met by a new aircraft, there are cost, performance and sustainability requirements. The mass properties of the aircraft are related to the fulfillment of these three requirements, so it is crucial that realistic estimates of aircraft mass properties be used during early conceptual design, and that it be strictly controlled during later stages of design. The main mass properties of an aircraft are: weight, center of gravity, moments and products of inertia. The Mass Properties Management (MPM) is an iterative process that has to deal with information in the lowest level of the system and yet be robust enough to answer in the aircraft level, it shall provide accurate and timely mass properties data for making design optimization decisions.

The MPM has different characteristics depending on the product development phase; it has to be adapted as the maturity of the aircraft increases and it depends on the technical integration status of the development. The main objective of this work is to analyze the MPM characteristics in the aircraft development process, and identify opportunities and propose best practices for MPM process improvement in an aircraft manufacturer. A synthesis of literature review was conducted and the primary result is the understanding of the mass properties relationship within the aircraft development process, considering its main perspectives: activities and deliverables, roles and responsibilities, goals and tools. This is a descriptive research and the methodology adopted is the longitudinal participatory case study, since the author has been participating of the MPM during an aircraft development process for three years. A synthesis of the MPM main characteristic is proposed to represent the perspective mentioned, in order to allow comparing it with the findings of the case study. Research instruments used were a logbook and a questionnaire for interviewing major stakeholders of the product development process. The findings of this work highlight the differences between MPM theory and practices, mainly considering technical integration, strategy and responsibilities in the aircraft development process.

Keywords: mass properties, aircraft development process, requirements, systems engineering

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Propriedades de massa: integração de diferentes áreas.....	23
Figura 2- Variação do Peso Vazio em relação às especificações iniciais da aeronave versus percentil para programas do Departamento de Defesa Americano.	25
Figura 3- Fases do Desenvolvimento de Aeronaves 1	27
Figura 4- Aumento no número de parâmetros de projeto	28
Figura 5-Fases do Desenvolvimento de aeronaves II	30
Figura 6-Modelo de Desenvolvimento de Aeronaves –AIRBUS.....	31
Figura 7-Esforço técnico por fase do desenvolvimento aeronáutico	32
Figura 8- Modelo do Processo de SE	35
Figura 9- Fases Engenharia de Sistemas- Normas	35
Figura 10- Ciclo de vida no desenvolvimento de sistemas.....	36
Figura 11-Processo do ciclo de vida dos sistemas ISO 15228 (2008, p. 12).....	41
Figura 12-Modelo T da integração técnica	45
Figura 13- Exemplo da evolução do peso vazio no desenvolvimento.....	48
Figura 14- Estratégia PVP de controle de Peso	49
Figura 15- Sistema de Coordenadas típico da aeronáutica	51
Figura 16- Definição dos Pesos de Projeto	54
Figura 17-Exemplo envelope de Peso x CG, os limites da envoltória estão definidos pela linha preta. A linha pontilhada vermelha indica a condição momentânea da aeronave.	57
Figura 18-Modelo de Referência SAWE.....	59
Figura 19-Fases do desenvolvimento	62
Figura 20-Modelo de Gestão de peso	63
Figura 21-Ferramenta proposta por Dahm (2007, p.16)	64
Figura 22- Dimensões do processo de gestão das propriedades de massa	66
Figura 23- Fases da pesquisa e atividade.....	70
Figura 24- Modelo estruturado para a definição das questões	73

Figura 25- Principais características da Gestão de Propriedades de Massa e o processo de desenvolvimento de aeronaves.....	82
Figura 26- Dados de propriedades de massa por fase do desenvolvimento: percentual de uso de cada método para cálculo das propriedades de massa, por fase do desenvolvimento.	87
Figura 27- Desvio percentual do BOW ao longo do desenvolvimento das aeronaves fabricadas pela empresa.....	96
Figura 28- Qualidade das informações na base de dados- Respostas.	104
Figura 29-Informações de propriedades de massa- visão probabilística Respostas.	107
Figura 30- Compartilhamento de responsabilidades das informações de propriedades de massa.	111
Figura 31- Pesquisa interna realizada em funcionários de um dos produtos em desenvolvimento da empresa.	112
Figura 32- Importância das informações de propriedades de massa.	113
Figura 33- Aplicação de novas tecnologias por fase de desenvolvimento- Respostas.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Parâmetros das funções-Valor	39
Tabela 2- Critérios de avaliação do diagnóstico	75
Tabela 3- Dimensões e variáveis da Gestão de Propriedades de Massa.....	80
Tabela 4- Média das respostas e análise de confiabilidade	118
Tabela 5- Média das respostas e análise de confiabilidade (excluindo R3 e R15).....	120
Tabela 6- Principais propostas de melhoria identificadas	122

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARP: Aerospace Recommended Practice
BEW: Basic Empty Weight
BOW: Basic Operating Weight
CAD: Computer aided design
CG: Centro de Gravidade
CMMI: Capability Maturity Model Integration
DMU: Digital Mock up
DRM: Design Research Methodology
EEW: Equipped Empty Weight
FAA: Federal Aviation Administration
FAR: Federal Aviation Regulation
IEC: International Electrotechnical Commission
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
INCOSE: International Council on System Engineering
IRR: Interrater Reliability
ISO: International Organization for Standardization
MLW: Maximum Landing Weight
MRW: Maximum Ramp Weight
MTOW: Maximum Take-off Weight
MZFW: Maximum Zero Fuel Weight
NASA: National Aeronautics and Space Administration
ONG: Organizações não Governamentais
PBO: Peso Básico Operacional
PDM: Product Data Management
PMBOK: Project Management Body of Knowledge
PMD: Peso Máximo de Decolagem
PMP: Peso Máximo de Pouso
PMR: Peso Máximo de Rampa
PMZC: Peso Máximo Zero Combustível
PVB: Peso Vazio Básico
PVE: Peso Vazio Equipado
PVP: Perfil de Valor Planejado
SAWE: Society of Allied Weight Engineering

SE: System Engineering

SEP: System Engineering Process

SIPOC: Supplier-Input-Process-Output-Customer

SUMÁRIO

1	Introdução	21
1.1	Contexto	21
1.2	Questão de Pesquisa e Objetivos	23
1.3	Justificativas	24
1.4	Descrição do Documento	26
2	Revisão Bibliográfica	27
2.1	Desenvolvimento de Produtos Aeronáuticos	27
2.1.1.	Fases do desenvolvimento: Engenharia de Sistemas (SE)	33
2.1.2.	Valor no desenvolvimento aeronáutico	38
2.2	Grupos de Processos na Engenharia de sistemas	40
2.2.1.	Processo de Gestão de Riscos	42
2.2.2.	Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia	43
2.2.3.	Processo de Integração Técnica	44
2.3	Gestão das Propriedades de Massa de aeronaves	47
2.3.1.	Propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves	47
2.3.2.	Definições Gerais de Propriedades de massa	50
2.3.2.1	Sistemas de Referência aeronave e Peso	50
2.3.2.2	Centro de Gravidade (CG) e Balanceamento	51
2.3.2.3	Momentos e Produtos de Inércia	52
2.3.2.4	Pesos de Projeto de Aeronaves	54
2.3.2.5	Envelope de Peso e CG	55
2.3.3.	Modelos de Referência para a gestão de propriedades de massa de aeronaves	57
2.3.3.1	Proposta da Society of Allied Weight Engineering (SAWE)	58
2.3.3.2	Proposta Dahm (2007)	62
2.3.4.	Dimensões do processo de gestão de propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves	65
3	Metodologia	67
3.1	Métodos de Pesquisa	67
3.2	Fases da Pesquisa	69
3.2.1.	Fase 1- Clarificação da Pesquisa	70

3.2.2. Fase 2 - Estudo Descritivo.....	71
4 Resultados.....	79
4.1 Síntese do processo de gestão de propriedades de massa	79
4.1.1. Visão geral da síntese e definição das características	79
4.1.2. Características do processo de gestão de propriedades de massa relacionadas com o processo de desenvolvimento de aeronaves	81
4.1.3. Definição das variáveis e valores de cada característica do processo de gestão de propriedades de massa	83
4.1.3.1 Características e variáveis da Dimensão Estratégias / Metas	83
4.1.3.2 Características e variáveis da Dimensão Atividade/ Entregas	85
4.1.3.3 Características e variáveis da Dimensão Recursos / Ferramentas	86
4.1.3.4 Características e variáveis da Dimensão Organização / Papéis e responsabilidades	90
4.2 Estudo de caso	92
4.2.1. Seleção e descrição da empresa.....	92
4.2.2. Introdução aos resultados e à análise do estudo de caso	93
4.2.3. Caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa	94
4.2.4. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	97
4.2.4.1 Analisar a dimensão Estratégias / Metas	97
4.2.4.2 Analisar a dimensão Atividades / Entregas	101
4.2.4.3 Analisar a dimensão Recursos / Ferramenta	103
4.2.4.4 Analisar a dimensão Organização / Papéis e responsabilidades	109
5 Validação	117
5.1 Escopo	118
5.2 Profundidade	118
5.3 Objetividade	118
5.4 Abrangência	119
5.5 Utilidade	119
5.6 Simplicidade e Clareza	119
5.7 Consistência	119

5.8	Geral.....	120
6	Conclusões	121
6.1	Comentários e limitações	121
6.2	Sugestão de trabalhos futuros	124
7	Referências	125
	Apêndice A- Roteiro de Questões do Estudo de Caso	129
	Apêndice B- Modelo estruturado para a definição das questões (ECHEVEST et al.; 2007, p. 6).....	137
	Apêndice C- Questionário para avaliação da Síntese do Processo de Gestão de Propriedades de Massa	143
	Apêndice D- Resultados - Respostas Questionários do Estudo de Caso	147
	Apêndice E- Respostas Avaliação da Síntese do Processo de Gestão de Propriedades de Massa	155

1 Introdução

1.1 Contexto

O crescimento da demanda por transporte aéreo mundial (aviação comercial) foi de 73% na década de noventa e espera-se que até 2033 o crescimento anual médio seja de 4,7%. Assim, considerando essa previsão de crescimento, daqui a 15 anos (em 2030) o tráfego de passageiros será o dobro do medido em 2014 (AIRBUS, 2014, p.62).

Esse aumento da demanda é hoje um problema para o futuro das economias e das sociedades, tal crescimento faz com que haja uma pressão entre os consumidores, Organizações não Governamentais (ONGs) e governos para que as empresas respondam de forma positiva a essas demandas. Aspectos de sustentabilidade tornam-se cada vez mais importante no mundo empresarial, podendo ser decisivo na competitividade e na perpetuidade das empresas. O desafio das corporações hoje é o de oferecer produtos e serviços mais sustentáveis sem sacrificar a qualidade e custo (LASZLO; ZHEXEMBAYEVA, 2011, p. 61).

O maior potencial para redução das emissões de gases da frota de aeronaves global está associado à taxa de desenvolvimento de novas tecnologias e sua utilização pelos fabricantes em novos desenvolvimentos de aeronaves. Assim, o desafio de adotar aspectos relacionados à sustentabilidade deve ser uma decisão estratégica da empresa e estar presente nas diferentes fases do desenvolvimento de uma aeronave ¹ (DRAY, 2013, p.69).

As principais características do processo de desenvolvimento de produtos são: elevado grau de incerteza e riscos das atividades e resultados, tomadas de decisão no início do processo, dificuldade de mudar as decisões iniciais, atividades realizadas em ciclos iterativos, manipulação e geração de alto volume de informações e multiplicidade de requisitos a serem atendidos (ROZENFELD et al., 2006, p.6). Dessa maneira, o processo de desenvolvimento do produto tem características que o torna desafiador para todos os tipos de produtos. No entanto, como aeronaves são produtos tecnicamente muito complexos que devem atender à uma

¹Nessa pesquisa, processo de desenvolvimento será entendido como a definição de Clark e Fujimoto (1991): “o desenvolvimento de produtos é o esforço realizado por um conjunto de pessoas de uma empresa na transformação de dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em bens e informações para a fabricação de um produto comercial” (CLARK; FUJIMOTO, 1991, p.17).

multiplicidade de requisitos interconectados, seu processo de desenvolvimento torna-se ainda mais desafiador (HAMMOND, 2001, p.19).

Nesse contexto de desenvolvimento, dentre os diversos requisitos a serem atendidos pela aeronave, estão os requisitos de custo, desempenho e sustentabilidade. As propriedades de massa da aeronave estão intrinsicamente relacionadas com o cumprimento desses três requisitos, sendo estas são: peso, centro de gravidade (CG), os momentos e produtos de inércia (SOCIETY OF ALLIED WEIGHT ENGINEERS- SAWE, 2011, p.5).

O aumento de peso das aeronaves impacta os requisitos de sustentabilidade do produto, tais como consumo, eficiência estrutural, porcentual de reciclabilidade e consumo de recursos não renováveis. Considera-se a massa como sendo a medida física básica para cálculo de diferentes categorias de impacto e a redução de peso da aeronave em 30% implica em uma redução no consumo de combustível, na condição de cruzeiro, na ordem de 7% a 15% (GREENE, 1992, p.537).

Considerando que o peso estrutural e o peso de combustível têm o mesmo impacto na quantidade de emissão, pode-se a princípio assumir que a redução da quantidade de combustível nas missões já traria o aumento de eficiência desejado. Porém, é importante considerar que a diminuição da quantidade de combustível tem impacto direto no alcance da aeronave, impactando seu desempenho (LEE et al., 2001, p.70). Assim, considerando o desempenho da aeronave, é possível afirmar que o peso e o CG impactam principalmente os requisitos de eficiência em cruzeiro, comprimento de pista para pouso e decolagem, razão de subida e descida, diminuição de carga paga e alcance (RAYMER, 1992).

Além disso, as principais metodologias de cálculo de custo de uma aeronave em desenvolvimento utilizam como variável de entrada o peso vazio da aeronave (RAYMER, 1992, p.509; ROSKAM, 1990, p.8-1; NICOLAI, 1975, p.24-1). Como nessas metodologias o peso quantifica basicamente a massa utilizada de matéria prima, o custo da aeronave aumenta proporcionalmente ao aumento de peso.

No processo de desenvolvimento de uma aeronave, é essencial considerar que as propriedades de massa de uma aeronave não podem ser vistas como valores determinísticos a serem obtidos logo no início do desenvolvimento (ALI, 2013, p.8). Durante cada fase do desenvolvimento da aeronave o peso básico e CG são obtidos por métodos de cálculo empíricos, semi-empírico, estatísticos ou analíticos que evoluem em confiabilidade à medida que o desenvolvimento evolui.

Além disso, a definição do peso e CG da aeronave dependem de todos os segmentos e componentes que constituem o produto final. Conforme apontado por Raymer (1992, p.391),

as propriedades de massa devem ser obtidas a partir da interface com todas as áreas de engenharia e projeto envolvidas no desenvolvimento da aeronave, Figura 1.

Figura 1- Propriedades de massa: integração de diferentes áreas

Fonte: Criado pela autora

A evolução da maturidade das informações não ocorre de forma homogênea em todo o produto e depende da percepção dos riscos de modificação de conceitos, materiais e processos de fabricação apontada por cada um dos especialistas. Portanto, pode-se afirmar que há incertezas inerentes ao processo de previsão do peso básico e CG da aeronave em praticamente todas as fases do desenvolvimento (ALI, 2013, p.18).

1.2 Questão de Pesquisa e Objetivos

No contexto de desenvolvimento de aeronaves, torna-se necessário que o processo de gestão das propriedades de massa da aeronave seja realizado de maneira integrada, garantindo a qualidade da informação gerada. Assim, este trabalho tem como principal objetivo analisar o processo de gestão das propriedades de massa ao longo de todas as fases do desenvolvimento de aeronaves.

De maneira a atingir esse principal objetivo, foram identificados três objetivos específicos:

1. Identificar as principais características do processo de gestão de propriedades de massa no contexto do processo de desenvolvimento de aeronaves;
2. Analisar o status desse processo em uma empresa aeronáutica;
3. Identificar e propor pontos de melhoria no processo de gestão de propriedades de massa conduzido pela empresa, considerando as características críticas identificadas.

1.3 Justificativas

No mercado atual de competitividade, a capacidade de prever e retardar o crescimento de peso durante as fases de desenvolvimento pode ser o diferencial para garantir a aceitação e sucesso da aeronave no mercado (ANDREW, 2001, p.12). Segundo Greene (1995), o controle do peso e a busca por sua redução é essencial para garantir a melhoria de desempenho e sustentabilidade das aeronaves no futuro.

Durante o desenvolvimento de uma aeronave é necessário considerar que quando há aumento de peso, as asas devem produzir sustentação adicional e a estrutura deve suportar não só as cargas estáticas adicionais, mas também as cargas dinâmicas adicionais impostas por manobras de voo. Esse aumento de carga pode resultar em um novo aumento de peso, que pode levar novamente a um aumento de cargas e assim sucessivamente (efeito cíclico) (ANDREW, 2001, p.12). De acordo com Greene (1995, p. 26), esse efeito cíclico pode ser quantificado. Um aumento de 1 libra no peso estrutural acaba resultando em um aumento de peso da aeronave total de 2 a 10 libras.

Existem muitos casos documentados de programas cancelados devido ao crescente aumento de peso (ANDREW, 2001, p.12). O Departamento de Defesa dos Estados Unidos apresenta um gráfico do percentual de desvio do peso vazio da aeronave após certificação com relação ao peso vazio iniciais do desenvolvimento e o percentil de desempenho do controle de peso nas fases de desenvolvimento (Figura 2), considerando diferentes programas militares dos últimos 30 anos. Esse gráfico deve ser interpretado da seguinte maneira: caso no final de seu desenvolvimento o desvio de peso vazio em relação às especificações iniciais de sua aeronave seja de 4%, então, isso significa que o seu controle de peso está entre os 40% melhores.

Figura 2- Variação do Peso Vazio em relação às especificações iniciais da aeronave versus percentil para programas do Departamento de Defesa Americano.

Fonte: Adaptado pela autora de Andrew (2001, p.71)

Dessa maneira, é possível inferir que a mediana (percentil 50%) dos projetos de aeronaves tem um desvio de +5% do seu peso vazio, em relação aos valores iniciais do desenvolvimento. Esse desvio é enfrentado por todas as fabricantes de aeronaves e gera impactos em diversos requisitos do produto, tais como desempenho, sustentabilidade e custo e pode resultar na inviabilidade econômica do projeto.

Não é possível considerar os dados de massa como sendo valores fixos a serem verificados apenas na pesagem real da aeronave, esses dados devem ser constantemente atualizados e devem ser encarados como um indicador de sucesso do produto (DAHM, 2007, p.12). Segundo Raymer (1992, p. 31), é essencial que nas fases iniciais do desenvolvimento de aeronaves sejam realizadas estimativas realistas de peso, e que este seja controlado durante todas as posteriores fases do desenvolvimento.

Conforme indicado nos objetivos, esse trabalho propõe analisar e identificar as principais características do processo de gestão das propriedades de massa ao longo das diferentes fases do desenvolvimento de uma aeronave. Busca-se proporcionar um entendimento comum do processo de gestão das propriedades de massa, de modo a orientar as atividades e tornar as tarefas compreensíveis e monitoráveis, contribuindo para uma potencial melhoria no processo.

Também é possível justificar a importância desse trabalho a partir da análise atual de busca por desenvolver produtos cada vez mais sustentáveis. A massa é a grandeza física que

permite que seja realizada a análise de diferentes categorias de impactos ambientais, e por isso seu monitoramento torna-se essencial para considerar aspectos ambientais durante as fases de desenvolvimento (KRINKE, 2011, p.15).

Considerando ainda que as aeronaves apresentam maior impacto ambiental na sua fase de uso do que na produção, é possível afirmar que ações tomadas para melhoria do desempenho do produto têm maior potencial de trazer benefícios do que ações voltadas para a diminuição do consumo na produção (KRINKE, 2011, p.16). Assim, o controle das propriedades de massa durante o desenvolvimento do produto e consequente garantia do cumprimento dos requisitos de desempenho é essencial para garantir a sustentabilidade ambiental do produto.

1.4 Descrição do Documento

Este documento está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 Introdução: contém seções que descrevem o contexto, a questão de pesquisa e objetivos e as justificativas da pesquisa.

Capítulo 2 Revisão Bibliográfica: apresenta a fundamentação teórica sobre o processo de desenvolvimento de produtos aeronáuticos, principais grupos de processo da engenharia de sistemas e sobre gestão de propriedades de massa de aeronaves.

Capítulo 3 Metodologia: contém seções que apresentam os métodos de pesquisa, com a descrição da abordagem metodológica adotada, e as fases da pesquisa, com o detalhamento das principais atividades conduzidas para realização dessa pesquisa.

Capítulo 4 Resultados: apresenta os resultados obtidos em duas seções: síntese do processo de gestão de propriedades de massa e estudo de caso. A primeira parte apresenta a visão geral da síntese da revisão bibliográfica enquanto que na segunda parte os resultados do estudo de caso são apresentados e analisados.

Capítulo 5 Validação: apresenta a validação da análise dos resultados, apresentados no Capítulo 4, por especialistas. Essa validação é apresentada por critério de avaliação: escopo, profundidade, objetividade, abrangência e utilidade.

Capítulo 6 Conclusões: apresenta os principais pontos identificados após a condução do trabalho, apresentando as principais conclusões e trabalhos futuros associados com o tema da pesquisa.

Capítulo 7 Referências: apresenta as referências bibliográficas usadas no trabalho e citadas no texto.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica para a condução desse trabalho. A revisão bibliográfica aborda os seguintes temas: desenvolvimento de produtos aeronáuticos (seção 2.1), grupos de processos na engenharia de sistemas (seção 2.2) e gestão das propriedades de massa de aeronaves (seção 2.3).

2.1 Desenvolvimento de Produtos Aeronáuticos

Raymer (1992, p.4) identifica três fases principais para o desenvolvimento de aeronaves: Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. O início do desenvolvimento ocorre com a definição dos requisitos e termina com a fabricação da aeronave, Figura 3. As principais questões a serem respondidas em cada fase estão explicitadas na Figura 3, o nível de detalhamento das questões segue o fluxo de desenvolvimento, começando com definições básicas de como será a aeronave e finalizando com as fases de testes.

Figura 3- Fases do Desenvolvimento de Aeronaves 1

Fonte: Adaptado pela autora de Raymer (1992, p. 4)

Segundo Raymer (1992, p.4), na fase de projeto conceitual deve-se ser capaz de responder questões básicas quanto aos arranjos de configuração, dimensões básicas, peso e desempenho. Assim, a fase de projeto conceitual aborda as questões em alto nível, considerando os principais requisitos e funções desejadas, e, normalmente, um número de configurações possíveis é descrito e submetido a uma tomada de decisão. A solução que melhor corresponder aos requisitos será a escolhida. Esta fase é altamente iterativa e tende a ser a fase com menos restrições, de modo que o maior número de soluções de projeto possa ser julgado (PRICE et al., 2006, p.337).

O principal resultado da fase de projeto conceitual deve ser a definição de uma configuração básica, com as principais dimensões e arranjos dos seus componentes, tais como asa, empenagem, motores, fuselagem, superfícies de comando e trem de pouso. Estes dados são definidos a partir de equações iniciais e dados empíricos e são o ponto de partida para que o desenvolvimento continue. Nesta fase, as informações essenciais para o desenvolvimento são a estimativa de peso da aeronave e a estimativa de alcance, para posterior definição da razão sustentação/ arrasto e eficiência de combustível (RAYMER, 1992, p.7).

Estes dados básicos são utilizados para o dimensionamento inicial da fuselagem, asa e empenagem, possibilitando que equações empíricas sejam usadas nas estimativas das áreas, comprimentos e posições. Conforme o desenvolvimento avança, um maior número de variáveis é definido e as possibilidades de desenvolvimento são reduzidas (Figura 4). No entanto, ao mesmo tempo em que as possibilidades se reduzem, há um aumento no número de parâmetros associados ao projeto (PRICE et al., 2006, p.337).

Figura 4- Aumento no número de parâmetros de projeto

Fonte: Adaptado pela autora de Price et al. (2006, p. 337)

O fim da fase de projeto conceitual ocorre quando se encontram soluções satisfatórias das funcionalidades e o cumprimento dos requisitos é verificado, possibilitando que a fase de projeto preliminar possa começar com o problema mais definido e com mais restrições às mudanças (RAYMER, 1992, p.10). Na fase de projeto preliminar, os segmentos irão ser analisados separadamente, e deve-se responder com confiança se a aeronave é capaz de ser fabricada no prazo e com o custo estimado (RAYMER, 1992, p.4).

Os sistemas principais da aeronave são revistos e estimativas detalhadas quanto ao tamanho, espessura e material são realizadas. Análises estruturais são obtidas utilizando modelos de elementos finitos para diferentes casos de cargas, e a obtenção de uma solução aceitável para todos os casos de carga sem o superdimensionamento da estrutura é um dos principais desafios dessa fase, um modelo típico de carga de estruturas tem aproximadamente 200.000 graus de liberdade. Assim, nessa fase continua havendo a proliferação de parâmetros a serem definidos (PRICE et al., 2006, p.338).

Após a avaliação do sucesso do projeto preliminar quanto ao cumprimento dos requisitos, a fase de projeto detalhado pode ser iniciada. A equipe envolvida no projeto aumenta e começa a fase de liberação dos desenhos detalhados, garantindo a fabricação da aeronave. O número de variáveis de projeto aumenta, incluindo parâmetros de especificação de rebite e detalhes das peças. É incomum que variação em parâmetros dessa fase possam afetar conceitos e parâmetros globais da aeronave (PRICE et al., 2006, p.338).

Assim, a fase de projeto detalhado é a fase de desenvolvimento em larga escala, em que as peças serão detalhadas, projetadas e fabricadas. Durante a fase de projeto detalhado, ocorre também o planejamento do processo, em que se determina como as peças da aeronave serão fabricadas, desde a fabricação das peças primárias até as montagens finais. A fase de detalhamento também é a responsável pela fase de testes e validações e pela fabricação do protótipo (RAYMER, 1992, p.5).

Torenbeek (1982, p.4) identifica seis fases principais para o desenvolvimento de aeronaves (Figura 5): projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, produção², teste e suporte ao cliente. Comparando com as fases do desenvolvimento de Raymer (1992, p.4), as fases de teste e produção foram consideradas como fases separadas do projeto detalhado, pois apresentam entregas específicas: certificação de tipo de aeronave

² Torenbeek (1982, p. 4) utiliza a palavra “produção” para a fabricação dos protótipos utilizados para testes e obtenção do certificado de tipo da aeronave junto aos órgãos homologadores.

(homologação) e entrega da aeronave ao cliente. A fase de suporte ao cliente foi adicionada, considerando que as modificações de engenharia geram demandas por muitos anos.

Figura 5-Fases do Desenvolvimento de aeronaves II

Fonte: Adaptado pela autora de Torenbeek (1982, p. 4)

Pardessus (2004, p.3) apresenta uma visão comum do processo de desenvolvimento de aeronaves na AIRBUS, Figura 6³. Este modelo de desenvolvimento é dividido em cinco fases principais: Fase de Viabilidade (M0 - M3), Fase Conceitual (M3 - M5), Fase de Definição (M5 - M7), Fase de Desenvolvimento (M7 - M13) e Fase de Serialização (M13 - M14). No processo apresentado, existem 14 *milestones*⁴ do projeto, identificados pela letra “M”.

Comparando o modelo utilizado pela AIRBUS com o modelo proposto na teoria, é possível verificar que a Fase de Viabilidade no modelo da AIRBUS corresponde ao Projeto Conceitual de Raymer (1992), enquanto que a Fase Conceitual do modelo da AIRBUS corresponde à fase de Projeto Preliminar de Raymer (1992) e por fim as Fases de Definição e Fase de Desenvolvimento da AIRBUS seriam o Projeto Detalhado de Raymer (1992).

³ A Figura 6 está em inglês de forma garantir que os termos apresentados por Pardessus (2004, p.3) sejam mantidos, sem alterações causadas pelas traduções, uma vez que são os termos específicos utilizados e adotados pela AIRBUS.

⁴ *Milestones* é o nome dado a um ponto ou evento significativo do projeto, ou seja, é um marco do projeto no cronograma (PMBOK, 2004, p. 368).

Figura 6-Modelo de Desenvolvimento de Aeronaves –AIRBUS

Fonte: Pardessus (2004 ,p.3)

Segundo Pardessus (2004, p.3), normalmente o *ramp-up*⁵ de recursos ocorre após M5, e ainda mais significativamente após M6, quando o conjunto completo de desenhos tem que ser entregue e quando o ferramental deve ser concebido e fabricado. A principal vantagem de se ter o processo estruturado, é que cada etapa está descrita em termos de conteúdo esperado, e assim, o trabalho entre as diferentes áreas é especificado de forma visível e compartilhável (PARDESSUS, 2004, p.3).

Hammond (2001, p.13) propõe na Figura 7 a distribuição típica de esforço técnico nas diferentes fases do processo de desenvolvimento de aeronaves. Pode-se observar que cerca de 6% do esforço técnico (área sob a curva) é atribuído à fase de projeto conceitual e cerca de 20% atribuído à fase de projeto preliminar. As fases de detalhamento, produção e verificação e integração de sistemas são responsáveis por mais de 75% esforço técnico.

⁵ O termo *ramp up* é utilizado com o significado de aumento abrupto da quantidade de pessoas envolvidas no projeto.

Figura 7-Esforço técnico por fase do desenvolvimento aeronáutico

Fonte: Adaptado pela autora de Hammond (2001, p. 16)

A Figura 7 mostra que nas fases iniciais do desenvolvimento é necessário um grupo menor de pessoas envolvidas no projeto do que na fase de detalhamento, produção e teste. Em projetos complexos e com alto grau de inovação há uma tendência em se colocar maior esforço na fase de projeto conceitual, pois se sabe que pelo menos 70% dos custos do ciclo de vida são definidos em decisões tomadas nessa fase (HAMMOND, 2001, p.13).

A abordagem apresentada para o desenvolvimento de aeronaves pode ser resumida como sendo baseada em configurações convencionais que utilizam métodos empíricos nas fases iniciais do desenvolvimento (visão de alto nível) e complementada por simulações multidisciplinares sofisticadas nos níveis de detalhamento. Essa abordagem é a mesma utilizada por muitos anos e é questionada se é a ideal para projetos de aeronaves atualmente, pois essa abordagem tradicional considera que a concepção gerada na fase de projeto conceitual é pouco detalhada (PRICE et al., 2006, p.339).

Atualmente no desenvolvimento de aeronaves o *Digital Mock-up* (DMU) ⁶ torna-se o centro de informações sobre o produto. Ele é criado com o apoio de Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided Design* - CAD) e é gerido por um sistema *Product Data Management* (PDM), que também apoia o processo de liberação de desenho industrial e gerenciamento de modificações em engenharia (PARDESSUS, 2004, p.2). A existência de

⁶ DMU (*Digital Mock up*) é uma ferramenta de maquete digital para projeto 3D utilizada desde 1981 no desenvolvimento de aeronaves.

sistemas CAD na fase de projeto conceitual possibilita que já se trabalhe com modelos geométricos tridimensionais, conseguindo obter maior precisão de representação do produto (ROZENFELD et al., 2006, p.298).

Assim, a utilização de sistemas CAD possibilita uma oportunidade de compartilhamento de dados entre diferentes áreas envolvidas no processo de desenvolvimento. O aspecto prático da geração de modelos multidisciplinares significa que eles são muitas vezes construídos utilizando diferentes parâmetros que antigamente eram considerados tardiamente no desenvolvimento. Assim, tornou-se necessário o controle e gestão de parâmetros de projeto nesse novo ambiente de desenvolvimento (PRICE et al., 2006, p.339).

Essa maior integração entre áreas faz com a engenharia de sistemas (System Engineering –SE)⁷ comece a ser vista como fundamental no processo de desenvolvimento de aeronaves. A SE é a arte e a ciência de desenvolver um sistema capaz de atender a múltiplos requisitos dentro das mais variadas restrições. Assim, a SE é holística e integradora, em que as contribuições de diferentes áreas são avaliadas e ponderadas, de forma a garantir a coerência do todo (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION- NASA, 2007, p.3).

2.1.1 Fases do desenvolvimento: Engenharia de Sistemas (SE)

Engenharia de Sistemas pode ser definida como "uma abordagem interdisciplinar, colaborativa que deriva, evolui, e verifica uma solução de ciclo de vida do sistema de forma equilibrada" (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEM ENGINEERING- INCOSE, 2003). Na prática, esse processo é utilizado em muitas empresas aeroespaciais e na indústria de engenharia em geral, garantindo que outras questões além da técnica possam ser abordadas durante o processo de desenvolvimento (PRICE et al., 2006, p.336).

A gestão de engenharia de sistemas proporciona que o desenvolvimento de sistemas seja conduzido de forma mais rápida e eficaz. Normas associadas ao SE foram propostas de forma a auxiliar o processo de desenvolvimento de sistemas, sendo que as principais são ISO/IEC 15288 e IEEE 1220 (XUE et al., 2014, p.5).

⁷ A engenharia de sistemas e o processo de desenvolvimento do produto são termos que representam o mesmo processo. Na indústria aeronáutica, o termo engenharia de sistemas substitui o termo processo de desenvolvimento do produto, sendo o seu foco principal o gerenciamento de requisitos, ou seja, o desdobramento dos requisitos (HAMMOND, 2001, p.3).

Segundo a ISO/IEC 15288 (2008, p.6), um sistema pode ser definido como “uma combinação de elementos que se interagem de forma organizada para cumprir uma meta ou estado proposto”. Já segundo a IEEE 1220 (2005, p.9), um sistema é definido como “um conjunto ou arranjo de elementos [pessoas, produtos (hardware e software) e processos (instalações, equipamentos, materiais e procedimentos)] que se relacionam, e cujo comportamento satisfaz às necessidades operacionais e prevê a sustentação do ciclo de vida dos produtos”.

A norma ISO /IEC-15288: 2008 foi o primeiro padrão internacional a estabelecer um conjunto de processos associados ao ciclo de vida para a maioria dos sistemas feitos pelo homem. Seu objetivo é fornecer um conjunto definido de processos para facilitar a comunicação entre os consumidores, fornecedores e outras partes interessadas no ciclo de vida de um sistema. Esta norma abrange todo o ciclo de vida do sistema, desde a concepção até seu fim de vida, e os processos que compreendem todas as etapas. Ele descreve as atividades em detalhe, porém não estabelece ou especifica métodos de engenharia de sistemas ou procedimentos para atender às exigências do processo de execução desta norma (XUE et al., 2014, p. 2.)

Já a norma IEEE 1220:2005 tem como objetivo, fazer a gestão de um sistema, desde as fases iniciais de concepção até as fases de desenvolvimento, operação e descarte. O escopo dessa norma aborda todo o ciclo de vida do sistema, sendo que se concentra mais nas fases de desenvolvimento de produtos do que na definição do ciclo de vida e implementação. Assim, essa norma é mais detalhada do que a norma ISO/ IEC 15288, sendo que por ser mais detalhada esta torna-se menos versátil. A versão mais recente considera o contexto do sistema, e o plano de gerenciamento de sistemas de engenharia, é indicado que o uso dessa norma seja realizado em conjunto com a ISO /IEC-15288 (XUE et al., 2014, p. 2).

Ambas as normas descrevem boas práticas relacionadas à engenharia de sistemas. Estabelecem padrões sobre o que deve ser feito, porém não explicitam como fazê-lo, de forma que estas abordam os processos e suas atividades, ao invés de abordarem métodos e ferramentas (XUE et al., 2014, p. 2).

A norma IEEE 1220 (2005, p.11) define o processo de engenharia de sistemas (*System Engineering Process*) como sendo um processo de resolução de problemas genérico, que fornece mecanismos de identificação e evolução das definições do produto e processo de um sistema. O SEP é aplicável a todo o ciclo de vida do sistema para todas as atividades relacionadas com o desenvolvimento de produtos, verificação / teste, fabricação, treinamento, operação, suporte, distribuição e descarte. O SEP permite que o sistema seja desenvolvido em

profundidade e complexidade a partir dos requisitos iniciais, Figura 8. A análise funcional é utilizada num ciclo de síntese de criação de modo a apoiar o desenvolvimento do sistema, tendo um contínuo *feedback* entre as funções e os requisitos. Modelos de análise são, portanto, utilizados de forma a garantir que os requisitos sejam satisfeitos enquanto o desenvolvimento evolui no sentido de encontrar uma solução estável de projeto (PRICE et al., 2006, p.339).

Figura 8- Modelo do Processo de SE

Fonte: Adaptado pela autora de Price et al. (2006, p.339)

O desenvolvimento de sistemas deve seguir a norma IEEE 1220 (2005) ao longo de todas as fases, de forma a garantir que se agregue valor ao produto final, garantindo a visão holística de cumprimento dos requisitos (IEEE 1220, 2005, p.20). As fases do desenvolvimento de um sistema típico são descritas nas normas IEEE 1220 e na ISO /IEC-15288, conforme explicitado na Figura 9.

Figura 9- Fases Engenharia de Sistemas- Normas

Fonte: Adaptado pela autora IEEE 1220 (2005, p. 86)

Conforme explicado anteriormente, a norma IEEE 1220 é mais detalhada do que a norma ISO/ IEC 15288, e por isso identifica quatro fases diferentes para a única fase de desenvolvimento proposta na norma ISO/ IEC 15288. Se compararmos as fases de desenvolvimento utilizadas na indústria aeronáutica, Figura 5, com as fases de desenvolvimento propostas pelas normas de SE, Figura 9, é possível afirmar que são semelhantes, porém as normas de SE incorporam a fase de retirada do produto, fase que não era abordada na indústria aeronáutica até então.

Considerando a certificação de produtos altamente integrados e complexos criou-se a *Aerospace Recommended Practice* (ARP) 4754 em 1996. Segundo a ARP 4754 (1996), sistemas integrados são aqueles que contribuem para diversas funções da aeronave e sistemas complexos são aqueles que têm uma lógica difícil de entender e que não é possível testar todas os casos de falha. No desenvolvimento de sistemas integrados e complexos há um aumento na possibilidade de erros em seu desenvolvimento, assim deve-se seguir um processo organizado de desenvolvimento do sistema para a prevenção de erros que possam afetar a segurança.

Em Dezembro de 2010 uma nova revisão da ARP 4754 foi emitida, ARP4754A, e a norma assumiu um novo escopo, sendo expandida para os processos usados no desenvolvimento de aeronaves civis e sistemas. Com essa expansão do escopo, a norma passou a incluir diretrizes para o desenvolvimento de aeronaves (LI et al., 2011, p.401).

Segundo a ARP4754A, o ciclo de vida de desenvolvimento tem um começo e um fim, e pode conter realimentações para tratar as mudanças na aeronave ou sistema (2010, p. 20). A Figura 10 mostra de maneira genérica o ciclo de vida do desenvolvimento proposto pela norma.

Figura 10- Ciclo de vida no desenvolvimento de sistemas

Fonte: Adaptado pela autora da ARP 4754A (2010, p.20)

A fase de conceito, no ciclo de desenvolvimento proposto, determina o desempenho global e a configuração da aeronave, informações tais como carga paga, alcance, tamanho da aeronave, número e localização dos motores, aerofólio e aplicações de novas tecnologias são definidas. A fase de desenvolvimento segue a fase conceito, preparando a implementação para a produção / operação. A fase de desenvolvimento está completa quando: as informações para as instalações de produção são fornecidas, todos os dados de conformidade foram submetidos e aprovados, limitações, manutenção e outras informações operacionais são fornecidas aos operadores de aeronaves (ARP 4754A, 2010, p.20).

Segundo a ARP 4754A (2010, p.25), cada processo de desenvolvimento do sistema pode ser composto de vários processos de desenvolvimento de diferentes itens. A maioria dos processos de desenvolvimento de sistemas reais envolvem muitos ciclos iterativos, o que na prática faz o processo de desenvolvimento parecer mais cíclico do que sequencial.

A fase de desenvolvimento começa com a definição das funções no nível de aeronave, uma nova função da aeronave pode ser identificada em qualquer ponto do ciclo. No entanto, independentemente do ponto de entrada, uma avaliação do impacto da nova função ou alterações em outras funções de nível aeronaves é necessária (ARP 4754A 2010, p.25).

Após a identificação das funções da aeronave, identificam-se os sistemas associados a cada função, de maneira que a alocação de requisitos seja realizada através das funções e alocadas nos sistemas. A partir da alocação de requisitos nos sistemas, torna-se possível definir a arquitetura e projeto de maneira a atender a todos os requisitos, conforme indicado na Figura 10.

A ARP 4754A (2010) tem um foco em segurança de voo, propondo diretrizes de desenvolvimento de aeronaves de forma a garantir a verificação e validação dos requisitos por meio de uma proposta da gestão de requisitos. Segundo a norma, verificação do requisito é garantir que a implementação cumpre com o requisito especificado, enquanto que validação de requisitos é garantir que o requisito esteja suficientemente correto e completo (ARP 4754A, 2010, p.19).

A ARP 4754A (2010, p.31) propõe que existam processo integrais a serem conduzidos durante todas as fases de desenvolvimento de aeronaves: análises de falha, criticidade dos sistemas, identificação de requisitos, validação de requisitos, gestão de configuração, qualidade do desenvolvimento, certificação e condução com as autoridades reguladoras.

Segundo a norma os processos integrais⁸ são elementos fundamentais do processo global, apresentando múltiplas interações com as atividades e entregas do processo (ARP 4754A, 2010, p.31).

É importante considerar que as propriedades de massa de uma aeronave em desenvolvimento não são os requisitos a serem atendidos, são hipóteses e suposições utilizadas para garantir o cumprimento de funções da aeronave tais como: desempenho da aeronave, controlabilidade, sustentabilidade e custo. No entanto, segundo a ARP 4754A (2010, p.57), as hipóteses e suposições também devem ser verificadas e validadas nas diferentes fases do desenvolvimento de maneira a garantir uma efetiva gestão de requisitos.

É possível afirmar que as normas de SE contribuíram para o desenvolvimento de aeronaves, e que o processo de desenvolvimento de aeronaves deve utilizar os princípios da SE de forma a garantir que a aeronave atenda aos requisitos e gere valor para o cliente.

2.1.2 Valor no desenvolvimento aeronáutico

O desenvolvimento aeronáutico na década de 1990 encontrou um novo paradigma, o de desenvolver produtos de maneira melhor, mais rápida e mais barata. O conceito de valor em aeronáutica surgiu como uma métrica para o processo de desenvolvimento aeronáutico, visando medir o quão bom, rápido e barato é o desenvolvimento de cada produto (MURMAN; WALTON; REBENTISCH, 2000, p.9).

A definição de valor proposta por Slack (1999, p.5) é: "uma medida de valia de um produto ou serviço específico para um cliente. Ele é função da (1) utilidade do produto para satisfazer uma necessidade específica de cliente; (2) da relativa importância dessa necessidade; (3) da disponibilidade do produto em atender a sua necessidade; e (4) do custo do produto para o cliente". Essa definição de valor é situacional e depende do cliente, sendo que seus requisitos podem estar relacionados com o fazer melhor, mais rápido e com um menor custo. Na definição, (1) e (2) dizem respeito ao desempenho e se relacionam com o fazer melhor, (3) tem a ver com o momento da disponibilidade e se relaciona com o fazer mais rápido e (4) se refere ao custo, se reportando ao fazer mais barato (MURMAN; WALTON; REBENTISCH, 2000, p.8).

⁸ Os processos integrais propostos pela ARP4754 A são agrupamentos de atividades de uma mesma disciplina, chamados de áreas de processo no *Capability Maturity Model Integration* (CMMI, 2010, p.9) e de áreas de conhecimento no PMBOK (2004, p.71).

Murman, Walton e Rebentisch (2000, p.8) afirmam que, a partir da definição apresentada, valor é um atributo multidimensional, e a definição no contexto aeronáutico ainda é emergente e pode-se supor uma relação funcional como proposto na Equação 1.

$$Valor = \frac{f_p(desempenho)}{f_c(custo) \cdot f_t(tempo)} \quad \text{Equação 1}$$

Essa relação é basicamente qualitativa, ou seja, para aumentar o valor do produto deve-se melhor o desempenho, diminuir o custo e diminuir o tempo de desenvolvimento. A relação funcional exata varia dependendo do cliente para cada produto. Essas relações são métricas específicas com ponderações que indicam a função de utilidade do produto para o cliente (MURMAN; WALTON; REBENTISCH, 2000, p.9). Alguns exemplos de parâmetros que podem compor a métrica estão na Tabela 1.

Tabela 1-Parâmetros das funções-Valor

Fonte: Adaptado pela autora de Murman; Walton; Rebentisch (2000, p.9)

Função Desempenho, f_p	Função de custo, f_c	Função Tempo, f_t
desempenho do veículo (alcance-carga paga, velocidade, parâmetros de manobra)	custos de desenvolvimento	tempo de ciclo de desenvolvimento de produto
desempenho em combate (letalidade, capacidade de sobrevivência, capacidade de armazenamento)	custos de produção, fixos e recorrentes	tempo de ciclo de produção
compatibilidade dos sistemas (infra-estrutura aeroportuária, gestão de missão)	custos de operação	data de início do desenvolvimento
sustentabilidade ambiental (ruído, emissões, impacto ambiental total)	custos de fim de vida	disponibilidade - hora certa no lugar certo

O foco em agregar valor ao produto do ponto de vista do cliente vai ao encontro da visão multidisciplinar proposta pela SE e ajuda a acabar com a visão de uma única tecnologia. Durante os anos da Guerra Fria a aeronáutica tinha seu foco voltado à melhoria do desempenho da aeronave, enquanto que na década de 1990 o foco passou a ser custo. O desafio atual é o de balancear os elementos em uma única função de valor, que é composta de desempenho/qualidade, custo e prazo (MURMAN; WALTON; REBENTISCH, 2000, p.9).

Considerando o escopo desse trabalho, é importante considerar que as propriedades de massa da aeronave participam da relação funcional de valor para o cliente (Equação 1) em duas funções: desempenho e custo.

2.2 Grupos de Processos na Engenharia de sistemas

Segundo a ISO 15288 (2008; p.vi), o aumento da complexidade dos sistemas feitos pelo homem trouxe novos desafios para as organizações que criam e utilizam sistemas. Esses desafios existem em todo o ciclo de vida de um sistema e em todos os níveis de detalhes arquitetônicos. As principais fontes desses desafios são:

- Existem diferenças inerentes entre o desenvolvimento de hardware, software e elementos humanos a partir do qual os sistemas são construídos;
- Os sistemas de hoje são modelados a partir de sistema CAD;
- Falta de harmonização e integração das disciplinas envolvidas, incluindo engenharia, gestão e finanças.

Considerando esses problemas, há necessidade de que um quadro comum para melhorar a comunicação e cooperação entre as partes que criam, utilizam e gerenciam os sistemas modernos seja proposto, possibilitando que se possa trabalhar, de forma integrada e coerente (ISO 15288; 2008; p.vi).

De forma a responder essa necessidade, a ISO 15288 (2008, p.12) agrupa as atividades que devem ser realizadas no ciclo de vida de um sistema em quatro grupos de processos ⁹. Cada um dos processos do ciclo de vida dentro desses grupos é descrito em termos de seu propósito, resultados desejados e listas de atividades e tarefas que precisam ser executadas para garantir o atingimento dos resultados (ISO 15288, p.12, 2008), Figura 11.

⁹ As atividades que podem ser realizadas durante o ciclo de vida do sistema foram agrupadas pela ISO 15288 (2008, p. 58) em quatro grupos de processos, que são agrupamentos que seguem relações lógicas entre os diferentes processos e consideram a responsabilidade pela execução desses processos. A norma descreve cada um desses agrupamentos, em termos da sua finalidade e resultados desejados (ISO 15288, 2008, p. 58).

Figura 11-Processo do ciclo de vida dos sistemas ISO 15228 (2008, p. 12)

Fonte: Adaptado pela autora da ISO 15228 (2008, p. 12)

Os Processos Contratuais definem as atividades necessárias para estabelecer um acordo entre duas organizações. O processo de aquisição define meios para a definição de negócios com os fornecedores, enquanto que o processo de suprimento estabelece meios para que as empresas possam realizar um projeto em que o resultado seja um produto ou serviço, que seja entregue ao comprador (ISO 15288, p.15, 2008).

Os Processos Facilitadores garantem que haverá os recursos necessários para a execução do projeto, garantindo que este possa ser realizado conforme suas expectativas. Esses processos estabelecem os modelos de ciclo de vida a serem seguidos pelos projetos, estabelecem, redirecionam ou cancelam projetos; fornecem os recursos necessários, incluindo humanos e financeiros; e garantem os padrões de qualidade para os sistemas (ISO 15288, p.13, 2008).

Já os Processos do Projeto se relacionam com a gestão dos recursos e bens destinados pela empresa para um projeto específico, de forma a cumprir as metas do projeto. Esses processos se relacionam com a gestão de projetos, em especial com o planejamento em termos de custos, prazos e resultados. Esses processos devem possibilitar a verificação de conformidade do projeto em relação com os planos e critérios de desempenho, além de identificar e selecionar ações corretivas, quando necessário (ISO 15288, p.13, 2008).

Por fim, os Processos Técnicos agrupam os processos associados ao desenvolvimento técnico do sistema. Esses processos transformam os requisitos em produto, a fim de criar e

utilizar um sistema, quer seja sob a forma de um modelo ou um produto acabado (ISO 15288, p.13, 2008).

A gestão das propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves relaciona-se com os processos agrupados dentro dos Processos do Projeto e Processos Técnicos. Assim, considerando o Processo do Projeto, serão detalhados os seguintes processos: Processo de Gestão de Riscos e Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia. Para os Processos Técnicos será realizada a revisão bibliográfica do Processo de Integração. Foram escolhidos esses processos para detalhamento, pois estes são os processos que se relacionam de maneira explícita com a gestão de propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves.

2.2.1 Processo de Gestão de Riscos

O processo de desenvolvimento do produto apresenta o risco como uma de suas características principais, todas as decisões tomadas durante o desenvolvimento têm um nível de risco associado. Tipicamente as decisões são tomadas com as informações disponíveis e no caso de produtos em desenvolvimento, essas informações só serão conhecidas quando o produto já estiver nas fases posteriores de desenvolvimento. Essa característica leva a um processo iterativo, em que as suposições devem ser continuamente validadas e confirmadas (SMITH; MERITT, 2002, p.4).

Smith e Meritt (2002, p.4) definem risco como “a possibilidade de algum resultado inesperado ocorra e interrompa o projeto” e a gestão de risco como “atividade de identificação e controle proativo de resultados inesperados do projeto”.

O objetivo do processo de gestão de risco é identificar, analisar, tratar e monitorar os riscos de forma contínua. O processo de gestão de risco é um processo contínuo para abordar sistematicamente os riscos ao longo de todo o ciclo de vida do sistema, aplicando-se aos riscos relacionados com a aquisição, desenvolvimento, manutenção e operação de um sistema (ISO 15288, 2008, p.30).

O PMBOK (2004, p. 237) considera a gestão de riscos como uma das principais áreas de conhecimento da gestão de projetos e afirma que os objetivos do gerenciamento de riscos do projeto devem ser o de “aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos adversos ao projeto”.

Como resultado do sucesso da implementação do processo de gestão de risco (ISO 15288, 2008, p.30), têm-se:

- a) O escopo da gestão de risco a ser realizada é determinado.
- b) As estratégias de gestão de risco são definidas e implementadas.
- c) Os riscos são identificados durante a realização do projeto.
- d) Os riscos são analisados, bem como a prioridade em que a aplicação de recursos para o tratamento desses riscos é determinada.
- e) Métricas de riscos são definidas e aplicadas, avaliações são realizadas periodicamente para determinar mudanças no status de risco e o andamento das atividades de tratamento.
- f) O tratamento adequado é levado para corrigir ou evitar o impacto do risco com base em sua prioridade, probabilidade e consequência.

2.2.2 Processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia

Mudanças no produto podem ocorrer impulsionadas por diferentes causas, tais como, otimização de projeto, otimização de processo, detecção de defeitos, reclamações, adaptações dos produtos a novas condições, redução de custo, etc. Todas as mudanças que resultam em atualizações das suas informações (desenhos, especificações técnicas, processos de fabricação) são conhecidas como mudanças de engenharia, mesmo que elas sejam realizadas por outras áreas da empresa (ROZENFELD et al., 2006, p. 456).

No desenvolvimento de produtos existem dois tipos de modificações: controladas e não controladas. As modificações não controladas tipicamente ocorrem no início do desenvolvimento, ou mesmo na fase de projeto conceitual, e apresentam um escopo limitado, estando limitadas a um grupo de pessoas que geralmente dividem o mesmo espaço físico. Já as modificações controladas ocorrem tipicamente após a informação ser armazenada e compartilhada por mais pessoas dentro da organização, de forma a garantir que todas as pessoas que utilizam essa informação trabalhem com a versão mais atual do dado, garantindo a consistência dos dados (ROZENFELD et al., 2006, p. 457).

Assim, o objetivo do processo de gerenciamento de mudanças em engenharia é estabelecer e manter a integridade de todas as saídas identificadas de um projeto ou processo e torná-los disponíveis para as partes envolvidas (ISO 15288, p.32, 2008).

Como resultado do sucesso da implementação do processo de mudanças de engenharia (ISO 15288, p.32, 2008), têm-se:

- a) Estratégia de gerenciamento de mudanças de engenharia é definida.
- b) Itens que necessitam de gerenciamento de mudanças de engenharia são definidos.

- c) As referências base de configuração são estabelecidas.
- d) Alterações nos itens sob gestão de mudanças de engenharia são controladas.
- e) Configuração de itens liberados é controlada.
- f) Status dos itens sob gestão de configuração é disponibilizado em todo o ciclo de vida.

De forma a ilustrar a importância desse processo no desenvolvimento de aeronaves, na definição da aeronave AIRBUS A380 têm-se por volta de 1 000 000 desenhos. A arquitetura funcional dos sistemas é dividida em cerca de 70 grandes sistemas, conduzindo a várias centenas de peças. Todas essas informações e dados devem ser geridos cuidadosamente para garantir a rastreabilidade completa de uma determinada aeronave. Este é o objetivo do gerenciamento de modificações em engenharia, o tamanho e a complexidade do produto fizeram com que a AIRBUS desde o início definisse a divisão de tarefas para o desenvolvimento da aeronave e produção em série. Caso a gestão de modificações em engenharia não fosse realizada o desencontro de informações levariam ao insucesso do produto (PARDESSUS, 2004, p.2).

2.2.3 Processo de Integração Técnica

O desenvolvimento de produtos complexos depende da garantia de que as especificações do produto estejam atualizadas e a certeza de que este produto atende da melhor forma possível aos requisitos. Para conseguir responder a essa demanda, o processo de desenvolvimento deve ser conduzido por times de conhecimentos específicos e a troca de informações entre diferentes grupos deve ser realizada de forma efetiva, pois muitas vezes as informações são interdependentes. Se considerarmos que no processo de desenvolvimento, todos devem se comunicar com todos, o número de comunicações irá ser o quadrado do número de pessoas envolvidas no projeto. Consequentemente, quando o projeto envolve muitas pessoas, a quantidade de comunicação adicional por se aumentar o número de participantes do projeto pode ser maior do que a real contribuição desses novos participantes ao projeto (NIGHTINGALE, 2000, p.918).

Segundo Lawrence e Lorsch (1967, p.47), o aumento da necessidade de diferenciação nas empresas faz com que o esforço de integração para o atingimento de um objetivo comum entre as áreas aumente. Segundo os autores, a diferenciação e a integração são antagônicas, sendo um grande desafio a coordenação de esforços entre os diferentes especialistas.

Conforme a empresa cresce e se diferencia a integração tende a ser mais fraca, de forma que a empresa deve criar mecanismos organizacionais para compensar ou recompor a integração.

O objetivo do processo de integração técnica é garantir que o sistema global está consistente com a sua arquitetura de montagem. Esse processo combina os elementos do sistema de forma a montar o todo, considerando o cumprimento dos requisitos global do sistema (ISO 15288, 2008, p.44).

Como resultado do sucesso da implementação do processo de integração técnica (ISO 15288, 2008, p.44), tem-se:

- a) estratégia de integração do sistema definida.
- b) restrições de integração que influenciam o cumprimento dos requisitos são identificadas.
- c) sistema final capaz de atender todos os requisitos especificados do projeto.
- d) não-conformidades, devido a integração são registradas.

No desenvolvimento de sistemas aeronáuticos, a integração técnica é fundamental e deve estar presente em todas as fases do desenvolvimento. A intensidade da integração deve aumentar conforme o aumento da maturidade do desenvolvimento, ou seja, conforme o desenvolvimento avança nas fases. A Figura 12 ilustra o modelo em T da integração técnica, esse modelo foi nomeado T por apresentar componentes horizontais e verticais. A haste vertical do T representa as tecnologias em detalhes, enquanto que a haste horizontal representa as interações, ou seja, a integração técnica (HAMMOND, 2001, p.21).

Figura 12-Modelo T da integração técnica

Fonte: Adaptado pela autora de Hammond (2001, p.21)

O modelo, quando aplicado no desenvolvimento aeronáutico, resulta em dois níveis na haste horizontal do T, sendo que o nível superior (sobre a linha pontilhada) é conhecido por ser o da integração formal, em que sistemas tem suas nomenclaturas comuns e a integração ocorre no nível macro. A ênfase deste nível de integração técnica é principalmente sobre os aspectos de projeto do sistema, ou seja, o foco é a gestão técnica e certificação global do sistema.

Nesse nível busca-se gerar um produto equilibrado, considerando seu desempenho, custo, confiabilidade, segurança, operacionalidade, prazo e nível de prontidão adequado da tecnologia utilizada. Essa integração técnica é conseguida por meio da comunicação e interação entre as partes, com o objetivo contínuo de convergir para um produto equilibrado via gestão e resolução de conflitos, assim tipicamente os gerentes de projeto e engenheiros chefes atuam nesse nível da integração. Todas as decisões relacionadas com o sistema e todos os conflitos técnicos relacionados com o sistema são, respectivamente, resolvidas neste nível. Além disso, todos os documentos do sistema relacionados com o processo de concepção são mantidos neste nível (HAMMOND, 2001, p.21).

O nível inferior de integração, isto é, abaixo da linha tracejada, é caracterizada pelos diferentes nomes do sistema entre diferentes tecnologias, pela integração informal, e pela integração em detalhes. A ênfase dessa integração técnica é primariamente entre tecnologias, considerando aspectos específicos de componentes que compõem o sistema. Os envolvidos no desenvolvimento dos componentes são os principais facilitadores desse tipo de integração técnica, sendo esta mais dependente das iniciativas pessoais (HAMMOND, 2001, p.21).

As hastes verticais do modelo em T denotam as atividades específicas de cada tecnologia/ disciplina. A profundidade de conhecimentos específicos das áreas é ilustrada no modelo e significa que os envolvidos na disciplina/ tecnologia devem conhecer o assunto em profundidade, considerando uma perspectiva de sistema. Esses devem se manter bem informados, conscientes e sensíveis às interações das suas tecnologias ao longo das diferentes fases do desenvolvimento do sistema (HAMMOND, 2001, p.21).

O objetivo da integração técnica é o de manter a adequação técnica de todo o projeto considerando todas as tecnologias/disciplinas e seus atributos específicos. De forma que a partir da integração horizontal entre as disciplinas se alcance um equilíbrio, migrando de atributos locais para as funções específicas do sistema. Essa integração é obtida por meio de um processo iterativo, se o equilíbrio não pode ser alcançado, então deve-se levar o conflito

para o nível superior do T para uma reavaliação dos requisitos ou alguma outra resolução do sistema (HAMMOND, 2001, p.21).

Segundo Hammond (2001, p.21), os fatores que permitem a integração técnica eficaz incluem: um sistema de comunicação eletrônica entre as tecnologias/disciplinas e entre diferentes projetos; a comunicação interna ao programa que divulgue dados de determinadas tecnologias/disciplinas (não substitui as interações pessoais); liderança que incentiva membros da equipe que promovem a interatividade; lideranças de projeto e demais envolvidos com visão geral do projeto, de forma a assegurar a integração correta; e feedback iterativo entre as atividades, conceitos e estratégias com a reavaliação dos requisitos, verificando a consistência, compatibilidade e convergência das informações.

Assim, considerando os objetivos apresentados do processo de integração técnica, pode-se verificar que o processo de gestão das propriedades de massa de uma aeronave se aproxima do processo de integração técnica uma vez que ambos os processos combinam os elementos do sistema de forma a montar o todo.

2.3 Gestão das Propriedades de Massa de aeronaves

2.3.1 Propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves

As propriedades de massa de uma aeronave são resultantes da análise de todos os componentes de uma aeronave e da integração dessas análises para formar uma imagem das propriedades de massa do sistema total. A partir da visão do todo, verifica-se o impacto no desempenho e na segurança de voo. Além disso, os dados de propriedades de massa são muitas vezes utilizados para estimar, prever e gerenciar os custos totais (SAWE, 2011, p.5).

Existem muitos casos documentados de programas cancelados devido ao crescente aumento de peso, pois o aumento de peso vazio nas fases de desenvolvimento afeta a capacidade da aeronave em levar carga paga e/ou quantidade de combustível, impactando diretamente seu desempenho (ANDREW, 2001, p.12). Andrew (2001) fez um estudo entre o desenvolvimento de quatro aeronaves diferentes, analisando o quanto foi o aumento de peso vazio percentual entre o valor inicialmente especificado na fase de Projeto Conceitual e o peso vazio na sua entrada em serviço. Nesse trabalho Andrew (2001, p.22,30,44,58) verificou que durante o desenvolvimento das aeronaves, todos os projetos tiveram dificuldade em controlar o peso, sendo que a variação média de peso vazio foi de 19% (menor valor foi 7% e o maior valor foi 36%).

A Figura 13 mostra a evolução de peso para um dos casos analisados por Andrew (2001, p.53). Nesse caso o controle de peso foi efetivo até o 20º mês, em que o valor de status do peso estava abaixo do peso vazio de projeto especificado. No entanto, após esse momento houve aumento do peso vazio, de maneira que a aeronave, no final do desenvolvimento, apresentou um peso 11% acima do inicial. É importante considerar que nesse desenvolvimento, o peso máximo de projeto da aeronave teve que ser aumentado quatro vezes, de forma a tentar garantir o desempenho da aeronave, aumentando o prazo e custo do desenvolvimento, ao adicionar ciclos adicionais de cargas e análise.

Figura 13- Exemplo da evolução do peso vazio no desenvolvimento

Fonte: Adaptado pela autora de Andrew (2001, p.53)

Nos programas em que se constatou um menor aumento de peso durante as fases de desenvolvimento, a empresa adotou uma estratégia associada ao peso conhecida como Perfil de Valor Planejado (PVP). Nessa estratégia o peso vazio meta da aeronave nas fases iniciais do desenvolvimento (Projeto Preliminar) deve ser 5% inferior ao calculado, sendo que se permite um crescimento de 2% nas fases de Projeto Detalhado, 1 % na fase de Produção e 2% durante as fases de teste, Figura 14. Assim, se em todas as fases o peso da aeronave atender a meta, o peso final da aeronave será o mesmo que inicialmente especificado. Essa estratégia foi desenvolvida após o estudo do crescimento de peso de várias aeronaves nas fases de desenvolvimento e se mostrou eficaz em novos desenvolvimentos (ANDREW, 2001, p.83).

Figura 14- Estratégia PVP de controle de Peso

Fonte: Adaptado pela autora de Andrew (2001, p.83)

Além disso, Andrew (2001, p.69) enfatiza que, no programa em que houve o menor aumento de peso durante as fases de desenvolvimento (7%), o gerente de projetos adotou a política do “uma libra entra, uma libra sai”, em que todos os envolvidos no projeto que adicionassem peso na aeronave deviam buscar outras oportunidades de redução para compensar esse aumento. Nesse projeto, a liderança acreditava que o peso era o reflexo da qualidade do desenvolvimento e compartilhava esse ideal com todos os envolvidos no desenvolvimento.

A incapacidade de controlar o crescimento de peso causa atrasos e estouros de orçamento de projetos de aeronaves e veículos espaciais. A negligência no desenvolvimento e na manutenção de um bom plano de gestão de peso resulta em um produto que não pode cumprir os requisitos e que, portanto, requer alterações antes de se tornar totalmente operacional. Modificações no produto em fases avançadas do desenvolvimento impactam diretamente os custos do projeto (SAWE, 2011, p.5).

A alteração de um centro de gravidade pode exigir mudanças para manter o desempenho das superfícies de controle. Essas mudanças tipicamente adicionam peso e assim a espiral continua. Sem uma boa gestão de propriedades de massa, essas espirais de mudança podem sair rapidamente do controle, podendo resultar em um produto que não cumpre as exigências do projeto. De forma geral, pode-se afirmar que uma boa gestão das propriedades

de massa proporciona que projetos sejam bem sucedidos e que atendam aos requisitos (SAWE, 2011, p.5).

A utilização de novas tecnologias em projetos em desenvolvimento é uma maneira de garantir o cumprimento dos requisitos. Hinrichsen e Bautista (2001, p.119) afirmam que, nas aeronaves da AIRBUS, a necessidade de redução de peso sempre foi o principal motivador para a substituição de alumínio padrão 2024 por ligas de alumínio avançadas, titânio ou compósito (fibra de vidro / fibra de carbono). Segundo os autores, a maturidade do uso de novos materiais ocorre de maneira progressiva entre os diferentes desenvolvimentos conduzidos pela empresa, sendo que no A380 o uso de material compósito já representa 16% do peso estrutural da aeronave (HINRICHSEN; BAUTISTA, 2001, p.120).

A SAWE (2011) explicita que o processo de gestão das propriedades de massa deve ser realizado pela engenharia de propriedades de massa com o auxílio das lideranças. Nesse trabalho será adotada uma abordagem diferente, será analisado o processo de gestão das propriedades de massa como um todo, buscando uma visão ampla do processo de negócio “desenvolvimento de produtos”. Dessa forma, nessa pesquisa não se entende que o processo deva estar limitado a um setor, as unidades organizacionais serão identificadas no modelo, de forma a contemplar diferentes áreas envolvidos no processo.

2.3.2 Definições Gerais de Propriedades de massa

2.3.2.1 Sistemas de Referência aeronave e Peso

As velocidades e acelerações de um veículo podem ser descritas em diferentes referenciais. O sistema de referência tipicamente utilizado para a definição das propriedades de massa de uma aeronave é o referencial vinculado à aeronave, nesse sistema de coordenadas a origem é chamada de DATUM e normalmente se situa antes do *radome*¹⁰, na parte frontal da aeronave, conforme Figura 15 (SAWE, 2002, p. 1.17).

¹⁰ *Radome* é o termo técnico para a estrutura do “nariz” da aeronave, ou seja, seção mais dianteira da aeronave. Tipicamente é nessa seção que se coloca a antena do radar meteorológico da aeronave.

Figura 15- Sistema de Coordenadas típico da aeronáutica

Fonte: Adaptado pela autora de SAWE (2002, p.1-18)

Segundo a SAWE (2002, p.1-18), os eixos do sistema de coordenada referencial são denominados por:

- Direção longitudinal do avião, ou seja, na linha central da aeronave em relação ao seu plano de simetria (eixo x);
- Direção lateral do avião, linha ao longo da envergadura das asas (eixo y);
- Direção da altura do avião, linha vertical em relação à fuselagem (eixo z).

A partir dessas coordenadas definem-se as propriedades de massa da aeronave, considerando que os momentos serão positivos quando as forças aplicadas estão no eixo x positivo (SAWE,2002, p.1-18).

A massa é uma grandeza escalar e é a medida da inércia de um corpo. Já o peso de um corpo é uma grandeza vetorial, é uma força, função da massa do corpo pela aceleração gravitacional. O peso de uma aeronave é obtido a partir do somatório do peso de todos os componentes que compõem a aeronave, sendo estes agrupados em peso estrutural, peso de sistemas e peso do motor (RAYMER, 1992, p. 396).

2.3.2.2 Centro de Gravidade (CG) e Balanceamento

A definição de centro de gravidade (CG) é atribuída a Arquimedes (287 a.c.), “o centro de gravidade de um corpo rígido é o ponto tal que, se imaginarmos o corpo suspenso por este ponto e com liberdade para girar em todos os sentidos ao redor deste ponto, o corpo assim sustentado permanecerá em repouso e preservará sua posição original, qualquer que seja a orientação do corpo em relação à Terra. ”

Outra definição muito utilizada na aeronáutica é a de Bruhn (1973, p.A3-1) em que o centro de gravidade é o ponto no qual toda a massa pode ser concentrada, de forma que o

momento em relação a um eixo seja o mesmo que quando distribuída na sua forma natural. Dessa maneira, o centro de gravidade de um conjunto de elementos pode ser definido pela Equação 2.

$$x(CG) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{M} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

x= distância entre o ponto e a origem

m= massa pontual

M= massa total

n= número de elementos

Já o balanceamento refere-se ao processo de determinação do centro de gravidade de uma aeronave de forma a garantir que este CG não irá ultrapassar o centro de gravidade certificado, durante qualquer momento de sua operação. Este processo é normalmente realizado usando algum tipo de régua, gráfico de balanceamento que soma os momentos produzidos pelos itens que deverão estar a bordo do avião no momento da operação (SAWE,2002, p.58).

2.3.2.3 Momentos e Produtos de Inércia

O termo momento de inércia é aplicado na mecânica para expressar a resistência que um corpo apresenta a um determinado movimento de rotação, num determinado eixo (BRUHN, 1973, p. A3-1).

Momentos de inércia sempre apresentam valores positivos e devem ser medidos em relação a cada um dos eixos geométricos, definido pela Equação 3 (BRUHN, 1973, p.A3-2).

$$I_{xx} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i^2 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

I= Momento de inércia

m= massa pontual

x= distância do ponto em relação ao eixo de rotação

n= número de elementos

A SAWE (1995, p.8) recomenda no seu manual de boas práticas que sejam utilizadas as seguintes nomenclaturas para os momentos de inércia:

- I_{xx} é o momento de inércia em torno do eixo X
- I_{yy} é o momento de inércia em torno do eixo Y
- I_{zz} é o momento de inércia em torno do eixo Z

Já o produto de inércia mede a simetria de um corpo num determinado plano, quando o produto de inércia tem valor zero, o elemento é simétrico no plano de simetria. Quanto mais o valor do produto de inércia se afasta de zero, mais assimétrico é o corpo. Produtos de inércia podem ter valores positivos ou negativos. Os produtos de inércia são definidos pela Equação 4 (BRUHN, 1973, p. A3-9).

$$I_{xy} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot x \cdot y$$

Equação 4

Onde:

I= Momento de inércia

m= massa pontual

x= distância do ponto em relação ao eixo x

y= distância do ponto em relação ao eixo y

n= número de elementos

Símbolos recomendados para produto de inércia (SAWE, 1995, p.8) são:

- I_{xz} é o produto de inércia no plano XZ
- I_{xy} é o produto de inércia no plano XY
- I_{zy} é o produto de inércia no plano ZY

No desenvolvimento de uma aeronave, os momentos e produtos de inércia são dados de entrada nas equações que descrevem a dinâmica de voo e na definição das cargas atuantes na aeronave. É essencial lembrar que o momento angular de um corpo girando em torno de um eixo fixo é função de seu momento de inércia e de sua velocidade angular (2º Lei de Newton).

2.3.2.4 Pesos de Projeto de Aeronaves

Os pesos máximos permitidos para uma aeronave são determinados por considerações de projeto, uma consideração importante na definição desses pesos é a distribuição da carga na aeronave, de maneira que o carregamento da aeronave seja inferior ao máximo permitido, e que sua distribuição de massa atenda aos limites de projeto especificados. É essencial a definição dos pesos de projetos já nas fases iniciais do desenvolvimento, pois são esses pesos que auxiliarão a construção do envelope de peso e CG da aeronave (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION-FAA, 2007, p.1-2).

Os pesos de referência da aeronave são definidos durante as fases de desenvolvimento, esses pesos são conhecidos como pesos de projeto, e é a partir deles que o desempenho da aeronave é avaliado e que as cargas são dimensionadas (RAYMER, 1992, p.11). A Figura 16 mostra de forma esquemática a composição dos pesos de projeto.

Figura 16- Definição dos Pesos de Projeto

Fonte: Adaptado pela autora de FAA (2007)

O Peso Vazio Equipado (PVE) ou *Equipped Empty Weight (EEW)* é a somatória do peso da estrutura, do grupo de propulsão, instrumentos, comandos, sistema hidráulico, elétrico, eletrônico, anemométrico, oxigênio, ar condicionado, degelo e anti-gelo, pressurização, acabamentos de interior, opcionais instalados, equipamentos de emergência fixos e portáteis, e todos os demais itens que são parte integrante da configuração da aeronave. É essencialmente um peso seco, incluindo apenas os fluidos contidos em sistemas fechados como garrafas de sistema de extinção de fogo, oxigênio, fluido de amortecedores dos trens de pouso etc. O PVE não inclui os itens opcionais e pode ser definido

preliminarmente através da soma dos pesos estimados de cada grupo de estrutura, sistemas e interior que o compõem (RAYMER, 1992, p.12).

O Peso Vazio Básico (PVB) ou *Basic Empty Weight* (BEW) é composto pelo PVE acrescido dos fluidos operacionais, ou seja, combustível não utilizável, óleo motor / unidade auxiliar de energia (APU) e fluido hidráulico (FAA, 2007, p.G-2).

Já o Peso Básico Operacional (PBO) ou *Basic Operating Weight* (BOW) é o Peso Vazio Básico da aeronave acrescentado dos itens móveis que não se alteram de forma significativa durante uma missão. Tais itens incluem tripulação, bagagem de tripulação, kit de navegação na cabine de piloto (manuais de voo, cartas de navegação), serviço de bordo (bebida e alimentação), líquidos de sanitários, água potável, material de apoio e assistência ao passageiro, além de equipamentos de emergência. O BOW corresponde ao peso da aeronave pronta para operar, mas sem carga paga e combustível utilizável (FAA, 2007, p.1-2).

O Peso Máximo de Decolagem ou *Maximum Take-off Weight* (MTOW) é o peso máximo permitido para aeronave no início da decolagem. Já o Peso Máximo de Rampa ou *Maximum Ramp Weight* (MRW) é o peso máximo permitido para táxi e manobra no solo. O MRW é o Peso Máximo de Decolagem (MTOW) mais o peso de combustível necessário para o táxi até o início da decolagem. É a máxima carga estática suportada pelo trem de pouso (FAA, 2007, p.G-4).

O Peso Máximo de Pouso ou *Maximum Landing Weight* (MLW) é o peso máximo permitido para a aeronave no momento do pouso. Este valor é limitado pela máxima carga dinâmica que o trem de pouso é capaz de suportar. Algumas aeronaves são equipadas com sistema de alijamento de combustível para reduzir o peso do avião até o limite permitido no pouso em situações de emergência (FAA, 2007, p.G-4).

O Peso Máximo Zero Combustível ou *Maximum Zero Fuel Weight* (MZFW) é o peso máximo permitido para a aeronave sem combustível nas asas. Esta limitação existe porque o peso do combustível na asa ajuda a compensar a força de sustentação durante o voo. Se não existir combustível na asa, a sustentação pode provocar um momento fletor na raiz maior que o admissível, podendo até existir o rompimento da asa. Além disso, a carga paga máxima permitida para ser transportada pela aeronave é a diferença entre o *Maximum Zero Fuel Weight* (MZFW) e o *Basic Operating Weight* (BOW) (FAA, 2007, p.G-4).

2.3.2.5 Envelope de Peso e CG

O Envelope de Peso x CG (Voo) representa os limites de Peso e CG dentro dos quais a aeronave pode operar na decolagem, voo e pouso, o CG da aeronave varia durante o voo

devido ao consumo de combustível, extensão e retração de trem de pouso (RAYMER, 1992, p.397). Poderão ser necessárias extensões ou cortes no envelope para condições de voo, para cobrir a variação de CG causada pela movimentação de passageiros e atendentes, movimentação de carga, consumo de combustível (FAA, 2005, p.8).

No Envelope de Peso x CG estão registrados todos os Pesos de Projeto aplicáveis para a aeronave e para cada modelo de aeronave existe um envelope de Peso x CG, que deve atender aos seguintes requisitos de certificação americana (FEDERAL AVIATION REGULATION-FAR, PART 25, 2014):

25.23 – Limites de Distribuição de Cargas

25.25 – Limites de Peso

25.27 – Limites de Centro de Gravidade

Para a construção do envelope de Peso e CG deve-se considerar critérios aerodinâmicos e de peso e balanceamento. Do ponto de vista aerodinâmico, os limites são definidos por critérios de força na parte dianteira e por critérios de estabilidade e controle na parte traseira. De forma geral, o movimento do CG de uma aeronave deve ser mantido dentro de certos limites, sendo que tais limites são geralmente determinados por exigências de controle da aeronave, que tende a ficar mais estável quando seu CG é movido para frente e menos estável quando seu CG é movido para trás. Já do ponto de vista de peso e balanceamento, os limites são definidos com base nos critérios de distribuição de massa da carga paga e combustível, para as condições mais dianteiras e mais traseiras originadas por essas distribuições (NIU, 1988, p.591).

É importante considerar que as cargas, à quais a aeronave é submetida são obtidas com base nos pontos extremos da envoltória de Peso x CG, e, portanto, tanto os pesos máximos como os limites dianteiro e traseiro de CG definem os limites estruturais da aeronave. Para a definição adequada do Envelope de Peso x CG, os critérios aerodinâmicos e de balanceamento devem estar cobertos e ser convergentes (RAYMER, 1992, p.397).

Assim, os limites dianteiro e traseiro definidos do ponto de vista aerodinâmico devem estar próximos aos limites dianteiro e traseiro definidos do ponto de vista de balanceamento. Recomenda-se, também, que os limites definidos por balanceamento sejam cobertos pelos limites aerodinâmicos. Caso isso não ocorra, deve haver mudança de arranjo interno e realocação de equipamentos da aeronave para alterar o CG, caso possível, e / ou deve-se limitar o CG via procedimentos de carregamento da carga paga (limitações operacionais). No entanto, caso não resolva, deve-se movimentar a asa e redimensionar as empenagens e superfícies de controle (RAYMER, 1992, p.23).

O operador deve carregar sua aeronave com as várias combinações de carga paga (passageiros, bagagem, carga) e combustível, assegurando que o avião tenha sempre seu peso e CG dentro dos limites permitidos (FAA, 2005, p.1). É sempre desejável que a aeronave possa operar dentro do Envelope de Peso x CG sem o uso de procedimentos especiais ou lastros.

A posição longitudinal do CG tipicamente é dada em termos percentuais da corda média aerodinâmica, de modo que seja possível se comparar as envoltórias de diferentes aeronaves (NIU, 1988, p.593). A Figura 17 exemplifica um envelope de Peso e CG.

Figura 17-Exemplo envelope de Peso x CG, os limites da envoltória estão definidos pela linha preta. A linha pontilhada vermelha indica a condição momentânea da aeronave.

Fonte: Adaptado pela autora de FAA (2007, p.4-6)

2.3.3 Modelos de Referência para a gestão de propriedades de massa de aeronaves

Foram encontradas na bibliografia duas propostas de modelo para a gestão das propriedades de massa no desenvolvimento do produto. Um dos modelos foi proposto pela Sociedade de Engenheiros de Peso (SAWE, 2004) e está descrito na seção 2.3.3.1, enquanto a outra proposta é de Dahm (2007), apresentado em um artigo de um congresso organizado pela própria SAWE (seção 2.3.3.2).

2.3.3.1 Proposta da Society of Allied Weight Engineering (SAWE)

A Sociedade de Engenheiros Peso tem melhores práticas estruturadas em formato de manuais (SAWE, 2004), esses documentos foram preparados por engenheiros de propriedades de massa dos serviços militares dos EUA e da indústria aeronáutica. Tais documentos apresentam práticas de engenharia para o gerenciamento e controle das propriedades de massa de aeronaves que permitirão atender às necessidades presentes e futuras da tecnologia.

Esses documentos foram estruturados de forma a atender aos seguintes princípios:

- Manter a indústria informada da prática atual recomendado para gestão de propriedades de massa e controle de aeronaves militares;
- Garantir equilíbrio entre as necessidades do governo e da indústria;
- Estruturar o processo de forma a ajudar a indústria a estabelecer os “como’s” do processo de negócio;
- Enfatizar a natureza voluntária das práticas recomendadas;
- Adotar o "tom especificação" usado pela maioria das sociedades profissionais, de modo que as adaptações sejam realizadas para estabelecer sistemas, planos ou processos para o cumprimento dos objetivos do programa específico e / ou exigências contratuais;
- Utilizar práticas aplicáveis;
- Ter em mente o caminho de como estamos fazendo negócio, de como deveríamos estar fazendo negócio em um ambiente comercial.

Segundo a SAWE (2004, p.4), o processo de controle e gerenciamento das propriedades de massa é um processo iterativo que deve ser útil para apoiar a análise de propriedades de massa em detalhe (nível de sistema) e ainda ser robusto o suficiente para atender as demandas do veículo (nível do produto). Todas as atividades que compõem o processo foram organizadas dentro de oito sub-processos de engenharia, quatro dos sub-processos foram colocados na categoria de “Gerenciamento” e quatro estão na categoria “Técnico”, Figura 18.

Figura 18-Modelo de Referência SAWE

Fonte: Adaptado pela autora de SAWE (2004, p.C-3)

Na categoria “Gerenciamento” foram colocados os sub-processos: planejar esforço técnico associado às propriedades de massa, gerir riscos associado às propriedades de massa, medir e avaliar propriedades de massa e controlar *baseline* das propriedades de massa. Já na categoria “Técnico” estão os seguintes sub-processos: analisar requisitos de propriedades de massa, definir candidatos à arquitetura, otimizar e avaliar as alternativas de propriedades de massa e verificar (analisar) propriedades de massa.

O sub-processo planejar esforço técnico associado às propriedades de massa deve garantir que o planejamento geral para alcançar o objetivo do processo seja realizado. Deve-se começar pela definição do escopo e do esforço do time de propriedades de massa. Programações detalhadas, cobrindo completamente as tarefas do time de propriedades de massa, são desenvolvidas ou atualizadas com base no escopo atual. O documento de plano de controle dos dados de propriedades de massa e plano de gestão é preparado ou revisado de forma a descrever todas as ações que serão tomadas para cumprir com êxito o objetivo, incluindo, mas não restrito a planos de controle de peso dos fornecedores, planos de melhoria de peso e planos de verificação das propriedades de massa. Além disso, nesse sub-processo, devem ser tomadas medidas documentadas em planos de ação corretiva caso seja identificada uma tendência adversa.

Já o sub-processo gerir riscos associados às propriedades de massa deve garantir que as incertezas que representam riscos para as propriedades de massa sejam identificadas e tratadas com eficácia. Tal sub-processo começa a partir da compreensão e identificação das áreas que apresentam risco de desviar dos valores de propriedades de massa previstos inicialmente, em seguida, avaliação desses impactos deve ser realizada. Tais riscos são priorizados / re-priorizados e estratégias de mitigação são desenvolvidas, revisadas e documentadas. As estratégias são revistas e aprovadas pela gestão do programa e devem ser incorporadas aos planos de propriedades de massa.

Medir e avaliar propriedades de massa é o sub-processo que fornece informações oportunas e precisas para o programa, de forma a garantir que o foco no peso seja mantido durante todo o desenvolvimento. Tal sub-processo prepara relatórios técnicos para medir o desempenho e faz avaliações do status atual, de forma a prever os resultados futuros. É essencial que os dados apresentados estejam organizados em um banco de dados de propriedades de massa. Uma vez que os dados foram analisados e aprovados, estes devem ser compartilhados com o cliente. Se os dados não forem aprovados, planos de ação corretiva devem ser desenvolvidos.

O último sub-processo da categoria “Gerenciamento” é controlar a referência das propriedades de massa. Tal sub-processo monitora com precisão e registra os resultados de todas as análises e estudos comerciais. Deve-se iniciar esse sub-processo pelo estabelecimento da referência para medir a evolução dos dados. A partir da definição dessa linha base, um banco de dados de propriedades de massa é então inicializado, de forma que todas as propriedades de massa ou alterações nas propriedades de massa identificadas durante as tarefas de verificação sejam documentadas e adicionadas às bases históricas.

O sub-processo analisar requisitos de propriedades de massa garante que a configuração definida para a aeronave atende completamente a todos os requisitos, garantindo uma redução do risco de crescimento de peso. Esse sub-processo deve começar com a definição de todos os objetivos e condições que influenciam as propriedades de massa. Caso seja necessário, deve-se identificar e desenvolver novas técnicas analíticas para facilitar as análises. Conceitos de configuração alternativa, se houverem, devem ser avaliados e o conceito preferido selecionado pela gestão do programa. Uma vez que a configuração preferida tenha sido identificada, o peso que não deve ser excedido deve ser definido. Deve-se determinar metas de pesos globais e as massas preliminares devem ser distribuídas para apoiar a análise estrutural.

Definir candidatos a arquiteturas (alocação de requisitos) é o sub-processo em que se aloca pesos metas para cada parte na aeronave. Devem-se aplicar requisitos associados às propriedades de massa para cada componente, de forma a garantir que a integral das metas dos componentes atenda ao peso desejado para o produto. A base para a derivação de peso é o peso que não deve ser excedido (definido no sub-processos anterior), este valor deve ser revisto de forma que a alocação seja consistente. Metas de peso são alocadas e revisadas junto às equipes, caso necessário, ajustes são realizados.

Já o sub-processo otimizar e avaliar alternativas de propriedades de massa tem como objetivo geral ter o controle de peso e a potencial redução de peso. Estudos são realizados para encontrar potenciais mudanças de projeto que apresentem soluções mais leves de peso. Alternativas de projetos devem ser identificadas, os impactos devem ser estimados e os riscos avaliados. A alternativa preferida deve ser selecionada pelo gerenciamento do programa e os resultados de cada estudo devem ser documentados.

O último sub-processo: verificar (analisar) propriedades de massa assegura que as propriedades de massa da aeronave sejam continuamente analisadas e atualizadas, contemplando as informações mais atuais e precisas. A análise deve ser conduzida considerando as etapas de maturidade da informação de peso, à medida que o projeto progride, o peso vai refletir cada vez maiores percentuais de pesos calculados, CGS e inércias e pesos eventualmente reais. Toda esta informação é utilizada para procurar padrões e tendências e projetar os resultados futuros para peças, componentes, peso vazio, e para várias combinações de carga.

De forma geral, é possível verificar que o modelo de referência proposto pela SAWE (2004) aborda apenas as atividades e entregas, sem referência às fases de desenvolvimento do produto. Além disso, não são identificados de forma explícita os métodos, as ferramentas, organização e metas.

Por fim, pode-se verificar que a SAWE (2004) considera que o processo de gestão das propriedades de massa deve ser realizado pela engenharia de propriedades de massa com o auxílio das lideranças. Nesse trabalho, será analisado o processo de gestão das propriedades de massa como um todo, buscando uma visão do processo. Dessa forma, nessa pesquisa não se entende que o processo deve estar limitado a um setor. As unidades organizacionais serão identificadas, de forma a contemplar diferentes setores envolvidos no processo.

2.3.3.2 Proposta Dahm (2007)

Processos de desenvolvimento de aeronaves são muito complexos, especialmente nas fases iniciais do projeto, devido às incertezas dos requisitos de projeto e à falta de conhecimento das tecnologias a serem utilizadas. Dessa forma, Dahm (2007, p.3) afirma que é necessária a elaboração de processos de peso bem estruturados e transparentes contendo metodologias claras e funções peso e custo inter-relacionados, bem como os papéis designados.

Considerando essa necessidade de estruturação do processo, Dahm (2007, p.5) afirma que são necessárias atividades de gerenciamento de peso específicas em cada fase de desenvolvimento, com diferentes características e comportamentos. Além disso, ele assume que existem quatro fases no desenvolvimento de um veículo: definição, planejamento, realização e complementação, sendo que no caso do desenvolvimento de aeronaves as fases que Dahm (2007, p.5) utiliza são projeto preliminar, especificação, desenvolvimento e ensaio em voo e produção (Figura 19).

Figura 19-Fases do desenvolvimento

Fonte: Adaptado pela autora de Dahm (2007, p.5)

Assim, o modelo proposto por Dahm (2007, p.6) para o gerenciamento das propriedades de massa de um veículo ao longo de desenvolvimento é o explicitado na Figura 20. Nesse modelo, o processo é entendido como sendo composto de quatro fases, em que foram identificadas as principais entregas.

Figura 20-Modelo de Gestão de peso

Fonte: Adaptado pela autora de Dahm (2007, p.6)

No modelo proposto por Dahm (2007, p.6) é possível notar que as entregas são iterativas (explicitadas pelas linhas pontilhadas em azul entre as fases) e que existe uma evolução da maturidade das informações ao longo do tempo. Por exemplo, a entrega Estimativa de Peso prevista para a fase de Definição, passa a ser Cálculo de Peso na fase de Planejamento e por fim, torna-se Cálculo Final de Peso na fase de Realização.

Esse modelo está contemplando principalmente as entregas por fase, porém ele também considera aspectos de unidade organizacional, quando explicita a entrega “Força tarefa de peso”. Além disso, de forma implícita ele apresenta as metas por fase, ao identificar essa evolução da maturidade da informação ao longo do tempo, ou seja, ao identificar que o cálculo passará de estimado para calculado presume-se que a concepção do produto já esteja definida.

Considerando as ferramentas, Dahm (2007, p.16) afirma que para garantir as entregas, conforme modelo proposto, deve-se utilizar ferramentas computacionais estruturadas em pelo menos quatro partes principais: Gerenciamento de Peso, Gestão de Dados, Contabilidade de Peso e Geração de relatórios. No entanto, o autor não explicitou quais módulos seriam

utilizados para cada entrega, além disso, o autor não deixa claro se o uso dessa ferramenta seria suficiente para as entregas. A Figura 21 descreve as principais funcionalidades desejadas para as ferramentas.

Figura 21-Ferramenta proposta por Dahm (2007, p.16)

Fonte: Adaptado pela autora de Dahm (2007, p.16)

De forma geral, é possível verificar ainda que o modelo proposto por Dahm (2007) não faz referência a duas categorias propostas pela SAWE (2014), ou seja, “Gerenciamento” e “Técnico”. Tal que as entregas propostas por Dahm (2007) estão contidas em categorias diferentes pela SAWE (2004), além disso, Dahm (2007) deixa implícitas as unidades organizacionais e metas, e não aborda as atividades. As ferramentas são abordadas pelo autor de maneira parcial, sem que haja detalhes de sua efetiva contribuição para as entregas.

Outro ponto a ser ressaltado no trabalho de Dahm (2007) é que as fases do desenvolvimento adotadas no modelo proposto não contemplam todas as fases do desenvolvimento de uma aeronave, já que a fase de suporte ao cliente não é considerada. Nessa pesquisa, entende-se que o desenvolvimento de uma aeronave contempla também o pós-desenvolvimento, momento em que o acompanhamento sistemático e a documentação das melhorias dos produtos deve ser realizada até que haja a retirada sistemática do produto do

mercado e posterior avaliação de todo o ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006, p.66).

2.3.4 Dimensões do processo de gestão de propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves

Rozenfeld et al. (2006, p. 40) definem processos de negócio como sendo processos que compreendem um conjunto de atividades organizadas entre si visando produzir um bem ou um serviço para um tipo específico de cliente. O conceito de processo de negócio substitui a clássica visão funcional por uma visão horizontal, em que a unidade de análise passa a ser uma cadeia de atividades / eventos (SILVA; ROZENFELD, 2003; p.9).

Segundo Silva e Rozenfeld (2003, p.7) o processo de desenvolvimento do produto é constituído por quatro dimensões, que devem trabalhar de forma integrada: a Estratégia (que envolve gestão do portfólio, avaliação do desempenho, relações interfuncionais e parcerias com fornecedores); a Organização (envolvendo a estrutura organizacional e a liderança, a cultura do trabalho em grupo e as condições de aprendizagem); as Atividades / Informações (o conjunto de atividades operacionais específicas executadas no processo de DP e as correspondentes informações manuseadas); e Recursos (as técnicas, métodos, ferramentas e sistemas utilizados para apoiar o desenvolvimento do produto).

As informações do processo de gestão das propriedades de massa identificadas na revisão bibliográfica serão classificadas nas dimensões propostas por Silva e Rozenfeld (2003). A Figura 22 ilustra as dimensões do processo de negócio aplicadas ao processo de gestão das propriedades de massa.

Figura 22- Dimensões do processo de gestão das propriedades de massa

Fonte: Adaptado pela autora das dimensões de um processo de negócio (Silva; Rozenfeld, 2003, p.9)

A dimensão atividades / entregas visa representar quais são as atividades associadas à gestão das propriedades e quais são suas principais entregas. Além disso, essa dimensão busca identificar as relações de entradas e saídas das atividades de propriedades de massa, buscando suas relações com outras tecnologias / disciplinas do processo de desenvolvimento de aeronaves.

A dimensão organização / papéis e responsabilidades busca identificar os fatores organizacionais relacionados com a gestão das propriedades de massa. Busca-se explicitar as funções dos participantes, bem como seus papéis e responsabilidades.

Já a dimensão recursos / ferramentas engloba as técnicas, métodos e ferramentas utilizadas para a gestão das propriedades de massa. Essa dimensão é considerada como suporte para as demais dimensões, principalmente para as atividades / entregas.

Por fim, a dimensão estratégia e metas diz respeito às estratégias e metas que devem estar presentes na gestão das propriedades de massa, considerando as estratégias da empresa e o atingimento dos requisitos do produto.

3 Metodologia

Nesse capítulo são apresentados os métodos de pesquisa (seção 3.1) e as fases consideradas no desenvolvimento desse trabalho (seção 3.2).

3.1 Métodos de Pesquisa

O intuito principal de uma pesquisa pode ser definido como a geração e desenvolvimento de novos conhecimentos, sendo que o valor da pesquisa está relacionado com a contribuição que esta proporciona ao conhecimento pré-existente. Dessa forma, a natureza da pesquisa científica varia conforme a maturidade do conhecimento já existente. (KARLSSON, 2009, p.37).

A expansão do conhecimento e o aumento de maturidade ocorrem quando contribuições ao conhecimento já existentes são realizadas, de forma que a base de conhecimento torna-se mais sólida e gradativamente novos padrões são observados. O desenvolvimento do conhecimento em uma área pode passar por diferentes fases, dependendo do volume e maturidade do conhecimento existente. Quando não existe uma base teórica desenvolvida, o estudo deverá ter caráter exploratório. Assim, pesquisas conduzidas em um novo campo sempre serão exploratórias. Após vários trabalhos exploratórios, de diferentes perspectivas e abordagens, uma base de conhecimento em um campo se consolida. Nesse momento, uma base de conhecimento mais completa da área é criada, a partir de estudos descritivos. Pesquisa descritiva geralmente tem como resultado a identificação de elementos, padrões, sistemas e estruturas na área (KARLSSON, 2009, p.17).

Segundo Karlsson (2009, p. 18) uma boa pesquisa descritiva será a base para a pesquisa analítica. A pesquisa analítica deve buscar correlações entre variáveis e identificar relações de causa e efeito. Eventualmente a pesquisa analítica poderá gerar modelos normativos e gerar recomendações. Assim, explorar uma nova área, construir um modelo analítico, identificar relações de causa e efeito, e eventualmente gerar recomendações pode não ser possível quando o escopo da pesquisa é limitado. Pesquisas devem tipicamente explorar, antes de serem capaz de descrever um campo de conhecimento, conhecer os elementos antes de entender suas relações e conhecer essas relações antes de prever os efeitos (KARLSSON, 2009, p.18).

Assim, considerando a evolução do conhecimento de Karlsson (2009) é possível classificar a presente pesquisa como descritiva, sendo que esta visa descrever o processo de

gestão das propriedades de massa no desenvolvimento de aeronaves, de forma a identificar os elementos principais desse processo. Além disso, esta pesquisa está inserida no contexto da área de gestão de operações, que como característica principal deve gerar conhecimento tanto para a comunidade acadêmica quanto para a comunidade profissional, além de procurar resolver um problema encontrado no mundo real, caracterizando-a como pesquisa de natureza aplicada (KARLSSON, 2009, p.7).

Em geral, para pesquisas de natureza aplicada em que se deseja responder questões do tipo "como" e "por que", os estudos de caso são a estratégia principal a ser utilizada. Além disso, os estudos de caso devem ser utilizados quando o investigador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco está em um fenômeno contemporâneo dentro de algum contexto da vida real (YIN, 2003, p.9).

Yin (2003, p.14) afirma que a investigação de estudo de caso permite lidar com situações tecnicamente distintivas em que haverá muitas variáveis de interesse. Além disso, ele afirma que o estudo de caso depende de múltiplas fontes de evidência, com os dados precisando convergir a partir da triangulação, e que é essencial o desenvolvimento prévio de proposições teóricas para guiar a coleta de dados e sua análise. Conforme proposto por Yin (2003, p.46) as atividades associadas aos estudos de caso devem ser conduzidas em três fases: definição e construção do protocolo de estudo, coleta de dados e levantamento das informações, conclusão do estudo e documentação.

A construção do protocolo de estudo de caso tem como objetivo guiar o estudo do processo de gestão de propriedades de massa, auxiliando na condução do estudo de caso. Segundo Yin (2003, p.59), um protocolo de estudo de caso deve conter uma visão geral do projeto de estudo de caso, procedimentos de campo, questões de estudo de caso de forma a ser um guia para o relatório de estudo de caso. O desenvolvimento do estudo de caso deve seguir uma sequência lógica que liga os dados empíricos às questões de investigação do estudo, e que possibilita a análise e obtenção das conclusões (YIN, 2003; p.20).

Para a construção do estudo de caso, cinco componentes de um projeto de pesquisa são especialmente importantes: a pergunta principal do estudo, as proposições teóricas presentes no escopo do estudo, a unidade de análise do estudo, definição da lógica entre a captura dos dados e as proposições e os critérios de interpretação dos resultados (YIN, 2003; p.20).

Além disso, de forma a garantir uma boa aplicação dos estudos de casos, a análise dos dados deve ser realizada considerando a triangulação, ou seja, deve-se aproveitar a oportunidade dos estudos de caso para utilizar diferentes fontes de evidência. Yin (2003, p.97)

encoraja que seja realizada a triangulação entre diferentes fontes de dados, propondo que o estudo de caso seja conduzido a partir da avaliação de diferentes fontes que corroboram o mesmo fenômeno. A partir da triangulação dos dados, os potenciais problemas de validade de construção do estudo de caso também podem ser identificados, pois as múltiplas fontes de evidências fornecem essencialmente várias medidas do mesmo fenômeno.

Considerando a metodologia geral do trabalho, as fases da pesquisa serão detalhadas na seção 3.2.

3.2 Fases da Pesquisa

As fases da pesquisa e as atividades definidas para este trabalho estão representadas na Figura 23. As atividades da pesquisa foram posicionadas em duas fases principais: clarificação da pesquisa e estudo descritivo. Buscou-se indicar a sequência lógica entre as atividades por setas e a correlação entre as fases estão identificadas pela sequência numérica das atividades. Nas próximas seções as atividades de cada fase são apresentadas.

Figura 23- Fases da pesquisa e atividades

3.2.1 Fase 1- Clarificação da Pesquisa

A Fase 1- Clarificação da Pesquisa tem como principal finalidade identificar claramente os objetivos que a pesquisa visa atingir, identificando o foco principal da pesquisa e a problemática que se deseja resolver. Além disso, nessa fase é esperado que se faça uma representação inicial da situação existente e da situação buscada. Assim, deve-se nessa fase identificar os principais fatores relacionados ao problema que se busca solucionar e identificar aqueles que são críticos para o sucesso da pesquisa (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009, p.15).

Nessa pesquisa, definiu-se que a principal atividade dessa fase é **1.1 Definir objetivos e métodos**. Nessa atividade deve-se descrever a situação existente e a situação desejada, além de estabelecer o contexto, objetivo, e justificativa do projeto (Capítulo 1). A definição da

abordagem metodológica faz parte da seção 3.1 apresentada. As atividades da pesquisa estão apresentadas na Figura 23 e estão detalhadas na seção 3.2.2 a seguir.

3.2.2 Fase 2 - Estudo Descritivo

A Fase 2- Estudo Descritivo deve garantir ao pesquisador um melhor entendimento da situação problema, a partir do detalhamento dos fatores previamente identificados. É nessa fase que se realiza a revisão bibliográfica e análise de estudos empíricos (BLESSING; CHAKRABARTI,2009, p.16).

Nessa pesquisa essa é a fase com mais atividades, uma vez que esta é considerada uma pesquisa descritiva. Assim, para essa pesquisa foram identificadas as seguintes atividades nessa fase: **2.1 Realizar revisão bibliográfica, 2.2 Elaborar Síntese (sem formalismo), 2.3 Realizar Estudo de Caso, 2.4 Analisar Resultados e 2.5 Validar Resultados.**

Para a atividade **2.1 Realizar revisão bibliográfica** foram definidos três assuntos principais para direcionar a revisão da bibliografia: desenvolvimento de produtos aeronáuticos, grupos de processos na engenharia de sistemas e gestão das propriedades de massa de aeronaves. O primeiro tema procura compreender os conceitos e principais elementos associados ao processo de desenvolvimento de aeronaves, com objetivo de definir as interações e relações da gestão das propriedades de massa com as diferentes fases do processo de desenvolvimento de aeronaves. Já o segundo tema tem como intuito entender os principais processos da engenharia de sistemas, de forma a identificar os principais processos e suas interações com a gestão das propriedades de massa. Por fim, o terceiro tema busca definir os conceitos teóricos que devem ser considerados na gestão das propriedades de massa de aeronaves, verificando os padrões apresentados na literatura e propostos por associações. Os resultados dessa atividade são apresentados na fundamentação teórica (Capítulo 2).

Na atividade **2.2 Elaborar Síntese (sem formalismo)** primeiramente deve-se definir as dimensões da síntese com base nas dimensões apresentadas na seção 2.3.4, que são: atividades / entregas, organização / papéis e responsabilidades, ferramentas / recursos, e metas / estratégias. Para cada dimensão são definidas características do processo com base na análise de conteúdo das referências bibliográficas analisadas. Durante a leitura são destacadas características, que devem ser analisadas de forma cruzada com outras referências (principalmente as normas citadas). Em seguida, cada característica dentro de cada uma das dimensões é relacionada de forma gráfica ao processo de desenvolvimento de aeronaves adotado do Torenbeek (1982, p.4). Para complementar a síntese, cada característica é

detalhada de acordo com o método proposto por Echeveste et al (2007, p.6). As variáveis das características são definidas com base neste método, assim como os possíveis valores das variáveis e fazem parte do questionário a ser utilizado no estudo de caso (cuja confecção está descrita no próximo parágrafo). Os resultados dessa atividade são apresentados nos resultados (Capítulo 4.1).

Já a atividade **2.3 Realizar Estudo de Caso** é composta de três subatividades: definição e construção do protocolo de estudo, coleta de dados e levantamento das informações e documentação. O protocolo de estudo de caso foi construído a partir da síntese realizada na atividade anterior e estruturado com o intuito de verificar se as melhores práticas propostas pela síntese são aplicadas na empresa. As evidências utilizadas nesse estudo de caso são provenientes de diferentes fontes de dados: análise documental, registros históricos, entrevistas e observação participativa.

A condução de entrevistas é uma das mais importantes fontes de informação, porém em todo o processo de entrevista, o pesquisador tem dois trabalhos: (a) seguir sua linha de investigação, e (b) fazer perguntas de uma maneira imparcial, que também serve as necessidades de sua linha de investigação (YIN, 2005, p.90). Foram aplicadas técnicas de entrevistas, baseadas no roteiro de questões, em diferentes representantes da empresa, com visões de diferentes projetos e em diferentes fases do desenvolvimento do produto.

O questionário foi construído a partir da síntese, a Figura 24 ilustra a lógica utilizada na construção de cada uma das questões. O questionário possui dois objetivos, que estão de acordo com o primeiro objetivo específico de identificar as principais características do processo de gestão de propriedades de massa no contexto do processo de desenvolvimento de aeronaves (Apêndice B).

O objetivo 1, caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa, foi desdobrado nos seguintes objetivos: verificar se a empresa tem processo de gestão de propriedades de massa, verificar a existência de um modelo para a gestão de propriedades de massa, verificar a existência de produtos em desenvolvimento, verificar a existência de um modelo de desenvolvimento de produtos, verificar a relação entre o desenvolvimento de produtos e a gestão de propriedades de massa, verificar os envolvidos com o processo de gestão de propriedades de massa, relacionar funcionalmente a gestão de propriedades de massa e analisar o desempenho da gestão de propriedades de massa dos produtos da empresa.

O objetivo 2, caracterização do processo de gestão de propriedades de massa, foi desdobrado nos objetivos de se analisar cada dimensão do processo de gestão de propriedades

de massa, de acordo com as dimensões: estratégias/ metas, atividades/ entregas, recursos/ ferramentas, organização/ papéis e responsabilidades.

Figura 24- Modelo estruturado para a definição das questões

Fonte: Adaptado pela autora de Echevest et al., 2007, p.6

Em seguida foram definidas as características relacionadas com esses objetivos desdobrados. Para cada característica se identificou qual a melhor variável para medir essa característica, e os possíveis valores que essa variável pode assumir. Por fim, após a identificação dos potenciais valores assumidos pela variável, a questão pôde ser construída. O roteiro de questões está apresentado no Apêndice A.

Lancaster (2005; p. 139) afirma que para projetar um questionário é necessário se ter uma ideia clara dos objetivos gerais, das informações necessárias e do tratamento dos resultados. Dessa maneira, o autor sugere que se escreva um rascunho do questionário e, em seguida, aplique um projeto piloto em algumas pessoas antes de se obter o questionário final. Esse projeto piloto foi aplicado de forma iterativa em um número restrito de funcionários da empresa.

Já a análise documental, deve corroborar e aumentar as evidências provenientes de outras fontes. Devido ao seu valor global, documentos desempenham um papel explícito em que buscas sistemáticas devem ser realizadas nas bases comuns da empresa de forma a identificar os principais documentos associados à gestão de propriedades de massa. Além disso, é importante lembrar que cada documento foi escrito para algum propósito específico e

algum público específico, que não tem exatamente o mesmo objetivo do estudo de caso que está sendo feito (YIN, 2005, p.89).

Os registros históricos utilizados nesse estudo são os registros organizacionais, tais como a análise de como foi realizada a gestão de propriedades de massa em produtos já desenvolvidos. Nesse estudo de caso é utilizada a observação participativa, que é um modo especial de observação, pois o pesquisador não é apenas um observador passivo, o pesquisador pode assumir uma variedade de funções dentro de uma situação de estudo de caso e pode realmente participar nos eventos que estão sendo estudados.

A observação participativa tem como principal vantagem a oportunidade de coleta de dados do estudo de caso, com acesso a eventos e grupos que são inacessíveis à investigação científica. Além disso, proporciona ao pesquisador a oportunidade de perceber a realidade do ponto de vista de alguém de dentro do estudo de caso, em vez de externo. Em contrapartida, a principal desvantagem da observação participativa é que o investigador tem menos capacidade de funcionar como um observador externo e pode, às vezes, assumir condutas contrárias aos interesses de uma boa prática científica (YIN, 2005, p.96).

Após análise dos prós e dos contras da observação participativa, foi identificado que para o tema desse trabalho, a observação participativa seria utilizada. Os resultados do estudo de caso são apresentados na seção 4.2. A análise desses resultados é apresentada na mesma seção para garantir a proximidade das informações.

Assim, a atividade **2.4 Analisar Resultados** é apresentada na seção 4.2.2, e deve ser realizada a partir da comparação entre a síntese da revisão bibliográfica (seção 4.1) e os resultados do estudo de caso (seção 4.2). As divergências encontradas são analisadas de forma a gerar mudanças de compreensão do processo, podendo gerar mudanças na síntese do processo, ou propostas de melhorias no processo executado na prática. É nessa atividade que são identificadas as divergências entre o teórico e o real, de forma a gerar reflexões que possam contribuir para a melhoria do processo analisado. Como resultado dessa atividade tem-se a lista de comentários e pontos de melhoria, considerando cada uma das características, de cada dimensão analisada do processo de gestão de propriedades de massa.

Por fim, essa lista de comentários e pontos de melhoria no processo de gestão das propriedades de massa conduzido pela empresa é apresentada para especialistas em formato de diagnóstico. Assim, observa-se que este trabalho vai além de um estudo de caso tradicional, no qual a pesquisa é normalmente finalizada após a comparação do caso com a teoria, e consequentes reflexões das razões pelas quais a prática difere da teoria. Nesta pesquisa a divergência entre a teoria e a prática, associada ao conhecimento que o pesquisador

possui sobre o tema e sua experiência dentro da própria organização, permite que se façam propostas de melhoria no processo de gestão de propriedades de massa. No entanto, a implantação dessas propostas está fora do escopo deste trabalho. Assim, pode-se afirmar que a comparação da teoria com a prática constitui-se em um diagnóstico do processo.

Após essa apresentação do diagnóstico para os especialistas da organização, a atividade **2.5 Validar Resultados** deve ser conduzida para verificar se as propostas resultantes da análise realizada foram consideradas relevantes pelos especialistas. Essa validação ocorre por meio da aplicação de um questionário estruturado aos participantes do processo de gestão de propriedades de massa conduzido pela empresa (Capítulo 5), para os quais o diagnóstico foi apresentado. O questionário pode ser encontrado no Apêndice C e foi construído com base em critérios de avaliação, adaptados de Vernadat (1996, p.111).

Os critérios utilizados para essa avaliação são: escopo, profundidade, objetividade, abrangência de uso, utilidade, simplicidade e clareza e consistência. As definições utilizadas para cada um dos critérios podem ser encontradas na Tabela 2.

Tabela 2- Critérios de avaliação do diagnóstico

Fonte: Adaptado de Vernadat (1996, p.111)

Critérios	Definição
Escopo	Objeto de análise definido e explicitado, com suas condições de contorno identificadas.
Profundidade	Detalhe adequado das informações apresentadas.
Objetividade	Precisão das informações, considerando o objetivo da análise.
Abrangência de uso	Avaliação da abrangência de aplicação do trabalho, considerando as diferentes fases do desenvolvimento.
Utilidade	Problema identificado de maneira concisa de forma a contribuir na eficiência da solução.
Simplicidade e clareza	Habilidade de ser facilmente entendido pelos usuários.
Consistência	Compatibilidade das informações, aderência entre elas.

Além disso, na construção das questões, também se utilizou as boas práticas identificadas por Lietz (2010; p. 265) na sua revisão bibliográfica de construções de questionários:

- As questões devem ser construídas de forma clara, simples, específicas e ter relevância para o objetivo do estudo;
- As questões devem focar em atitudes e comportamentos recentes;
- Questões generalistas devem preceder questões específicas;

- Advérbios de frequência devem ser evitados. Deve-se utilizar número de vezes por um período determinado;
- Escala de classificação deve apresentar entre 5 e 8 opções de respostas;
- O uso de um ponto neutro na escala aumenta a validade e confiabilidade da resposta;
- As escalas numéricas devem ser unipolares (0 até 10) e não bipolares (-5 a 5), com descrição verbal em cada um dos extremos da escala;
- “Extremamente” e “nem um pouco” devem ser utilizados como intensificadores verbais;
- Todos os rótulos das escalas devem ser apresentados aos respondentes de maneira explícita;
- Opções de não concordância devem ter um menor valor na escala numérica do que as opções de concordância;

Segundo James, Demaree e Wolf (1984, p.87) a quantidade de alternativas de resposta para cada questão, deve ser de 7 ± 2 , garantindo valores melhores de variância. Além disso, segundo os autores, se o questionário for aplicado para um grande número de respondentes (10 ou mais) as estimativas estatisticamente tendenciosas tornam-se insignificante (JAMES; DEMAREE; WOLF 1984, p.96). No caso do presente questionário o valor de alternativas é de 5 e a quantidade mínima de respondentes é de 15 pessoas.

Os resultados obtidos com o questionário são analisados utilizando o método analítico baseado no cálculo da média e do índice de concordância das notas atribuídas a cada uma das questões formuladas. A análise de confiabilidade entre os julgamentos dos diferentes especialistas será realizada conforme proposto por James, Demaree e Wolf (1984, p.85-98). A confiabilidade medida no método é chamada de *interrater reliability* (IRR) e visa verificar o grau em que os juízes são "intercambiáveis", ou seja, busca medir o quanto os juízes "concordam" com um conjunto de notas. É importante considerar, que esse índice pode variar entre zero e um, sendo que quanto mais próximo de um, mais homogêneas são as opiniões dos respondentes.

A Equação 5 define o IRR para a análise dos estudos de caso (JAMES; DEMAREE; WOLF 1984, p.87).

$$IRR = 1 - \frac{S_j^2}{\sigma_j^2}$$

Equação 5

Onde: IRR=interrater reliability

j= número de respondentes

S= desvio padrão das notas dos respondentes

σ = desvio padrão esperado se os julgamentos fossem aleatórios

Segundo James, Demaree e Wolf (1984, p.86) o desvio padrão esperado caso os julgamentos fossem aleatórios, pode ser obtido assumindo-se que as notas atribuídas a cada uma das questões formuladas possuem uma distribuição uniforme, Equação 6.

$$\sigma_j^2 = \frac{(A^2 - 1)}{12}$$

Equação 6

Onde: A= quantidade de alternativas (discretas)

σ = desvio padrão esperado se os julgamentos fossem aleatórios

4 Resultados

Nesse capítulo são apresentados os resultados dessa pesquisa. Na seção 4.1 é apresentada a síntese do processo de gestão de propriedades de massa e na seção 4.2 são apresentados os resultados do estudo de caso:

4.1 Síntese do processo de gestão de propriedades de massa

A síntese do processo de gestão de propriedades de massa foi construída conforme descrito na metodologia, atividade 2.2 Elaborar Síntese (sem formalismo). A apresentação da síntese está dividida em três subseções: visão geral da síntese e definição das características (seção 4.1.1), características do processo de gestão de propriedades de massa relacionadas com o processo de desenvolvimento de aeronaves (seção 4.1.2) e definição das variáveis e valores de cada característica do processo de gestão de propriedades de massa (seção 4.1.3).

4.1.1 Visão geral da síntese e definição das características

Considerando a metodologia apresentada na seção 3.2.2, a partir da revisão bibliográfica, foram identificadas as principais características do processo de gestão de propriedades de massa considerando as quatro dimensões compreendidas pelo modelo conceitual proposto por Silva e Rozenfeld (2003; p.9).

Cada uma dessas dimensões apresenta um conjunto de características associadas, que coletivamente fornecem por meio de suas variáveis uma base suficiente para modelar a gestão de propriedades de massa e vinculá-la com o processo de desenvolvimento de aeronaves. A Tabela 3 mostra de forma estruturada as referências da revisão bibliográfica que contribuíram para a identificação de cada uma das características principais do modelo.

A relação de cada uma das características com as fases do desenvolvimento de aeronaves será apresentada na seção 4.1.2 e será definida em detalhe na seção 4.1.3.

Tabela 3- Dimensões e variáveis da Gestão de Propriedades de Massa

Dimensão	Características	Referência Revisão Bibliográfica
Estratégias / Metas	Estratégia de Peso Meta por Fase do Desenvolvimento	Andrew(2001) SAWE (2004)
Estratégias / Metas	Metas de Peso Locais (nível de componente)	SAWE (2004)
Estratégias / Metas	Apoio das lideranças	Andrew(2001) SAWE (2011)
Estratégias / Metas	Ponderação dos dados propriedades de massa nas tomadas de decisão	Murman; Walton; Rebentisch(2000) SAWE (2004)
Atividade / Entregas	Atividade de Estimativa de peso inicial é crítica	Andrew(2001) SAWE(2004) SAWE (2011) Raymer (1992)
Atividade / Entregas	Agrupamentos das Atividades/ entregas de propriedades de massa	SAWE(2004) ISO 15288 (2008)
Atividade / Entregas	Reconhecer alívios de peso	SAWE (2004)
Recursos / Ferramentas	Ferramentas cálculo de propriedades de massa para diferentes maturidades do projeto	Ali(2013) Price et al. (2006).
Recursos / Ferramentas	Base de dados única de propriedades de massa	Dahm (2007)
Recursos / Ferramentas	Atualização da base de dados automaticamente (vínculo DMU/ CAD)	Price et al (2006)
Recursos / Ferramentas	Monitorar oportunidades e riscos para tornar o valor da base de dados única probabilístico	Dahm(2007) SAWE(2004) Ali (2013)
Recursos / Ferramentas	Ferramenta automática para geração das visibilidades do status do peso da aeronave, integração DMU/CAD com base de riscos e estruturação dos dados	Dahm (2007)
Recursos / Ferramentas	Integração do processo de modificação em engenharia (gestão de configuração) com a base de dados única	SAWE(2004) ISO 15288 (2008)
Organização / Papéis e responsabilidades	Integração Técnica	Hammond (2001) Nightingale(2000) SAWE(2011)
Organização / Papéis e responsabilidades	Propriedades de massa: uma responsabilidade de todos	Raymer(1992) SAWE (2004)
Organização / Papéis e responsabilidades	"Cultura Aeronáutica" e importância das informações de propriedades de massa	SAWE (2004)
Organização / Papéis e responsabilidades	Implementação de novas tecnologias para a redução de peso	Dahm(2007) Dray (2013)

4.1.2 Características do processo de gestão de propriedades de massa relacionadas com o processo de desenvolvimento de aeronaves

A Figura 25 mostra a relação entre as principais características da gestão de propriedades de massa e as fases do processo de desenvolvimento de aeronaves proposta por Torenbeek (1982, p.4).

Na Figura 25, cada retângulo tracejado ilustra uma das dimensões do processo: atividades / entregas, recursos ferramentas, estratégias / metas e organização / papéis e responsabilidades. Os retângulos azuis representam cada uma das características e as fases do desenvolvimento em que devem estar presentes. As características principais da dimensão recursos / ferramentas foram divididas em três grupos: base de dados (identificadas dentro do retângulo azul claro), integração (identificadas pelas setas entre as bases de dados e o processo de desenvolvimento de aeronaves) e ferramentas e métodos por fase.

É importante considerar que no modelo a dimensão organização / papéis e responsabilidades é integradora, ou seja, deve ser considerada em todas as fases do desenvolvimento e dentro da organização. As características desta dimensão estão identificadas nos retângulos de cor cinza.

Figura 25- Principais características da Gestão de Propriedades de Massa e o processo de desenvolvimento de aeronaves

4.1.3 Definição das variáveis e valores de cada característica do processo de gestão de propriedades de massa

De acordo com a metodologia proposta para condução desse trabalho (Capítulo 3), após a identificação das principais características do processo de gestão de propriedades de massa (seção 4.1.1) e suas relações com a fase de desenvolvimento de aeronaves (seção 4.1.2) foram identificadas as variáveis e os possíveis valores assumidos pelas variáveis para cada característica.

As variáveis do processo de gestão de propriedades de massa permitem descrever suas principais características, sendo que a partir delas consegue-se construir a parte principal do modelo conceitual.

4.1.3.1 Características e variáveis da Dimensão Estratégias / Metas

4.1.3.1.1 Estratégia de Peso Meta por Fase do Desenvolvimento

A característica de apresentar um peso meta por fase do processo de desenvolvimento está conforme a estratégia do Perfil de Valor Planejado (PVP) apresentada por Andrew (2001, p.83). Em todas as fases do desenvolvimento, o peso da aeronave deve atender à meta especificada por fase, de forma que ao final o peso da aeronave esteja conforme o especificado inicialmente.

Essa estratégia foi desenvolvida após o estudo do crescimento de peso de várias aeronaves nas fases de desenvolvimento e se mostrou eficaz em novos desenvolvimentos (ANDREW, 2001, p.83). Além disso, essa estratégia vai ao encontro do modelo proposto pela SAWE (2004), em que foram identificadas as atividades preparar plano de controle e plano de gestão de peso, dentro da atividade “planejar esforço técnico associado às propriedades de massa” (categoria gerenciamento). Assim, o processo de gestão de propriedades de massa deve ter metas que evoluem nas diferentes fases do desenvolvimento.

Variável: classificação da empresa em relação à existência de uma estratégia de peso meta por fase do programa.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.1.2 Metas de Peso Locais (nível de componente)

Segundo a SAWE (2004), o processo de controle e gerenciamento das propriedades de massa é um processo iterativo que deve ser útil para apoiar a análise de propriedades de massa em detalhe (nível de sistema) e ainda ser robusto o suficiente para atender às demandas do

veículo (nível do produto). Assim, a SAWE (2004) identifica no seu modelo a atividade alocar limites e metas de forma detalhada, dentro da atividade “definir candidatos à arquitetura” (categoria técnico).

Variável: classificação da existência de metas de pesos locais, nível de componente, em todas as fases do desenvolvimento.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.1.3 Apoio das lideranças para visão integral

Andrew (2001, p.69) enfatiza que entre os programas analisados por ele, no que teve o menor aumento de peso durante as fases de desenvolvimento (7%), o gerente de projetos adotou a política do “uma libra entra, uma libra sai”, em que todos os envolvidos no projeto que adicionassem peso na aeronave deviam buscar outras oportunidades de redução para compensar esse aumento. Nesse projeto, a liderança acreditava que o peso era o reflexo da qualidade do desenvolvimento e compartilhava esse ideal com todos os envolvidos no desenvolvimento.

Nesse sentido, a SAWE (2011) também explicita que o processo de gestão das propriedades de massa deve ser realizado com o auxílio das lideranças.

Variável: classificação da existência da diretriz durante o desenvolvimento de que se houver aumento de peso em um segmento deve-se buscar aliviar em outra região da aeronave.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.1.4 Dados de propriedades de massa nas tomadas de decisão

Em seu modelo de gestão de propriedades de massa a SAWE (2004) sugere as atividades: identificar alternativas, estimar impactos das alternativas, avaliar riscos, selecionar alternativas, dentro da atividade “otimizar e avaliar alternativas de propriedades de massa” (categoria técnico). Todas as tomadas de decisão no desenvolvimento devem ser realizadas considerando o valor para o cliente.

Valor é um atributo multidimensional, e a definição no contexto aeronáutico é uma relação funcional entre desempenho, custo e prazo, essa relação é basicamente qualitativa, ou seja, para aumentar o valor do produto deve-se melhorar o desempenho, diminuir o custo e diminuir o tempo (MURMAN.; WALTON; REBENTISCH; 2000, p.9). Dessa maneira, as propriedades de massa da aeronave participam da relação funcional de valor para o cliente em duas funções: desempenho e custo. Assim, os dados de propriedades de massa devem ser considerados nas tomadas de decisão.

Variável: escala de grau, relacionada com a ponderação das informações de propriedades de massa nas tomadas de decisão, em relação com as ponderações de custo e prazo.

Possíveis valores desta variável: maior do que custo e prazo; maior apenas do que custo; maior apenas do que prazo; menor do que custo e prazo.

4.1.3.2 Características e variáveis da Dimensão Atividade/ Entregas

4.1.3.2.1 Atividade de Estimativa de peso inicial é crítica

A estratégia de pesos metas por fase do desenvolvimento, como o Perfil de Valor Planejado (PVP) tem como variável principal o peso vazio meta da aeronave nas fases iniciais do desenvolvimento (Projeto Preliminar). Assim a definição do peso inicial irá refletir em todas as outras fases do desenvolvimento (ANDREW, 2001, p.83). Além disso, segundo Raymer (1992, p. 31), é essencial que nas fases iniciais do desenvolvimento de aeronaves sejam realizadas estimativas realistas de peso, e que este seja controlado durante todas as posteriores fases do desenvolvimento.

O modelo de gestão de propriedades de massa da SAWE (2004) identifica a atividade: definir e alocar metas globais, dentro da atividade “analisar requisitos de propriedades de massa”. A negligência no desenvolvimento e na manutenção de um bom plano de gestão de peso resulta em um produto que não pode cumprir os requisitos e que, portanto, requer alterações antes de se tornar totalmente operacional. Modificações no produto em fases avançadas do desenvolvimento impactam diretamente nos custos do projeto (SAWE, 2011, p.8).

Variável: conhecimento da importância da atividade de estimativa de peso inicial pelas lideranças.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.2.2 Agrupamentos das Atividades / entregas de propriedades de massa

Segundo a SAWE (2004), o processo de controle e gerenciamento das propriedades de massa é um processo iterativo que deve ser útil para apoiar a análise de propriedades de massa em detalhe (nível de sistema) e ainda ser robusto o suficiente para atender as demandas do veículo (nível do produto). Todas as atividades que compõem o processo foram organizadas dentro de oito sub-processos de engenharia, quatro dos sub-processos foram colocados na categoria de “Gerenciamento” e quatro estão na categoria “Técnico”.

No entanto, considerando que a ISO 15288 (2008) agrupa as atividades que devem ser realizadas no ciclo de vida de um sistema em quatro grupos de processos (processos contratuais, facilitadores, projeto e técnico), será considerado que a gestão de propriedades de massa tem atividades / entregas em três categorias: gerenciamento, técnicas e integração.

Assim, a categorização das atividades / entregas em técnica, gerenciamento e integração traz um conceito mais amplo para a gestão das propriedades de massa e o reconhecimento da categoria integração vai ao encontro da proposta da Engenharia de Sistemas.

Variável: escala de grau das categorias das atividades / entregas de propriedades de massa.

Possíveis valores desta variável: técnica (menor pontuação), técnica e gerenciamento (pontuação média) e técnica, gerenciamento e integração (maior pontuação).

4.1.3.2.3 Reconhecer alívios de peso

A SAWE (2004) identifica a atividade emitir reconhecimento pelo alívio de peso, dentro da atividade “otimizar e avaliar as alternativas de propriedades de massa na (categoria técnico) ”.

Variável: classificação da execução da atividade de reconhecimento dos alívios de peso.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.3 Características e variáveis da Dimensão Recursos / Ferramentas

4.1.3.3.1 Ferramentas de cálculo de propriedades de massa para diferentes maturidades do projeto

Evolução da maturidade das informações de propriedades de massa não ocorre de forma homogênea em todo o produto e depende da percepção dos riscos de modificação de conceitos, materiais e processos de fabricação apontada por cada um dos especialistas (ALI, 2013, p.8).

Além disso, a utilização de sistemas CAD possibilita uma oportunidade de compartilhamento de dados entre diferentes áreas envolvidas no processo de desenvolvimento e torna a empresa mais colaborativa. O aspecto prático da geração de modelos multidisciplinares significa que eles são muitas vezes construídos utilizando diferentes parâmetros que antigamente eram considerados tardiamente no desenvolvimento. Assim,

tornou-se necessário o controle e gestão de parâmetros de projeto nesse novo ambiente de desenvolvimento (PRICE et al., 2006, p.339).

Essa evolução da mudança de ferramentas pode ser ilustrada pela Figura 26, em que foram adotadas as fases de desenvolvimento apresentadas por Torenbeek (1982, p.4). A leitura do gráfico deve considerar o percentual de uso de cada ferramenta no cálculo das propriedades de massa da aeronave, por exemplo, na fase de projeto detalhado 10% das informações são provenientes de estimativas, 40% de Método de Elementos Finitos e 50% de CAD / DMU.

Figura 26- Dados de propriedades de massa por fase do desenvolvimento: percentual de uso de cada método para cálculo das propriedades de massa, por fase do desenvolvimento.

Variável: escala de grau considerando a aderência com as porcentagens identificadas na Figura 26, sendo que quanto maior a aderência maior o grau.

Possíveis valores desta variável: Muito aderente (100%); Aderente (90%); Média aderência (50%); Baixa aderência (10%); Não existe aderência (0%).

4.1.3.3.2 Base de dados única de propriedades de massa

Em sua proposta de ferramenta de gestão de propriedades de massa, Dahm (2007) propõe o módulo de gestão de dados de propriedades de massa, em que seria uma base de dados com controle de acessos, múltiplos usuários e com bom tempo de resposta.

Variável: escala de grau da qualidade das informações da base de dados única para gestão dos atributos de propriedades de massa. Sendo a inexistência da base de dados

classificada com menor grau e a alta confiabilidade da base para 100% dos parâmetros de propriedades de massa (peso, CG, inércias) classificada com maior grau.

Possíveis valores desta variável: Muito alta qualidade (100%); Alta qualidade (90%); Média qualidade (50%); Baixa qualidade (10%); Não existe base de dados (0%).

4.1.3.3.3 Atualização da base de dados automaticamente (vínculo DMU / CAD)

Segundo Price et al. (2006, p.339), a utilização de sistemas CAD faz com que seja necessário o controle e gestão de parâmetros de projeto nesse novo ambiente de desenvolvimento (PRICE et al., 2006, p.339).

Variável: escala de grau de automatismo das informações da base de dados de propriedades de massa (abrangência da integração). Sendo a inexistência de automatismo classificada com menor grau e o automatismo de 100% dos parâmetros (peso, CG, inércias) classificadas com maior grau.

Possíveis valores desta variável: Peso, CG e inércias são automaticamente cadastrados na base de dados (100%); Apenas dois parâmetros são automáticos (75%); Apenas um dos parâmetros é automático (50%); Nenhum parâmetro é atualizado automaticamente porém há vínculo entre a base de dados e o DMU / CAD (25%); Não existe vínculo entre a base de dados e o DMU / CAD e não existe automatismo (0%).

4.1.3.3.4 Monitorar oportunidades e riscos para tornar o valor da base de dados única probabilístico

Como a evolução da maturidade das informações não ocorre de maneira homogênea em todo o produto e depende da percepção dos riscos de modificação de conceitos, materiais e processos de fabricação apontada por cada um dos especialistas o peso deve ser visto como um dado probabilístico (ALI, 2013, p.8).

Assim, em seu modelo de gestão de propriedades de massa, a SAWE (2004) identifica a atividade “gerir riscos associados às propriedades de massa” (categoria de gerenciamento) e Dahm (2007) em sua ferramenta propõe o módulo de gerenciamento de peso, em que seria realizado o controle de riscos e monitoramento das propriedades de massa via análise de cenários.

Variável: classificação da frequência com que os dados de propriedades de massa são gerados e apresentados de forma probabilística.

Possíveis valores desta variável: Sempre (100%); Quase sempre (75%); Às vezes (50%); Quase Nunca (25%); Nunca (0%).

4.1.3.3.5 Ferramenta automática para geração das visibilidades do status do peso da aeronave, integração DMU / CAD com base de riscos e estruturação dos dados

Em sua proposta de ferramenta de gestão de propriedades de massa, Dahm (2007) propõe o módulo de contabilidade, em que seria realizada de forma automática a hierarquização dos dados, busca / filtros avançados e geração automática dos dados.

Variável: escala de grau de automatismo das visibilidades de propriedades de massa. Sendo a inexistência de automatismo classificada com menor grau e o automatismo de 100% dos parâmetros (peso, CG, inércias) classificadas com maior grau.

Possíveis valores desta variável: Peso, CG e inércias tem visibilidade automática (100%); Apenas a visibilidade de peso e CG são automáticos (75%); Apenas a visibilidade de peso é automática (50%); Não há visibilidade automática, porém há vínculo entre a base de dados de riscos e as bases de dados de propriedades de massa (25%); Não existe automatismo nas visibilidades (0%).

4.1.3.3.6 Integração do processo de modificação em engenharia (gestão de configuração) com a base de dados única

Considerando que o objetivo do processo de gerenciamento de mudanças em engenharia é estabelecer e manter a integridade de todas as saídas identificadas de um projeto ou processo e torná-los disponíveis para as partes envolvidas (ISO 15288, p.32, 2008), torna-se necessário a integração das informações de propriedades de massa com a gestão de modificações em engenharia.

A SAWE (2004) identifica em seu modelo de gestão de propriedades de massa, as atividades: garantir controle de modificações, documentar modificações e incluir em base histórica, dentro da atividade “Controlar *baseline* das propriedades de Massa” (categoria gerenciamento).

Variável: escala de grau da qualidade da integração entre as bases de dados de controle de modificação em engenharia e as propriedades de massa, sendo que a inexistência de integração entre as bases de dados é classificada com menor grau e a integração de 100% dos parâmetros de propriedades de massa (peso, CG, inércias) classificadas com maior grau.

Possíveis valores desta variável: As bases de dados são integradas para as informações de Peso, CG e inércias (100%); Há vínculo entre as bases para as informações de peso e CG (75%); Há vínculo entre as bases apenas para as informações de peso (50%); Não há vínculo entre as bases porém as informações de peso estão na base de dados de modificação em

engenharia (25%); Não há vínculo entre as bases de dados, as informações de propriedades de massa não estão na base de dados de modificação em engenharia (0%).

4.1.3.4 Características e variáveis da Dimensão Organização / Papéis e responsabilidades

4.1.3.4.1 Integração Técnica

Considerando que o desenvolvimento de produtos complexos depende de informações conduzidas por times de conhecimentos específicos e que é essencial que as especificações do produto estejam atualizadas de forma a atender o cumprimento dos requisitos, a troca de informações entre diferentes grupos deve ser realizada de forma efetiva (NIGHTINGALE, 2000, p.918). Assim, no desenvolvimento de sistemas aeronáuticos, a integração técnica é fundamental e deve estar presente em todas as fases do desenvolvimento, sendo que a intensidade dessa integração deve aumentar conforme o aumento da maturidade do desenvolvimento (HAMMOND, 2001, p.21).

Conforme apontado pela SAWE (2011), as propriedades de massa de uma aeronave são resultantes da análise de todos os componentes de uma aeronave e da integração dessas análises para formar uma imagem das propriedades de massa do sistema total, e por isso a efetividade da integração técnica torna-se essencial para garantir o processo de gestão de propriedades de massa.

Variável: classificação quanto à existência de um responsável dentro do time de integração para a garantia da qualidade da informação de propriedades de massa.

Possíveis valores desta variável: sim; não.

4.1.3.4.2 Propriedades de massa: uma responsabilidade de todos

Segundo Raymer (1992, p.391), as propriedades de massa devem ser obtidas a partir da interface com todas as áreas de engenharia e projeto envolvidas no desenvolvimento da aeronave. Assim, todos os participantes do projeto estão envolvidos no processo de gestão de propriedades de massa.

A SAWE (2004) identifica a atividade “verificar (analisar) propriedades de massa”, em que todas propriedades de massa da aeronave devem ser continuamente analisadas e atualizadas. No entanto, a SAWE não especifica quais devem ser os responsáveis por realizar essa atividade.

Variável: escala de grau de responsabilidade compartilhada.

Possíveis valores desta variável: Compartilhada: todos são responsáveis pela qualidade das informações (100%); Não é compartilhada: apenas engenharia de propriedades de massa se responsabiliza pela qualidade das informações (0%).

4.1.3.4.3 "Cultura Aeronáutica" e importância das informações de propriedades de massa

A SAWE (2004) considera que o processo de gestão das propriedades de massa deve ser realizado com o auxílio das lideranças, que devem apoiar a importância das informações de propriedades de massa por meio da atividade de identificar alternativas, dentro da atividade “otimizar e avaliar alternativas”.

Porém, a SAWE (2004) identifica que apenas o apoio das lideranças não é suficiente se na organização não houver uma “cultura aeronáutica”, em que todos conhecem a importância das informações de propriedades de massa para a aeronave.

Variável: escala de grau do conhecimento da importância das informações de propriedades de massa pelos envolvidos no processo de desenvolvimento.

Possíveis valores desta variável: Todos os envolvidos sabem a importância das informações (100%); Quase todos os envolvidos sabem da importância (75%); Metade dos envolvidos sabem da importância (50%); Quase ninguém sabe da importância (25%); Ninguém sabe da importância (0%).

4.1.3.4.4 Implementação de novas tecnologias para a redução de peso

O maior potencial para redução das emissões da frota de aeronaves global está associado à taxa de desenvolvimento de novas tecnologias e sua utilização pelos fabricantes em novos desenvolvimentos de aeronaves (DRAY, 2013, p.69).

Além disso, Dahm (2007) identifica no seu processo de gestão de propriedades de massa a atividade de avaliação de novas tecnologias e materiais na fase de definição do projeto.

Variável: escala de uso de novas tecnologias aplicadas em aeronaves em desenvolvimento. Sendo os projetos com menor aplicação de novas tecnologias classificadas com menor grau e as com maior aplicação de tecnologia classificadas com maior grau.

Possíveis valores desta variável: Sempre (100%); Quase sempre (75%); Às vezes (50%); Quase Nunca (25%); Nunca (0%).

4.2 Estudo de caso

Esse estudo de caso é realizado com base na síntese da revisão bibliográfica, apresentada na seção anterior, e tem como intuito verificar se as características identificadas e propostas pela síntese são aplicadas na prática. Como foi apresentado na metodologia deste trabalho (seção 3.1), as evidências utilizadas nesse estudo de caso são provenientes de diferentes fontes de dados: análise documental, registros históricos, entrevistas e observação participativa.

4.2.1 Seleção e descrição da empresa

A pergunta principal que o estudo de caso busca responder é “Como é aplicado o processo de gestão de propriedades de massa em uma empresa aeronáutica? ”, sendo que a unidade de análise do estudo é o processo de gestão de propriedades de massa no processo de desenvolvimento de aeronaves.

Por isso, o estudo de caso foi conduzido em uma empresa desenvolvedora de aeronaves. A empresa é líder mundial no segmento em que atua e apresenta um portfólio de produtos variados e em diferentes fases de desenvolvimento, presente em mais de dez países e com mais de 19000 funcionários.

A empresa tem um modelo de referência estruturado para o processo de desenvolvimento de suas aeronaves. O mapeamento das relações da gestão de propriedades de massa realizado pela empresa e seu modelo de referência para desenvolver aeronaves foi realizado, porém por motivos de sigilo não serão divulgados nessa pesquisa. Essa relação entre os dois processos, garantiu a identificação das principais áreas da empresa envolvidas na gestão de propriedades de massa.

Considerando este mapeamento entre os dois processos, foram identificadas as áreas da empresa que deveriam participar das entrevistas. De forma geral, foi aplicado o questionário nas seguintes áreas: engenharia de propriedades de massa, engenharia aeronáutica e cargas e engenharia chefe, buscando a visão de pessoas de diferentes posições hierárquicas. A engenharia de propriedades de massa tem a visão menos ampla do que a do gerente de aeronáutica e cargas, que por sua vez tem a visão de menos programas do que o engenheiro chefe. Aplicou-se o questionário também nas áreas de gerenciamento de programa e na área de engenharia de operações e suporte ao cliente, buscando ter uma visão complementar à fornecida pela tecnologia de propriedades de massa.

As entrevistas foram conduzidas de maneira isolada, ou seja, se entrevistou uma pessoa por vez e os resultados parciais não foram compartilhados com os respondentes. Essas entrevistas tiveram duração de duas horas, em que primeiramente se explicou o intuito da pesquisa e posteriormente se aplicou o roteiro de questões conforme apresentado no Apêndice A. No total, nove pessoas foram entrevistadas.

Além da aplicação do questionário, foi realizada a análise dos documentos internos da empresa. Os documentos analisados foram principalmente as instruções de trabalho dos processos (interno às áreas), o SIPOC¹¹ (*supplier-input-process-output-customer*), as normas da empresa, o manual de gerenciamento da empresa e os acordos de níveis de serviço (que descrevem os acordos de passagem de dados entre as áreas da empresa). A partir da análise documental, tornou-se possível realizar a verificação e comparação com as respostas obtidas no questionário. De forma geral, a análise documental contribuiu para aumentar o nível de detalhe das informações obtidas com a aplicação do questionário.

4.2.2 Introdução aos resultados e à análise do estudo de caso

Os resultados do estudo de caso serão apresentados juntamente com a análise desses resultados. Optou-se por fazer a análise junto com a apresentação dos resultados pela facilidade da proximidade das informações. Os dados obtidos com a aplicação do questionário estruturado estão apresentados no Apêndice D.

A apresentação e análise dos resultados será realizada considerando cada um dos objetivos principais do questionário (Apêndice A): caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa (seção 4.2.3) e caracterização do processo de gestão de propriedades de massa (seção 4.3.4). Na descrição das dimensões da gestão de propriedades de massa foi analisada cada uma das principais características da gestão de propriedades de massa, identificadas na revisão bibliográfica.

Para cada característica crítica, a análise foi realizada por fase do processo de desenvolvimento conforme modelo proposto por Torenbeek (1982, p.4) considerando a relação com as fases do processo de desenvolvimento praticadas pela empresa.

¹¹ SIPOC (acrônimo de *suppliers, inputs, process, outputs and customer*) é um método de modelagem que busca representar os fornecedores, entradas, processos, saídas e clientes de cada uma das atividades / entregas do processo em análise (BROWNING; FRICKE; NEGELE, 2005, p.113). É utilizado na empresa como método de representação de todas as atividades / entregas da área de Engenharia de Propriedades de Massa, proporcionando uma visão global dos processos e interfaces da área.

4.2.3 Caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa

A gestão de propriedades de massa não aparece de maneira explícita em nenhuma das diretrizes do modelo de desenvolvimento de produtos da empresa. Porém, ela se relaciona com a gestão e seleção de fornecedores, ferramentas, *business plan*, gestão de riscos, gestão de requisitos e gestão do desenvolvimento do produto.

A caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa tem como intuito identificar qual o contexto da empresa em relação ao seu processo de desenvolvimento do produto e gestão de propriedades de massa.

Todos os entrevistados concordaram que a empresa tem um processo de gestão de propriedades de massa em todas as fases do desenvolvimento do produto (Questão 1). Além disso, todos os respondentes confirmaram que a empresa possui produtos em desenvolvimento (Questão 3).

Quando questionados quanto à existência de um modelo para a gestão de propriedades de massa, apenas um respondente afirmou que não havia um modelo conhecido e executado pela empresa. No entanto, todos os outros responderam que entendiam que havia um modelo, mas que cada produto em desenvolvimento tinha o seu modelo. Esse comentário de que cada desenvolvimento tem o seu modelo, é contrário com que foi respondido, pois se houvesse um modelo para gestão de propriedades de massa não haveriam grandes diferenças entre produtos em desenvolvimento. Assim, pode-se afirmar que não há um modelo de referência conhecido para a gestão de propriedades de massa dentro da empresa (Questão 2).

No entanto, todos confirmaram a existência de um modelo de desenvolvimento de produtos (Questão 4). Esse modelo de referência está documentado em normas empresariais e é seguido em todos os desenvolvimentos de produto da empresa.

A empresa não tem documentos que relacionem de maneira explícita o processo de desenvolvimento de produtos e a gestão de propriedades de massa para todas as fases do desenvolvimento. Nas fases de projeto conceitual, preliminar, detalhado, produção do protótipo e teste existem documentos tais como o SIPOC e normas empresariais que mostram de maneira implícita a relação entre a gestão de propriedades de massa e o processo de desenvolvimento de produtos. Porém, na fase de suporte ao cliente não existem documentos que mostrem essa relação, mesmo de maneira implícita. Como esses documentos não fazem uma relação explícita, as respostas à essa pergunta (Questão 5) mostram que não há uma concordância entre os respondentes.

Dentro da empresa se considera que todos os envolvidos no processo de desenvolvimento do produto empresarial, estão envolvidos no processo de gestão de propriedades de massa. Todos os respondentes (Questão 6) entendem que todas as áreas do desenvolvimento estão envolvidas no processo de gestão de propriedades de massa, porém não há evidências documentais da relação entre as áreas com a gestão de propriedades de massa.

Apesar de todas as áreas estarem envolvidas no processo de gestão de propriedades de massa, existe uma área específica dentro da empresa responsável pelas propriedades de massa da aeronave. Essa área está funcionalmente ligada à gerência de engenharia aeronáutica e cada produto tem uma equipe com essa função, chamada dentro da empresa como engenharia de propriedades de massa. A engenharia chefe é a área responsável pela integração entre os diferentes programas, sendo que o engenheiro chefe deve buscar harmonizar o processo de gestão de propriedades de massa dentro da empresa.

Assim, quando os entrevistados foram questionados quanto à existência de uma área específica para a gestão de propriedades de massa (Questão 7) a resposta obtida foi majoritariamente que sim. A única fase em que a engenharia de propriedades de massa não existe de maneira formal é no Projeto Conceitual, fase em que há um agrupamento de diferentes áreas da aeronáutica, devido à grande interação entre áreas (característica inerente da fase).

O desempenho da gestão de propriedades de massa dos produtos da empresa está evidenciado na Figura 27, em que é possível verificar o desvio do BOW entre o inicialmente especificado nas fases iniciais de desenvolvimento (Projeto Preliminar) e o BOW da aeronave após sua certificação para cinco produtos da empresa, considerando análise documental e histórica. As Aeronaves 3 e 4 foram os produtos em que houve o maior desvio de peso, essas aeronaves foram as primeiras de sua categoria para a empresa, o que poderia justificar o desvio de quase 14% e 6%, respectivamente.

Figura 27- Desvio percentual do BOW ao longo do desenvolvimento das aeronaves fabricadas pela empresa.

As Aeronave 1 e 2 da Figura 27 são aeronaves derivadas, ou seja, a empresa já havia desenvolvido produtos semelhantes anteriormente, e por isso tem um desvio de BOW durante o desenvolvimento na ordem de 2%. Já a Aeronave 5, apresenta uma queda de BOW nas fases finais de desenvolvimento devido à um esforço maciço realizado para aliviar peso e garantir a competitividade do produto. Nessa aeronave, o desempenho ficou tão comprometido que foi necessário atrasar o desenvolvimento por alguns meses para conseguir apresentar um desvio de BOW na ordem de 3%.

Conforme os dados de desvios de peso apresentados pela Figura 27, a média das respostas dos entrevistados (Questão 8) foi de 5% entre o peso definido nas fases iniciais de desenvolvimento e o peso da aeronave após certificação. Muitos dos entrevistados apontaram o fato de que esse desvio não pode ser realizado considerando apenas a média, deve-se considerar o grau de novidade desse desenvolvimento para a empresa e trabalhar com desvios maiores no caso de novos desenvolvimentos.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Não há um modelo de referência conhecido para a gestão de propriedades de massa dentro da empresa.

A gestão de propriedades de massa não aparece de maneira explícita em nenhuma das diretrizes identificadas pelo modelo empresarial de desenvolvimento do produto. Assim, a empresa não tem documentos que relacionem de maneira explícita o processo de desenvolvimento de produtos e a gestão de propriedades de massa para todas as fases do

desenvolvimento. Uma sugestão seria adicionar a gestão de propriedades de massa às diretrizes principais do modelo de desenvolvimento empresarial, de maneira a explicitar a relação entre o desenvolvimento de aeronaves e a gestão de propriedades de massa.

O desempenho da gestão de propriedades de massa da empresa depende do grau de novidade do produto para a empresa. Se considerarmos a Figura 2 apresentada por Andrew (2001, p.71) o desvio de 14% (Aeronave 3 da Figura 27) está entre os maiores apresentados para aeronaves em desenvolvimento. Já as Aeronaves 1 e 2 da Figura 27 apresentaram um desempenho referente aos 30% melhores desenvolvimentos (ANDREW, 2001, p.71). Assim, o desvio previsto para um novo desenvolvimento de aeronave deve considerar o fator novidade para a empresa.

4.2.4 Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa

A apresentação dos resultados e a análise da descrição das dimensões da gestão de propriedades de massa tem como intuito abordar as dimensões estratégias / metas, atividades / entregas, recursos / ferramentas e organização / papéis e responsabilidades do processo de gestão de propriedades de massa conduzido pela empresa.

Assim, os resultados e a análise são apresentados para cada uma das dimensões do processo e considera as principais características identificadas na revisão bibliográfica e apresentadas na síntese teórica (seção 4.1).

4.2.4.1 Analisar a dimensão Estratégias / Metas

4.2.4.1.1 Estratégia de Peso Meta por Fase do Desenvolvimento

Na revisão bibliográfica é proposto que se utilize uma estratégia de peso-meta por fase do desenvolvimento, de maneira que os desvios do BOW (Figura 27) ao longo das fases de desenvolvimento possam ser compensados a partir de uma meta de BOW mais agressiva nas fases iniciais de desenvolvimento. A empresa utilizou essa estratégia no desenvolvimento da Aeronave 1 (Figura 27) e como obteve o menor desvio de BOW (menor que 2%) começou a estender essa estratégia para os novos desenvolvimentos.

A aplicação dessa estratégia, no entanto, fica condicionada ao gerente de projeto, que pode optar por utilizá-la. Assim, considerando as respostas obtidas para a Questão 9, o uso dessa estratégia ainda não é comum dentro da empresa e os benefícios de se utilizar essa estratégia ainda não são conhecidos por todos. A partir das respostas também se identificou que a estratégia estabelecida pela empresa contempla de maneira menos robusta as fases de

produção do protótipo, teste e suporte ao cliente. Nessas fases a maioria dos respondentes afirmou não ter uma estratégia de peso meta.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Aumentar a divulgação da estratégia de peso meta por fase de desenvolvimento, focar nos benefícios de se utilizar essa estratégia, apresentar aos gerentes de projeto os ótimos resultados obtidos no desenvolvimento da Aeronave 1 e na revisão bibliográfica.

Essa estratégia de peso meta por fase de desenvolvimento, deve considerar o grau de novidade do produto para a empresa, conforme foi identificado na Figura 27. Há a possibilidade de que as metas por fase de desenvolvimento sejam diferentes considerando fatores críticos para o desenvolvimento, tais como o grau de novidade do desenvolvimento para a empresa e órgãos a certificar a aeronave (civil / militar/ civil e militar).

Adicionar na estratégia existente, as fases finais de desenvolvimento, ou seja, as fases de produção do protótipo, teste e suporte ao cliente. Utilizar dados da revisão bibliográfica e o histórico da empresa na construção da estratégia.

4.2.4.1.2 Metas de Peso Locais (nível de componente)

A síntese da revisão bibliográfica identifica a necessidade de metas de peso local (nível de componente) em todas as fases do desenvolvimento do produto. A empresa analisada aplica a estratégia de pesos metas locais apenas nas fases iniciais de desenvolvimento (Projeto Conceitual e Preliminar), nas fases posteriores de desenvolvimento monitora-se apenas as metas globais. As metas locais de peso são aplicadas nos contratos com os fornecedores nas fases iniciais de detalhamento e a partir dessa fase as metas se mantêm no mesmo nível.

No entanto, em uma das aeronaves em desenvolvimento utilizou-se a estratégia de alocação de peso-meta na fase de detalhamento para segmentos específicos, e foi identificado pelos participantes que essa alocação no nível mais detalhado trouxe ganhos. Em geral, as metas foram cumpridas e nesses segmentos o peso ficou 6% menor do que a meta inicialmente prevista. Foi observado que o fato de se ter uma meta no nível mais detalhado permite que todos os envolvidos no desenvolvimento consigam identificar como estão contribuindo para o BOW da aeronave. Esse fator acaba motivando os envolvidos e garante um aumento de comprometimento.

De forma geral, as respostas da Questão 10 indicam o que foi identificado na observação participativa. Além disso, um dos comentários dos entrevistados deve ser considerado na análise “as variáveis não contempladas na meta inicial de peso são as mais

impactantes (exemplo: requisitos de manufatura no modelo FEM) ”. Nesse comentário, é possível identificar que além da necessidade de se alocar metas a nível local, a empresa deve estruturar uma metodologia robusta de alocação de metas de peso.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa não adota a alocação de peso meta em todas as fases, enquanto que na revisão bibliográfica é proposto que essa alocação ocorra em todas as fases do desenvolvimento.

A empresa deve buscar aumentar a alocação de pesos metas nas fases posteriores à de detalhamento, porém para isso é necessário criar uma metodologia robusta de alocação de pesos metas de maneira a antever as restrições de manufatura, projeto e análise de elementos finitos em todas as fases de desenvolvimento. Como sugestão de implementação pode-se identificar segmentos / desenhos críticos em massa e alocar metas apenas para esses segmentos / desenhos, pode-se identificar 20% dos desenhos responsáveis por 80% do BOW (Princípio de Pareto).

4.2.4.1.3 Apoio das lideranças para visão integral

A revisão bibliográfica enfatiza a necessidade de se ter uma diretriz clara das lideranças durante o desenvolvimento de que, se houver aumento de peso em um segmento, deve-se buscar aliviar em outra região da aeronave. No entanto, a empresa não utiliza essa diretriz de maneira processual e uniforme entre os diferentes desenvolvimentos. Os segmentos são divididos entre diferentes responsáveis, não há um meio processual na empresa para que os responsáveis de cada segmento / tecnologia tenha visão integral e consiga buscar alívios em outro segmento.

Assim, a abordagem comum entre os diferentes programas está relacionada com uma medida financeira de quanto vale o alívio de um quilo. Essa medida não está relacionada com outros aumentos de peso, cada segmento / tecnologia busca identificar oportunidades e apresenta os custos para que a decisão quanto à sua implementação seja tomada. Essa abordagem busca ótimos locais e não permite uma tomada de decisão a partir da aeronave como um todo.

Muitas vezes a abordagem de “um quilo entra então um quilo sai” é utilizada apenas em momentos em que o BOW começa a afetar o cumprimento dos requisitos de desempenho, porém é uma estratégia mais desejada do que implementada. Os respondentes quando questionados (Questão 11) identificaram, na sua maioria, que a empresa não adota essa estratégia, porém na fase de detalhamento mais respondentes identificaram que se aplica a

estratégia, principalmente porque é nessa fase que tipicamente o BOW aumenta e acaba inviabilizando requisitos de desempenho.

Na análise é importante considerar o comentário de um dos respondentes: “Não adota-se essa estratégia como padrão, apenas em apuros”. Esse comentário vai ao encontro do que foi identificado na observação participativa.

Comentários e Pontos de Melhoria:

As lideranças na empresa não utilizam a diretriz de “um quilo entra, então um quilo sai” de maneira processual e uniforme entre os diferentes desenvolvimentos. Os segmentos são divididos entre diferentes responsáveis, não há um meio processual na empresa para que os responsáveis de cada segmento / tecnologia tenha visão integral e consiga buscar alívios em outro segmento, as decisões são tomadas de maneira a buscar ótimos locais.

O gerente de projetos deve ser explicitamente o responsável pelas informações de propriedades de massa e deve ter uma abordagem estruturada para a implementação dessa estratégia em todas as fases de desenvolvimento, de maneira que a abordagem financeira seja utilizada em conjunto e que se busque ótimos globais.

Como sugestão a empresa deveria primeiro identificar o quanto a busca pela redução do BOW impacta o plano de negócio de cada uma de suas aeronaves, de maneira que se tenha em mente que o BOW da aeronave é um dos meios para o cumprimento de desempenho. Essa noção deveria ser compartilhada através das lideranças entre todos os envolvidos no projeto, de maneira a incentivar a busca pelos ótimos globais.

4.2.4.1.4 Dados de propriedades de massa nas tomadas de decisão

Na observação participativa foi identificado que pelo fato do valor ser um atributo multidimensional, sendo uma relação funcional entre desempenho, custo e prazo (MURMAN; WALTON; REBENTISCH, 2000, p.9), as análises de decisão tornam-se mais complexas. As propriedades de massa participam da relação funcional de valor para o cliente em duas funções: desempenho e custo. Pelo fato das propriedades de massa estarem relacionadas de maneira distintas com desempenho e custo é importante que haja dentro das fases de desenvolvimento uma relação explícita de como as propriedades de massa se relacionam com a função de valor da aeronave.

Atualmente dentro da empresa não há uma relação explícita das propriedades de massa com o valor para o cliente, o que faz com que as tomadas de decisão sejam realizadas de maneira mais simples, priorizando o prazo e custo em detrimento das informações de propriedades de massa. A grande maioria dos respondentes (Questão 12) identificou que nas

tomadas de decisão, em todas as fases de desenvolvimento, as informações de propriedades de massa têm uma importância menor do que custo e prazo.

No entanto, é importante considerar que mesmo que o prazo e custo sejam priorizados não se está obrigatoriamente aumentando o valor para o cliente. A relação das propriedades de massa com o desempenho deve ser quantificada e considerada nas tomadas de decisão.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Estabelecer uma diretriz comum para cada produto e para cada fase de desenvolvimento em que a relação das propriedades de massa com o valor do produto para o cliente seja conhecida entre todos os envolvidos e utilizada nas tomadas de decisão, explicitando o impacto das decisões no negócio do produto.

Como sugestão ter uma regra básica e simples X kg impactam Y requisitos de desempenho, e aumenta W US\$ no custo produto. A relação mínima para as tomadas de decisão entre aumento de custo e melhoria nos requisitos de desempenho é V . Dessa maneira, a relação entre as propriedades de massa e o valor para o cliente seria explícita e conhecida por todos.

4.2.4.2 Analisar a dimensão Atividades / Entregas

4.2.4.2.1 Atividade de Estimativa de peso inicial é crítica

A definição do peso inicial irá refletir em todas as outras fases do desenvolvimento, assim é essencial que nas fases iniciais do desenvolvimento de aeronaves sejam realizadas estimativas realistas de peso (RAYMER, 1992, p. 31).

A empresa tem ferramentas e métodos desenvolvidos internamente para cálculo de estimativa de peso, além disso a empresa busca se atualizar constantemente quanto aos seus métodos de estimativa de peso. Essa atividade é de responsabilidade da equipe de propriedades de massa durante todas as fases de desenvolvimento, com maior demanda na fase de projeto preliminar.

No entanto, de maneira geral, conhece-se a importância das estimativas de peso e as lideranças apoiam melhorias de processos nessa área. A maioria dos entrevistados no estudo de caso acha que as atividades de estimativa de peso só são consideradas críticas pelas lideranças nas fases iniciais de desenvolvimento (até a fase de projeto detalhado) e que nas fases posteriores essa atividade perde sua criticidade (Questão 13). Na verdade, após a fase de projeto detalhado, a atividade de estimativa de peso diminui progressivamente, porém não perde sua importância.

Atualmente, na empresa, poucas pessoas têm a *know-how* de estimativa de peso. Essa é uma atividade realizada por um grupo restrito de pessoas. A principal dificuldade dessa atividade é o desconhecimento da aeronave a ser desenvolvida, para aeronaves derivadas as estimativas de peso inicial apresentam menores erros do que nos casos de novos desenvolvimentos.

Comentários e Pontos de Melhoria:

De maneira geral, conhece-se a importância das estimativas de peso e as lideranças apoiam melhorias de metodologias nessa área. Um ponto de atenção está relacionado com a quantidade de pessoas que dominam a execução dessa atividade dentro da empresa, é importante aumentar o número de envolvidos nessa atividade dentro da empresa.

4.2.4.2.2 Agrupamentos das Atividades/ entregas de propriedades de massa

Na síntese da revisão bibliográfica foi proposto que as atividades / entregas de propriedades de massa devem ser categorizadas em técnica, gerenciamento e integração. Esses agrupamentos trazem um conceito mais amplo para a gestão das propriedades de massa do que o proposto pela SAWE (2004), o reconhecimento da categoria integração vai ao encontro da proposta da Engenharia de Sistemas.

No estudo de caso, foi identificado pela análise documental que parte das atividades e entregas da gestão de propriedades de massa são de integração técnica, e que realmente a proposta de adicionar a categoria integração técnica existe na prática da empresa.

Esse ponto também foi identificado nas respostas obtidas nas entrevistas (Questão 14) em que a maioria dos entrevistados apontou que as categorias das atividades de gestão de propriedades de massa são: técnica, gerenciamento e integração. Nas fases finais de desenvolvimento, a existência de atividades e entregas na categoria integração diminui e por isso apenas a metade dos respondentes acreditam que essa categoria continua a existir.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa já considera a categoria integração dentro das atividades e entregas da gestão de propriedades de massa. A síntese do processo (seção 4.1) deve manter as três categorias: técnica, gerenciamento e integração.

4.2.4.2.3 Reconhecer alívios de peso

A empresa não reconhece alívios de peso de fornecedores internos e externos, não há evidências documentais dessa atividade. A Questão 15 indicou que essa não é uma atividade executada em nenhuma das fases do desenvolvimento. O único respondente que disse que

essa atividade ocorre se referiu à um evento isolado que aconteceu em um dos produtos em desenvolvimento.

Esse evento isolado partiu de uma iniciativa local para reconhecimento de fornecedores internos via meio de comunicação de notícias da empresa, porém essa atividade não foi incorporada ao processo de gestão de propriedades de massa da empresa.

Os fornecedores externos não são reconhecidos pelos alívios de peso implementados em seus pacotes. Não há reconhecimento ao fornecedor que manteve sua meta estipulada na contratação. Tipicamente os fornecedores que excedem a meta devem buscar as reduções ou utiliza-se o peso como margem de negociação contratual, mas não se reconhecem aqueles que cumpriram com suas metas.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Adicionar a atividade de reconhecimento pelos alívios de peso aos fornecedores internos e externos no processo de gestão de propriedades de massa da empresa. Aumentar a aproximação da área de suprimentos com a gestão de propriedades de massa, e garantir que nos papéis e responsabilidades se tenha essa atividade documentada.

4.2.4.3 Analisar a dimensão Recursos / Ferramenta

4.2.4.3.1 Ferramentas de cálculo de propriedades de massa para diferentes maturidades do projeto

As ferramentas utilizadas na empresa para o cálculo de propriedades de massa para diferentes fases do projeto estão aderentes com o identificado na síntese (Figura 26). De maneira geral, as respostas da Questão 16 demonstraram um nível de aderência entre o praticado pela empresa e o teórico de 73% a 97%, significando um nível entre média e alta aderência

É importante considerar o comentário de um dos respondentes na análise: “depende do desenvolvimento, se for um novo desenvolvimento, então o uso de FEM para cálculo das propriedades de massa é menor nas fases”. Esse ponto não havia sido identificado na revisão bibliográfica.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Na síntese da revisão bibliográfica deve-se identificar que a porcentagem de uso das ferramentas varia em função do grau de novidade da aeronave. Nos casos em que a aeronave for derivada, então a quantidade de uso de FEM deve diminuir e o uso de CAD aumentar.

4.2.4.3.2 Base de dados única de propriedades de massa

A gestão de propriedades de massa da empresa não é realizada em uma base de dados única. As informações de massa podem ser encontradas em diferentes bases de dados dentro da empresa. A base de dados corporativa tem apenas o atributo “massa” e não contempla as informações de CGs e inércias.

Os grupos de propriedades de massa de cada desenvolvimento têm uma base de dados com todas as informações de massa, CG e inércia de sua aeronave. Essas bases de dados não estão vinculadas às informações contidas na base de dados corporativa e não seguem necessariamente um padrão entre os diferentes produtos, assim as informações nas bases nem sempre são interpretados da mesma maneira pelos diferentes usuários.

Os respondentes quando questionados sobre a qualidade da base de dados de propriedades de massa não consideraram a base corporativa para responder à questão (Questão 17). As respostas foram dadas considerando as bases de dados paralelas do grupo de propriedades de massa (em planilhas), a qualidade das informações aumenta até a fase de teste (qualidade inicial da base de 37% na fase de projeto conceitual e 74% na fase de teste) e na fase de suporte ao cliente a qualidade sofre uma queda para 63%. A Figura 28 mostra esse comportamento. A qualidade das bases de dados não é considerada alta em nenhuma fase do desenvolvimento.

Figura 28- Qualidade das informações na base de dados - Respostas.

Legenda: Muito alta qualidade (100%), Alta qualidade (90%), Média qualidade (50%), Baixa qualidade (10%), Não existe base de dados (0%)

A qualidade das informações cai nas fases finais de desenvolvimento devido à movimentação entre os envolvidos no projeto, o que faz com que as bases paralelas e internas ao grupo de propriedades de massa deixem de ser conhecidas. Assim, no final do

desenvolvimento, tipicamente as informações de massa utilizadas passam a ser as informações da base de dados corporativa (informação apenas de massa).

Foi realizado um levantamento quanto à qualidade das informações da base de dados corporativa em um dos produtos em desenvolvimento (na fase de teste) e identificou-se que existem erros facilmente identificáveis em pelo menos 5%-8% das informações de massa do sistema. A responsabilidade pelo cadastro das informações de massa no sistema é compartilhada entre todos os envolvidos no desenvolvimento (engenharia e projeto).

Outro ponto importante é que os mais altos níveis hierárquicos quando questionados, preferiram não responder a essa questão, ou seja, não conhecem o problema. Essa baixa qualidade da base de dados de propriedades de massa deve ser compartilhada entre todos os envolvidos e as soluções devem ser tomadas a nível corporativo.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa deve investir no aumento da qualidade da base de dados de propriedades de massa, considerando a necessidade de se realizar a gestão de todos os atributos (peso, CG e inércias) de maneira corporativa. Não é possível realizar a manutenção e garantir a integração das informações quando se trabalha com diferentes bases de dados desvinculadas.

É necessário realizar um levantamento do status da qualidade das informações de massa no sistema de maneira a identificar e corrigir as informações. Esse levantamento da qualidade da informação deve ser um indicador corporativo e conhecido pelos diferentes níveis hierárquicos.

4.2.4.3.3 Atualização da base de dados automaticamente (vínculo DMU / CAD)

Existe vínculo entre as informações de massa da base de dados corporativa e o DMU, as informações são cadastradas manualmente (após cálculo) na base de dados da empresa e posteriormente essa informação fica disponível no DMU. Também existe a possibilidade da informação de massa ser cadastrada no DMU (de maneira manual) e essa informação fica disponível na base de dados empresarial.

Independente do sistema em que a informação de massa é disponibilizada, essa entrada é sempre manual. Não há automatismo no cálculo e registro da massa em nenhum ambiente. Conforme identificado anteriormente, apenas existe o atributo de massa na base de dados corporativa. Para as informações de CGs e inércias não há vínculo com DMU / CAD. Todas as informações para esses parâmetros são cadastradas na base de dados (planilhas) do grupo de propriedades de massa de maneira manual.

Dessa maneira, as respostas da Questão 18 indicam valores abaixo de 25% para todas as fases, sendo que 25% corresponde ao nível em que nenhum parâmetro é atualizado automaticamente porém com vínculo entre a base de dados e o DMU / CAD.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa deve investir no automatismo das atualizações das informações de propriedades de massa na base de dados, considerando os parâmetros de massa, CG e inércias. O automatismo nas atualizações auxilia no aumento da qualidade das informações uma vez que diminui os erros de cadastros manuais das informações.

Para itens estruturais o cálculo das informações de propriedades de massa pode ser realizado de maneira automática, considerando o material atribuído à cada peça. Esse cálculo automático deveria ser cadastrado de maneira automática na base de dados de propriedades de massa. No caso de itens comprados, deve-se utilizar a massa cadastrada pelos responsáveis no banco de dados, porém as outras informações de CG e inércias devem ser automaticamente cadastradas na base de dados.

4.2.4.3.4 Monitorar oportunidades e riscos para tornar o valor da base de dados única probabilístico

Dentro da empresa, as informações de propriedades de massa são consideradas de maneira geral como dados determinísticos. No entanto, não há uma uniformidade entre os diferentes produtos em desenvolvimento. A visão de que as propriedades de massa devem ser consideradas probabilísticas já é conhecida pela empresa, porém não há uma abordagem organizacional para a gestão dos riscos e oportunidades e suas probabilidades.

Deve-se considerar que uma das diretrizes do modelo de desenvolvimento da empresa é a gestão de riscos do projeto, porém os riscos de aumento e as oportunidades de redução das propriedades de massa não são abordados nessa gestão. As bases de dados de oportunidades e riscos da gestão de propriedades de massa quando existem são paralelas às bases utilizadas pelo desenvolvimento.

Existem produtos em que a gestão de probabilidades é realizada de maneira bastante simplificada (probabilidade alta ou baixa) e existem desenvolvimentos em que uma abordagem mais completa é realizada, a partir de método de Monte Carlo ¹². As respostas da

¹² Simulação de Monte Carlo compreende qualquer técnica de amostragem estatística empregada para aproximar a solução de problemas quantitativos. Supondo um sistema modelado ou uma situação real com suas variáveis, em que essas variáveis possuem diferentes valores possíveis. O método de Monte Carlo simula o sistema por completo várias vezes (centenas ou milhares de vezes), a cada vez escolhendo de forma aleatória um

Questão 19, em que se perguntou se as informações de propriedades de massa eram geradas considerando uma base de dados de riscos e oportunidades (com uma probabilidade associada a cada um desses riscos) por fase de desenvolvimento está mostrada na Figura 29.

Figura 29-Informações de propriedades de massa- visão probabilística Respostas.

Legenda: Sempre (100%), Quase sempre (75%), Às vezes (50%), Quase nunca (25%) e Nunca (0%)

É possível verificar que nas fases iniciais de desenvolvimento as informações de propriedades de massa quase nunca (25%) são divulgadas considerando uma base de probabilidade associada. No entanto essa porcentagem aumenta até quase sempre (75%) na fase de detalhamento e posteriormente cai para às vezes (50%) nas fases de teste e suporte ao cliente.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa deve estruturar uma abordagem organizacional para a gestão dos riscos / oportunidades e suas probabilidades na gestão das propriedades de massa. Essa base de dados de riscos deve ser conhecida e atualizada por todos os envolvidos no desenvolvimento.

Deve-se buscar a uniformidade dentro da empresa, sendo que todas as visibilidades de propriedades de massa devem considerar que as informações são probabilísticas. Essa abordagem deve ser utilizada em todas as fases do desenvolvimento.

4.2.4.3.5 Ferramenta automática para geração das visibilidades do status do peso da aeronave, integração DMU / CAD com base de riscos e estruturação dos dados

valor para cada variável a partir de sua distribuição de probabilidade. A saída é a distribuição de probabilidade do valor completo do sistema calculado pelas iterações de cada uma das variáveis do modelo (SCHUSTER, 2005, p.2).

Na empresa não há automatismo na geração das visibilidades¹³ do status do peso da aeronave. Tipicamente essas visibilidades são mensais e exigem que a engenharia de propriedades de massa gere as informações de maneira manual e estruture as visibilidades. Essa falta de automatismo faz com que as informações não estejam disponíveis instantaneamente, em média a engenharia de propriedades de massa leva 18 horas para gerar as informações e visibilidades.

As respostas da Questão 20 indicam essa falta de automatismo, em todas as fases do desenvolvimento o nível de automatismo não passou de 8%, sendo que “não há visibilidade automática, porém há vínculo entre a base de dados de riscos e as bases de dados de propriedades de massa (25%)” e “Não existe automatismo nas visibilidades (0%)”.

Outro ponto importante é que não há um padrão para as visibilidades das informações de propriedades de massa entre os diferentes produtos da empresa.

Um fator complicador para as visibilidades de propriedades de massa é que estas não disponibilizam as informações conforme a árvore do produto. As informações de propriedades de massa seguem os segmentos e tecnologias (elétrica, sistemas ambientais, interiores, etc.) enquanto que a árvore do produto segue a árvore de manufatura. Para exemplificar o problema, itens de responsabilidade da elétrica que são instalados em peças de interiores aparecem na árvore dentro de interiores, enquanto que nas visibilidades de peso deveriam aparecer no agrupamento elétrica. Não há no sistema empresarial um atributo da peça que indique em qual agrupamento de propriedades de massa a peça deve ser considerado.

A razão das visibilidades de propriedades de massa não seguir a árvore de manufatura está relacionado com o fato de possibilitar a identificação da contribuição de cada tecnologia / segmento no peso da aeronave.

Comentários e Pontos de Melhoria:

A empresa deve estruturar um padrão de formatação para as visibilidades de propriedades de massa.

Deve-se criar um atributo para cada peça indicando qual o agrupamento da visibilidade de propriedades de massa que essa peça deve ser considerada. É importante investir em ferramentas que gerem visibilidades automáticas a partir de um banco de dados

¹³ Nesse contexto, as visibilidades são apresentações que informam o status mensal do BOW da aeronave. Essas visibilidades são disponibilizadas para todos os envolvidos no desenvolvimento.

único de propriedades de massa, com vínculos com DMU / CAD e base de probabilidade de riscos.

4.2.4.3.6 Integração do processo de modificação em engenharia (gestão de configuração) com a base de dados única

A base de modificações em engenharia da empresa contém informações de massa, porém não contém informações de CG e inércia. Nas documentações de modificações a informação de massa é considerada apenas como estimativa inicial e não é atualizada conforme a maturidade da modificação aumenta. Assim, a informação de massa na base de dados de engenharia não tem a mesma maturidade da informação das bases de dados paralelas do grupo de propriedades de massa.

Assim, os respondentes quando questionados sobre o grau de integração entre as bases de dados (Questão 21) apontaram valores menores do que 10%, considerando uma escala de resposta em que 0% significa “não há vínculo entre as bases de dados e as informações de propriedades de massa não estão na base de dados de modificação em engenharia” e 25% significa “não há vínculo entre as bases porém as informações de peso estão na base de dados de modificação em engenharia”.

Foi considerado pelos respondentes que as informações de peso não estão na base de dados de modificação de engenharia devido à baixa maturidade da informação contida nas bases de modificação.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Deve-se investir na integração das informações de propriedades de massa na base de dados de modificação em engenharia, de maneira que na base de modificações seja possível identificar as mudanças de peso, CG e inércia da aeronave.

É importante considerar a evolução da maturidade da informação de propriedades de massa da modificação proposta, sendo que as estimativas iniciais devem ser atualizadas conforme aumenta-se a maturidade das soluções.

4.2.4.4 Analisar a dimensão Organização / Papéis e responsabilidades

4.2.4.4.1 Integração Técnica

Na empresa estudada, a integração técnica entre as diferentes disciplinas / tecnologias ocorre em diferentes níveis hierárquicos e em diferentes níveis de detalhe dos sistemas. Todos os envolvidos no desenvolvimento realizam algum tipo de integração, porém não existe um

documento empresarial que formalize e estruture as atribuições de cada um dos envolvidos em relação à sua função de integração.

Além disso, dentro do desenvolvimento existe uma equipe que responde diretamente ao gerente de projetos que recebe o cargo de integradores. Essas pessoas exercem uma função dedicada para a integração técnica, sendo que suas responsabilidades e atuações variam entre os diferentes produtos da empresa. Não existe um integrador dedicado para propriedades de massa, apenas existe um integrador da engenharia aeronáutica por produto, que tem como uma de suas atribuições a qualidade das informações de propriedades de massa.

Considerando a estrutura da empresa, as informações geradas pela engenharia de propriedades de massa não são consideradas uma informação da equipe do gerente de projetos, esse é um indicador gerado pela engenharia aeronáutica e compartilhado com todos os envolvidos no desenvolvimento.

Considerando as respostas obtidas para a Questão 22, em que se perguntava quanto à existência de um responsável dentro do time de integração para a garantia da qualidade da informação de propriedades de massa, é possível verificar que há uma indefinição quanto à essa variável. Praticamente metade dos respondentes afirma que há um responsável, enquanto a outra metade afirma que não há (em todas as fases do desenvolvimento).

Essa indefinição está associada com o fato de que as responsabilidades de integração técnica não são documentadas e por isso não são conhecidas por todos os envolvidos no desenvolvimento, além de faltar harmonização entre diferentes desenvolvimentos da empresa. Outro fator que contribui para essa indefinição é a estrutura organizacional da empresa. O fato do grupo de propriedades de massa responder hierarquicamente à engenharia aeronáutica gera a impressão aos envolvidos no desenvolvimento de que essas informações são indicadores locais.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Estruturar e documentar o processo de integração técnica dentro do processo de desenvolvimento, explicitando as atribuições de cada um dos envolvidos para a integração técnica: engenheiros, projeto, gestores, integradores.

Garantir que haja dentro da equipe do gerente de projetos ao menos uma pessoa responsável pelas informações de propriedades de massa. Uma sugestão seria que a equipe de propriedades de massa, que atualmente está ligada funcionalmente ao gerente de aeronáutica respondesse diretamente ao gerente de projetos.

4.2.4.4.2 Propriedades de massa: uma responsabilidade de todos

A análise documental indicou que a responsabilidade pela geração e qualidade das informações de propriedades de massa é compartilhada entre todos os envolvidos no desenvolvimento. No entanto, como existe uma área responsável pela compilação e pelas visibilidades de propriedades de massa, ela acaba sendo considerada como a responsável final pelas informações.

Essa divisão de papéis e responsabilidades entre os envolvidos no desenvolvimento e a engenharia de propriedades de massa não é comum entre os diferentes produtos da empresa. Existem produtos em que a engenharia de propriedades de massa age como única responsável pelas informações, enquanto existem outros produtos em que essa responsabilidade é compartilhada e os envolvidos no desenvolvimento são solicitados pelo gerente de projetos a assumirem essa atribuição.

As respostas à Questão 23, por fase de desenvolvimento, estão mostradas na Figura 30, é possível verificar que segundo os respondentes, o grau de compartilhamento de responsabilidade pela qualidade das informações de propriedade de massa não passa da metade dos envolvidos em nenhuma das fases.

Figura 30- Compartilhamento de responsabilidades das informações de propriedades de massa.

Legenda: Compartilhada: todos são responsáveis pela qualidade das informações (100%); Quase todos os envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (75%); Metade dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (50%); Quase nenhum dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade (25%); Não é compartilhada: apenas engenharia de propriedades de massa se responsabiliza pela qualidade das informações (0%).

A falta de qualidade das informações na base de dados de propriedades de massa da empresa, identificada na Questão 17, é consequência direta dessa falta de compartilhamento de responsabilidades.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Os papéis e responsabilidades de cada área dentro da gestão de propriedades da massa da empresa não são claros e geram dúvidas. É importante investir nessa definição e documentar essa divisão de responsabilidades de maneira corporativa. Os diferentes programas da empresa devem seguir o mesmo processo para evitar que as mudanças de pessoas entre os diferentes produtos causem dúvidas nos envolvidos.

4.2.4.4.3 "Cultura Aeronáutica" e importância das informações de propriedades de massa

Foi identificado na síntese que apenas o apoio das lideranças não é suficiente para se ter uma gestão de propriedades de massa efetiva. É essencial que na organização haja uma “cultura aeronáutica”, em que todos conhecem a importância das informações de propriedades de massa para a aeronave.

Foi realizada uma pesquisa interna em um dos produtos em desenvolvimento, fase de projeto detalhado, em 38 funcionários para identificar se esse realmente era um problema para a empresa. Nas respostas 100% dos respondentes afirmaram conhecer a importância das informações de propriedades de massa, no entanto quando perguntados se informam corretamente essas informações para as tomadas de decisão, apenas 79% afirmou que sim (Figura 31).

1. Você entende a importância da informação de peso para o Programa e para o Cliente ?

2. Você sempre declara nos documentos (PCRs e OEs) as informações de peso e as informa nas reuniões de tomada de decisão (Obeya, CCB, etc) ?

Figura 31- Pesquisa interna realizada em funcionários de um dos produtos em desenvolvimento da empresa.

O fato de afirmar conhecer a importância e não divulgá-la da melhor maneira possível indica uma contradição de respostas. O que se pode inferir é que 79% das pessoas que responderam à pesquisa interna da empresa não conhecem realmente a importância das informações de propriedades de massa.

Nas entrevistas realizadas nesse estudo de caso, as respostas obtidas para a Questão 24 por fase de desenvolvimento estão indicadas na Figura 32. É possível verificar que o conhecimento da importância das informações de propriedades de massa cai ao longo das fases de desenvolvimento. Nas fases iniciais de desenvolvimento se tem um maior conhecimento da importância das informações de propriedades de massa, em que se atinge o nível de quase todos os envolvidos saberem a importância das informações (75%).

Figura 32- Importância das informações de propriedades de massa.

Legenda: Todos os envolvidos sabem a importância das informações (100%); Quase todos os envolvidos sabem da importância (75%); Metade dos envolvidos sabem da importância (50%); Quase ninguém sabe da importância (25%); Ninguém sabe da importância (0%)

As respostas obtidas nas entrevistas do estudo de caso indicaram um percentual menor de conhecimento da importância das informações de propriedades de massa na fase de detalhamento (53%) do que a pesquisa interna da empresa (79%). Essa diferença está relacionada com a maneira com que a questão foi realizada, na pesquisa interna se perguntou diretamente para a pessoa se ela conhece a importância, enquanto que no estudo de caso se perguntou qual era a percepção dos entrevistados em relação ao conhecimento da importância.

Comentários e Pontos de Melhoria:

O conhecimento da importância das informações de propriedades de massa não é de conhecimento de todos os envolvidos no desenvolvimento. De maneira geral esse conhecimento fica restrito a quase todos os envolvidos (75%) e à metade dos envolvidos (50%).

É importante investir na difusão da importância das informações de propriedades de massa, o curso de formação de engenheiros de desenvolvimento do produto da empresa já tem

um módulo de peso e balanceamento, porém a formação de projetistas não tem um módulo dedicado para as propriedades de massa.

4.2.4.4.4 Implementação de novas tecnologias para a redução de peso

A empresa implementa novas tecnologias de maneira conservativa, tipicamente a empresa utiliza novas tecnologias quando já existem aeronaves de outros fabricantes em que aplicaram as novas tecnologias certificadas no mercado. As novas tecnologias são identificadas e desenvolvidas dentro de um departamento dedicado, e apenas auxilia todos os desenvolvimentos na empresa.

A empresa busca aplicar novas tecnologias principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento. Nas fases avançadas do desenvolvimento aplicam-se novas tecnologias em casos em que o peso da aeronave está inviabilizando os requisitos de desempenho. A média das respostas da Questão 25 indica esse decaimento de aplicação de novas tecnologias conforme as fases de desenvolvimento avançam (Figura 33).

Figura 33- Aplicação de novas tecnologias por fase de desenvolvimento - Respostas.

Legenda: Sempre (100%), Quase sempre (75%), Às vezes (50%), Quase nunca (25%) e Nunca (0%)

Na síntese da revisão bibliográfica identificou-se a implementação de novas tecnologias apenas nas fases iniciais, porém o estudo de caso mostrou que a aplicação de novas tecnologias se mantém de maneira quase constante nas fases posteriores de desenvolvimento.

Comentários e Pontos de Melhoria:

Nas fases iniciais de desenvolvimento o máximo de novas tecnologias que a empresa aplica é com a frequência de 63%, que na escala está entre o quase sempre (75%) e às vezes (50%).

Como sugestão, a empresa deve aumentar a relação entre o departamento de novas tecnologias e o desenvolvimento de maneira que todos os envolvidos no desenvolvimento conheçam os estudos conduzidos dentro do departamento de novas tecnologias, possibilitando que estas possam ser implementadas nos produtos em desenvolvimento.

Propor e estruturar uma metodologia de compartilhamento das informações, pelo menos para o grupo de propriedades de massa, das tecnologias que tem potencial de aliviar peso. Dentro da equipe de propriedades de massa existiriam responsáveis (especialistas) por tópicos que seriam os elos entre os processos de desenvolvimento e o departamento de novas tecnologias.

5 Validação

O diagnóstico proveniente da análise de resultados foi apresentado aos funcionários da empresa em um workshop com pessoas de diferentes funções e posições hierárquicas (gerentes, engenheiros e projetistas). A dinâmica do workshop proporcionou uma apresentação da análise dos resultados e uma discussão do processo de gestão de propriedades de massa de maneira integrada.

De forma a avaliar o diagnóstico apresentado, foi proposto que os participantes respondessem a um questionário estruturado a partir de um conjunto de critérios, adaptados de Vernadat (1996, p.111). Os critérios de avaliação são: escopo, profundidade, objetividade, abrangência de uso, utilidade, simplicidade e clareza e consistência (Tabela 2).

A escala de avaliação utilizada é de

- () Extremamente satisfeito (100%)
- () Satisfeito (75%)
- () Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- () Insatisfeito (25%)
- () Nem um pouco satisfeito (0%)

A quantidade de alternativas está no intervalo de 7 ± 2 conforme apontado por James, Demaree e Wolf (1984, p.96) para garantia de valores melhores de variância. Além disso, seguiram-se as recomendações de Lietz (2010; p. 265) na construção das questões (seção 3.2.2). No total 15 pessoas responderam a avaliação do diagnóstico, as respostas obtidas para cada um dos critérios estão apresentadas no Apêndice F.

Considerando as informações apresentadas no Apêndice F, é possível calcular a média e realizar a análise de confiabilidade entre os julgamentos para cada um dos critérios de análise. O IRR pode variar entre zero e um, sendo que quanto mais próximo de um, mais homogêneas são as opiniões dos respondentes. A Tabela 4 apresenta os valores médios e IRR obtidos para cada um dos critérios analisados.

Tabela 4- Média das respostas e análise de confiabilidade

Critério	Média	IRR
Escopo	85%	0,63
Profundidade	72%	0,54
Objetividade	88%	0,63
Abrangência	77%	0,49
Utilidade	83%	0,55
Simplicidade e clareza	82%	0,36
Consistência	68%	0,42

5.1 Escopo

Considerando o escopo do trabalho, ou seja, objeto de análise definido e explicitado, com suas condições de contorno identificadas, a média das respostas está entre “satisfeito” (75%) e “extremamente satisfeito” (100%).

O IRR do critério escopo é de 0,63, sendo que a dispersão das respostas ficou entre 75% e 100%. Um dos respondentes indicou que a fase de Projeto Conceitual deveria ser mais explorada, pois uma das limitações do estudo de caso, foi não ter entrevistado uma pessoa que atualmente faça parte dessa fase.

5.2 Profundidade

O critério profundidade da análise, ou seja, detalhe adequada das informações, apresentou a média das respostas entre “nem satisfeito, nem insatisfeito” (50%) e “satisfeito” (75%).

O IRR desse critério é de 0,54, sendo que as respostas variaram entre 25% e 100%. Essa variação das respostas está possivelmente relacionada com a limitação de tempo para a condução de workshop (conduzido em duas horas), alguns comentários indicaram que sentiram falta de detalhes e exemplos. No workshop tinham pessoas que acompanharam a condução do estudo de caso e por isso acharam que a profundidade da análise foi maior do que aqueles que participaram apenas da apresentação do diagnóstico.

5.3 Objetividade

Já o critério objetividade, ou seja, precisão das informações, considerando o objetivo da análise, apresentou uma média de respostas entre “satisfeito” (75%) e “extremamente satisfeito” (100%). O IRR desse critério é 0,63, sendo que a dispersão das respostas ficou entre 75% e 100%. Não houve nenhum comentário em relação a esse critério.

5.4 Abrangência

Considerando o critério abrangência, ou seja, a abrangência de aplicação do trabalho, considerando as diferentes fases do desenvolvimento, a média das respostas está entre “satisfeito” (75%) e “extremamente satisfeito” (100%). O IRR desse critério é de 0,49, sendo que as respostas variaram entre 25% e 100%. Não houve comentário em relação à essa questão.

5.5 Utilidade

A utilidade do diagnóstico apresentado, ou seja, identificação do problema de maneira concisa de forma a contribuir na eficiência da solução, apresentou uma média de respostas entre “satisfeito” (75%) e “extremamente satisfeito” (100%).

O IRR desse critério é de 0,55, sendo que as respostas variaram entre 50% e 100%. Os comentários dessa questão são: “muitas sugestões dadas irão realmente melhorar o processo” e “alta prioridade”.

5.6 Simplicidade e Clareza

A simplicidade e clareza do diagnóstico apresentado, ou seja, habilidade de ser facilmente entendido pelos usuários, teve a média das respostas entre “satisfeito” (75%) e “extremamente satisfeito” (100%). O IRR desse critério é de 0,36, sendo que as respostas variaram entre 25% e 100%. Não houve comentário em relação à essa questão.

5.7 Consistência

Por fim, a consistência da análise, ou seja, compatibilidade das informações apresentadas teve a média das respostas entre “nem satisfeito, nem insatisfeito” (50%) e “satisfeito” (75%).

O IRR desse critério é de 0,42, sendo que as respostas variaram entre 25% e 100%. O comentário dessa questão é: “expor mais os dados da pesquisa”. Essa limitação de exposição dos dados da pesquisa está relacionada com o tempo limitado de apresentação da análise, o embasamento teórico foi apresentado a partir da síntese porém o foco maior da apresentação do diagnóstico estava nas propostas de melhoria identificadas.

5.8 Geral

A média geral das avaliações, considerando que a ponderação entre os critérios é a mesma, foi de 79%, ou seja está entre “satisfeito (75%)” e “extremamente satisfeito (100%)”.

O critério que apresentou a menor média e menor IRR é a consistência, porém a média desse critério ainda está próximo de “satisfeito”. Além disso, o comentário desse critério indicou que a apresentação da revisão bibliográfica deveria ser mais detalhada, de maneira que o workshop fosse conduzido com mais tempo.

Como comentário geral, foi apontado que “realmente é fundamental o desenvolvimento de papéis e responsabilidades no processo de gestão de propriedades de massa dentro da empresa” e “as sugestões são válidas, porém senti falta de uma análise quantitativa entre ações e ganhos”.

Outro ponto analisado é que dois dos respondentes apresentaram as respostas que mais divergiram do restante dos entrevistados. A avaliação foi anônima e por isso não é possível identificar as áreas desses respondentes. Assim, se considerarmos que apenas 13 pessoas responderam a análise e desconsiderar as respostas dos respondentes R3 e R15, então as médias e os IRR dos critérios seriam conforme apresentados na

A média geral seria de 83% e as médias de todos os critérios estariam acima de 75%, indicando que os avaliadores ficaram satisfeitos com a análise apresentada para todos os critérios. Além disso, o IRR ficaria mais próximo de 1, indicando uma maior intercambialidade entre os respondentes.

Tabela 5- Média das respostas e análise de confiabilidade (excluindo R3 e R15)

Critério	Média	IRR
Escopo	87%	0,63
Profundidade	77%	0,8
Objetividade	90%	0,64
Abrangência	81%	0,68
Utilidade	87%	0,63
Simplicidade e clareza	87%	0,52
Consistência	75%	0,71

6 Conclusões

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões, comentários e limitações (seção 6.1) e sugestões de trabalhos futuros (seção 6.2).

6.1 Comentários e limitações

A gestão de propriedades de massa foi analisada considerando suas principais dimensões: estratégias / metas, atividades / entregas, recursos / ferramentas e organização / papéis e responsabilidades. Para cada uma dessas dimensões foram identificadas características críticas do processo e variáveis para medir essas características. De maneira que o objetivo específico 1 foi atingido: “Identificar as principais características do processo de gestão de propriedades de massa no contexto do processo de desenvolvimento de aeronaves”.

A síntese da revisão bibliográfica proposta nesse trabalho identificou 17 características críticas do processo de gestão de propriedades de massa e às relacionou com as fases do desenvolvimento de aeronaves propostas por Torenbeek (1982). A abordagem apresentada nessa pesquisa é novidade, pois não existe na bibliografia relações explícitas das dimensões do processo de gestão de propriedades de massa e as fases de desenvolvimento do produto aeronáutico.

Um dos fatores que podem ter contribuído para a falta de trabalhos acadêmicos sobre o tema, é que este é um problema tipicamente enfrentado pela indústria, e considerado como estratégico pelas empresas e por isso não é muito divulgado. A gestão de propriedades de massa é considerada estratégica, pois pode ser o diferencial para o sucesso do produto no mercado.

A SAWE (2004) apresenta um modelo de referência para a gestão de propriedades de massa, que aborda apenas a dimensão atividades/ entregas. Nessa pesquisa não se considerou apenas a proposta da SAWE, pois esta se limita a uma única dimensão e não se relaciona de maneira explícita com o processo de desenvolvimento de aeronaves.

Assim, as características críticas identificadas na síntese da revisão bibliográfica permitiram a estruturação e condução do estudo de caso em uma fabricante de aeronaves, possibilitando que os objetivos específicos 2 e 3 fossem atingidos, respectivamente: “analisar o status desse processo em uma empresa aeronáutica” e “identificar e propor pontos de

melhoria no processo de gestão de propriedades de massa conduzido pela empresa, considerando as características críticas identificadas”.

O principal resultado da análise conduzida na empresa é a identificação de propostas de melhoria no processo, conforme apresentado na seção 4.2.2. A Tabela 6 mostra de maneira resumida as propostas de melhoria identificadas, agrupadas por dimensão do processo.

Tabela 6- Principais propostas de melhoria identificadas

Dimensão	Propostas de Melhoria
Estratégias / Metas	1- Aumentar o uso da estratégia de metas de peso por fase do desenvolvimento 2-Utilizar pesos metas locais em todas as fases de desenvolvimento 3-Estabelecer, em cada desenvolvimento, a relação entre a gestão de propriedades de massa e o valor para o cliente
Atividade / Entregas	4-Aumentar o número de envolvidos nas atividades de estimativa de peso: atividade core 5-Adicionar a atividade de reconhecimento pelos alívios de peso na empresa 6-Aumentar a relação da gestão de propriedades e a gestão de fornecedores
Recursos / Ferramentas	7-Investir em um banco de dados único de propriedades de massa 8-Investir em automatismos de atualização do banco de dados de propriedades de massa 9-Aumentar a uniformidade de ferramentas dentro da empresa 10-Apresentar as informações de propriedades de massa como dados probabilísticos 11-Ter visibilidades automáticas das informações de propriedades de massa 12-Aumentar a integração das informações de propriedades de massa com a gestão de modificações em engenharia
Organização / Papéis e responsabilidades	13-Documentar os papéis e responsabilidades no processo de gestão de propriedades de massa executado pela empresa 14-Aumentar a relação da integração técnica com a gestão de propriedades de massa 15-Aumentar o conhecimento da importância das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento 16-Aumentar o uso de novas tecnologias em produtos em desenvolvimento de maneira a reduzir o peso

Um maior número de pontos de melhoria identificados foi para a dimensão recursos/ferramentas. A existência de uma base de dados única com informações de alta qualidade de propriedades de massa da aeronave deve ser uma das prioridades da empresa. A falta de qualidade da base de dados impacta outras características do processo, tais como qualidade das estimativas de peso.

Na dimensão organização/ papéis e responsabilidades foram identificados quatro pontos de melhoria, sendo que a documentação dos papéis e responsabilidades no processo de gestão de propriedades de massa executado na empresa deve receber maior atenção. Esse ponto identificado é essencial na integração do processo de gestão de propriedades de massa com o processo de desenvolvimento de aeronaves. Além disso, essa proposta de melhoria garante que todos os envolvidos no desenvolvimento saibam o que se espera dele em relação

às propriedades de massa da aeronave, permitindo a apropriação e a responsabilização pela qualidade das informações geradas.

Na dimensão atividades/ entregas foram identificadas apenas três propostas de melhoria. É possível que se tenha sido identificado uma quantidade menor de pontos de melhoria para esta dimensão, pois o modelo de referência proposto pela SAWE aborda de maneira detalhada essa dimensão, servindo como guia para as empresas.

Por fim, na dimensão estratégias/ metas também foram identificadas três propostas de melhoria. Essas propostas devem ser estabelecidas como estratégias comuns a todos os envolvidos no desenvolvimento, dessa maneira devem ser estratégias *top-down*. Os mais altos níveis hierárquicos devem conhecê-las e apoiar na sua difusão.

A análise conduzida nessa pesquisa foi validada por um grupo de especialistas da empresa, que afirmaram estar entre “satisfeito (75%)” e “extremamente satisfeito (100%)” com o trabalho apresentado. Os critérios de objetividade, escopo e utilidade dessa análise foram os que tiveram uma melhor avaliação, o que confirma a contribuição dessa pesquisa para a comunidade profissional, buscando resolver um problema encontrado no mundo real.

A lista de propostas de melhorias identificada nesse trabalho pode ser considerada uma versão inicial de um *roadmap* de melhoria do processo de gestão de propriedades de massa executado pela empresa, aumentando sua integração com o processo de desenvolvimento da empresa. As propostas, no entanto, precisam ser priorizadas pela empresa antes de se montar um *roadmap* definitivo. A priorização deve atender a critérios específicos, que foge ao escopo deste trabalho discutir.

A contribuição principal desse trabalho para a academia está na estruturação da síntese da revisão bibliográfica e na identificação das relações de propriedades de massa com o valor para o cliente, normas SE (IEEE 1220 e norma ISO / IEC 15288) e ARP 4754 (1996). A abordagem dessa pesquisa traz uma visão mais ampla do processo de gestão de propriedades de massa do que o proposto na revisão bibliográfica (SAWE, 2004; DAHM, 2007, RAYMER, 1992).

Uma das limitações principais desse trabalho é a falta de verificação de ganhos com a implementação das ações e pontos de melhoria propostos. Esse ganho poderia ser identificado em uma continuidade dessa pesquisa, com a condução de uma pesquisa-ação. Além disso, outra limitação do trabalho está relacionada como fato de não se ter conduzido um estudo de caso múltiplo, ou seja, apenas uma empresa foi analisada.

6.2 Sugestão de trabalhos futuros

Como sugestão de trabalho futuros a autora identifica os seguintes temas:

- Relações entre o valor do desenvolvimento aeronáutico e a gestão de propriedades de massa;
- Análise da gestão de propriedades de massa no desenvolvimento aeronáutico: estudo de caso múltiplo;
- Propriedades de massa de uma aeronave e suas relações com a ARP 4754;
- Priorização e implementação de melhorias no processo de gestão de propriedades de massa em uma empresa desenvolvedora de aeronaves: pesquisa-ação;

7 Referências

AEROSPACE RECOMMENDED PRACTICE. **ARP 4754A**. SAE AEROSPACE. Guidelines for development of civil aircraft and systems. 2010.

AIRBUS. Global Market Forecast: Flying on Demand 2014-2033. 2014.

ALI, E. **Weight Indexing for Multidisciplinary Design Optimization of Lifting Surfaces**. 2013. Dissertação (Mestrado em engenharia e tecnologia), *Russian State Technological University (MATI)*, Moscou, 2013.

ANDREW, W. G. Do Modern Tools Utilized in the Design and Development of Modern Aircraft Counteract the Impact of Lost Intellectual Capital within the Aerospace Industry. Dissertação (Mestrado em engenharia e tecnologia), *University of Massachusetts (MIT)*, 2001.

APQP. Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle. 2ª edição. Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation. 2008.

BLESSING, L. T. M; CHAKRABARTI, A. **DRM, a design research methodology**. Springer-Verlag, London. 2009.

BROWNING, T. R; FRICKE, E; NEGELE, H. Key Concepts in Modeling Product Development Processes. **Published online in Wiley InterScience**. 2005.

BRUHN, E. F. **Analysis and Design of Flight Vehicle Structures**. Indianapolis. USA. 1973.

CLARK, K.; FUJIMOTO, T. **Product Development Performance**. Harvard College. USA 1991.

CMMI for Development. Software Engineering Institute. version 1.3, 2010.

DAHM, H. Computer Aided Weight and Cost Management in Vehicle and Aircraft Industry. **Society of Allied Weight Engineers**, Inc. TGM GmbH. 2007.

DRAY, L. An analysis of the impact of aircraft lifecycles on aviation emissions mitigation policies. **Journal of Air Transport Management** v.28. Institute for Aviation and the Environment, Cambridge University. p.62-69. 2013.

ECHEVESTE, M.A.; AMARAL; C.S.T.; ROZENFELD, H. A support tool for the selection of statistical techniques for industrial product development and improvement processes. In: G. Loureiro; R. Curran (Eds.); **Complex Systems Concurrent Engineering**, 1st ed., 2007. p. 247 – 255.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION-FAA-Aircraft Weight and Balance control. **AC 120-27E**, 2005.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - FAA. Aircraft Weight and Balance handbook, **FAA-H-8083-1A**, 2007.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION-FAA-Aircraft Weight and Balance control. **AC 120-27E**, 2005.

FEDERAL AVIATION REGULATION – Title 14- Aeronautics and Space- PART 25 AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES.**FAR PART 25**. USA. 2014.

GREENE, D. L. Commercial Air Transport Energy Use and Emissions: Is Technology Enough? **Conference on Sustainable Transportation – Energy Strategies**, 1995.

GREENE, D.L. Energy-Efficiency Improvement Potential of Commercial Aircraft. **Annual Review of Energy and the Environment**, p. 537-573, 1992.

HAMMOND, E.W. Design Metodologies for Space Transportation Systems. **AIAA Education Series**. DOI: 10.2514/4.861734.2001.

HINRICHSSEN, J.; BAUTISTA, C. The Challenge of Reducing both Airframe Weight and Manufacturing Cost. **Air &Space Europe**. v.3. 2001.

IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, **IEEE Std 1220-2005**, pp c1-66. 2007.

INCOSE-TP-2003-016-02. **Systems engineering handbook**. INCOSE Technical Product, 2004.

ISO/IEC/IEEE Systems and Software Engineering - System Life Cycle Processes, **IEEE STD 15288-2008**, pp c1–84, 2008.

JAMES, L.R.; DEMAREE, R.G.; WOOLF, G. Estimating within-group interrater reliability with and without response bias. **Journal of Applied Psychology**, v.69, n.1, p.85-98. 1984.

KARLSSON, C. **Researching Operations Management**. 1st ed. New York: Routledge, 2009.

KRINKE, S. Implementing Life Cycle Engineering efficiently into Automotive Industry Processes. **18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**. Germany, May 2nd - 4th, p.11-16. 2011.

LANCASTER, G. Research methods in management: a concise introduction to research in management and business consultancy. 1st ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

LASZLO, C.; ZHEXEMBAYEVA, N. **Embedded sustainability - the next big competitive advantage**. Stanford, CA: Stanford University Press. 2011.

LAWRENCE, P. R.; LORSCH, J.W. Differenciation and integration in complex organization. **Administrative Science Quartely**, v.1. P.1-47. 1967

LEE, J.J., LUKACHKO, S.P., WAITZ, I.A., Schafer, A. Historical and future trends in aircraft performance, cost and emissions. **Annual Review of Energy and the Environment**, v.26. 167-200, 2001.

LI, X., ZHU, Y., FAN, Y., SU, D. A Comparison of SAE ARP 4754A and ARP 4754. **The 2nd International Symposium on Aircraft Airworthiness – ISAA**, 2011.

LIETZ, P. Research into questionnaire design: A summary of the literature. **International Journal of Market Research**, v.52. 247-273, 2010.

MURMAN, E. M.; WALTON, M.; REBENTISCH, E. Challenges in better, faster, cheaper era of aeronautical design engineering and manufacturing. **The Lean Aerospace Initiative**. Massachusetts Institute of Technology. 2000.

NASA. Systems Engineering: Handbook. 2007.

NICOLAI, L. M. **Fundamentals of Aircraft Design**. Aerospace Engineering, University of Dayton. USA. 1975.

NIGHTIGALE, P. The product–process–organisation relationship in complex development projects. **Research Policy** 29. University of Sussex. p. 913–930. 2000.

NIU, M. C. Y. **Airframe Structural design**. Hong Kong Connilit Press Ltd. Hong Kong. 1988.

PARDESSUS, T. Concurrent Engineering Development and Practices for Aircraft Design at AIRBUS. **International Congress of the Aeronautical Sciences**. v.24. 2004.

PMBOK. Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos. ANSI/PMI 99-001-2004. 2004.

PRICE, M.; RAGHUNATHAN, S.; CURRAN, R. An integrated systems engineering approach to aircraft design. **Progress in Aerospace Sciences**. v. 42. 2006. p.331–376.

RAYMER, D. P. **Aircraft design: a conceptual approach**. 2 ed. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1992.

ROSKAM, J. **Aircraft Design**. Kansas: Hardbound, 1990.

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

SAWE Society of Allied Weight Engineers. Recommended Practice Number 7. **Mass Properties Management and Control for Military Aircraft**. Revision Letter D. 2004.

SAWE, Society of Allied Weight Engineers. **Technical Overview Document (TO1)**. 2011.

SAWE, Society of Allied Weight Engineers. Recommended Practice Number 6. Standard Coordinate Systems for Reporting the Mass Properties of Flight Vehicles. 1995.

SAWE, Society of Allied Weight Engineers. **WEIGHT ENGINEER'S HANDBOOK**. 2002.

SCHUSTER, A. Weight Risk Using Monte Carlo Analysis For A Marine System. **64th Annual SAWE Conference**. 2005.

SILVA, L. S.; ROZENFELD, H. Modelo de avaliação da gestão do conhecimento no processo de desenvolvimento do produto: aplicação em um estudo de caso. **Revista Produção**. v. 13. n. 2. 2003.

SLACK, R. **The Application of Lean Principles to the Military Aerospace Product Development Process**. Dissertação (Mestrado em engenharia e tecnologia), *University of Massachusetts (MIT)*. 1998.

SMITH, P.G ; MERRITT, G.M. Proactive Risk Management: Controlling Uncertainty in Product Development. CRC Press. 2002.

TORENBEEK, E. Synthesis of Subsonic Airplane Design: An introduction to the preliminary design of subsonic general aviation and transport aircraft. Delft University Press. 1982.

VERNADAT, F. Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications. Springer. 1996.

XUE, R.; BARON, C.; ESTEBAN, P.; DEMMOU, H. Managing Systems Engineering Processes: a Multi-Standard Approach. **Annual IEEE Systems Conference**. 2014.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**, Sage Publications, 2003.

Apêndice A- Roteiro de Questões do Estudo de Caso

O roteiro de questões foi dividido em três partes, a primeira parte tem como objetivo a caracterização da empresa em relação ao seu processo de propriedades de massa, enquanto que a segunda parte busca descrever cada uma das dimensões identificadas na síntese do processo de gestão de propriedades de massa. Já a terceira parte é para comentários sobre alguma característica ou variável não abordada nas questões da Parte 1 e Parte 2.

A segunda parte do questionário deve ser respondida considerando cada uma das fases do desenvolvimento de aeronaves: projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, produção, teste e suporte ao cliente.

Parte 1: Caracterização da empresa em relação ao seu processo de propriedades de massa

1. A empresa realiza a gestão de propriedades de massa?
☐ Sim
☐ Não
2. A empresa tem um modelo para a gestão de propriedades de massa?
☐ Sim
☐ Não
3. A empresa tem produtos na fase de desenvolvimento?
☐ Sim
☐ Não
4. A empresa tem um modelo de desenvolvimento de produtos?
☐ Sim
☐ Não
5. A empresa tem documentos que relacionem os processos de gestão de propriedades de massa com o desenvolvimento do produto?
☐ Sim
☐ Não
6. Quais áreas estão envolvidas com o processo de gestão de propriedades de massa?

7. Existe uma área específica para a realização da gestão de propriedades de massa?

() Sim

() Não

8. Qual o desvio percentual médio entre o peso vazio especificado no início do desenvolvimento e o peso certificado de suas aeronaves?

Parte 2: Caracterização do Processo de Gestão de Propriedades de Massa

As perguntas da Parte 2 devem ser realizadas de forma a abordar cada fase do desenvolvimento de aeronaves individualmente, pode-se ter respostas diferentes para cada uma das fases. As fases analisadas são: projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, produção, teste e suporte ao cliente.

Parte 2.1: Descrever a dimensão Estratégias e Metas

9. A empresa utiliza uma estratégia de aplicação de peso meta em função da fase do desenvolvimento?

() Sim

() Não

10. Existe a alocação de peso meta em nível do componente em todas as fases do desenvolvimento?

() Sim

() Não

11. A empresa utiliza uma estratégia de um quilo entra um quilo sai?

() Sim

() Não

12. Nas tomadas de decisões, as informações de propriedades de massa têm a mesma importância que custo e prazo?

() Maior do que custo e prazo

() Maior apenas do que custo

() Maior apenas do que prazo

() Menor do que custo e prazo

Parte 2.2: Descrever a dimensão Atividades e Entregas

13. A atividade de estimativa de peso é considerada, pelas lideranças, como crítica?

☐ Sim

☐ Não

14. As atividades e entregas associadas à gestão de propriedades de massa podem ser classificadas em quais categorias?

☐ técnica

☐ técnica e gerenciamento

☐ técnica, gerenciamento e integração

15. A empresa realiza a atividade de reconhecimento pelos alívios de peso com seus fornecedores (internos e externos)?

☐ Sim

☐ Não

Parte 2.3: Descrever a dimensão Recursos e Ferramentas

16. Qual a porcentagem de uso das ferramentas utilizadas no cálculo de propriedades de massa nas diferentes fases do desenvolvimento? Qual o nível de aderência entre o praticado na empresa e o gráfico abaixo?

- () Muito aderente(100%)
- () Aderente (90%)
- () Média aderência (50%)
- () Baixa aderência(10%)
- () Não existe aderência (0%)

17. Qual o nível de qualidade das informações na base de dados utilizada pela empresa para os dados referentes às propriedades de massa (peso, CG e inércias)?

- () Muito alta qualidade (100%)
- () Alta qualidade (90%)
- () Média qualidade (50%)
- () Baixa qualidade (10%)
- () Não existe base de dados(0%)

18. Qual o nível de automatismo nas atualizações das informações na base de dados de propriedades de massa (peso, CG e inércias)?

- () Peso, CG e inércias são automaticamente cadastrados na base de dados (100%)
- () Apenas dois parâmetros são automáticos (75%)
- () Apenas um dos parâmetros é automático(50%)

() Nenhum parâmetro é atualizado automaticamente porém há vínculo entre a base de dados e o DMU / CAD (25%)

() Não existe vínculo entre a base de dados e o DMU /CAD e não existe automatismo (0%)

19. As informações de propriedades de massa são geradas considerando uma base de dados de riscos e oportunidades, com uma probabilidade associada a cada um desses riscos?

() Sempre (100%)

() Quase sempre (75%)

() As vezes (50%)

() Quase Nunca (25%)

() Nunca (0%)

20. Qual o nível de automatismo das visibilidades das informações de propriedades de massa (peso, CG e inércias)? Considere que se a visibilidade for automática, então está sempre disponível

() Peso, CG e inércias tem visibilidade automática (100%)

() Apenas a visibilidade de peso e CG são automáticos (75%)

() Apenas a visibilidade de peso é automática (50%)

() Não há visibilidade automática, porém há vínculo entre a base de dados de riscos e as bases de dados de propriedades de massa (25%)

() Não existe automatismo nas visibilidades (0%)

21. Qual o nível de integração entre as bases de dados de controle de modificação em engenharia com a base de dados de propriedades de massa?

() As bases de dados são integradas para as informações de Peso, CG e inércias (100%)

() Há vínculo entre as bases para as informações de peso e CG (75%)

() Há vínculo entre as bases apenas para as informações de peso (50%)

() Não há vínculo entre as bases porém as informações de peso estão na base de dados de modificação em engenharia (25%)

() Não há vínculo entre as bases de dados, as informações de propriedades de massa não estão na base de dados de modificação em engenharia (0%)

22. Existe um responsável no time de integração técnica (delegado do gerente de projetos) que se responsabiliza pela qualidade das informações de propriedades de massa?

☐ Sim

☐ Não

23. Qual o nível de compartilhamento de responsabilidade pela qualidade das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?

☐ Compartilhada: todos são responsáveis pela qualidade das informações (100%)

☐ Quase todos os envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (75%)

☐ Metade dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (50%)

☐ Quase nenhum dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (25%)

☐ Não é compartilhada: apenas engenharia de propriedades de massa se responsabiliza pela qualidade das informações (0%)

24. Na sua percepção, qual o nível de conhecimento da importância das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?

☐ Todos os envolvidos sabem a importância das informações (100%)

☐ Quase todos os envolvidos sabem da importância (75%)

☐ Metade dos envolvidos sabem da importância (50%)

☐ Quase ninguém sabe da importância (25%)

☐ Ninguém sabe da importância (0%)

25. A empresa aplica novas tecnologias em produtos em desenvolvimento de forma a reduzir o peso de suas aeronaves?

- ☐ Sempre (100%)
- ☐ Quase sempre (75%)
- ☐ As vezes (50%)
- ☐ Quase Nunca (25%)
- ☐ Nunca (0%)

Parte 3: Comentários Gerais do Processo de Gestão de Propriedades de Massa

26. Caso tenha algum comentário sobre alguma característica ou variável não abordada nas questões acima, favor informar:

Apêndice B- Modelo estruturado para a definição das questões (ECHEVEST et al.; 2007, p. 6)

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
1. Caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa.	Verificar se a empresa tem processo de gestão de propriedades de massa.	Existência do processo de gestão de propriedades de massa	classificação da existência do processo de gestão de propriedades de massa	Sim Não	A empresa realiza a gestão de propriedades de massa ?
	Verificar a existência de um modelo para a gestão de propriedades de massa	Existência de modelo de gestão de propriedades de massa	classificação da existência de um modelo de processo de gestão de propriedades de massa	Sim Não	A empresa tem um modelo para a gestão de propriedades de massa ?
	Verificar a existência de produtos em desenvolvimento	Existência de lançamento de novos produtos	classificação da existência de novos lançamentos	Sim Não	A empresa tem produtos na fase de desenvolvimento?
	Verificar a existência de um modelo de desenvolvimento de produtos	Existência de modelo de desenvolvimento de produtos da empresa	classificação da existência de um modelo de desenvolvimento de produtos	Sim Não	A empresa tem um modelo de desenvolvimento de produtos?

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
1. Caracterização da empresa em relação ao seu processo de gestão de propriedades de massa.	Verificar a relação entre o desenvolvimento de produtos e a gestão de propriedades de massa	Existência de relação documentada (explícita) entre o processo de gestão de propriedades de massa e o processo de desenvolvimento do produto	classificação da existência de documentação que relacione o modelo de desenvolvimento de produtos e o modelo de gestão de propriedades de massa	Sim Não	A empresa tem documentos que relacione os processos de gestão de propriedades de massa com o desenvolvimento do produto?
	Verificar os envolvidos com o processo de gestão de propriedades de massa	Áreas envolvidas no processo de propriedades de massa	identificação das áreas envolvidas com a gestão de propriedades de massa	Todas as áreas da empresa	Quais áreas estão envolvidas com o processo de gestão de propriedades de massa?
	Relação funcional da gestão de propriedades de massa	Existência de área funcional para a gestão de propriedades de massa	classificação da existência de área funcional para a gestão de propriedades de massa	Sim Não	Existe uma área específica para a realização da gestão de propriedades de massa?
	Analisar o desempenho da gestão de propriedades de massa dos produtos da empresa	Desvio entre o peso vazio especificado no início do desenvolvimento e o peso vazio da aeronave certificada	valor de desvio calculado entre o originalmente previsto e o valor final	Valor % : (Peso vazio certificado/ Peso vazio inicial)-1	Qual o desvio porcentual médio entre o peso vazio especificado no início do desenvolvimento e o peso certificado de suas aeronaves?

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
2. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	Analisar a dimensão Estratégias/ Metas	Estratégia de Peso Meta por Fase do Desenvolvimento (PVP)	classificação da empresa em relação à existência de uma estratégia de peso meta por fase do programa	Sim Não	A empresa utiliza uma estratégia de aplicação de peso meta em função da fase do desenvolvimento?
		Metas de Peso Locais (nível de componente)	classificação da existência de metas de pesos locais, nível de componente, em todas as fases do desenvolvimento.	Sim Não	Existe a alocação de peso meta em nível do componente em todas as fases do desenvolvimento?
		Apoio das lideranças (estratégia um quilo entra, então um quilo sai)	classificação da existência da diretriz durante o desenvolvimento de que se houver aumento de peso em um segmento deve-se buscar aliviar em outra região da aeronave	Sim Não	A empresa utiliza uma estratégia de um quilo entra um quilo sai?
		Ponderação dos dados propriedades de massa nas tomadas de decisão	escala de grau, relacionada com a ponderação das informações de propriedades de massa nas tomadas de decisão, em relação com as ponderações de custo e prazo.	maior do que custo e prazo maior apenas do que custo maior apenas do que prazo menor do que custo e prazo	Nas tomadas de decisões, as informações de propriedades de massa tem a mesma importância que custo e prazo?
2. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	Analisar a dimensão Atividade/ Entregas	Atividade de Estimativa de peso inicial é crítica	conhecimento da importância da atividade de estimativa de peso inicial pelas lideranças	Sim Não	A atividade de estimativa de peso é considerada, pelas lideranças, como crítica?
		Agrupamentos das Atividades/ entregas de propriedades de massa	escala de grau das categorias das atividades/ entregas de propriedades de massa	técnica técnica e gerenciamento técnica, gerenciamento e integração	As atividades e entregas associadas à gestão de propriedades de massa podem ser classificadas em quais categorias?
		Reconhecer alívios de peso	classificação da execução da atividade de reconhecimento dos alívios de peso.	Sim Não	A empresa realiza a atividade de reconhecimento pelos alívios de peso com seus fornecedores (internos e externos)?

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
2. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	Analisar a dimensão Recursos/ Ferramenta	Ferramentas cálculo de propriedades de massa para diferentes maturidades do projeto	aderência das respostas com o gráfico de uso das ferramentas por fase. Opção de ferramentas: Estimativas, Elementos Finitos, CAD e real	Muito alta aderência(100%) Alta aderência (90%) Média aderência (50%) Baixa aderência(10%) Não existe aderência (0%)	Qual a porcentagem de uso das ferramentas utilizadas no cálculo de propriedades de massa nas diferentes fases do desenvolvimento?
		Base de dados única	escala de grau da qualidade das informações da base de dados única para gestão dos atributos de propriedades de massa.	Muito alta qualidade (100%) Alta qualidade (90%) Média qualidade (50%) Baixa qualidade (10%) Não existe base de dados(0%)	Qual o nível de qualidade das informações na base de dados utilizada pela empresa para os dados referentes às propriedades de massa (peso, CG e inércias)?
		Atualização da base de dados automaticamente (vínculo DMU/ CAD)	escala de grau de automatismo das informações da base de dados de propriedades de massa (abrangência da integração)	Peso, CG e inércias são automaticamente cadastrados na base de dados(100%) Apenas dois parâmetros são automáticos (75%) Apenas um dos parâmetros é automático(50%) Nenhum parametro é atualizado automaticamente porém há vínculo entre a base de dados e o DMU/ CAD (25%) Não existe vínculo entre a base de dados e o DMU/CAD e não existe automatismo(0%)	Qual o nível de automatismo nas atualizações das informações na base de dados de propriedades de massa (peso, CG e inércias)?

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
2. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	Analisar a dimensão Recursos/ Ferramenta	Monitorar oportunidades e riscos para tornar o valor da base de dados única probabilístico	classificação da frequência com que os dados de propriedades de massa são gerados e apresentados de forma probabilística	Sempre (100%) Quase sempre (75%) As vezes (50%) Quase Nunca (25%) Nunca (0%)	As informações de propriedades de massa são geradas considerando uma base de dados de riscos e oportunidades, com uma probabilidade associada a cada um desses riscos?
		Ferramenta automática para geração das visibilidades do status do peso da aeronave, integração DMU/CAD com base de riscos e estruturação dos dados	escala de grau de automatismo das visibilidades de propriedades de massa.	Peso, CG e inércias tem visibilidade automática (100%) Apenas a visibilidade de peso e CG são automáticos (75%) Apenas a visibilidade de peso é automática (50%) Não há visibilidade automática, porém há vínculo entre a base de dados de riscos e as bases de dados de propriedades de massa (25%) Não existe automatismo nas visibilidades (0%)	Qual o nível de automatismo das visibilidades das informações de propriedades de massa (peso, CG e inércias)? Considere que se a visibilidade for automática, então está sempre disponível
		Integração do processo de modificação em engenharia (gestão de configuração) com a base de dados única	escala de grau da qualidade da integração entre as bases de dados de controle de modificação em engenharia e as propriedades de massa	As bases de dados são integradas para as informações de Peso, CG e inércias (100%) Há vínculo entre as bases para as informações de peso e CG (75%) Há vínculo entre as bases apenas para as informações de peso (50%) Não há vínculo entre as bases porém as informações de peso estão na base de dados de modificação em engenharia (25%) Não há vínculo entre as bases de dados, as informações de propriedades de massa não estão na base de dados de modificação em engenharia (0%)	Qual o nível de integração entre as bases de dados de controle de modificação em engenharia com a base de dados de propriedades de massa?

Objetivo	Desdobramento do objetivo	Característica a ser avaliada	Variável (como medir a característica)	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Questão
2. Caracterização do processo de gestão de propriedades de massa	Analisar a dimensão Organização/ Papéis e responsabilidades	Integração Técnica	classificação quanto à existência de um responsável dentro do time de integração para a garantia da qualidade da informação de propriedades de massa	Sim Não	Existe um responsável no time de integração técnica (delegado do gerente de projetos) que se responsabiliza pela qualidade das informações de propriedades de massa?
		Propriedades de massa: uma responsabilidade de todos	escala de grau de responsabilidade compartilhada	Compartilhada: todos são responsáveis pela qualidade das informações (100%) Quase todos os envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (75%) Metade dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (50%) Quase nenhum dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade (25%) Não é compartilhada: apenas engenharia de propriedades de massa se responsabiliza pela qualidade das informações (0%)	Qual o nível de compartilhamento de responsabilidade pela qualidade das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?
		"Cultura Aeronáutica" e importância das informações de propriedades de massa	escala de grau do conhecimento da importância das informações de propriedades de massa pelos envolvidos no processo de desenvolvimento	Todos os envolvidos sabem a importância das informações (100%) Quase todos os envolvidos sabem da importância (75%) Metade dos envolvidos sabem da importância (50%) Quase ninguém sabe da importância (25%) Ninguém sabe da importância (0%)	Na sua percepção, qual o nível de conhecimento da importância das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?
		Implementação de novas tecnologias para a redução de peso	escala de uso de novas tecnologias aplicadas em aeronaves em desenvolvimento	Sempre (100%) Quase sempre (75%) As vezes (50%) Quase Nunca (25%) Nunca (0%)	A empresa aplica novas tecnologias em produtos em desenvolvimento de forma a reduzir o peso de suas aeronaves?

Apêndice C- Questionário para avaliação da Síntese do Processo de Gestão de Propriedades de Massa

Nesse apêndice é apresentado o questionário desenvolvido para a avaliação do diagnóstico proposto a partir da síntese da literatura e análise do estudo de caso. O diagnóstico com as propostas de melhoria no processo de gestão das propriedades de massa da empresa foi apresentado e posteriormente esse questionário foi aplicado.

Esse questionário foi estruturado considerando critérios de modelagem adaptados de Vernadat (1996, p.111). Os critérios utilizados para essa avaliação são: escopo, profundidade, objetividade, abrangência de uso, utilidade, simplicidade e clareza e consistência (Tabela 2).

1-Escopo: Como você avalia sua satisfação em relação ao escopo proposto, ou seja, gestão de propriedades de massa?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- ☐ Insatisfeito (25%)
- ☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

2-Profundidade: Como você avalia sua satisfação em relação à profundidade do diagnóstico proposto e pontos de melhoria identificados?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- ☐ Insatisfeito (25%)
- ☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

3-Objetividade: Como você avalia sua satisfação em relação à objetividade do diagnóstico proposto e pontos de melhoria identificados?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- ☐ Insatisfeito (25%)
- ☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

4-Abrangência: Como você avalia sua satisfação em relação à abrangência do diagnóstico proposto, considerando as diferentes fases do desenvolvimento de aeronaves?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- ☐ Insatisfeito (25%)
- ☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

5-Utilidade: Como você avalia sua satisfação em relação à utilidade do diagnóstico proposto, no apoio à identificação e seleção de pontos de melhoria no processo de gestão de propriedades de massa dentro da empresa?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- ☐ Insatisfeito (25%)
- ☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

6-Simplicidade e clareza: Como você avalia sua satisfação em relação à simplicidade e clareza do diagnóstico proposto e pontos de melhoria identificados?

- ☐ Extremamente satisfeito (100%)
- ☐ Satisfeito (75%)
- ☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)

☐ Insatisfeito (25%)

☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

7-Consistência: Como você avalia sua satisfação em relação à consistência do diagnóstico proposto?

☐ Extremamente satisfeito (100%)

☐ Satisfeito (75%)

☐ Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)

☐ Insatisfeito (25%)

☐ Nem um pouco satisfeito (0%)

Comentários:

Geral: Você tem algum outro comentário sobre o diagnóstico proposto e sua aplicação na empresa?

Apêndice D- Resultados - Respostas Questionários do Estudo de Caso

Nesse apêndice são apresentadas as respostas obtidas com a aplicação do questionário estruturado apresentado no Apêndice B. No total nove pessoas participaram do questionário e as respostas foram dadas considerando apenas as fases de desenvolvimento em que essas já trabalharam. A análise desses resultados pode ser encontrada na seção 4.2.2.

Questão	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
1)A empresa realiza a gestão de propriedades de massa ?	Sim	3	8	9	8	8	5
	Não	0	0	0	0	0	0
2)A empresa tem um modelo para a gestão de propriedades de massa ?	Sim	3	7	8	7	7	2
	Não	0	1	1	1	1	3
3)A empresa tem produtos na fase de desenvolvimento?	Sim	4	8	9	8	8	6
	Não	0	0	0	0	0	0
4)A empresa tem um modelo de desenvolvimento de produtos?	Sim	4	8	9	8	8	5
	Não	0	0	0	0	0	0
5)A empresa tem documentos que relacionem os processos de gestão de	Sim	3	5	6	5	5	1
	Não	1	2	2	3	3	4

Questão	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
	Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
Quais áreas estão envolvidas com o processo de gestão de propriedades de massa?	1) Todas as áreas do desenvolvimento 2) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 3) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado (principalmente), aerodinâmica 4) manufatura/projetos/engenharia	1) Propriedades de Massa, Eng. Análise estrutural, Eng. Sistemas, Projeto estrutural e Projeto sistemas, Suprimentos 2) Todas as áreas do desenvolvimento 3) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 4) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado, aerodinâmica e cargas 5) Manufatura, engenharia, análise e projeto 6) Análise, Projeto, Peso 7) manufatura/ projetos/ engenharia	1) Propriedades de Massa, Eng. Análise estrutural, Eng. Sistemas, Projeto estrutural e Projeto sistemas, Suprimentos, Manufatura, Materiais 2) Todas 3) Todas as áreas do desenvolvimento 4) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 5) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado, aerodinâmica e cargas, manufatura 7) Manufatura, engenharia, análise e projeto 8) Análise, Projeto, Peso 9) Suprimentos/ manufatura/ projetos/ engenharia	1) Propriedades de Massa, Eng. Análise estrutural, Eng. Sistemas, Projeto estrutural e Projeto sistemas, Suprimentos, Manufatura, Materiais e Ensaio em voo 2) Todas 3) Todas as áreas do desenvolvimento 4) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 5) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado, aerodinâmica e cargas, manufatura 6) Análise, Projeto, Peso 7) manufatura/ projetos/ engenharia	1) Propriedades de Massa, Eng. Análise estrutural, Eng. Sistemas, Projeto estrutural e Projeto sistemas, Manufatura, Materiais, Ensaio em voo, Vendas 2) Todas 3) Todas as áreas do desenvolvimento 4) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 5) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado, aerodinâmica e cargas, manufatura 6) Análise, Projeto, Peso 7) projetos/ engenharia	1) Propriedades de Massa, Eng. Análise estrutural, Eng. Sistemas, Projeto estrutural e Projeto sistemas, Manufatura, Ensaio em voo, Vendas 2) Suporte a produção 3) Todas as áreas do desenvolvimento 4) Todas que estão embaixo do gerente de projetos 5) Sistemas, Interior, Estruturas, Mercado, aerodinâmica e cargas, manufatura 6) Análise, Projeto, Peso

Questão	Possíveis valores assumidos pelas	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
7) Existe uma área específica para a realização da gestão de propriedades de	Sim	2	8	9	8	8	5
	Não	1	0	0	0	0	0
8) Qual o desvio porcentual médio entre o peso vazio especificado no início do desenvolvimento e o peso certificado de suas aeronaves?	Valor % : (Peso vazio certificado/ Peso vazio inicial) - 1	5%	4%	3%	1%	4%	3%
9) A empresa utiliza uma estratégia de aplicação de peso meta em função da	Sim	3	6	8	3	3	2
	Não	1	2	1	5	5	3
10) Existe a alocação de peso meta em nível do componente em todas as fases	Sim	2	5	2	2	1	1
	Não	2	3	7	6	7	4
11) A empresa utiliza uma estratégia de um quilo entra um quilo sai?	Sim	0	1	3	2	1	1
	Não	4	7	6	6	7	4
12) Nas tomadas de decisões, as informações de propriedades de massa tem a mesma importância que custo e prazo?	maior do que custo e prazo	0	0	0	0	0	0
	maior apenas do que custo	0	1	0	0	0	0
	maior apenas do que prazo	0	0	0	0	0	0
	menor do que custo e prazo	2	5	7	6	6	4
13) A atividade de estimativa de peso é considerada, pelas lideranças, como crítica?	Sim	3	5	6	3	2	1
	Não	1	3	3	4	5	4

Questão	Possíveis valores assumidos pelas	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
14)As atividades e entregas associadas à gestão de propriedades de massa podem ser classificadas em quais categorias?	técnica	0	0	0	0	0	0
	técnica e gerenciamento	1	1	1	1	1	2
	técnica, gerenciamento e	2	4	5	4	4	2
15)A empresa realiza a atividade de reconhecimento pelos alívios de peso com seus fornecedores (internos e externos)?	Sim	0	1	1	1	1	0
	Não	4	7	8	7	7	5
16)Qual a porcentagem de uso das ferramentas utilizadas no cálculo de propriedades de massa nas diferentes fases do desenvolvimento?	Muito alta aderência(100%) Alta aderência (90%) Média aderência (50%) Baixa aderência(10%) Não existe aderência (0%)	97%	74%	80%	81%	81%	73%
17)Qual o nível de qualidade das informações na base de dados utilizada pela empresa para os dados referentes às propriedades de massa (peso, CG e inércias)?	Muito alta qualidade (100%) Alta qualidade (90%) Média qualidade (50%) Baixa qualidade (10%) Não existe base de dados(0%)	37%	50%	68%	70%	74%	63%

Questão	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
18)Qual o nível de automatismo nas atualizações das informações na base de dados de propriedades de massa (peso, CG e inércias)?	Peso, CG e inércias são automaticamente cadastrados na base de dados(100%) Apenas dois parâmetros são automáticos (75%) Apenas um dos parâmetros é automático(50%) Nenhum parametro é atualizado automaticamente porém há vínculo entre a base de dados e o DMU/ CAD (25%) Não existe vínculo entre a base de dados e o DMU/CAD e não existe automatismo(0%)	0%	11%	16%	18%	18%	13%
19)As informações de propriedades de massa são geradas considerando uma base de dados de riscos e oportunidades, com uma probabilidade associada a cada um desses riscos?	Sempre (100%) Quase sempre (75%) As vezes (50%) Quase Nunca (25%) Nunca (0%)	17%	36%	69%	64%	50%	40%

Questão	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
20) Qual o nível de automatismo das visibilidades das informações de propriedades de massa (peso, CG e inércias)? Considere que se a visibilidade for automática, então está sempre disponível	<p>Peso, CG e inércias tem visibilidade automática (100%)</p> <p>Apenas a visibilidade de peso e CG são automáticos (75%)</p> <p>Apenas a visibilidade de peso é automática (50%)</p> <p>Não há visibilidade automática, porém há vínculo entre a base de dados de riscos e as bases de dados de propriedades de massa (25%)</p> <p>Não existe automatismo nas visibilidades (0%)</p>	0%	3%	8%	9%	3%	5%
21) Qual o nível de integração entre as bases de dados de controle de modificação em engenharia com a base de dados de propriedades de massa?	<p>As bases de dados são integradas para as informações de Peso, CG e inércias (100%)</p> <p>Há vínculo entre as bases para as informações de peso e CG (75%)</p> <p>Há vínculo entre as bases apenas para as informações de peso (50%)</p> <p>Não há vínculo entre as bases porém as informações de peso estão na base de dados de modificação em engenharia (25%)</p> <p>Não há vínculo entre as bases de dados, as informações de propriedades de massa não estão na base de dados de modificação em engenharia (0%)</p>	6%	22%	34%	39%	39%	50%

Questão	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
22) Existe um responsável no time de integração técnica (delegado do gerente)	Sim	1	4	4	3	3	2
	Não	3	4	5	5	5	3
23) Qual o nível de compartilhamento de responsabilidade pela qualidade das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?	<p>Compartilhada: todos são responsáveis pela qualidade das informações (100%)</p> <p>Quase todos os envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (75%)</p> <p>Metade dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade da informação (50%)</p> <p>Quase nenhum dos envolvidos se sentem responsáveis pela qualidade (25%)</p> <p>Não é compartilhada: apenas engenharia de propriedades de massa se responsabiliza pela qualidade das informações (0%)</p>	38%	31%	39%	44%	39%	40%

Questão	Possíveis valores assumidos pelas variáveis	Resposta por Fase do Processo de Desenvolvimento de Aeronaves					
		Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Produção do Protótipo	Teste	Suporte ao Cliente
24)Na sua percepção, qual o nível de conhecimento da importância das informações de propriedades de massa entre os envolvidos no desenvolvimento?	Todos os envolvidos sabem a importância das informações (100%) Quase todos os envolvidos sabem da importância (75%) Metade dos envolvidos sabem da importância (50%) Quase ninguém sabe da importância (25%) Ninguém sabe da importância (0%)	75%	56%	53%	50%	50%	40%
25)A empresa aplica novas tecnologias em produtos em desenvolvimento de forma a reduzir o peso de suas aeronaves?	Sempre (100%) Quase sempre (75%) As vezes (50%) Quase Nunca (25%) Nunca (0%)	63%	53%	44%	41%	38%	35%

Apêndice E- Respostas Avaliação da Síntese do Processo de Gestão de Propriedades de Massa

Nesse apêndice são apresentadas as respostas obtidas com a aplicação do questionário apresentado no Apêndice D. No total quinze pessoas participaram do questionário e as respostas foram dadas considerando a apresentação do diagnóstico durante workshop realizado na empresa. A análise desses resultados pode ser encontrada no Capítulo 5.

Cada uma das colunas diz respeito à um respondente, identificado pela letra “R” e a escala de utilizada é de

- () Extremamente satisfeito (100%)
- () Satisfeito (75%)
- () Nem satisfeito, nem insatisfeito (50%)
- () Insatisfeito (25%)
- () Nem um pouco satisfeito (0%)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
Escopo	75%	75%	75%	75%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	75%	75%	100%	75%	75%
Profundidade	75%	75%	50%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	25%
Objetividade	100%	100%	75%	100%	75%	100%	100%	75%	75%	75%	100%	75%	100%	100%	75%
Abrangência	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	100%	100%	100%	75%	75%	25%
Utilidade	75%	75%	75%	100%	100%	100%	75%	75%	100%	100%	75%	100%	75%	75%	50%
Simplicidade e clareza	75%	100%	25%	100%	75%	100%	50%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	75%
Consistência	75%	75%	25%	75%	75%	50%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%	75%	25%