



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARINA DE PAULA SOARES

**METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE  
AERONAVES LEVES RADIOCONTROLADAS**

*Uma Contribuição para o AeroDesign*

JUAZEIRO-BA

2017

MARINA DE PAULA SOARES

**METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE  
AERONAVES LEVES RADIOCONTROLADAS**

Uma Contribuição para o *AeroDesign*

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal do  
Vale do São Francisco como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheira de Produção.

Orientador:  
Prof. Dr. José Luiz Moreira de Carvalho

JUAZEIRO-BA  
2017

S676m Soares, Marina de Paula  
Metodologia para o desenvolvimento de projetos de aeronaves leves  
radiocontroladas: uma contribuição para o aerodesign / Marina de Paula –  
Juazeiro, 2017

xiii 139 f. il. ; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de  
Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus, local,  
ano.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Moreira de Carvalho.

1. Engenharia do Produto. 2. AeroDesign. 3. Metodologia. I. Título.  
II. Universidade Federal do Vale do São Francisco

CDD 629.13324

MARINA DE PAULA SOARES

**METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE  
AERONAVES LEVES RADIOCONTROLADAS**  
Uma Contribuição para o *AeroDesign*

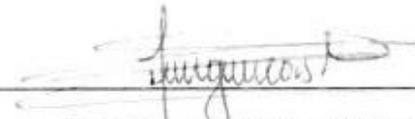
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal do  
Vale do São Francisco como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheira de Produção.

Juazeiro-BA, 19 de maio de 2017

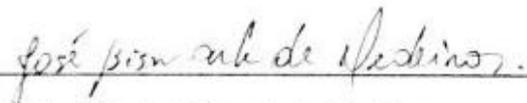
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. José Luiz Moreira de Carvalho  
UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco)



Prof. Dr. Ana Cristina G. Castro Silva  
UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco)



Prof. Dr. José Bismark de Medeiros  
UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco)

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, fora Temer!

Agradeço a minha mãe Ana Cristina, pelo amor, apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço e pelo exemplo de mulher forte e batalhadora que é para todos ao seu redor.

Ao meu pai, Geraldo, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu em todos os momentos.

A minha avó Dodô, amor da minha vida, por ter me inspirado como a maior figura feminina que eu tenho orgulho de conhecer, minha heroína.

A meu avô Felipe, em memória, que me protege e me guia em cada passo.

A minha irmã Luise, pelo companheirismo de sempre, amor e apoio nos momentos difíceis, por acreditar em mim mais do que eu mesma na maioria das vezes.

A minha irmã Sofia, por existir e tornar minha vida mais feliz.

Obrigada! Primos, Júlia e Juninho, Tia Fátima e Tio Júnior, pela contribuição valiosa e apoio incondicional.

Meus agradecimentos aos amigos, Bárbara, amiga de todas as horas, força para os momentos difíceis e estimulando a não desistir e Paulo. Meus irmãos de coração, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

A minha linda, Ana Paula, pelo apoio incondicional, compreensão, puxões de orelha e todo carinho.

A equipe F-Carranca, por ter se tornado uma família, fonte de inspiração e aprendizado, onde aprendi a trabalhar em equipe, evolui como profissional e como ser humano, obrigada pelos quase 3 anos de paixão pela aeronáutica.

Por fim, ao meu querido orientador, Zé Luíz, por ter se tornado um amigo durante a minha jornada acadêmica, pela paciência, companheirismo e confiança durante o processo de elaboração deste trabalho.

*“Defina sucesso com seus próprios termos, o alcance segundo as suas próprias regras e viva uma vida da qual você se orgulhe. ”*

Anne Sweeney

## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma metodologia de desenvolvimento de projeto de aeronaves, como contribuição para o AeroDesign, levando em conta a realidade específica da equipe F-Carranca AeroDesign da Universidade Federal do Vale do São Francisco. As metodologias já encontradas em bibliografias geralmente adéquam-se facilmente a aeronaves tripuladas, de maior porte, diferentes daquelas projetadas com o objetivo de participar da competição SAE Brasil AeroDesign que são radiocontroladas e não tripuladas, da categoria VANT. O trabalho foi dividido em 5 seções e apresenta uma descrição detalhada da aplicação e em seguida a descrição da metodologia proposta a partir das lições aprendidas no capítulo 4, destacando-se a importância de uma etapa conceitual sólida e bem embasada, para evitar falhas em fases mais avançadas, observou-se também a importância de enxergar o relatório de projeto como produto final, assim como a aeronave, sendo necessário adicionar uma fase de finalização do relatório técnico, para que haja um tempo reservado para a descrição das etapas do projeto, revisão e correção. Na busca por melhores resultados é importante que haja um direcionamento das atividades usuais e de ferramentas gerenciais, de qualidade e de controle, aumentando o nível de qualidade de projeto.

Palavras Chave: Desenvolvimento de Projeto de Aeronaves; AeroDesign; Metodologia.

## **ABSTRACT**

*The objective of this work was to develop a methodology for the development of aircraft design, as a contribution to AeroDesign, taking into account the specific reality of the F-Carranca AeroDesign team of the Federal University of the São Francisco Valley. The methodologies already found in bibliographies generally fit easily into larger manned aircraft, different from those designed to participate in the SAE Brazil AeroDesign competition, which are radio-controlled and unmanned, of the VANT category. The work was divided in 5 sections and presents a detailed description of the application and then the description of the methodology proposed from the lessons learned in chapter 4, highlighting the importance of a solid and well-founded conceptual step to avoid phase faults. The project report as a final product, as well as the aircraft, it was necessary to add a technical report finalization phase, so that there is a time reserved for the description of the project stages, revision and correction. In the quest for better results it is important that there is a focus of the usual activities and management tools, quality and control, increasing the level of project quality.*

*Keywords: Aircraft Project Development; AeroDesign; Methodology.*

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Check List de Desempenho de Aeronave .....	83
Tabela 2: Quadro de decisões dos parâmetros de entrada do algoritmo de otimização .....	86
Tabela 3: Resultado competição de projeto classe regular .....	99
Tabela 4: Resultado final da classe regular .....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pontos críticos do desenvolvimento de um projeto de AeroDesign .....	3
Figura 2: Projeto e Desenvolvimento de Aeronaves .....	10
Figura 3: Concepção de configuração e desenvolvimento de uma aeronave subsônica de transporte .	11
Figura 4: Exemplo da evolução da especificação da missão e a relação como projeto e dimensionamento preliminar.....	13
Figura 5: A roda do projeto.....	14
Figura 6: Três fases do desenvolvimento de projeto de aeronaves .....	15
Figura 7: Processo de Projeto Conceitual de Aeronaves.....	16
Figura 8: Disposição das etapas de desenvolvimento de aeronaves.....	18
Figura 9: Apresentação esquemática da etapa de Especificações e Requisitos.....	18
Figura 10: Apresentação esquemática da etapa de Estudos Preliminares .....	20
Figura 11: Exemplo de tabelas comparativas.....	21
Figura 12: Gráfico Peso Máximo[kg] x Aeronave.....	21
Figura 13: Configurações possíveis para uma aeronave .....	23
Figura 14: Apresentação esquemática da etapa Anteprojecto.....	24
Figura 15: Apresentação esquemática da etapa de Projeto .....	25
Figura 16: Estrutura de Projeto de Aeronave .....	26
Figura 17: Estrutura básica de projeto.....	27
Figura 18: Estrutura básica de projeto detalhado para o AeroDesign .....	28
Figura 19: Quadro comparativo das metodologias tradicionais .....	30
Figura 20: Sequência de etapas em um processo tradicional de projeto .....	32
Figura 21: Escopo do PDP .....	33
Figura 22: Sequência de etapas em um processo de projeto usando Engenharia Simultânea.....	33
Figura 23: O processo de planejamento estratégico de unidades de negócios .....	34
Figura 24: Processo de Desenvolvimento de Produto.....	35
Figura 25: Representação da fase de Pré-Desenvolvimento .....	36
Figura 26: Informações principais e dependência entre .....	37
Figura 27: Representação da estrutura ABNT NBR ISO 9001:2015 no ciclo PDCA .....	40
Figura 28: Esquema das etapas de desenvolvimento do produto .....	41
Figura 29: Representação simplificada do método QFD. ....	43
Figura 30: Modelo de Estrutura Administrativa de Projeto Simples .....	45
Figura 31: Caracterização de um processo por meio do diagrama de causa e efeito.....	46
Figura 32: Os quatro tipos de FMEA .....	49
Figura 33: Exemplo de FMEA das expectativas no formulário tradicional .....	49
Figura 34: Plano de Ação 5W2H .....	50
Figura 35: Definição das etapas do DPP.....	53
Figura 36: Metodologia Genérica IPPD Georgia Tech.....	55
Figura 37: Entradas do Sistema de Integração e os resultados.....	56
Figura 38: Classificação da Pesquisa .....	61
Figura 39: Organograma da equipe F-Carranca AeroDesign.....	62
Figura 40: Metodologia F-Carranca 2015 .....	66
Figura 41: Aeronave FC015 .....	67
Figura 42: Pontuação de Relatórios 2015.....	67

Figura 43: Classificação Final 2015 .....	67
Figura 44: Processo Genérico Iterativo IPPD adaptado ao AeroDesign .....	68
Figura 45: Etapas de desenvolvimento de projetos de aeronaves leves radiocontroladas.....	69
Figura 46: Quadro dos principais erros do projeto 2015 .....	70
Figura 47: Gráfico comparativo do MTOW.....	70
Figura 48: Análise de SWOT F-Carranca AeroDesign.....	71
Figura 49: Quadro de metas e objetivos.....	72
Figura 51: Fase II - Cronograma do projeto AGE I .....	73
Figura 50:Fase I - Cronograma do projeto AGE I.....	73
Figura 52: Restrições do regulamento da 18ª Competição SAE Brasil AeroDesign .....	74
Figura 53: QFD de Projeto Conceitual.....	75
Figura 54: Esboço do projeto conceitual.....	77
Figura 55: Possibilidade de geometria de asa .....	78
Figura 56: Vista em planta da aeronave saída da etapa de MDO.....	79
Figura 57: Sistema de Integração Intersectorial.....	80
Figura 58: F-Carranca Map.....	81
Figura 59: Vista isométrica do desenho detalhado da aeronave AGE I.....	82
Figura 60: Vista em planta do desenho detalhado da aeronave AGE I.....	82
Figura 61: Aeronave AGE I com carenagem no primeiro dia de voo.....	84
Figura 62: Aeronave AGE I após primeiro reparo, sem carenagem .....	84
Figura 63: Aeronave AGE I sendo preparada para voo .....	84
Figura 64: Aeronave AGE I pós queda .....	85
Figura 65: Vista em planta da aeronave AGE II na saída do MDO.....	87
Figura 66: Vista frontal do desenho detalhado da aeronave AGE II.....	88
Figura 67: Fluxo de atividades de manufatura da aeronave .....	89
Figura 68: Exemplo do plano de fabricação padrão.....	90
Figura 69: Aeronave AGE II preparada para voo .....	91
Figura 70: Primeiro protótipo AGE II em voo .....	91
Figura 71: Parâmetros avaliados em voo e análises do desempenho da aeronave .....	92
Figura 72: Quadro comparativo das modificações do protótipo I para o protótipo II.....	93
Figura 73: Segundo protótipo da aeronave AGE II.....	94
Figura 74: Aeronaves oficiais .....	95
Figura 75: Preparação das aeronaves oficiais.....	95
Figura 76: Aeronave oficial após queda por falha estrutural .....	96
Figura 77: Aeronave oficial na fila para voo.....	97
Figura 78: Fluxograma de atividades competição de voo .....	100
Figura 79: Aeronave AGE II no momento da inspeção de segurança .....	101
Figura 80: Aeronave AGE II na fila de espera para voo .....	101
Figura 81: Aeronave AGE II no momento da decolagem.....	102
Figura 82: Aeronave AGE II começando a ganhar altitude .....	102
Figura 83: Aeronave AGE II realizando o circuito da competição de voo .....	103
Figura 84: Aeronave AGE II se aproximando para pouso .....	103
Figura 85: Aeronave AGE II no momento da retirada de carga e inspeção pós voo .....	104
Figura 86: Equipe reunida ao final da competição com aeronave pós voo de ultima bateria .....	104
Figura 87: Metodologia Proposta a partir da experiência vivenciada .....	106

Figura 88: Fase de Análise Crítica dos Resultados .....	107
Figura 89: Fase de Planejamento Estratégico.....	108
Figura 90: Fase de Projeto Conceitual .....	109
Figura 91: Fase de Projeto Detalhado .....	110

## LISTA DE SIGLAS

**7 M&P**- *Seven Management and Planning Tools*

**ABNT**- Associação Brasileira de Normas Técnicas

**BFC**- *Better, Faster e Cheaper*

**CAD**- *Computer Aided Design*

**CEA**- Centro de Estudos Aeronáuticos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

**CG** – Centro de Gravidade

**CoPS**- Produção de Produtos Complexos

**CUT** – Central Única dos Trabalhadores

**DFMEA** - *Design of Failure Mode and Effects Analysis*

**DIP**- Desenvolvimento Integrado do Produto

**DoD**- *Department of Defense*

**DPP** - Desenvolvimento de Produtos e Processos

**FAR** - *Federal Aircraft Regulations*)

**FMEA** - *Failure Mode and Effects Analysis*

**FMEA**- *Failure Mode and Effect Analysis*

**IPPD**- *Integrated Product and Process Design*

**IPT**- *Integrated Program Teams*

**ISO**- *International Organization for Standardization*

**ITA** - Instituto de Tecnologia Aeroespacial

**JAR**- *Joint Airworthiness Regulations*

**MDO**- *Multidisciplinary Optimization*

**MTOW** - *Maximum Takeoff Weight*

**NBR**- Norma Brasileira Regulamentadora

**P&D** – Pesquisa e Desenvolvimento

**PDCA**- *Plan, Do, Check, Action*

**PDP**- Processo de Desenvolvimento de Produto

**PFMEA** - *Process of Failure Mode and Effects Analysis*

**PLE**- *Product Lifecycle Engineering*

**PLM** -*Product Lifecycle Management*

**PVC**- Policloreto de Vinila.

**QFD**- *Quality Function Deployment*

**RBHA**- Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica.

**SAE**- *Society of Automotive Engineers International*)

**SH**- Superfície Horizontal

**SV**- Superfície Vertical

**TDP**- Trem de Pouso

**VANT**- Veículo Aéreo não Tripulado

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	Apresentação da Pesquisa .....	1
1.2.	Problema de Pesquisa.....	2
1.3.	Objetivos .....	4
1.3.1.	Objetivo Geral.....	4
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	4
1.4.	Justificativa .....	4
1.5.	Estrutura do trabalho .....	6
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	8
2.1.	SAE Brasil e a Competição SAE Brasil de AeroDesign.....	8
2.2.	As metodologias tradicionais de projetos de aeronaves .....	9
2.2.1.	Torenbeek.....	9
2.2.2.	Roskan.....	12
2.2.3.	Raymer .....	14
2.2.3.1.	Projeto Conceitual .....	15
2.2.3.2.	Projeto Preliminar .....	16
2.2.3.3.	Projeto Detalhado.....	17
2.2.4.	Barros.....	17
2.2.4.1.	Especificações e Requisitos.....	18
2.2.4.2.	Estudos Preliminares .....	19
2.2.4.3.	Anteprojeto.....	24
2.2.4.4.	Projeto .....	24
2.3.	Metodologias tradicionais com foco no AeroDesign .....	25
2.3.1.	Da Rosa .....	25
2.3.2.	Luiz Eduardo Miranda Rodrigues .....	26
2.4.	Análise Comparativa das metodologias tradicionais de desenvolvimento de aeronaves .....	28
2.5.	Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP).....	31
2.5.1.	Conceito, importância e características. ....	31
2.5.2.	Modelo de referência para PDP.....	34
2.5.2.1.	Pré-Desenvolvimento .....	35
2.5.2.2.	Desenvolvimento.....	37
2.5.2.3.	Pós-Desenvolvimento.....	38
2.5.3.	Requisitos de Qualidade de Projeto e Desenvolvimento de Produtos e Serviços: ISO 9001:2015	

2.5.3.1.	Planejamento de projeto e desenvolvimento .....	41
2.5.3.2.	Entradas de projeto e desenvolvimento .....	42
2.5.3.3.	Controles de projeto e desenvolvimento .....	45
2.5.3.4.	Saídas de projeto e desenvolvimento .....	50
2.5.3.5.	Mudanças de projeto e desenvolvimento .....	50
2.6.	Desenvolvimento de projetos de sistemas complexos na indústria aeronáutica .....	51
2.6.1.	O caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170 .....	51
2.6.2.	Desenvolvimento de sistemas complexos na indústria a partir da metodologia IPPD.....	54
3.	METODOLOGIA .....	58
3.1.	Conceito de Pesquisa.....	58
3.2.	Classificação da Pesquisa.....	58
3.2.1.	Quanto à natureza.....	58
3.2.2.	Quanto aos objetivos .....	59
3.2.3.	Quanto aos procedimentos técnicos .....	59
3.2.4.	Quanto à abordagem.....	60
3.3.	Classificação da pesquisa .....	61
3.4.	Sujeitos da Pesquisa .....	61
3.5.	Descrição das Etapas do Trabalho.....	63
3.6.	Coleta de Dados .....	64
3.7.	Análise de Dados.....	64
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
4.1.	Histórico das Metodologias de Projeto utilizadas pela equipe F-Carranca.....	66
4.2.	Metodologia Proposta .....	68
4.2.1.	Análise Crítica dos Resultados e Planejamento Estratégico.....	69
4.2.1.1.	Estabelecimento de Estratégias e Cronograma.....	72
4.2.2.	Projeto Conceitual .....	74
4.2.2.1.	Restrições do Regulamento e Requisitos de Projeto .....	74
4.2.2.2.	Decisões Conceituais de Projeto .....	76
4.2.3.	Otimização Multidisciplinar (MDO).....	77
4.2.4.	Projeto Detalhado .....	79
4.2.5.	Construção e Testes de Protótipos/ Verificação e Validação .....	83
4.2.6.	Retomando a Otimização Multidisciplinar (MDO).....	86
4.2.7.	Retomando ao Projeto Detalhado .....	88
4.2.8.	Construção e Testes de Protótipos/ Verificação e Validação .....	88
4.2.8.1.	Gate de Projeto .....	92

4.2.9.	Construção e Testes aeronaves oficiais .....	94
4.2.10.	A Competição.....	97
4.3.	Descrição da Metodologia Proposta.....	106
4.3.1.	Análise Crítica dos Resultados.....	107
4.3.2.	Planejamento estratégico .....	107
4.3.3.	Projeto Conceitual .....	108
4.3.4.	Otimização Multidisciplinar.....	109
4.3.5.	Projeto Detalhado.....	110
4.3.6.	Construção e Testes de Protótipos.....	110
4.3.7.	Finalização dos Relatórios .....	111
4.3.8.	Construção e Testes de Aeronaves Oficiais .....	111
4.3.9.	Competição .....	111
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	113
	Referências Bibliográficas .....	115

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Apresentação da Pesquisa

A indústria aeronáutica, que tem como uma das principais características, a elevada concentração de desenvolvimento de projetos e tecnologia em aviões de grande porte, continua sendo o setor de alta tecnologia em que o Brasil mais investe em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento, como cita Ferreira (2009), no último Relatório de Acompanhamento Setorial da Indústria Aeronáutica publicado. A CUT (2012), destaca em um diagnóstico setorial, realizado pelos metalúrgicos da confederação, que pela indústria nacional ter feito muitos vínculos com fornecedores internacionais, para facilitar a concessão de financiamento de risco, mesmo com a grande intensidade tecnológica que foi adquirida, interiorizou o P&D e distanciou centros de pesquisas, como o ITA (Instituto de Tecnologia Aeroespacial) e tantas outras universidades.

À medida que a complexidade das aeronaves foi crescendo ao longo das décadas, surgiu a necessidade de uma sequência lógica dos passos para a elaboração dos projetos. Até então, os aviões eram desenvolvidos a partir de atividades que surgiam aleatoriamente, sem planejamento e sem visar redução do tempo de fabricação, dos retrabalhos e custos, e nem pensava-se na coerência da sequência das atividades. Isso devia-se à simplicidade dos projetos mais antigos (BARROS, 2001).

No princípio da aviação civil, os projetos de aeronaves tinham escolhas bastante limitadas. Apenas uma única categoria de motor, os dispositivos de hipersustentação já existiam, mas eram pouco utilizados, limitando os aviões em aspectos aerodinâmicos e de desempenho. Novos conceitos foram surgindo através de talentosos projetistas, e os projetos foram obtendo melhor desempenho, e como consequência adquirindo maiores desafios, tanto do âmbito construtivo, quanto na elaboração de projeto (TORENBEEK, 1976).

Segundo Barros (2001), as primeiras metodologias passaram a ser elaboradas por fabricantes e institutos ligados ao desenvolvimento de aeronaves. O uso de ferramentas e métodos gerenciais tornou-se comum na busca pela otimização do projeto, procurando explorar o máximo dos seus recursos humanos e materiais, com foco na redução do *lead time* e dos custos de projeto. A partir do desenvolvimento na indústria surgiram os cursos de Engenharia Aeronáutica e assim por diante os livros sobre metodologias para o desenvolvimento de aeronaves.

A indústria aeronáutica cresceu tanto no cenário mundial quanto nacional e a demanda por profissionais consequentemente aumentou. Passou a existir a necessidade de formar pessoal capacitado, desenvolver pesquisa, tecnologia e características essenciais em um futuro desenvolvedor de aeronaves. Surgiu então a *SAE International (Society of Automotive Engineers International)* e em seguida a SAE Brasil, com o intuito de abrir o olhar dos profissionais e futuros profissionais da engenharia, para o crescimento da engenharia da mobilidade e disseminar conhecimento a respeito da área (SAE Brasil, 2015).

A SAE deu origem a grandes eventos estudantis incentivando a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia dentro das instituições de ensino, como é o caso do *AeroDesign*, que introduz os estudantes na engenharia aeronáutica, formando entusiastas, pesquisadores e futuros profissionais da indústria, na busca de atender a demanda causada pelo crescimento do segmento. Entre os objetivos da competição SAE Brasil *AeroDesign* está o de desenvolver a capacidade de liderança e planejamento. (RODRIGUES, 2011).

De uma maneira geral, as equipes que participam da competição, tem disponibilidade de recursos humanos, materiais e financeiros, diferente, e isso depende da região em que localiza-se a universidade, e estrutura da mesma e gerenciar projetos de forma eficiente dentro de cenários com recursos bastante escassos é um grande desafio. Desenvolver boas técnicas de gestão é uma consequência do conhecimento que a equipe adquire ao longo das participações, percebendo a necessidade do uso de ferramentas e métodos gerenciais para atingir um bom nível de qualidade de projeto (AGUIAR, 2005).

Por isso, cada equipe precisa adequar sua estrutura gerencial de modo a gerir os recursos de maneira eficiente, a estruturação de uma metodologia de projeto para o *AeroDesign* é um aspecto bastante importante no desenvolvimento de um projeto competitivo, uma das atividades que requer mais recursos e diretrizes bem definidas (FETTER, 2011).

## **1.2. Problema de Pesquisa**

O *AeroDesign* no Brasil, ao longo dos 18 anos de existência, tornou-se um evento evidentemente crescente, não só tratando-se de quantidade de equipes inscritas, mas também com uma notável evolução na qualidade dos projetos, não se restringindo ao âmbito construtivo, inovando também nos métodos de projeto e ferramentas utilizadas, muitas vezes, criados pela própria equipe (SAE Brasil, 2016).

Aguiar (2005) identificou através da elaboração de um *Brainstorming*, posteriormente organizado, analisado e sistematizado através de um Diagrama de Ishikawa, os problemas relacionados ao desenvolvimento de um projeto de *AeroDesign*. Alguns dos itens mais críticos encontram-se ilustrados na Figura 1.

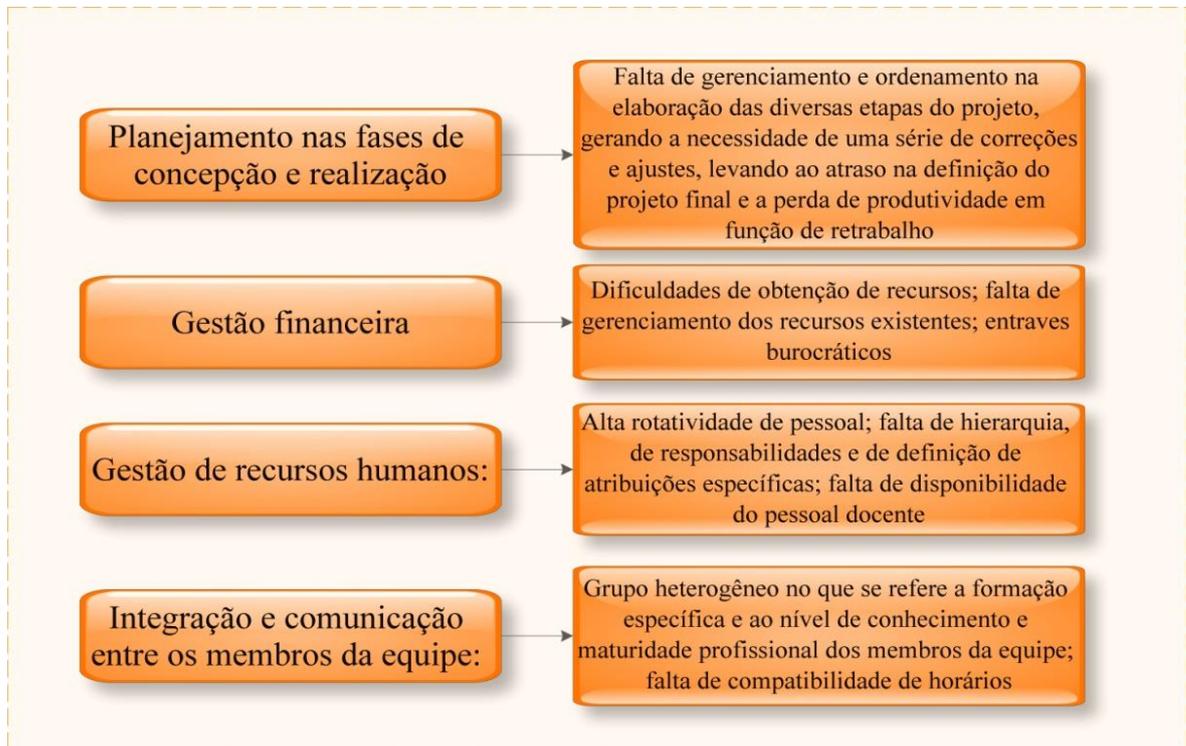


Figura 1: Pontos críticos do desenvolvimento de um projeto de *AeroDesign*  
Fonte: Adaptado de Aguiar (2005, p.5)

O desenvolvimento de um projeto de *AeroDesign* é equiparado ao desenvolvimento de um projeto voltado a um mercado específico com demandas e requisitos bem definidos. Neste caso, pelo regulamento da competição. Assim como em qualquer organização, no *AeroDesign* também é necessário acompanhar as atividades de forma sistêmica e sequenciada existindo a necessidade de adaptar ferramentas e métodos de acordo com a realidade específica de cada equipe, sempre buscando por um projeto com alto nível de integração e maior qualidade. Tendo em vista esses aspectos, a pesquisa busca responder:

Como pode ser uma metodologia para o desenvolvimento de projetos de aeronaves leves radiocontroladas voltadas para o *AeroDesign*?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma metodologia de desenvolvimento de projeto de aeronaves, voltada para o *AeroDesign*, levando em conta a realidade específica da equipe F-Carranca *AeroDesign* da Universidade Federal do Vale do São Francisco.

A metodologia desenvolvida foi baseada nas metodologias tradicionais de projeto de aeronaves, no modelo genérico de PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto), e nos requisitos de qualidade de projeto do produto descritos na ISO 9001: 2015. Contando com o auxílio de ferramentas gerenciais, buscando melhorar a qualidade do projeto, maior nível de integração e consequentemente, melhores resultados na XVII Competição SAE-Brasil *AeroDesign*.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Buscando alcançar o que foi proposto como objetivo geral, algumas diretrizes foram traçadas, estabelecendo os objetivos específicos. Foram eles:

- Realizar uma análise das principais metodologias de desenvolvimento de projetos de aeronaves e do processo de desenvolvimento de produto.
- Elaborar uma nova metodologia para o desenvolvimento de aeronaves leves radiocontroladas, baseada no levantamento bibliográfico.
- Aplicar a metodologia proposta no projeto 2016 da equipe F-Carranca *AeroDesign*
- Realizar uma análise crítica dos resultados obtidos pela equipe F-Carranca *AeroDesign* a partir da metodologia para o desenvolvimento de projeto de aeronaves leves radiocontroladas, desenvolvida neste trabalho.
- Validar a metodologia a partir dos KPI's indicados para cada fase de projeto

### **1.4. Justificativa**

Grandes desafios envolvem um projeto de *AeroDesign*, como: a manutenção de conhecimento dentro de uma equipe, a dificuldade de planejar-se, os atrasos de cronograma, otimização de atividades, integração de setores e as particularidades que envolvem projetar uma aeronave destinada ao *AeroDesign*. Em circunstâncias de observação participante, foi percebida

a necessidade de elaborar uma metodologia própria, baseada nas normas de desenvolvimento do produto, no requisito 8.3 da ISO 9001, e nas metodologias mais tradicionais de projeto de aeronaves, com o objetivo de auxiliar a equipe F-Carranca *AeroDesign* a enfrentar os desafios e sanar os principais problemas encontrados relacionados a planejamento, a transferência de conhecimento e integração de projeto, considerando a realidade específica da equipe.

De uma maneira geral, as metodologias tradicionais possuem um padrão, que são as fases de: levantamento de especificações e requisitos, estudos preliminares, anteprojeto, projeto, construção de protótipo e ensaios de solo e voo, todas as etapas buscam atender uma nova necessidade ou concepção (BARROS, 2001).

As metodologias já encontradas em bibliografias geralmente adéquam-se facilmente a aeronaves tripuladas, de maior porte, diferentes daquelas projetadas com o objetivo de participar da competição SAE Brasil *AeroDesign* que são radiocontroladas e não tripuladas, da categoria VANT (Veículo aéreo não tripulado) (RODRIGUES, 2011).

Além da categoria diferente de aeronaves, existem outros fatores que afetam a utilização das metodologias para o *AeroDesign*, como o ambiente em que esse projeto está sendo desenvolvido. Segundo Ferreira (2010), a indústria é detentora de um capital intelectual muito amplo, tendo investido em métodos e modelos para mensurá-lo e desenvolvê-lo. Levando em conta a importância desse novo ativo como fonte de criação de valor, as organizações têm investido alto na capacitação de pessoal, usando como um dos indicadores para mensurar este item o índice de rotatividade de funcionários. Trata-se de um aspecto muito importante a ser avaliado, pois se há rotatividade alta, todas as vezes que alguém deixa a organização leva junto todo conhecimento e experiência adquiridos.

Uma equipe de *AeroDesign* possui uma alta rotatividade de pessoal, onde a média de permanência de um membro é curta e a frequência de entradas e saídas é anual, ou seja, há uma perda de capital intelectual toda vez que um integrante deixa a equipe (AGUIAR, 2005).

Outro problema enfrentado pela equipe é o de elevar o nível de integração do projeto, aspecto mencionado como fraqueza nos *feedbacks* dados pelos jurados no ano de 2015, na XVII Competição, fator que passou a ser observado com mais atenção pela comissão técnica do evento e conseqüentemente pela equipe. Segundo Lawrence e Lorch (1973), um nível satisfatório de integração só ocorre se houver a colaboração os diversos departamentos de uma organização, dependendo de um fluxo de informações eficiente entre as diferentes funções de uma empresa no que se refere à criação de conhecimentos. Cunha (2004) cita que a imposição

do desenvolvimento integrado de produto veio à medida que surgiram as dificuldades ligadas a complexidade de determinados sistemas, como aeroespaciais, aeronáuticos e automobilísticos, junto a uma pressão mercadológica por inovação, acelerando os processos de desenvolvimento e diminuindo os prazos.

O dimensionamento de aeronaves civis e militares é bastante distinto de um projeto de *AeroDesign*, a nível de complexidade, missão, requisitos de projeto e características de desempenho, aerodinâmicas e de estabilidade, o que torna ainda mais necessário as adaptações metodológicas. (RODRIGUES, 2011).

Essa adaptação pretende trazer para ao projeto melhorias nos aspectos de desenvolvimento, visto que as restrições do regulamento 2016 da competição é um dos mais desafiadores que a equipe já enfrentou, exigindo ainda mais conhecimento técnico, integração e inovações nas práticas de gerenciamento de projeto. O novo modelo metodológico auxiliará também na manutenção de conhecimento dentro da equipe.

O estudo abrange o escopo da engenharia do produto, integrando o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produtos ao desenvolvimento de projetos de aeronaves direcionadas ao *AeroDesign*. Trazendo maior visibilidade para engenharia de produção no cenário da competição, levando-se em conta, principalmente, que as equipes ainda não enxergam a metodologia e gestão de projeto como partes essenciais no processo de desenvolvimento das aeronaves, chamando atenção para essas áreas como potenciais fontes de inovação e diferencial competitivo.

## **1.5. Estrutura do trabalho**

O trabalho foi dividido em 5 seções, onde o Capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre a pesquisa, os objetivos, justificativa e estruturação do texto. No Capítulo 2 está descrita a revisão bibliográfica realizada como base teórica e científica para a pesquisa, onde os seguintes temas foram abordados: SAE Brasil e a Competição SAE BRASIL *AeroDesign* ; As metodologias tradicionais de desenvolvimento de projetos de aeronaves; Processo de Desenvolvimento de Produto e Desenvolvimento de sistemas complexos na indústria. O Capítulo 3 apresenta a abordagem metodológica do trabalho. Os resultados são abordados no Capítulo 4, onde é proposta uma metodologia e sua aplicação ao projeto 2016 da equipe F-Carranca *AeroDesign* foi descrita detalhadamente. Em seguida uma metodologia baseada nos resultados aprendidos é descrita. Capítulo 5, trata das considerações finais, reunindo os

principais resultados e os analisando criticamente, como forma de buscar as principais falhas e acertos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SAE Brasil e a Competição SAE Brasil de *AeroDesign*

A *Society of Automotive Engineers International (SAE International)* foi fundada em 1905 por visionários das indústrias automotiva e aeronáutica dentre eles, Henry Ford, Thomas Edison e Orville Wright e hoje é uma das principais fontes de normas e padrões para os dois setores. A SAE Brasil teve início em 1991, idealizada também por engenheiros da indústria da mobilidade, que sentiram a necessidade de ampliar o olhar dos profissionais brasileiros por conta do advento da globalização (SAE Brasil, 2015).

A sociedade possui as seguintes missão e visão:

**Missão:** Promover o avanço e a disseminação do conhecimento da Tecnologia da Mobilidade através da formação, desenvolvimento e interação dos profissionais dos setores empresarial, governamental e acadêmico, com responsabilidades social e ambiental.

**Visão:** Ser reconhecida por seus associados, empresas, entidades e governo como a melhor referência na promoção, estímulo e apoio aos avanços da Tecnologia da Mobilidade (SAE Brasil, 2015).

Trata-se de uma associação sem fins lucrativos, que busca a disseminação de conhecimento no âmbito da mobilidade. A SAE é organizadora de grandes eventos estudantis, que tem como principal objetivo estimular a pesquisa e desenvolvimento dentro das universidades, os eventos promovidos possuem uma qualidade de conteúdo, pertinência à temática e fidelidade aos objetivos, e por isso vêm contribuindo com o crescimento das ações da Mobilidade no país. E ainda caracterizam ocasiões ideais para lançamento de produtos inovadores, apresentação de ideias ousadas e exposição de conceitos avançados, chamando atenção dos discentes para áreas específicas da mobilidade, como é o caso da Competição SAE Brasil de *AeroDesign* (RODRIGUES, 2011).

A competição acontece no Brasil, anualmente, desde 1999, é aberta a estudantes universitários de graduação e pós-graduação em Engenharia, Física e Ciências Aeronáuticas, e o principal objetivo é fazer com que os estudantes adquiram conhecimentos aeronáuticos, envolvendo-se em um projeto de desenvolvimento de uma aeronave real, passando por todas as etapas, que usualmente ocorrem na indústria, desde o primeiro esboço até a fabricação e teste dos aviões. O maior desafio é construir uma aeronave competitiva dentro das restrições estabelecidas pelo regulamento, que muda a cada edição do evento. Os alunos são postos diante

de problemas reais da indústria aeronáutica e são motivados ao intercâmbio de técnicas e conhecimentos (SAE Brasil, 2015).

Dentre os principais objetivos da competição estão: Promover uma oportunidade única de aprendizado na área aeronáutica através de um projeto multidisciplinar e desafiador; Despertar interesse na área aeronáutica; Intercâmbio técnico e de conhecimento entre as equipes; Desenvolver o espírito de trabalho em equipe; Desenvolver capacidade de liderança e planejamento; Desenvolver a capacidade de se vender ideias e projetos; Incentivar o comportamento ético e profissional (SAE Brasil, 2016).

Assim como a SAE surgiu por conta do avanço da engenharia da mobilidade, as metodologias para o desenvolvimento de projetos de aeronaves surgiram a partir do crescimento da indústria aeronáutica. Buscando organizar as atividades de maneira sistêmica, orientando os projetistas em quais passos seguir durante o desenvolvimento de projetos para cada segmento de aeronave.

## **2.2. As metodologias tradicionais de projetos de aeronaves**

### **2.2.1. Torenbeek**

Torenbeek (1976) traz em sua metodologia o enfoque na aviação civil, mais voltado para aeronaves de médio e grande porte. Para ele, a interação entre o trabalho de desenvolvimento de um novo projeto de aeronave junto a outros fatores, determinam o crescimento e mudanças relacionadas às atividades aeronáuticas. Esse tipo de inter-relação é diferente para cada área da aeronáutica. Segundo o autor, a pesquisa e desenvolvimento de uma nova aeronave são causas primárias de crescimento, e são necessários quando se pensa em um novo projeto e desenvolvimento.

Antes de tudo, realiza-se uma interação entre os aspectos que influenciam no ambiente aeronáutico, para garantir que não haverá conflito com as necessidades dos operadores, dos passageiros e do público em geral e ter uma percepção da viabilidade econômica do projeto. Além disso, é preciso ter em vista a organização de desenvolvimento de projetos disponíveis e capacidade de produção, o *know-how* técnico e industrial necessário para o desenvolvimento de uma nova categoria de aeronaves, as perspectivas mercadológicas, no aspecto da concorrência e a disponibilidade de apoio financeiro adequado (TORENBEEK, 1976).

Segundo o mesmo autor, não necessariamente um projeto inicia-se de qualquer pessoa ou departamento específico, ou simplesmente assume a forma de uma ordem emitida pela administração. Ele chama atenção para o fato de que geralmente as aeronaves de sucesso passam por um processo de crescimento, que possibilita ao cliente uma escolha de um número de variáveis, cada uma adequada para uma missão de transporte e de especificações. Na Figura 2, as atividades foram organizadas em três grupos: a fase de desenvolvimento de configurações, projeto detalhado e a fase de engenharia propriamente dita.



Figura 2: Projeto e Desenvolvimento de Aeronaves  
 Fonte: Adaptação de Torenbeek (1976, p.4)

Torenbeek (1976) divide a macrofase nas etapas de Projeto Conceitual e Projeto Preliminar. A ideia é que o departamento de projeto preliminar durante uma fase de projeto conceitual especulativo elabore um estudo de viabilidade obtendo uma primeira impressão das suas características mais importantes. Se o projeto se mostra encorajador no ponto de vista técnico, nas perspectivas de mercado, continua-se a desenvolver o projeto a fim de começar o desenvolvimento de uma nova concepção de aviões. Nesta etapa é que as modificações são feitas de forma contínua até que a configuração seja congelada, essa é a decisão que marca o fim da fase de projeto preliminar, tendo como saída as descrições técnicas da aeronave, que são *inputs* para a fase de Projeto Detalhado.

A Figura 3 ilustra as atividades que são realizadas nas fases de projeto conceitual e projeto preliminar, de forma sistêmica.

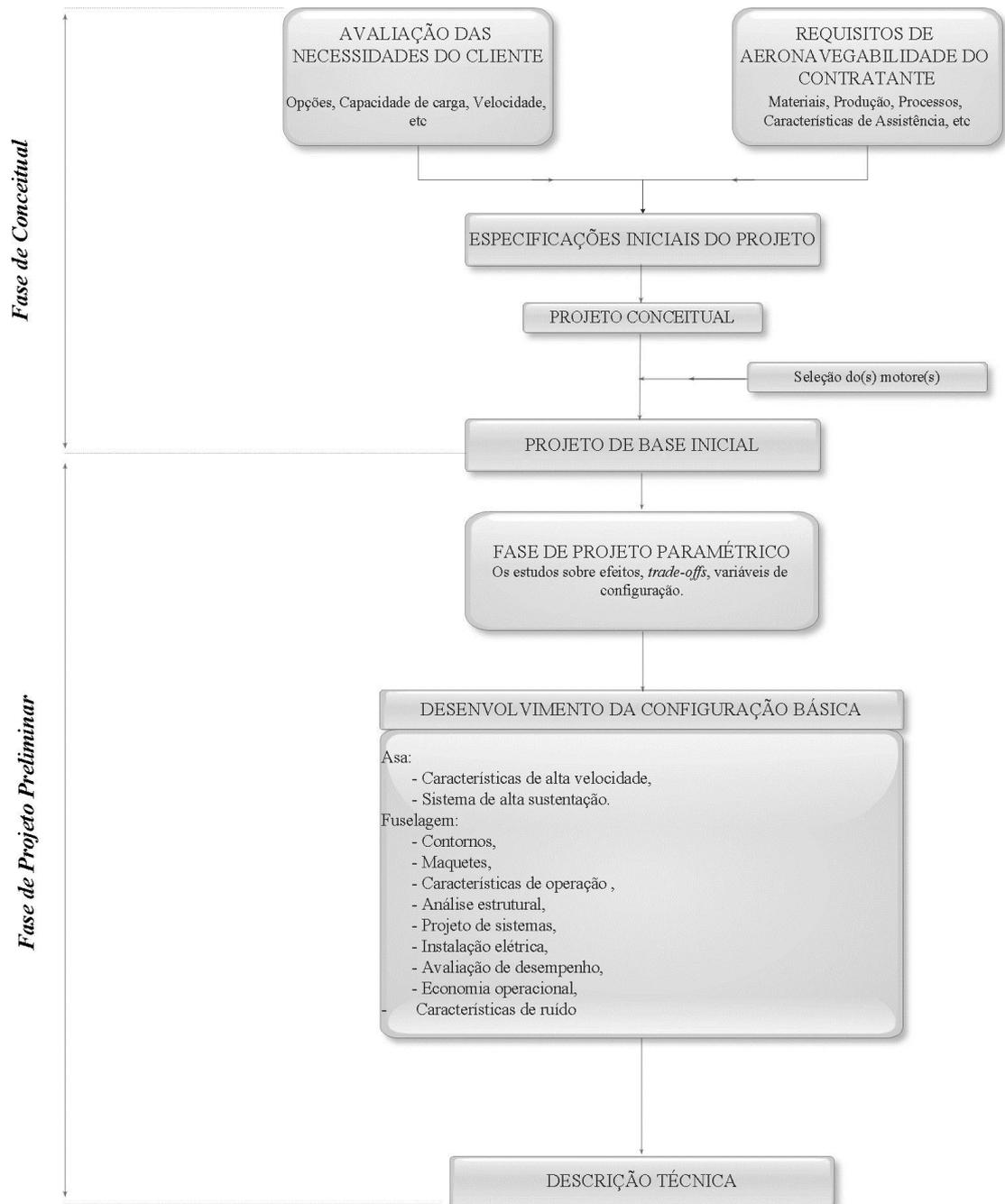


Figura 3: Concepção de configuração e desenvolvimento de uma aeronave subsônica de transporte  
 Fonte: Adaptado de Torenbeek (1976, p.5)

Na fase de projeto detalhado da aeronave é projetada "até o último rebite" e o cronograma de produção é definido, inicia-se o planejamento da manufatura, e todo o processo produtivo é pensado de forma que os custos possam ser reduzidos e o *lead time* diminuído. São realizados também, os primeiros testes da aeronave, de solo e voo, componentes elétricos, propulsão, etc. As etapas de construção e testes implicarão a concessão de um Certificado de

Navegabilidade e algum tempo depois, as primeiras entregas ao cliente. As informações recolhidas durante esse período geralmente levam a modificações de engenharia, que ocupam o escritório de design por bastante tempo, pelo fato de que depois que a primeira série de aviões sai de fábrica a empresa continua a desenvolver o seu produto, assumindo a forma de um aumento da capacidade de transporte do avião, a instalação de um tipo aperfeiçoado de motor, a melhoria do desempenho por refinamentos aerodinâmicos, a limpeza da aeronave, etc.

### 2.2.2. Roskan

Roskan (1985) possui uma série de livros a respeito de projetos de aeronaves, apresentando sua metodologia e mostrando como ocorrem as tomadas de decisão dos processos envolvidos no processo de concepção de aviões, em uma abordagem acadêmica do projeto. Referindo-se não somente a aeronaves de pequeno, médio e grande porte civis, mas também militares, tanto subsônicas quanto supersônicas.

Segundo o autor, para projetar um avião é preciso que as especificações da missão da aeronave estejam disponíveis, elas dependem do tipo de avião e muitas vezes do cliente.

Muitas aeronaves não vão além da etapa inicial de projeto preliminar. O que acontece é que, para passar para a etapa de projeto detalhado, é necessário que os resultados obtidos durante o projeto preliminar sejam favoráveis no mercado. Se uma necessidade específica pode ser satisfeita, então o desenvolvimento em grande escala do avião pode seguir. Se certas áreas problemáticas são descobertas, é feito um programa de investigação e desenvolvimento e podem ser iniciadas ações para correção desse problema. Quando este for solucionado para uma missão final, segue-se para a próxima etapa. Lembrando que na maioria das vezes essas problemáticas não são resolvidas em um prazo razoável ou a um custo razoável e o desenho pode ser descartado ou modificado diversas vezes (ROSKAN, 1985). **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra como ocorre o projeto preliminar.

Onde a parte I é relativa ao Projeto Conceitual, parte II refere-se ao Projeto Preliminar e da parte III a VIII está englobada toda a etapa de Projeto Detalhado, finalizando a fase com uma análise de viabilidade do projeto, através de uma estimativa dos custos envolvidos, tratando-se de um projeto viável, parte-se para a manufatura, caso não, a etapa de Projeto Conceitual é retomada, buscando soluções para que aquele problema seja sanado, ou até mesmo, pensar em outra configuração de aeronave (ROSKAN, 1985).

Roskan (1985) organiza a metodologia da seguinte maneira:

**Parte I:** Dimensionamento preliminar de aviões.

**Parte II:** Projeto Preliminar de configuração e integração do sistema de propulsão.

**Parte III:** Projeto de Layout de cabine, fuselagem, asas e empenagem: cortes e perfis.

**Parte V:** Projeto de Layout de equipamentos e sistemas de pouso, estimativa do peso do avião.

**Parte VI:** Cálculo preliminar das características de desempenho aerodinâmico.

**Parte VII:** Determinação das características de estabilidade, controle e desempenho: Requisitos Militares e FAR.

**Parte VIII:** Estimativa de custos do avião: design, desenvolvimento, fabricação e funcionamento.



Figura 4: Exemplo da evolução da especificação da missão e a relação como projeto e dimensionamento preliminar

Fonte: Adaptado de Roskan (1985, p.3)

### 2.2.3. Raymer

Assim como Torenbeek (1976), Raymer (1992) também propõe uma metodologia com foco na aviação civil. O autor cita a divergência de opiniões dos envolvidos no desenvolvimento de um novo projeto, a respeito de onde o processo realmente começa. O especialista em dimensionamento acredita que nada pode começar sem a estimativa inicial de peso e o cliente imagina que o projeto inicia-se a partir dos requisitos. Todos estão corretos, para Raymer.

O projeto é um esforço repetitivo, como um ciclo, ilustrado na Roda de Projeto da Figura 5. Os requisitos são definidos por pesquisa de mercado e viabilidade econômica, os conceitos são desenvolvidos para atender às necessidades, a análise de projeto aponta falhas a serem corrigidas e leva a implementação de novos conceitos e tecnologias e todas essas fases tem grande importância no desenvolvimento de um bom conceito de aeronave (RAYMER,1992)

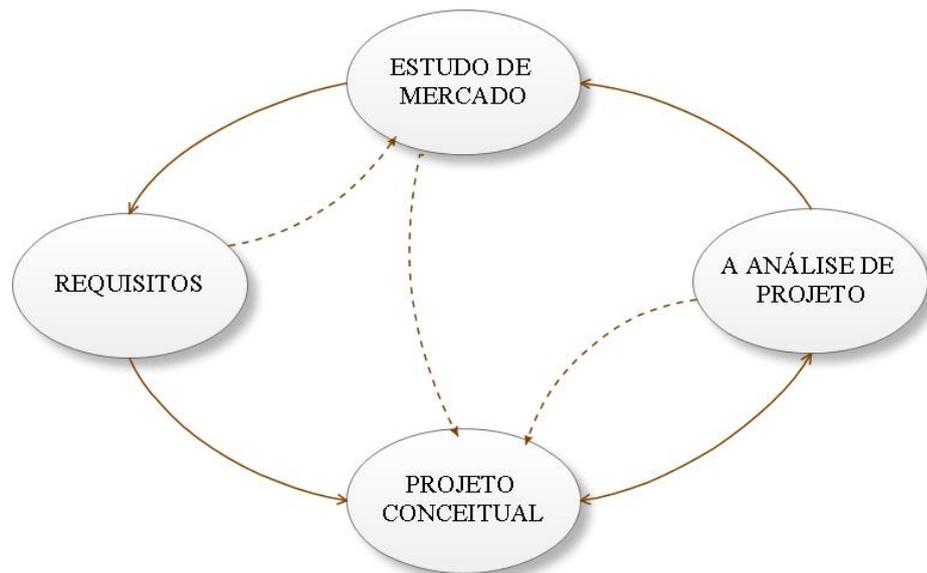


Figura 5: A roda do projeto  
Fonte: Adaptado de Raymer (1992, p.3)

Ainda conforme o autor, o projeto de aeronaves pode ser dividido em três fases principais, como representado na Figura 6. Para Barros (2001), Raymer descreve a maneira como o projeto evolui, e mostra que a transição entre as fases não ocorre diretamente e sim passa por interações constantes.

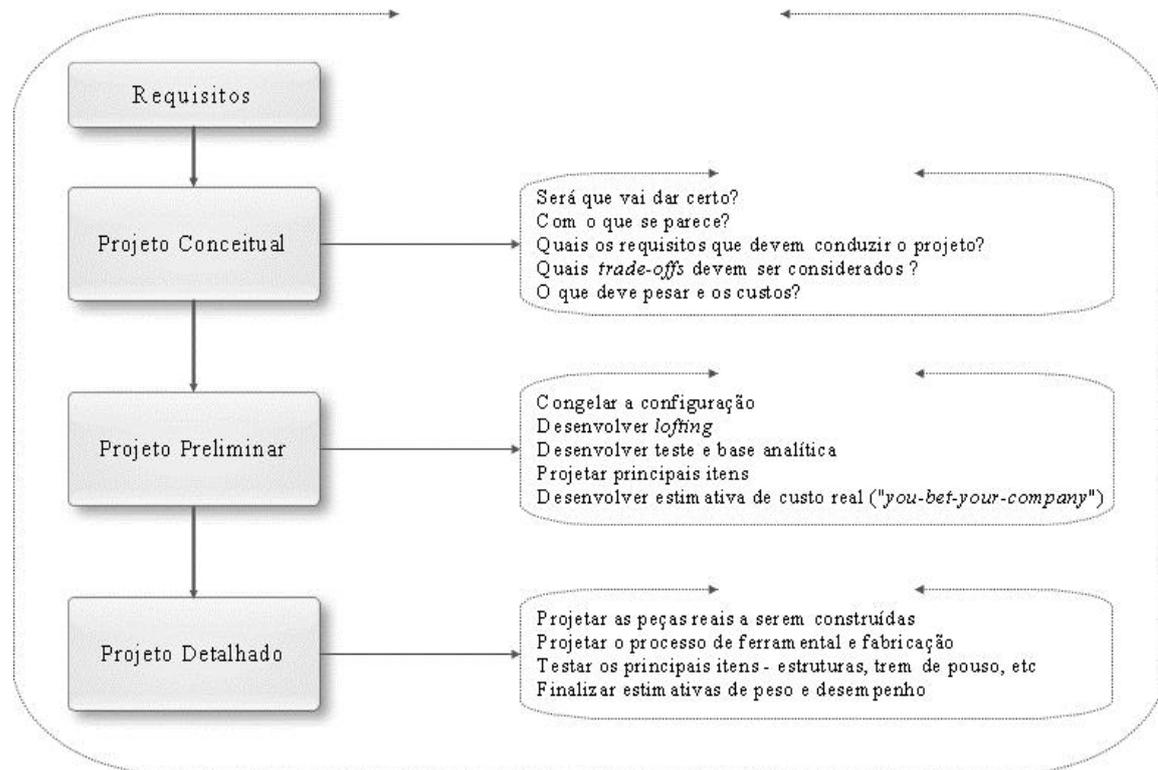


Figura 6: Três fases do desenvolvimento de projeto de aeronaves  
 Fonte: Adaptado de Raymer (1992, p.4)

### 2.2.3.1. Projeto Conceitual

É nesta etapa do processo que são tomadas as decisões iniciais, como o arranjo, a configuração, dimensão, peso e desempenho. E deve-se analisar se os requisitos favorecem a construção de uma aeronave acessível. Se não for favorável, deve-se buscar por uma flexibilização nos requisitos. De um modo geral, o projeto conceitual é um processo criativo muito fluído, surgem ideias, desafios, à medida que o projeto vai sendo desenvolvido, e cada vez que ele é analisado deve ser redesenhado para pensar nas condições como peso, envergadura de asa, potência de motor e as alterações necessárias (RAYMER, 1992).

Raymer (1992) cita que, a partir do esboço inicial das três vistas (Frontal, Em Planta e Lateral) incluindo componentes relevantes como o trem de pouso, cabine, motores, compartimento de passageiros e de carga, tanque de combustível, é feito um desenho do *layout geral*, e detalhado em CAD (*Computer Aided Design*). É feita uma avaliação do *layout* inicial para verificar se aquela configuração é capaz de atender a missão desejada, precisando atender a requisitos como: carga útil, distâncias de pouso e decolagem, velocidade de estol, máxima, mergulho e de cruzeiro, se o *layout* inicial atender as especificações, pode-se seguir para a segunda fase. A Figura 7 ilustra as etapas do projeto conceitual.

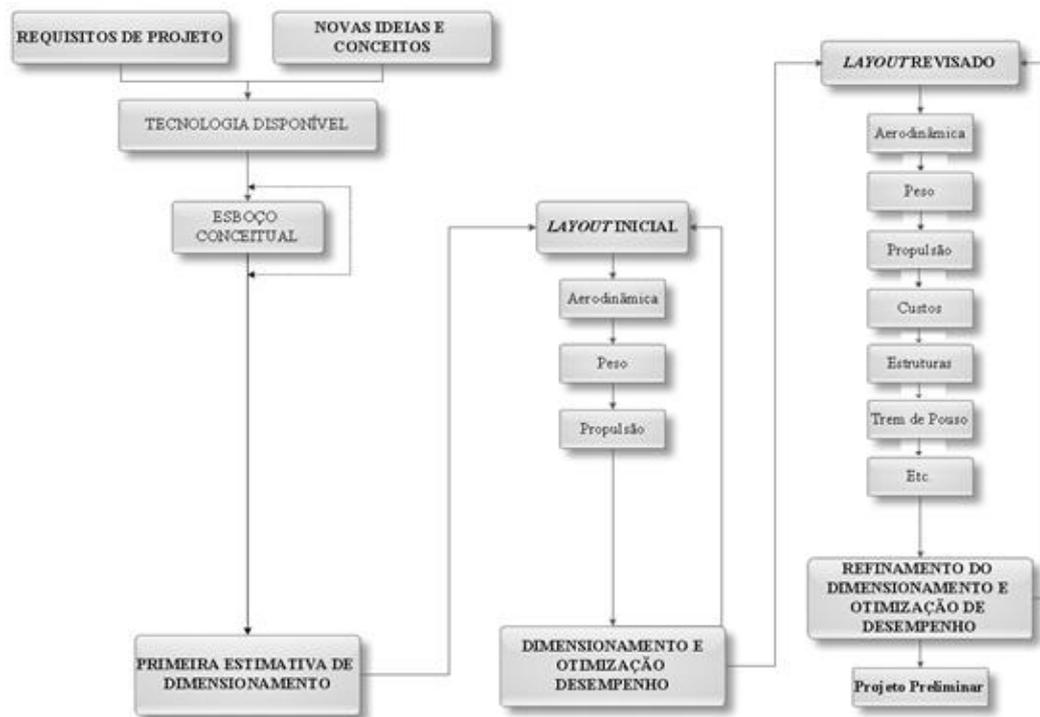


Figura 7: Processo de Projeto Conceitual de Aeronaves  
 Fonte: Adaptado de Raymer (1992, p.6)

### 2.2.3.2. Projeto Preliminar

É no projeto preliminar que acontecem as principais mudanças, porém a configuração deverá ser mantida de acordo com o que foi proposto pelo *layout* inicial, com pequenas revisões e no final no projeto preliminar, ainda que existam pequenas mudanças elas são interrompidas quando decide-se congelar a configuração e a partir daí os profissionais especializados em cada área distinta, farão os projetos e análises das partes do avião das quais são responsáveis. E iniciam-se os testes de propulsão, aerodinâmicos, estabilidade e controle e estruturas, a maquete é geralmente construída nessa etapa do processo (RAYMER, 1992).

O autor chama bastante atenção para a realização do *lofting*, que é uma modelagem matemática da carcaça da aeronave, trata-se de uma análise precisa, pois a principal função é assegurar a coerência entre as partes do avião, ainda que sejam projetados por profissionais distintos, elas precisam ajustar-se umas às outras.

De um modo geral essa etapa tem como grande objetivo preparar a equipe para a fase detalhada de projeto, que na maioria das vezes envolve a ideia de desenvolvimento em grande

escala e o projeto preliminar deve dar garantias a organização de que a aeronave pode ser construída dentro do prazo e com os custos que foram estimados. (RAYMER, 1992).

### **2.2.3.3. Projeto Detalhado**

Raymer (1992) orienta que, no caso de as análises realizadas em etapa preliminar, assumirem uma decisão favorável para entrar em desenvolvimento em grande escala, começa a fase de projeto detalhado em que as peças reais que serão fabricadas são projetadas, dimensionadas e analisadas individualmente. Por exemplo, durante o projeto conceitual e preliminar a asa foi projetada e analisada inteira. Durante o projeto de detalhado, esse conjunto será dividido em diversos componentes, que devem ser analisados separadamente.

É também nessa etapa que é decidida a sequência do processo produtivo, ou seja, determina-se como o avião será produzido desde os pequenos subsistemas até a montagem final. Os desenhistas costumam buscar por modificações de projeto focadas na facilidade de manufatura, e ainda assim satisfazer os requisitos e especificações originais, com o intuito de reduzir a possibilidade de falhas e consequentemente de retrabalhos, custos e *lead time*.

O projeto detalhado termina com a fabricação da aeronave, e a partir daí todos os testes de todos os tipos são intensos, as superfícies de comando são testadas no simulador, verificando diversos aspectos em relação à missão típica e a segurança. Os simuladores desenvolvidos são testados por empresa e cliente, em testes-pilotos. É frequente que a fabricação da aeronave inicie antes do projeto detalhado finalizar, e mudanças em peças já fabricadas são sempre evitadas (RAYMER, 1992).

### **2.2.4. Barros**

Barros (2001) apresenta uma metodologia baseada no conhecimento adquirido a partir dos projetos desenvolvidos no CEA (Centro de Estudos Aeronáuticos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais). Para o autor, o processo de desenvolvimento de uma aeronave só termina quando ocorre a sua liberação para o vôo, e as etapas principais são divididas em: Especificações e Requisitos, Estudos Preliminares, Anteprojeto, Projeto, Fabricação, Ensaio de Solo e Ensaio de Voo. As quatro primeiras etapas coincidem com aquelas descritas por Torenbeek (1976), Raymer (1992), Roskan (1985), acrescentando como parte do projeto a fabricação e os ensaios da aeronave. A Figura 8 ilustra como estão

organizadas as etapas. Algumas estão sobrepostas, utilizando o conceito de engenharia simultânea, o que significa que podem ser realizadas antes da fase anterior chegar ao fim.

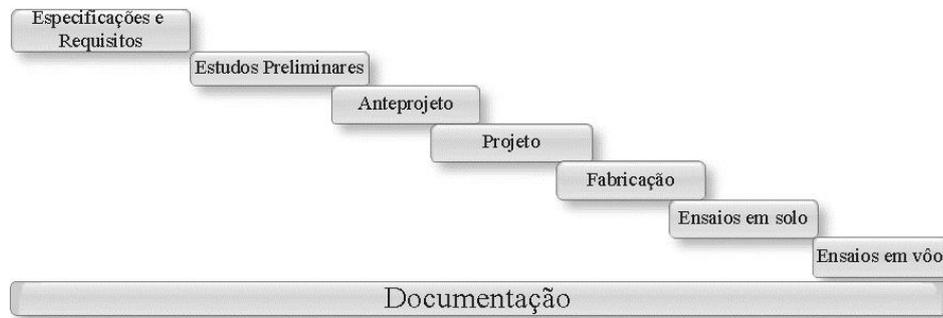


Figura 8: Disposição das etapas de desenvolvimento de aeronaves  
Fonte: Adaptado de Barros (2001, p.30)

A fase de desenvolvimento de projeto propriamente dita, encontra-se nas quatro primeiras etapas, mas é comum que desafios, falhas e melhores soluções sejam encontradas durante as etapas de fabricação e ensaios, o que pode levar a alterações de projeto, por isso o autor destaca a relevância de acrescentar essas etapas como parte integrante na metodologia, criando assim um desenvolvimento de projeto completo, na sua concepção (BARROS, 2001).

#### 2.2.4.1. Especificações e Requisitos

A Figura 9 ilustra exatamente o que, para o autor, se deve ter em mente quando inicia-se um projeto de aeronaves.

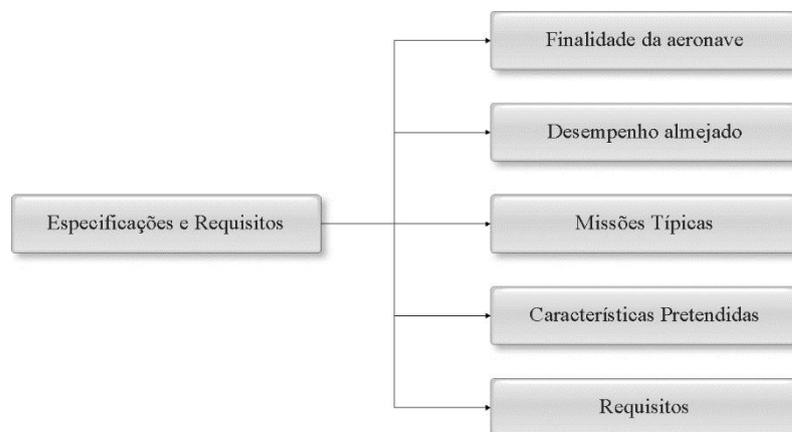


Figura 9: Apresentação esquemática da etapa de *Especificações e Requisitos*  
Fonte: Adaptado de Barros (2001, p.31)

Os projetistas devem saber claramente qual será a finalidade da aeronave, se será utilizada como aeronave acrobática, taxi aéreo, cargueiro, ataque em solo, entre outros tipos de funções que podem ser combinadas entre si. Aspectos de infraestrutura também são definidos quando definem-se as funções da aeronave, por exemplo o tipo e comprimento de pista necessários para decolagem e pouso (BARROS, 2001).

Barros (2001) cita que quando a finalidade da aeronave está bem definida, definem-se as missões típicas que a aeronave deve estar apta a realizar, especificando o tempo e o consumo de combustível para a partida, taxiamento, decolagem, subida até teto máximo de operação, navegação, descida normal, trefego e pouso. Quando a equipe inicia as decisões sobre o desempenho desejado da aeronave, deve deixar especificadas as metas para velocidade máxima em voo reto e nivelado, velocidade de cruzeiro, estol e estol com *flapes*, razão de subida, distâncias de pouso e decolagem, alcance, autonomia e teto máximo e manobras permitidas, normalmente escolhe-se um desses itens como prioritários, com desafio de não negligenciar os demais.

Na próxima fase, são decididas as características do avião, os materiais, estilo, custo, nível de complexidade construtiva, entre outros aspectos, logo em seguida deverá ser feita uma análise das normas técnicas mais adequadas a serem utilizadas. Para o caso do Brasil, as aeronaves desenvolvidas no país devem obedecer aos requisitos RBHA (Requisitos Brasileiros de Homologação de Aeronaves), que provem das normas internacionais FAR (*Federal Aircraft Regulations*) e a JAR (*Joint Airworthiness Regulations*) (BARROS, 2001).

#### **2.2.4.2. Estudos Preliminares**

Torenbeek (1976), Raymer (1992) e Roskan (1985) chamam essa etapa de Projeto Conceitual, diferente de Barros (2001), que a trata como etapa de Estudos Preliminares. Subdivididos em três fases, como ilustrado na Figura 10, lista de prioridades, métodos comparativos e delimitação de protótipo, que por sua vez são subdivididos em diversas atividades.



Figura 10: Apresentação esquemática da etapa de *Estudos Preliminares*  
 Fonte: Adaptado de Barros (2001, p.32)

Inicialmente, com a lista de prioridades, define-se qual será a prioridade do projeto, em parâmetros como: desempenho aerodinâmico, facilidade construtiva, alta segurança e conforto de passageiros, etc. Na maioria das vezes é difícil atrelar uma característica a outra, como por exemplo, facilidade construtiva a maior conforto e segurança, ou ao desempenho da aeronave. Por isso, deve-se ter em mente quais características são desejadas como prioridades no projeto, em detrimento de outras características, adequando o projeto à filosofia definida (BARROS, 2001).

Segundo Kovacs (1986), *apud* Barros (2001), embora os projetistas devam ser naturalmente inovadores, nenhum projeto nasce sem qualquer inspiração ou influência das aeronaves já existentes. Por isso Barros (2001) atribui à etapa de métodos comparativos uma importância muito grande dentro dos estudos preliminares, que são feitos através da elaboração de gráficos, fichas técnicas e tabelas, como ilustrado nas Figura 11 e Figura 12, comparando diversas aeronaves nos parâmetros mais básicos, dimensões, peso, desempenho, perfis, potência de motor, área e materiais.

		Europa	Europa Turbo	Pulsar XP	Pulsar Turbo	BAN.BI	KR 2S	Katana
<b>Dimensões Externas</b>								
Envergadura	m	7.92	7.92	7.62	7.62	6.70	7.11	11.00
Comprimento total	m	5.85	5.85	5.94	5.94	5.46	4.88	7.22
Altura da cabine	m			0.96	0.96		0.97	1.16
Largura da cabine	m	1.12	1.12	0.99	0.99	1.09	0.97	1.08
Corda na raiz	m	1.27	1.27	1.30	1.30	0.77	1.15	1.27
Corda na ponta	m	1.02	1.02	0.65	0.65	0.77	0.72	0.84
Braço EH	m	2.96	2.96	2.96	2.96		2.69	
Braço EV	m	3.21	3.21	3.23	3.23		2.59	
Numero de assentos	un	2	2	2	2	2	2	2
<b>Características da asa</b>								
Aalongamento		7.11	7.11	7.81	7.81	8.63	6.18	10.43
Afilamento		0.80	0.80	0.50	0.50	1.00	0.63	0.66
Diedro	°	4	4	4	4		3.5	
Incidência na raiz	°	2.5	2.5	3.5	3.5		4.5	
Incidência na ponta	°	2.5	2.5					
Espessura relativa	%							
Perfil da raiz				MS(1)-0313	MS(1)-0313		RAF -48	
Perfil da ponta				MS(1)-0313	MS(1)-0313		RAF -48	
<b>Caract. das empenagens</b>								
Aalongamento da Emp.Hor.		2.90	2.9	4.15	4.15		1.7	

Figura 11: Exemplo de tabelas comparativas  
Fonte: Barros (2001, p.50)

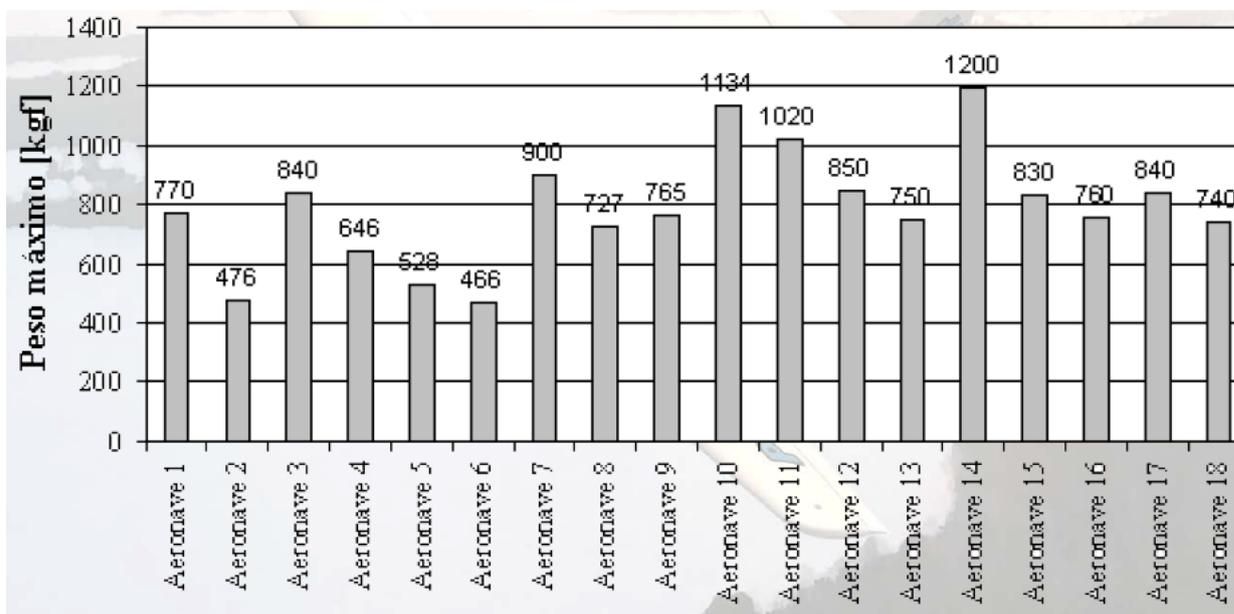


Figura 12: Gráfico Peso Máximo[kg] x Aeronave  
Fonte: Barros (2001, p.50)

Para Barros (2001) esse tipo de análise leva o projetista a perceber algumas tendências e a partir daí a busca por otimizar essas características para obter uma aeronave melhor. Os métodos comparativos por si só não levam a um bom projeto. O sucesso é atingido associando-se técnica com arte, conhecimento e talento, intuição o bom senso e o dom artístico do projetista.

A delimitação do protótipo é realizada segundo as atividades ilustradas na Figura 10. Para cada item é feita uma lista de possibilidades, e a partir do que já foi definido pelas Especificações e Requisitos e as Prioridades, são tomadas as decisões sobre a configuração externa da aeronave, onde todas as possibilidades estão ilustradas na Figura 13, e configuração interna que para o caso de aeronaves leves influencia muito quanto ao desempenho, peso e ergonomia, sendo as principais opções: tandem e tandem escalonado ou lado a lado e lado a lado imbricado. E a partir daí busca-se adequar a cabine aos tripulantes, buscando com que sua ergonomia ofereça comodidade a vários biótipos e estaturas, a equipe na etapa de ergonomia aplicada também preocupa-se com o acesso aos comandos, a visibilidade, as cores, ruído, vibração e climatização da cabine (BARROS, 2001)

Oliveira (2012) mostra na tabela de possíveis configurações, que existem diversas possibilidades de combinar os subsistemas de um avião, gerando vários conceitos de aeronaves diferentes. Mas é importante destacar que para que determinada configuração seja a solução ótima para as especificações e requisitos estabelecidos, é preciso que o projeto seja eficiente e tenha como base uma metodologia bem fundamentada.

Só então são feitas as estimativas preliminares da aeronave, que envolvem a estimativa de peso da aeronave, área alar, envergadura, comprimento da fuselagem e potência para a escolha do motor. Todas estas características estão ligadas à missão que o avião deverá executar. E a partir daí serão feitas as escolhas de materiais e serão apontadas as necessidades de equipamento e instalações para a fabricação (BARROS, 2001).

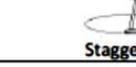
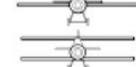
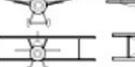
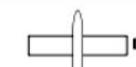
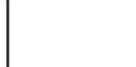
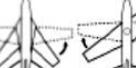
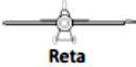
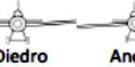
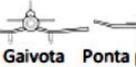
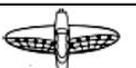
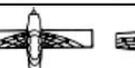
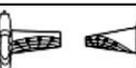
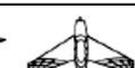
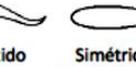
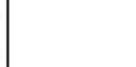
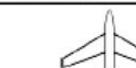
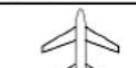
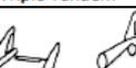
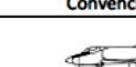
ASA	Posição Vertical	Monoplano	    	Asa Baixa    Asa Média    Asa Ombro    Asa Alta    Asa Parasol
		Biplano	  	Biplano Convencional    Sesquiplano    Sesquiplano Invertido
		Multiplano	  	Triplano    Quadriplano    Multiplano
	Posição Horizontal	  	Alinhadas    Stagger Dianteiro    Stagger Traseiro	
	Tipo de Estrutura	      	Viga em Balanço    Viga Apoiada (Strut braced)    Viga Tensionada (Wire braced)    Box    Cilíndrica    Romboidal    Anular    Plana	
	Forma em Planta	Alongamento AR	  	Baixo    Médio    Alto
		Afilamento $\lambda$	      	Retangular ( $\lambda=1$ )    Afilada ( $\lambda<1.0$ )    Afilamento Inverso ( $\lambda>1.0$ )    Afilamento Composto    Elíptica    Bat    Circular    Delta ( $\lambda=0.0$ )
		Enflechamento $\Lambda$	      	Reta    Enflech. Positivo ( $\Lambda>0$ )    Enflech. Negat. ( $\Lambda<0$ )    Variável    Asa Oblíqua    Asa M    Asa W    Bird-like
		Diedro $\Gamma$	      	Reta    Diedro ( $\Gamma>0$ )    Anedro ( $\Gamma<0$ )    Gaivota    Gaivota Invertida    Ponta para Cima    Canal
	Progressão do Estol	     	Elíptica    Retangular    Pouco Afilada    Médio Afilada    Muito Afilada    Enflech. Pos.	
Perfil	     	Pouco arqueado Esbelto    Bem arqueado Espesso    Bem arqueado Esbelto    Refletido    Simétrico Esbelto/Espesso    Pouco arqueado Espesso		
ESTABILIZADOR HORIZONTAL	    	Convencional    Canard    Tandem    Tripla Tandem    Sem Cauda		
	      	Convencional    Cauda-T    Cauda-V    Cauda-H    Tripla    Boom-Tail    High Boom-Tail		
ASA-FUSELAGEM	   	Convencional    Asa Voadora    Blended Wing-Body (BWB)    Lifting Body		
TREM DE POUSO	  	Triciclo    Tail-dragger    Skis/Patins		

Figura 13: Configurações possíveis para uma aeronave  
Fonte: Oliveira (2012, p.20)

### 2.2.4.3. Anteprojeto

É nesta etapa que o desenho básico da aeronave é feito, em três vistas: planta, frontal e lateral. O primeiro desenho é feito à mão livre, revisado e modificado diversas vezes, para chegar a proporções convenientes e esteticamente satisfatórias. É nesta etapa que ocorrem as decisões sobre fixação asa-fuselagem, as entradas de ar de arrefecimento, além do grau de liberdade de movimentação dos lemes e profundor (BARROS, 2001).

O autor inclui na fase de anteprojeto as estimativas prévias de progressão de estol na asa, de estabilidade e controle e um refinamento da estimativa de peso da aeronave. Ainda nesta etapa, são escolhidos os perfis de asa e empenagem, o motor é alinhado para favorecer o passeio de centro de gravidade da aeronave e são realizados diversos refinamentos na configuração externa da aeronave. A Figura 14 ilustra as atividades realizadas na etapa de anteprojeto.

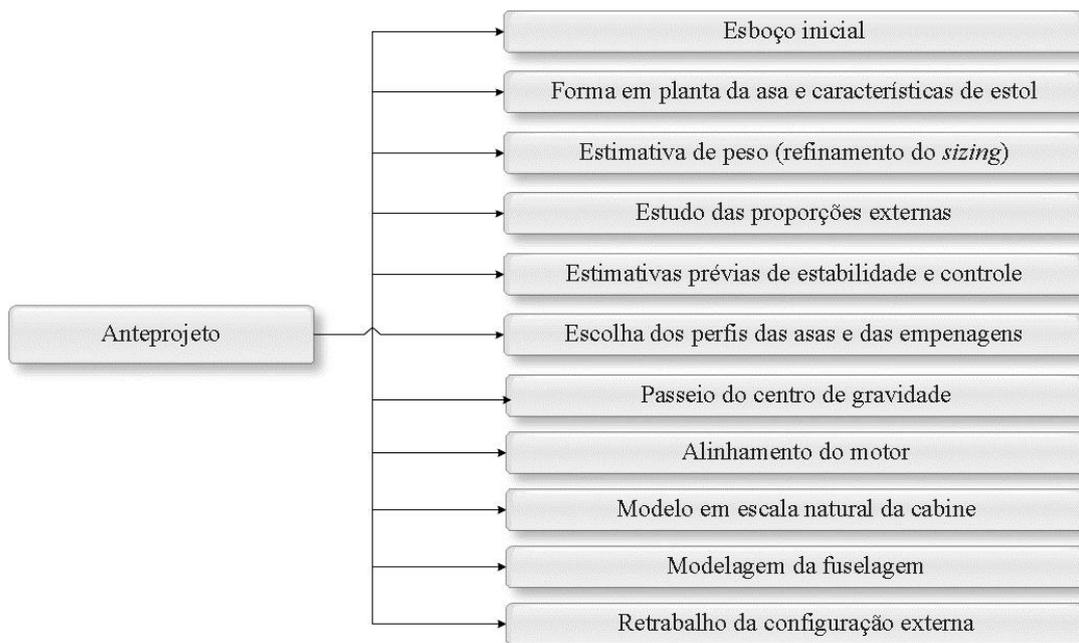


Figura 14: Apresentação esquemática da etapa *Anteprojeto*  
Fonte: Adaptado de Barros (2001, p.32)

### 2.2.4.4. Projeto

Barros (2001) descreve a etapa de projeto como a fase de cálculos propriamente dita, onde é feito o dimensionamento da aeronave, detalha-se os componentes, os desenhos são feitos em escala, elabora-se um relatório final de projeto e tudo é programado para fazer os primeiros ensaios de solo, A Figura 15 apresenta as atividades da fase de projeto.

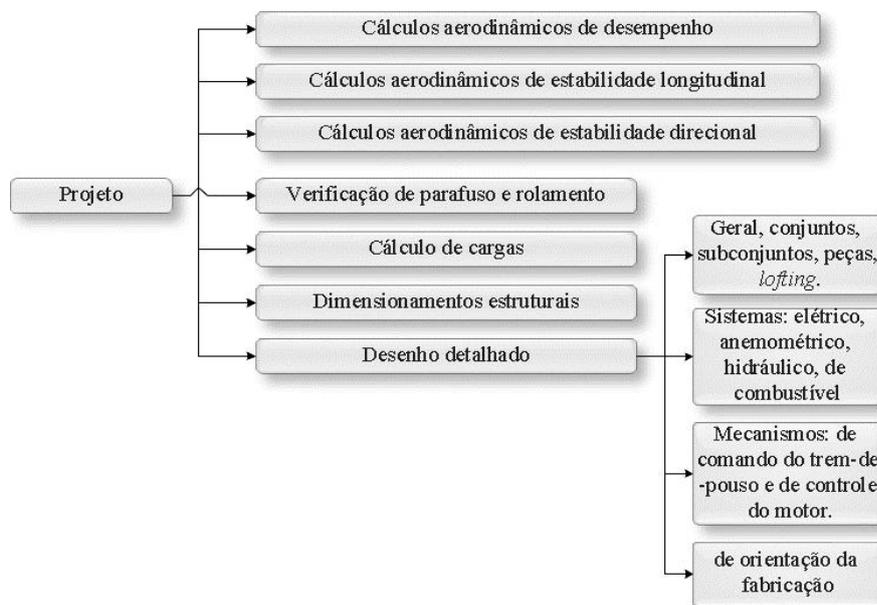


Figura 15: Apresentação esquemática da etapa de *Projeto*  
 Fonte: Adaptado de Barros (2001, p.33)

Barros (2001) chama atenção para a importância da documentação e para isso recomenda a elaboração de relatórios sequenciados de todas as etapas do projeto: Especificações e Requisito, Estudos Preliminares, Anteprojeto e Projeto e, além disso, os Desenhos de Fabricação, Relatórios de Fabricação e Ensaio de Concordância e Descritivo. No final das contas, deve-se ter em mãos uma descrição resumida da aeronave, dados do grupo moto propulsor, ficha técnica detalhada e desenhos das três vistas.

### 2.3. Metodologias tradicionais com foco no *AeroDesign*

#### 2.3.1. Da Rosa

Da Rosa (2006) traz uma abordagem metodológica com os conceitos colocados em termos genéricos, aplicáveis a qualquer tipo de projeto, sendo esta abordagem particularizada para o projeto e construção de aeronaves para a Competição SAE *AeroDesign*.

As restrições do regulamento impõem limitações (valores máximos e mínimos) ao projeto, como de dimensões, de volume, peso, desempenho. E dentro da equipe existem restrições de custos, prazos, manufatura, montagem, manutenção, tempo de fabricação, disponibilidades de máquinas e ferramentas, etc (DA ROSA, 2006).

Primeiramente, busca-se atender a todos os requisitos, respeitando ao mesmo tempo as restrições e o projeto conceitual, que servem para que apareçam as ideias de como será o produto e o que ele precisará ter para atender a todos os requisitos possuindo o melhor desempenho possível. Nesta etapa é realizado um esboço do projeto, com os princípios de solução de cada sistema indicados. O projeto conceitual gera uma solução para o produto, e essa configuração gerada deve ser refinada na etapa preliminar e detalhada na etapa subsequente de projeto detalhado, tendo como produto de saída do projeto detalhado, a aeronave destinada a competição (DA ROSA, 2006).

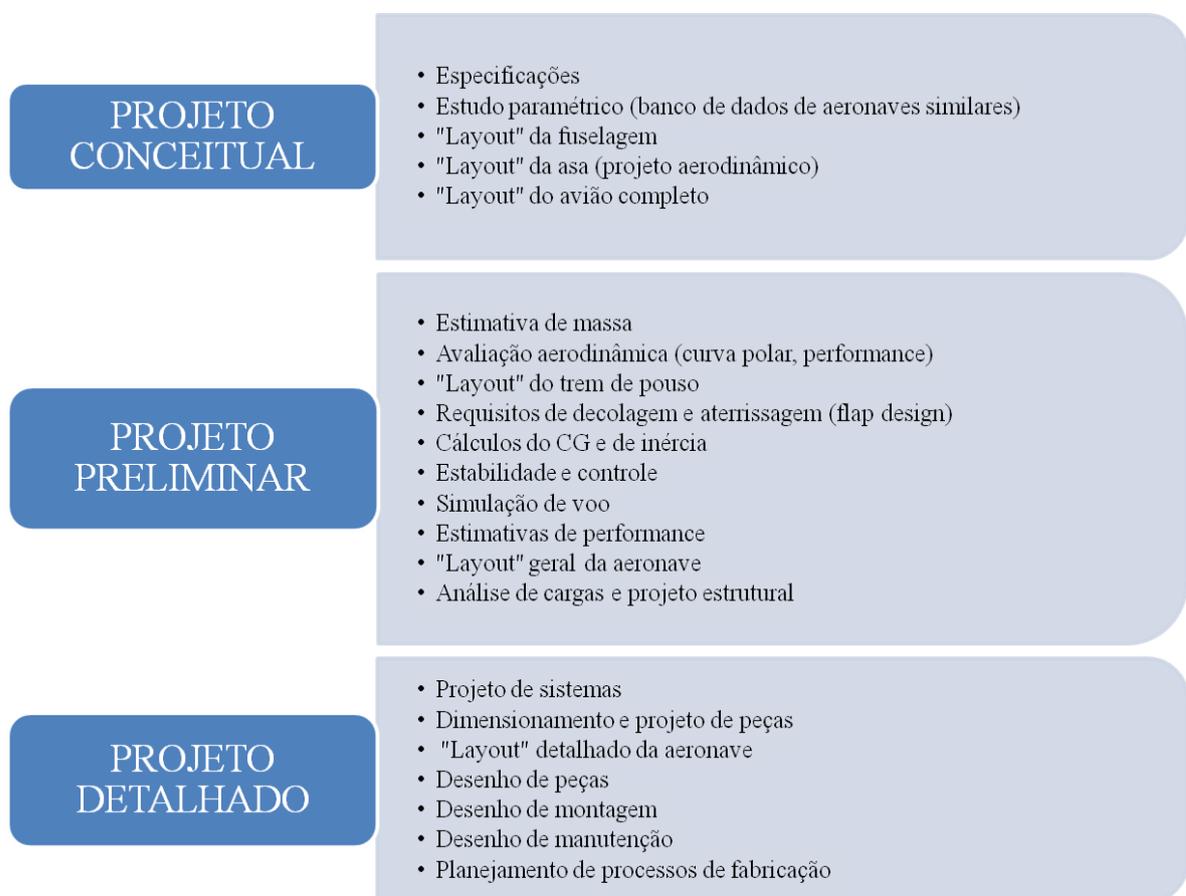


Figura 16: Estrutura de Projeto de Aeronave  
 Fonte: Adaptado de Da Rosa (2006, p.8 - 9)

### 2.3.2. Luiz Eduardo Miranda Rodrigues

Rodrigues (2011), conhecido como Luiz Eduardo Miranda pela comunidade do *AeroDesign*, salienta que todo projeto destinado a participar desta competição deve ser realizado a partir de uma análise minuciosa do regulamento da competição, onde a equipe deve estar atenta a todas as restrições e permissões existentes. A partir dessa análise, deve ser feito o

projeto conceitual, definindo-se o modelo da aeronave, principais dimensões, atendendo ao regulamento. Depois de cumprir a etapa conceitual, são realizados os cálculos de aerodinâmica, desempenho, estabilidade e controle e estrutural, fundamentados em estudos e levantamentos bibliográficos, e devidamente justificados no relatório de projeto.

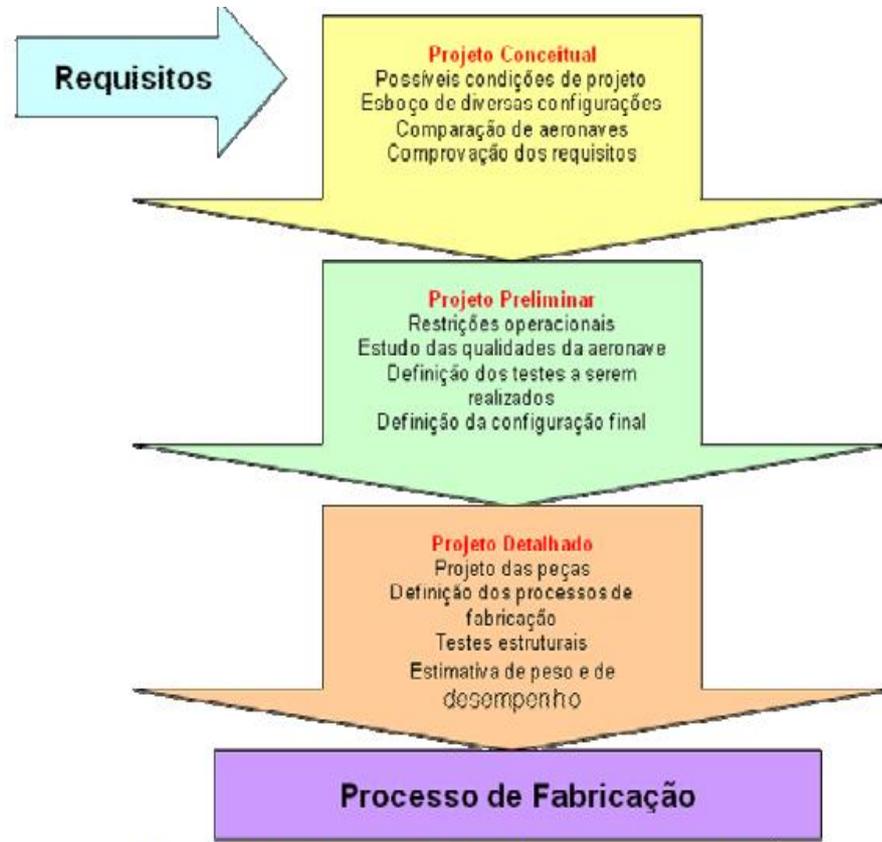


Figura 17: Estrutura básica de projeto  
Fonte: Rodrigues (2011, p. 462)

Rodrigues (2011) cita que a sistematização da fase conceitual deve ser feita pensando-se na aplicação computacional, possibilitando a sua integração com as demais fases do projeto do produto, e com o processo global do projeto, as fases de produção e o seu planejamento de fabricação. Dentro no *AeroDesign*, o projeto conceitual está totalmente ligado às restrições do regulamento da competição, que deve ser estudado minuciosamente, e diversas possibilidades devem ser pensadas, escolhendo-se a que melhor relação atender requisitos versus ótimo desempenho (RODRIGUES, 2011).

O autor divide as fases de Projeto Preliminar e a Otimização Multidisciplinar em atividades onde os setores devem trabalhar em conjunto para obter um bom projeto, permitindo otimizar a aeronave, e fazer com que ela apresente a melhor solução para atender a missão do projeto.

Já a nível de projeto detalhado Rodrigues (2011) cita a necessidade de um projeto possuir os cálculos essenciais que não podem ser descartados em nenhuma hipótese. O autor descreve a fase de projeto detalhado, como o ilustrado na Figura 18, e para se realizar o cálculo de uma aeronave completa todos esses requisitos devem ser cumpridos.

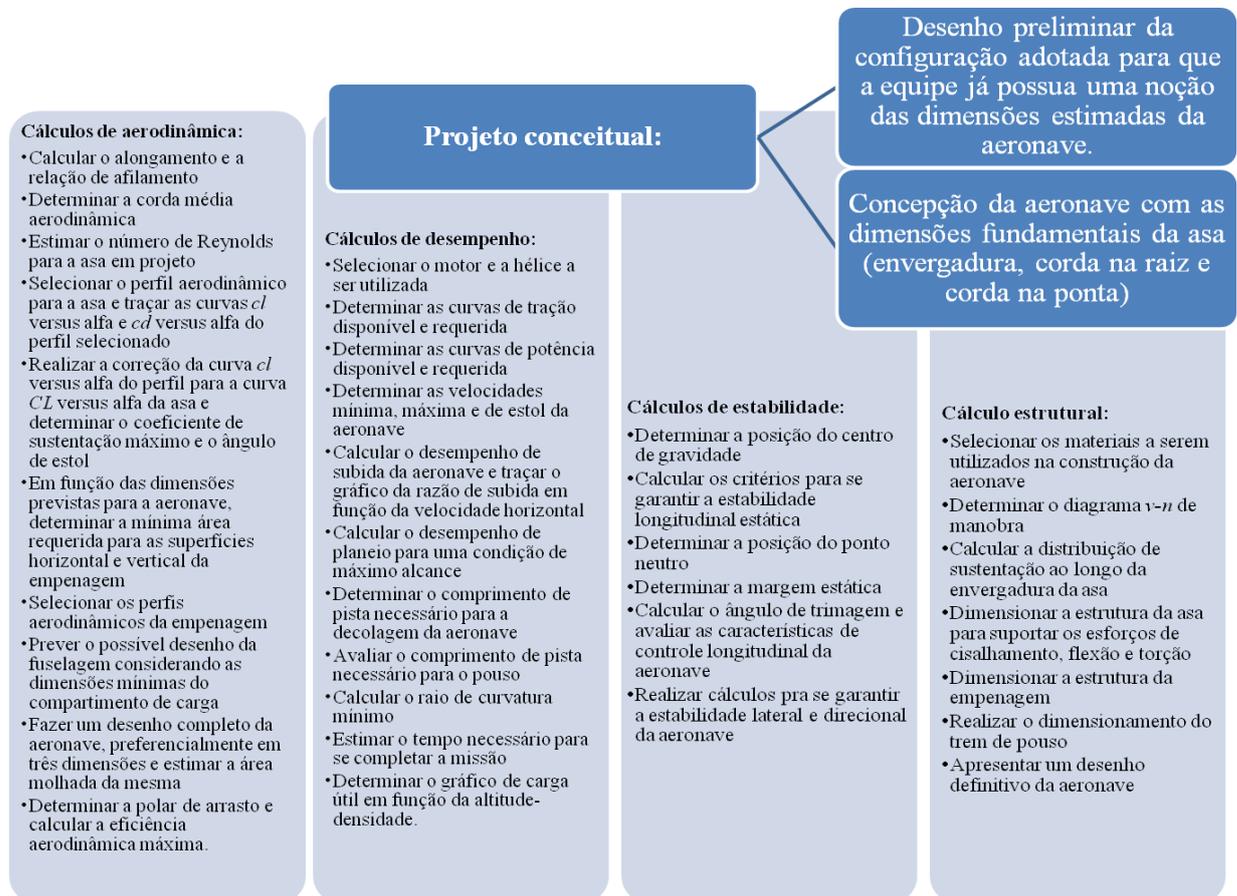


Figura 18: Estrutura básica de projeto detalhado para o *AeroDesign*  
 Fonte: Adaptado de Rodrigues (2011, p.445 a 447)

## 2.4. Análise Comparativa das metodologias tradicionais de desenvolvimento de aeronaves

De uma maneira geral, todas as metodologias citadas têm estruturas semelhantes, variando de acordo com o foco de cada autor, como no caso de Torenbeek (1976), que foca na aviação civil. Roskan (1985) identifica o escopo do projeto inicialmente, podendo ser caracterizado em duas classes: aviação comercial ou militar. O Raymer (1992) descreve o processo de desenvolvimento de uma maneira mais generalizada, podendo ter sua metodologia utilizada para diversas classes de aeronaves. Já o Barros (2001) desenvolve uma metodologia alternativa para projetos de aeronaves leves subsônicas que, como foi citado anteriormente,

assemelha-se bastante com a visão dos outros autores, mas traz como diferencial a percepção da realidade específica dos projetos desenvolvidos no CEA (Centro de Estudos Aeronáuticos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais).

Da Rosa (2006) e Rodrigues (2011) desenvolvem e descrevem metodologias voltadas para o *AeroDesign*, sendo perceptível que a metodologia de Da Rosa (2006) não inclui o processo de fabricação, como no método descrito por Rodrigues (2011). As metodologias desenvolvidas especificamente para projetos de aeronaves leves radiocontroladas, ainda é muito simplificada, dificultando a inserção de ferramentas gerenciais, de qualidade.

Todas as metodologias mostradas anteriormente estão apresentadas em resumo na Figura 19, onde pode-se perceber as características que elas têm em comum. Por exemplo, todas partem da definição de requisitos, independente de partirem de clientes, regulamentos ou pesquisa de mercado. Todas elas passam pelas três etapas gerais, fase de desenvolvimento de configuração, que para a maioria dos casos envolve o projeto conceitual e preliminar, e no caso do Barros (2001) envolve as etapas de estudos preliminares e anteprojetos.

A fase de projeto detalhado que é comum para todos os autores. Já a fase de serviços de engenharia diferencia-se para Roskan (1985), que trata essa etapa como análise final de viabilidade e custos do projeto. Raymer (1992) e Da Rosa (2006) não tratam os serviços de engenharia como parte integrante explícita do desenvolvimento do projeto. Enquanto isso, Torenbeek (1976) e Barros (2001) incluem, nesta fase, fabricação e os testes de solo e voo e apenas os dois autores baseiam-se no sistema de engenharia simultânea, que não é considerado por Da Rosa (2006) a melhor opção para o desenvolvimento de aeronaves. Logo, ele e os outros autores utilizam o conceito de engenharia tradicional.

É importante destacar que apenas Barros (2001) trata a documentação como uma constante durante todo o processo de desenvolvimento, e esse é um dos fatores diferenciais da sua metodologia com relação às outras, além de apresentar alto nível de detalhamento e acessibilidade.

As metodologias citadas levam em conta o tipo de produto que está sendo desenvolvido. Para todos os casos, aeronaves que possuem particularidades no processo de desenvolvimento, e isso depende da classe em que está inserida, da missão que deverá cumprir e dos requisitos de projeto. Por isso, assim como em qualquer processo de desenvolvimento de produto, é necessário adaptar as fases, processos e atividades de acordo com cada realidade específica.

	DESENVOLVIMENTO DA CONFIGURAÇÃO	PROJETO DETALHADO	SERVIÇO DE ENGENHARIA
<b>TORENBEEK</b>	<p>PROJETO CONCEITUAL</p> <p>PROJETO PRELIMINAR</p>	<p>PROJETO DETALHADO</p>	<p>CONSTRUÇÃO</p> <p>TESTES</p> <p>SUPOORTE DO PROJETO</p>
<b>ROSKAN</b>	<p>DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DE AVIÕES</p>	<p>PROJETO PRELIMINAR DE CONFIGURAÇÃO E INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO</p>	<p>PROJETO DE LAYOUT DE CABINE, FUSELAGEM, ASAS E EMPENAGEM: CORTES E PERFIL</p> <p>PROJETO DE LAYOUT DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE POUSO, ESTIMATIVA DE PESO DO AVIÃO</p> <p>CALCULO PRELIMINAR DAS CARACTERISTICAS DE DESEMPENHO AERODINÂMICO</p> <p>DETERMINAÇÃO DAS CARACTERISTICAS DE ESTABILIDADE, CONTROLE E DESEMPENHO</p> <p>ESTIMATIVA DE CUSTOS</p> <p>DESIGN</p> <p>DESENVOLVIMENTO</p> <p>FUNCIONAMENTO</p> <p>FABRICAÇÃO</p>
<b>RAYMER</b>	<p>PROJETO CONCEITUAL</p> <p>- SERÁ QUE VAIDAR CERTO? - COMO O QUE SE PARECE? - QUAIS OS REQUISITOS QUE DEVEM CONDUZIR O PROJETO? - QUAIS OS TRADE-OFFS DEVEM SER CONSIDERADOS? - O QUE DEVE PENSAR E OS CUSTOS?</p>	<p>PROJETO PRELIMINAR</p> <p>- CONGELAR A CONFIGURAÇÃO - DESENVOLVER O LOFTING - DESENVOLVER TESTE E BASE ANALÍTICA - PROJETAR PRINCIPAIS ITENS - DESENVOLVER ESTIMATIVA DE CUSTO REAL</p>	<p>PROJETO DETALHADO</p> <p>- PROJETAR AS PEÇAS REAIS A SEREM CONSTRUIDAS - PROJETAR O PROCESSO DE FERRAMENTAL E FABRICAÇÃO - TESTAR OS PRINCIPAIS ITENS- ESTRUTURAS, TREM DE POUSO, ETC - FINALIZAR ESTIMATIVAS DE PESO E DESEMPENHO</p>
<b>BARROS</b>	<p>ESTUDOS PRELIMINARES</p>	<p>ANTEPROJETO</p>	<p>PROJETO</p> <p>FABRICAÇÃO</p> <p>ENSAIOS DE SOLO</p> <p>ENSAIOS DE VOO</p>
<b>DOCUMENTAÇÃO</b>			
<b>DA ROSA</b>	<p>PROJETO CONCEITUAL</p> <p>- ESPECIFICAÇÕES - ESTUDO PARAMÉTRICO (BANCO DE DADOS DE AERONAVES SIMILARES) - LAYOUT DA FUSELAGEM - LAYOUT DA ASA - LAYOUT DO AVIÃO COMPLETO</p>	<p>PROJETO PRELIMINAR</p> <p>- ESTIMATIVA DE MASSA - AVALIAÇÃO AERODINÂMICA - LAYOUT DO TREM DE POUSO - REQUISITOS DE DECOLAGEM E ATERRISSAGEM - CÁLCULOS DE CG E DE INÉRCIA - ESTABILIDADE E CONTROLE - SIMULAÇÃO DE VOO - ESTIMATIVAS DE PERFORMANCE - LAYOUT GERAL DA AERONAVE - ANÁLISE E PROJETO ESTRUTURAL</p>	<p>PROJETO DETALHADO</p> <p>- PROJETO DE SISTEMAS - DIMENSIONAMENTO E PROJETO DE PEÇAS - LAYOUT DETALHADO DA AERONAVE - DESENHO DE PEÇAS - DESENHO DE MONTAGEM - DESENHO DE MANUTENÇÃO - PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO</p>
<b>RODRIGUES</b>	<p>PROJETO CONCEITUAL</p> <p>- POSSÍVEIS CONDIÇÕES DE PROJETO - ESBOÇO DE DIVERSAS CONFIGURAÇÕES - COMPARAÇÃO DE AERONAVES - COMPROVAÇÃO DOS REQUISITOS</p>	<p>PROJETO PRELIMINAR</p> <p>- RESTRIÇÕES OPERACIONAIS - ESTUDO DAS QUALIDADES DA AERONAVE - DEFINIÇÃO DOS TESTES A SEREM REALIZADOS - DEFINIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO FINAL</p>	<p>PROJETO DETALHADO</p> <p>- PROJETO DAS PEÇAS - DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO - TESTES ESTRUTURAIIS - ESTIMATIVA DE PESO E DE DESEMPENHO</p> <p>PROCESSO DE FABRICAÇÃO</p>

Figura 19: Quadro comparativo das metodologias tradicionais  
 Fonte: Autoria Própria baseado em Torenbeek(1976), Roskan(1985), Raymer(1992), Barros(2001), Da Rosa(2006) e Rodrigues(2011)

## 2.5. Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

### 2.5.1. Conceito, importância e características.

O processo de desenvolvimento de produto (PDP), segundo Rozenfeld *et al* (2006) é o conjunto de atividades que buscam chegar às especificações de projeto de um produto e de um processo de produção, dentro das necessidades encontradas em um mercado, das possibilidades e restrições tecnológicas e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa. O PDP é o processo que situa-se entre a empresa e mercado, com a função de observar e identificar as necessidades, propondo soluções, grande parcela da vantagem competitiva de um organização vem do modo que o produto é desenvolvido e aperfeiçoado.

Takahashi e Takahaski (2007), *apud* Pinto e Fontenelle (2013), tratam o PDP como um processo de tomada de decisões bastante complexo e iterativo, possuindo vários estágios e filtros entre eles. O processo, de uma maneira geral, envolve muitas pessoas, recursos, conhecimento e muitas funções da empresa. E o modo como a empresa desenvolve o produto em termos de velocidade, eficiência e qualidade do trabalho, determinará a competitividade do produto.

Segundo Thia *et al* (2005) *apud* Salgado *et al* (2010) as numerosas ferramentas e técnicas que foram desenvolvidas por vários anos para fazer o PDP mais gerenciável precisam ser utilizadas para tornar a integração do processo mais eficiente. O uso e a aplicação de ferramentas da qualidade e de modelos genéricos, quando utilizados dentro de uma metodologia eficaz de resolução de problemas, são essenciais para facilitar na melhoria de alguns processos.

Rozenfeld *et al* (2006) diferencia o PDP de outros processos por que possui especificidades como:

- Alto grau de incerteza das atividades e resultados;
- As decisões importantes do projeto devem ser tomadas logo no início do processo, que é quando há mais incertezas, e depois de tomadas, existe uma dificuldade para mudar as decisões iniciais;
- As atividades básicas seguem um ciclo iterativo de Projetar-Construir-Testar-Otimizar;
- As informações provêm de diversas fontes e áreas da empresa, gerando um alto volume de informações e muitos dos requisitos de clientes internos a serem atendidos.

O PDP baseia-se principalmente em fluxos de atividades e de informações, facilitando a percepção da ordenação específica de atividades, ligações, integração e eficiência de suas operações, identificando inputs e outputs do processo e as fases críticas entre os setores. Ou seja, é o processo que integra as áreas da cadeia de suprimento, indo desde o planejamento estratégico até o acompanhamento da produção, abrangendo todo o planejamento e gerenciamento do produto, de maneira cíclica, proporcionando a possibilidade da introdução de inovações (CUNHA, 2004 *apud* ONOYAMA e TOLEDO, 2011).

Da Rosa (2006) aborda um conceito de engenharia sequencial, que está interligado ao que Rozenfeld *et al* (2006) chama de escopo tradicional, ilustrado na Figura 21, onde uma situação tradicional de setorização, que segundo Da Rosa (2006) adota uma divisão entre as diferentes etapas do processo e uma nova fase só inicia quando a anterior é finalizada. Os autores Da Rosa (2006) e Rozenfeld *et al* (2006) chamam atenção para o fato de que este modelo possui uma série de problemas que provém desse tipo de escopo tradicional e da engenharia sequencial, ilustradas nas Figura 20 Figura 21, incluindo os problemas das batalhas setoriais e os de integração de componentes por falhas de comunicação. Os erros devido a setorização são propagados ao longo das etapas sequenciadas, fazendo com que falhas só sejam percebidas durante o andamento do projeto, geralmente nas fases finais de montagem, testes e integração de componentes, o que leva a um maior custo de desenvolvimento, se problemas são detectados nas etapas mais avançadas, o projeto deve ser refeito, ou parcialmente refeito.

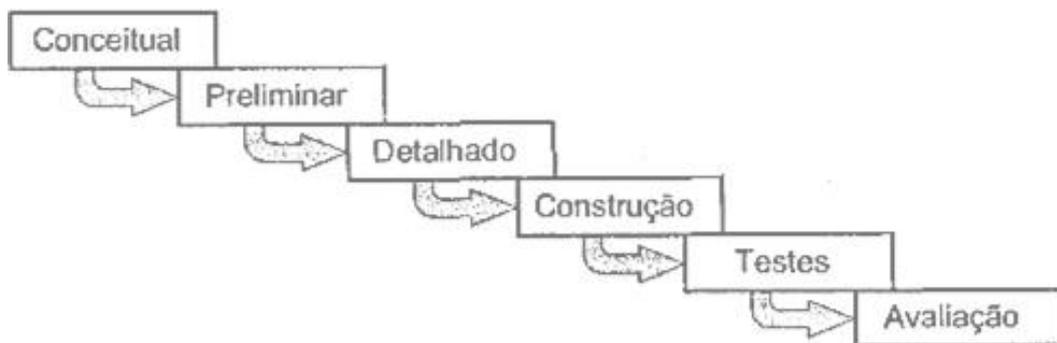


Figura 20: Sequência de etapas em um processo tradicional de projeto  
Fonte: Da Rosa (2006, p.7)

Rozenfeld *et al* (2006) aborda a evolução do escopo do PDP, ilustrada na Figura 21 que sai de uma situação tradicional para um novo escopo onde a integração setorial é de alto nível. Com a mudança de escopo do PDP, segundo Da Rosa (2006) surge o conceito de engenharia simultânea, fazendo com que o desenvolvimento do produto se torne mais ágil, com várias etapas ocorrendo de forma conjunta, simultânea, através de equipes multidisciplinares, podendo

encontrar dificuldades antes de o desenvolvimento seguir adiante, com custos cada vez mais altos. As etapas são sobrepostas na Figura 22, para deixar visível que existe a possibilidade de correções durante o desenvolvimento. Trazendo o planejamento estratégico como ferramenta chave do processo de desenvolvimento do projeto.



Figura 21: Escopo do PDP  
 Fonte: Rozenfeld *et al* (2006, p.11)



Figura 22: Sequência de etapas em um processo de projeto usando Engenharia Simultânea  
 Fonte: Da Rosa (2006, p.8)

O Planejamento Estratégico é um instrumento importante para nortear a gestão organizacional, bem como a gestão de projetos, sendo nele explicitadas as necessidades que serão o foco dos esforços organizacionais durante determinado período (CAMPOS, 2003).

Segundo Kotler (2006), o planejamento estratégico assegura que sejam selecionadas e executadas as atividades corretas, exigindo ações em três áreas-chave, gerenciamento de negócios, de pontos fortes e fracos diante do mercado em que atua, e a terceira área é

estabelecimento de uma estratégia, desenvolvendo um plano de ação, que é desdobramento das diretrizes pré-estabelecidas, como ilustrado na Figura 23.



Figura 23: O processo de planejamento estratégico de unidades de negócios  
Fonte: Kotler (2006, p.50)

### 2.5.2. Modelo de referência para PDP

Segundo Davila (2000) o processo de desenvolvimento de produtos precisa ser bem estruturado, principalmente por conta do grau de incertezas, por isso é necessário que existam fases bem definidas que tenham como *outputs* características sobre do projeto e/ou produto.

Amaral (2002) agrupa as fases do processo de desenvolvimento em dois tipos: Modelo de referência, que são baseados nas melhores práticas do PDP e são de aplicação geral. Segundo Back *et al* (2008) o modelo de referência traz um processo de desenvolvimento de produtos mais formal e sistemático, integrado aos demais processos empresariais, com os participantes da cadeia de fornecimento e com os clientes finais. Fornece, ainda, os meios para que as empresas inovem e desenvolvam, dentro de suas organizações o outro tipo de agrupamento, os modelos específicos, elaborados através de um processo de adaptação.

Segundo Roozenburg e Eekels (1995), *apud* Moretti *et al* (2012), a definição de modelo deve sempre estar sob análise minuciosa, pois não é uma receita padrão. Ele se adapta de acordo com o processo, buscando melhoria contínua e uma adaptação para o método utilizado a partir da compreensão da equipe à respeito da natureza do processo. Pois para Kalpic e Bernus (2002), *apud* Moretti *et al* (2002), essas adaptações representam o conhecimento do processo que pode ser exteriorizado em forma de modelos específicos, entendendo a melhor forma que ela deve ser comunicada entre os envolvidos no processo.

Para que o desenvolvimento de produtos possa cumprir com o seu papel de contribuir com a competitividade da empresa, de acordo com Rozenfeld et al. (2006), um processo eficaz e eficiente de gestão necessita ser implementado com base em um modelo de referência, ilustrado na Figura 24, que determine a capacidade de as empresas controlarem o processo de desenvolvimento e de aperfeiçoamento dos produtos e de interagirem com o mercado e com as fontes de inovação tecnológica.

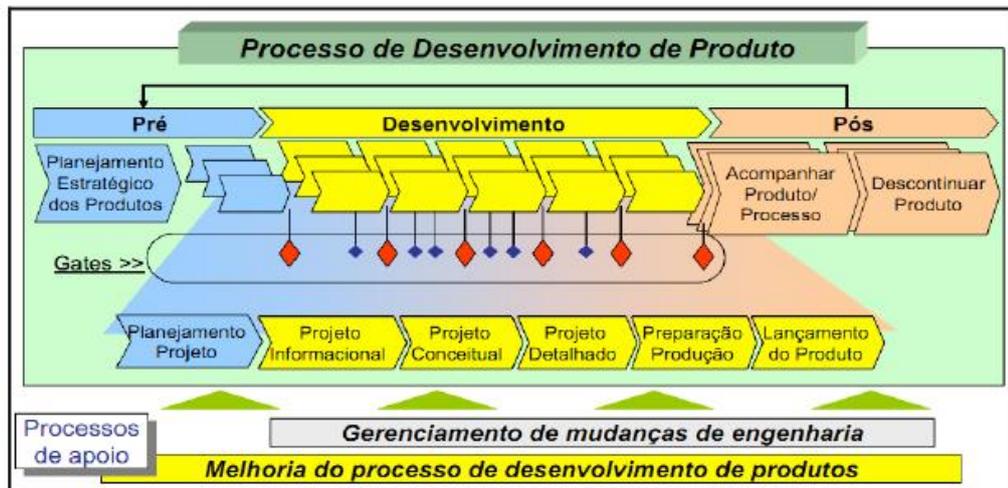


Figura 24: Processo de Desenvolvimento de Produto  
 Fonte: Rozenfeld *et al* (2006, p. 44)

Rozenfeld *et al* (2006) formalizam o modelo de gestão do PDP, permitindo para todos os envolvidos no processo uma visão ampla sobre as atividades que devem ser realizadas, as condições que devem ser atendidas, os critérios de decisão e os resultados esperados para o PDP. Como os projetos de desenvolvimento são definidos a partir desse modelo, ele é conhecido como Modelo de Referência, que é a representação da junção das boas práticas, que estão relacionadas com as partes do processo de desenvolvimento de produto, contendo o maior nível de detalhamento possível.

### 2.5.2.1. Pré-Desenvolvimento

A fase de pré-desenvolvimento, para Rozenfeld *et al* (2006), é a etapa em que as ideias de todos os atores internos e externos envolvidos, as oportunidades e restrições e o direcionamento estratégico definido no Planejamento Estratégico, sejam mapeados e transformados em um conjunto de projetos bem definidos. No projeto detalhado, cada projeto deve ter seu escopo claramente definido, para garantir uma integração com os direcionamentos estratégicos definidos anteriormente, analisando a chance de viabilidade e no final do

planejamento detalhado deve-se decidir se o desenvolvimento do produto deve seguir adiante ou não. Daí a importância de atividades como: Definição de Projeto e Desenvolvimento; Delimitação das Restrições de Recursos e Conhecimentos e o Levantamento de Tendências Tecnológicas e Mercadológicas.

Essa etapa envolve duas grandes fases, a de Planejamento Estratégico de Produtos e Planejamento de Projeto. Ao final do Pré-Desenvolvimento de um projeto a equipe deve ter em mãos a Declaração de Escopo e o Plano Inicial do Projeto, como estão destacados na Figura 25, com o objetivo de garantir que a melhor decisão sobre o portfólio de produtos de projetos, que haja uma decisão clara e um consenso máximo sobre o objetivo final de cada produto (ROZEFELD *et al*, 2006).

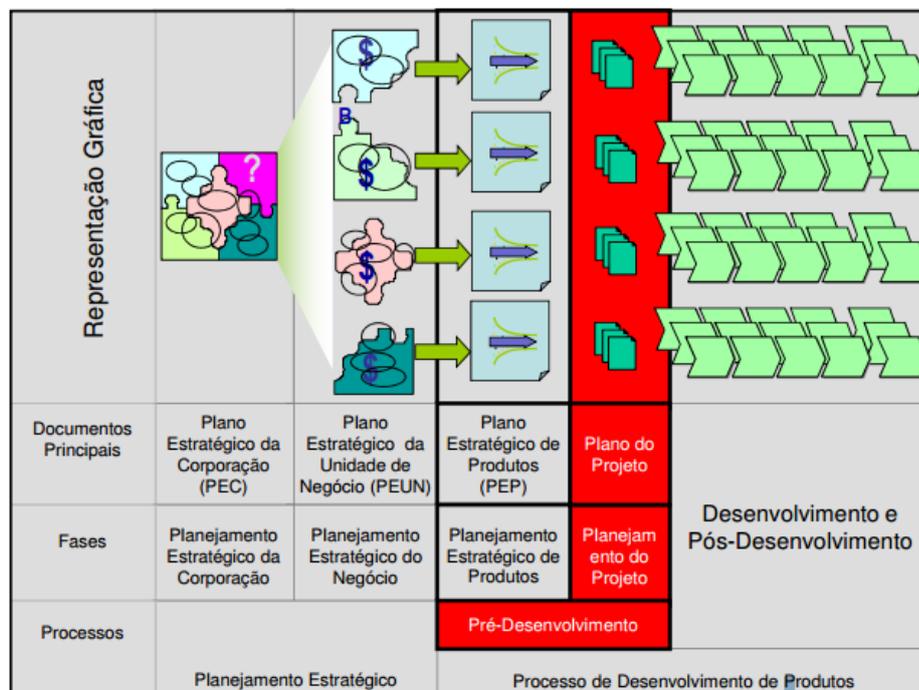


Figura 25: Representação da fase de Pré-Desenvolvimento

Fonte: Rozenfeld (2008, p. 19)

Para Rozenfeld *et al* (2006), esta macrofase faz com que exista um foco nos projetos prioritários definidos a partir dos critérios da empresa, tem-se o uso eficiente dos recursos de desenvolvimento, além de iniciar o projeto de forma mais rápida e mais eficiente, com critérios claros para avaliar os projetos que encontram-se em andamento. Independente do tipo de desenvolvimento de produto a empresa precisa ter o mínimo de entendimento da missão e objetivos estratégicos para diminuir os riscos de insucesso de um projeto.

### 2.5.2.2. Desenvolvimento

Na fase de desenvolvimento Rozenfeld *et al* (2006), abordam a formação de times, que durante a etapa de projeto informacional, trabalham em conjunto com as áreas comercial e marketing, para definir os requisitos do produto a partir das necessidades observadas através de estudos de mercado, que vai gerar a concepção do produto. Passando para o projeto conceitual a equipe passa a ser formada por pessoas da engenharia e produção, mas existe um time fixo, central multidisciplinar que acompanha e participa de todo o processo de desenvolvimento, para garantir a continuidade de conhecimento e informações durante o desenvolvimento daquele projeto especificamente

As atividades realizadas na macrofase fazem com que, ao final sejam produzidas informações técnicas detalhadas de produção e comerciais ligadas ao produto, como especificadas na Figura 26. Por isso, é necessário que haja um detalhamento das informações técnicas, definição de sistemas, subsistemas e componentes do produto; desenho de conjunto do produto; cálculos preliminares de engenharia e esquema com definição da arquitetura (ROZENFELD *et al*, 2006).

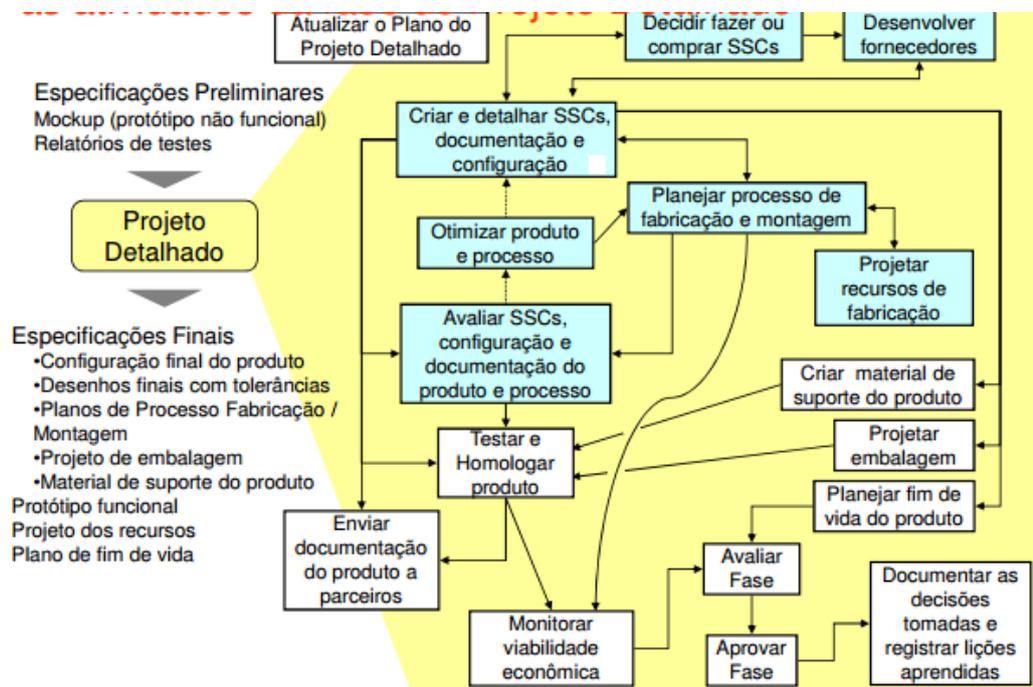


Figura 26: Informações principais e dependência entre  
Fonte: Rozenfeld (2008, p. 29)

Rozenfeld *et al* (2006) inserem ao final de cada etapa da fase de desenvolvimento e antes do seu início, os *gates* que marcam a passagem de uma etapa para a outra, sendo uma

prática que evita alguns problemas durante o desenvolvimento. Como por exemplo, a passagem de resultados incoerentes a diante.

Existem alguns requisitos que condicionam essa passagem. Verifica-se o cumprimento das atividades planejadas da seguinte maneira: Ocorre a verificação da quantidade de atividades planejadas e as que foram realizadas; Em seguida analisa-se a qualidade dos resultados obtidos. Os *gates* são atividades coletivas, e são realizadas a partir de reuniões, que precisam ser planejadas de maneira eficiente para que se obtenha sucesso na prática (ROZENFELD *et al*, 2006).

Após o dimensionamento do produto que foi aprovado nos diversos *gates* da macrofase de desenvolvimento, é feita uma atualização do estudo de viabilidade econômico financeira, as informações são detalhadas, o protótipo é testado e inicia-se o ciclo de detalhamento e otimização (Projetar-Construir-Testar-Otimizar) até que o produto seja homologado. O processo de manufatura é finalizado contendo a sequência de fabricação, as especificações das máquinas e ferramentas, os métodos de produção e todos os documentos necessários para garantir um processo de manufatura e um produto final com qualidade (ROZENFELD *et al*, 2006).

### **2.5.2.3. Pós-Desenvolvimento**

Rozenfeld *et al* (2006) chamam atenção para o fato de que muitas vezes as empresas tomam a fase de desenvolvimento como processo final, mas o pós-desenvolvimento é necessário quando se trata de acompanhamento do ciclo de vida do produto e verificar seu desempenho e aceitação no mercado, propondo mudanças a partir do *feedback* obtido.

A retirada sistemática de um produto do mercado também envolve o pós-desenvolvimento, juntamente com a avaliação de todo o seu ciclo de vida, servindo como base de dados para o desenvolvimento de novos produtos no futuro. Um time é formado para esta etapa, que é composto por responsáveis pela produção e assistência técnica, essa equipe precisa ter conhecimento profundo de todos os aspectos do produto, realizando um planejamento do acompanhamento e os principais responsáveis por cada função. São definidos também os procedimentos caso o produto falhe no mercado (ROZENFELD *et al*, 2006).

Os mesmos autores citam que essa fase costuma durar muito mais que as anteriores, e é nela que é realizada uma avaliação do grau de acerto de planejamento econômico, e também a

avaliação de satisfação do cliente. Deve-se registrar todas as lições aprendidas durante o acompanhamento do produto.

Nem todas as empresas tem a necessidade da realização desta etapa. Porém, é essencial em empresas que desenvolvem produtos complexos, como na indústria aeronáutica, além de ser vital, é uma exigência do cliente e das instituições que regulamentam o setor. A operação de aeronaves deve ser obrigatoriamente acompanhada, com duração de até 40 anos, pois o fabricante tem que realizar atividades enquanto existir o número mínimo de produtos em operação (ROZENFELD *et al*, 2006)

### **2.5.3. Requisitos de Qualidade de Projeto e Desenvolvimento de Produtos e Serviços: ISO 9001:2015**

Para Fiod (1993) *apud* Peçanha *et al* (2003), o PDP, não deve ser feito como atividade intuitiva, empírica e de tentativa e erro, se o desejo é se manter competitivo no mercado, o desenvolvido de um projeto deve ser apoiado em método sistêmico com forte embasamento científico.

A norma ABNT NBR ISO 9001 orienta quais são os elementos básicos deste método sistêmico, permitindo direcionar os recursos para satisfazer os clientes; oferecer um produto de qualidade dentro do prazo a custo competitivo; e reduzir o desperdício normalmente gerado por alterações tardias, erros, diversidade desnecessária de produtos, excessiva complexidade do produto e burocracia. O sucesso de um projeto tem maior probabilidade de acontecer se houver uma descrição das etapas do processo de desenvolvimento de produtos. (PEÇANHA *et al*, 2003).

São esses aspectos abordados na ABNT NBR ISO 9001:2015 que especificam os requisitos para um sistema de gestão da qualidade quando uma organização precisa demonstrar a capacidade para desenvolver consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente e aos requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis (ABNT CATÁLOGO, 2015).

A gestão sistemática dos processos é essencial para alcançar resultados de acordo com o direcionamento estratégico e política de qualidade da organização. O ciclo PDCA é uma das ferramentas para gerenciar os processos e sistemas de forma satisfatória, seguindo as etapas ilustradas na Figura 27 (ABNT NBR ISO 9001, 2015).

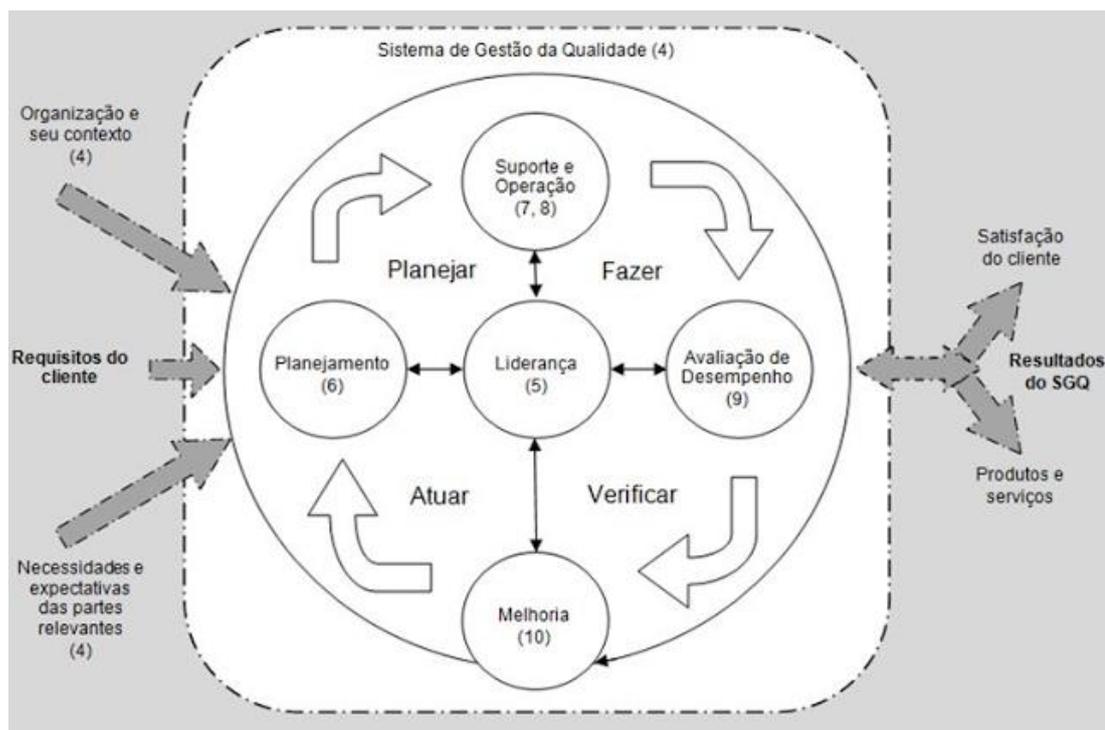


Figura 27: Representação da estrutura ABNT NBR ISO 9001:2015 no ciclo PDCA  
 Fonte: ABNT NBR ISO 9001 (2015, p.1)

O Ciclo PDCA é um método de solução de problemas e pode ser aplicado para todos os processos e para o sistema de gestão de qualidade como um todo. Pode ser descrito da seguinte maneira (MACHADO, 2007):

- Plan - Inicialmente o problema a ser resolvido é observado, analisando o fenômeno de modo a descobrir as causas do problema, a partir daí as metas são estabelecidas e as formas de alcançá-las. Esta etapa é bastante complexa, pois se erros cometidos na identificação do problema e no delineamento de ações dificultam o alcance dos resultados.
- Do - Esta fase é a de execução das tarefas planejadas na fase anterior, os dados são coletados para as análises na etapa de verificação. Nesta etapa é necessário iniciativa, educação e treinamento.
- Check - É nesta fase que os dados são coletados na etapa de execução são utilizados na comparação entre o resultado conquistado e a meta delineada.
- Act - Nesta etapa, caso a meta não tenha sido atingida deve-se retornar a fase de observação da etapa de planejamento, analisar novamente o problema e elaborar um novo plano de ação, se a meta foi atingida, a atuação será de padronizada.

O requisito 8.3 da norma diz que a organização deve estabelecer, implementar e manter o processo de projeto e desenvolvimento de produtos e serviços, adequado a cada de realidade,

tendo função essencial, assegurar a provisão de produtos e serviços. O projeto é desenvolvido a partir do esquema apresentado Figura 28 (ABNT NBR ISO 9001, 2015).

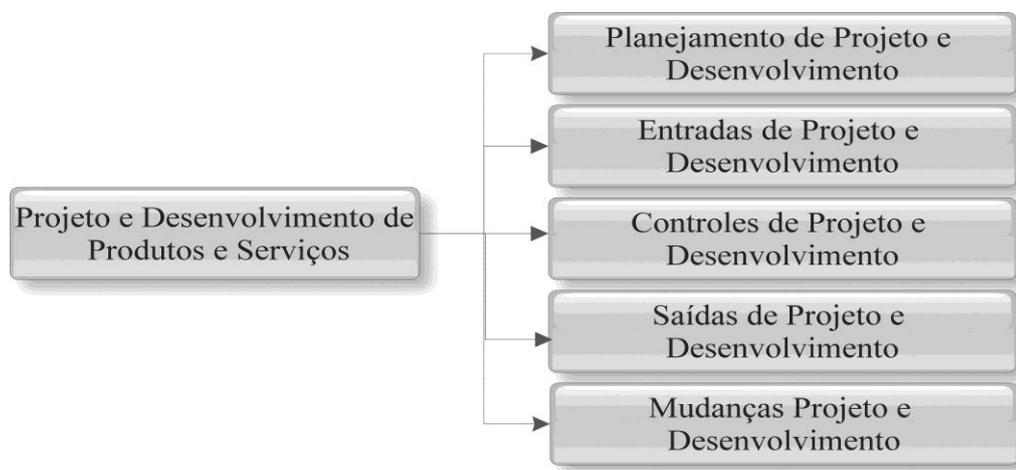


Figura 28: Esquema das etapas de desenvolvimento do produto  
Fonte: Baseado em ABNT NBR ISO 9001

### 2.5.3.1. Planejamento de projeto e desenvolvimento

Segundo a ABNT NBR 9001: 2015, na determinação dos estágios e controles para projeto e desenvolvimento, a organização deve considerar alguns aspectos como:

- A natureza, duração e complexidade das atividades de projeto e desenvolvimento;
- Os estágios do processo requeridos, incluindo análises críticas de projeto e desenvolvimento aplicáveis;
- As atividades de verificação e validação de projeto e desenvolvimento requeridas;
- As responsabilidades e autoridades envolvidas no processo de projeto e desenvolvimento;
- Os recursos internos e externos necessários para o projeto e desenvolvimento de produtos e serviços;
- A necessidade de controlar interfaces entre pessoas envolvidas no processo e desenvolvimento;
- A necessidade de envolvimento de clientes e usuários no processo de projeto e desenvolvimento;
- Os requisitos para a provisão subsequente de produtos e serviços;

- O nível de controle esperado para o processo de projeto e desenvolvimento por clientes e outras partes interessadas pertinentes e a informação documentada necessária para demonstrar que os requisitos de projeto e desenvolvimento foram atendidos.

À medida que as etapas vão sendo realizadas, os seus resultados devem ser atualizados, ao longo do desenvolvimento do projeto. (ABNT NBR ISO 9001, 2015)

### **2.5.3.2. Entradas de projeto e desenvolvimento**

Nesta etapa, deve-se ter em mãos os requisitos de funcionamento e de desempenho, requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis, onde é aplicável, informações originadas de projetos anteriores semelhantes, e outros requisitos essenciais para projeto e desenvolvimento. E cada organização deve analisar todas as entradas em relação à sua real necessidade, além disso, os requisitos devem ser completos, não conflitantes e sem ambiguidades (ABNT NBR ISO 9001, 2015).

Como alternativa de ferramenta nesta etapa do PDP, o QFD (*Quality Function Deployment* ou Desdobramento da Função Qualidade) pode ser utilizado.

Segundo Loos e Miguel (2014), o QFD é um método utilizado para introduzir e dar suporte ao desenvolvimento de novos produtos. O principal objetivo é integrar as necessidades dos clientes em todo o ciclo de desenvolvimento do produto. Trata-se de uma ferramenta multifuncional que permite a priorização de demandas, desenvolvendo respostas inovadoras para as necessidades dos clientes, eficientes em termos de custo e qualidade.

O QFD é uma forma de comunicar sistematicamente informações relacionadas com a qualidade e de explicitar ordenadamente o trabalho relacionado com a obtenção de qualidade. Tem como objetivo alcançar o enfoque da garantia da qualidade durante o desenvolvimento de produto, e isso depende de uma comunicação eficaz entre os setores, envolvendo os responsáveis por marketing, P&D, comercial qualidade e produção (CHENG e MELO FILHO, 2007).

Em cada ciclo do QFD as necessidades da qualidade são relacionadas com os requisitos da qualidade, onde se identifica através da matriz de relações a intensidade do relacionamento entre eles. Essa intensidade representa-se por símbolos de relações. Cada um deles tem um peso numérico representando esta intensidade. A importância relativa é uma priorização de cada

necessidade da qualidade. Essas necessidades são ponderadas segundo o grau de importância para o cliente, a cada necessidade, são atribuídos valores numéricos.

No triângulo da parte superior da Figura 29, identificam-se os relacionamentos entre os requisitos da qualidade, identificando o grau de correlação entre os eles, auxiliando na priorização e identificação de “soluções de compromisso” entre os requisitos. As especificações do projeto representam uma quantificação de cada requisito da qualidade. Os requisitos priorizados são calculados pela multiplicação do peso atribuído ao símbolo de relações, pelo grau de importância relativa (REBELATO; RODRIGUES; CAMPAGNARO, 2010).



Figura 29: Representação simplificada do método QFD.  
 Fonte: Berk (1997, p.205) *apud* Rebelato ; Rodrigues; Campagnaro (2010, p.141).

Ao se iniciar um estudo de QFD, deve haver um esforço consciente de delinear claramente quais são os objetivos a serem alcançados por aquele projeto específico de desenvolvimento de produto, o QFD pode ser considerado como um método que trata dos problemas de desenvolvimento de produto do tipo bem definido ou bem estruturado. Os esforços de engenharia são deslocados para a fase de planejamento, listando o que precisa ser feito e como pode ser feito, dando espaço para a criatividade e inovações, através das discussões multidisciplinares, utilizando da engenharia simultânea. (CHENG, 2003).

De acordo com Cheng e Melo Filho (2007) são claros os benefícios da utilização do QFD, são eles: Melhoria do sistema de desenvolvimento de produtos; tendo a possibilidade de lançá-los em maior volume, com maior probabilidade de sucesso no mercado; Aumento na satisfação do cliente e da lucratividade; redução no tempo de desenvolvimento, custos e perdas; melhoria da comunicação entre os setores interfuncionais; melhoria da qualidade do produto percebida pelo cliente, maior capacitação de recursos humanos; maior retenção do conhecimento tecnológico na empresa; crescimento e desenvolvimento de pessoas através do aprendizado mútuo e maior possibilidade de atendimento a exigências de clientes.

Criar uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP) é bastante pertinente na definição das entradas do projeto e visualizar das saídas esperadas. De acordo com o PMI (2008), a EAP é a decomposição hierárquica orientada das entregas do trabalho, é semelhante a um organograma e permite detalhar as atividades, em função dos objetivos do projeto.

A EAP pode ser elaborada intuitivamente, mas Sotille (2009) indica uma possível estratégia para a sua criação, com o seguinte sequenciamento de atividades:

- Escrever o nome do projeto no primeiro nível (nível zero) da EAP.
- Iniciar o segundo nível com as entregas de Gerenciamento de projeto e de Encerramento.
- Acrescentar as fases do ciclo de vida (entrega completa da fase) do projeto no segundo nível,
- Decompor as entregas (produtos ou serviços) em subprodutos (entregas parciais) que as compõem.
- Decompor as entregas parciais até um nível de detalhe que viabilize o planejamento e controle em termos de tempo, custo, qualidade, risco, atribuição de responsabilidades e contratação, se for o caso.
- Revisar continuamente a EAP, refinando-a quando necessário, até que a mesma esteja apta a ser aprovada.

Seguindo essa estratégia de elaboração EAP proposta por Sotille (2009), a estrutura assume a forma mostrada na Figura 30.

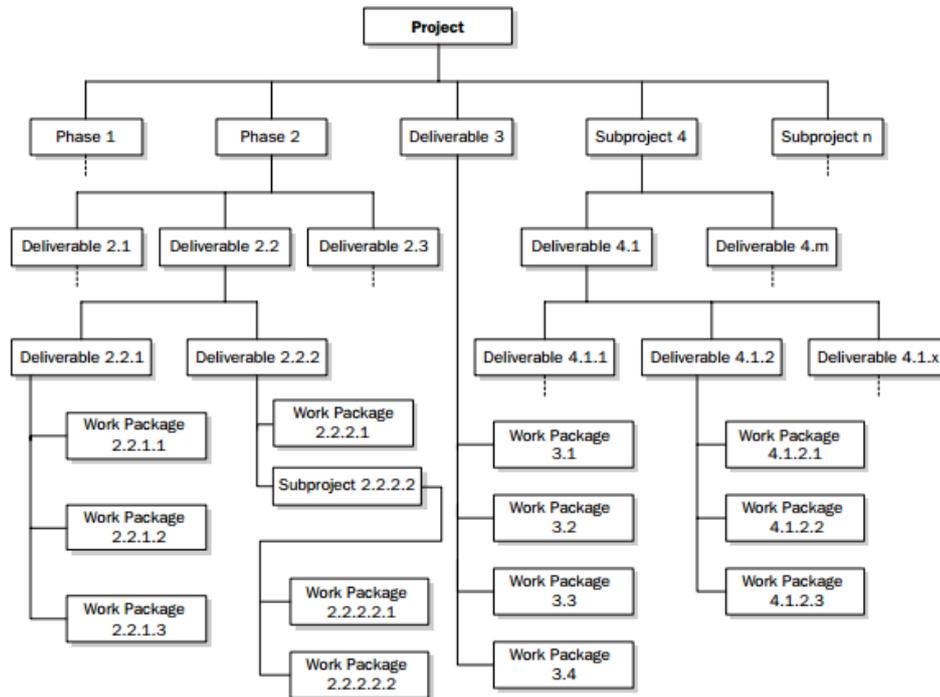


Figura 30: Modelo de Estrutura Administrativa de Projeto Simples  
 Fonte: PMI (2008, p. 119)

### 2.5.3.3. Controles de projeto e desenvolvimento

Essa etapa deve assegurar que:

- Análises críticas sejam conduzidas para avaliar a capacidade dos resultados de projeto e desenvolvimento de atenderem os requisitos de entrada; atividades de validação sejam conduzidas para assegurar que os produtos atendam aos requisitos para a aplicação especificada;
- Quaisquer ações necessárias sejam tomadas sobre os problemas determinados durante as análises críticas;
- As atividades de verificação e validação e que as informações sobre essas atividades sejam retidas.

É necessário chamar atenção para o fato de que as etapas de análise, verificação e validação tem propósitos diferentes, logo, precisam ser registrados separadamente, e de maneira alguma, os registros devem deixar de ser feitos segundo a (ABNT NBR ISO 9001, 2015).

Para auxiliar as atividades que devem ser asseguradas na fase de controles de projeto e desenvolvimento, podem ser utilizadas algumas ferramentas descritas a seguir:

- **Análise Crítica:**

O principal objetivo desta atividade é avaliar a capacidade dos resultados do projeto e desenvolvimento em atender aos requisitos, identificar as falhas ou possíveis falhas e propor as ações necessárias. Esse tipo de análise deve ser feita por toda a equipe envolvida no projeto, a manutenção de registros dos resultados devem ser constantes em intervalos planejados e que estes intervalos entre as análises sejam suficientes para assegurar que o sistema de gestão da qualidade permaneça adequado e eficaz. Normalmente, a análise crítica é conduzida por meio de reuniões, nas quais participam os representantes das áreas envolvidas, da qualidade e da alta direção (ABNT NBR ISO 9001, 2008).

Para Caminada Netto e Yehia (2010), a análise crítica deve ser entendida como um conjunto de atividades integradas que transforma insumos em produtos. A metodologia PDCA pode ser uma ferramenta gerencial útil na busca da melhoria contínua do processo de análise crítica. Mesmo que não haja a pretensão de certificação esse tipo de prática pode trazer melhorias no desempenho global da organização.

O Diagrama de Ishikawa, conhecido também como espinha de peixe pode ser uma alternativa de ferramenta para essa atividade.

Segundo Tubino (2007), é uma ferramenta que permite que processos complexos sejam divididos em processos simples, conseqüentemente mais controláveis, processos esses que são definidos como a união de seis fatores, conhecidos como 6M (máquina, mão-de-obra, medida, matéria-prima, método e meio ambiente), ilustrados na Figura 31. Para Werkema (1995), o diagrama é uma ferramenta que expõe a relação existente entre o resultado de um processo, e as causas que tecnicamente possam afetar esse resultado.

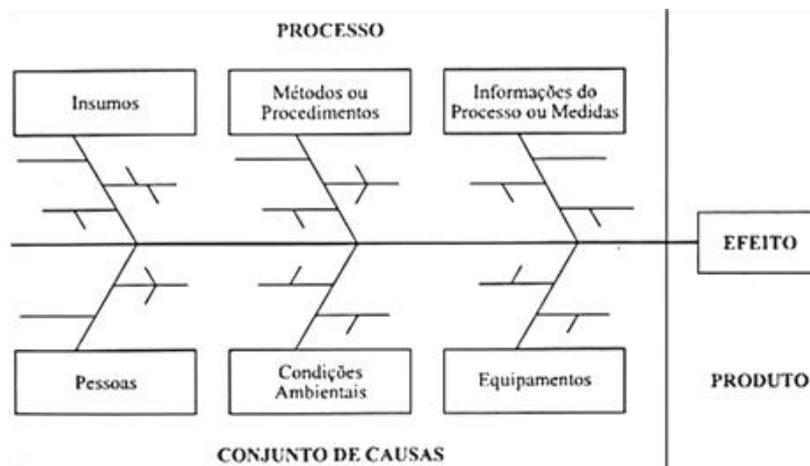


Figura 31: Caracterização de um processo por meio do diagrama de causa e efeito.  
Fonte: Werkema (1995, p. 32).

- Verificação:

O desempenho de um processo pode ser avaliado através de itens de controle. São analisados a partir do efeito do processo. Diz-se que um problema ocorre quando um índice de controle está fora do padrão esperado. Sempre que um problema venha a acontecer, o processo tem que ser analisado e através dos índices de verificação, identificar as causas que geraram esses problemas, atacando e bloqueando, para que não voltem a aparecer (TUBINO, 2007).

Um dos itens de controle, são os indicadores de desempenho, usados como ferramenta verificação. Hansen (1997) define indicador de desempenho como uma forma objetiva de medir a situação real contra um padrão previamente estabelecido, são instrumentos de avaliação do desempenho do projeto.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006) os indicadores de desempenho do PDP podem fornecer informações que tratam diretamente do projeto de desenvolvimento, ou sobre o desempenho do produto no mercado, avaliando indiretamente o PDP que o originou.

Kezner (2006) cita que os indicadores de desempenho ou *Key Performance Indicators* (KPI's) são usados para medir a qualidade do processo em busca dos resultados estabelecidos. Nantes (2015) cita um grupo de indicadores está relacionado a quatro dimensões do sucesso do PDP:

- Sucesso financeiro: lucros, crescimento de vendas, participação de mercado, etc.
- Sucesso operacional: custos, tempo de desenvolvimento, etc.
- Sucesso em qualidade: aceitação pelo consumidor, tempo de permanência no mercado.
- Sucesso perceptivo: avaliações feitas pela equipe, aprendizagem, etc.

Outro item de controle pertinente é a Folha de Verificação.

Para Vieira (1999), é uma planilha de verificação e registro de dados que torna a coleta de rápida e automática. O formulário precisa ser essencialmente fácil de usar, garantindo a objetividade, definindo claramente os dados que serão colhidos em cada situação.

- Validação

A validação é feita para dar à equipe a certeza de que o produto resultante seja capaz de atender aos requisitos para aplicação especificada. O processo deve ser feito antes da entrega ou uso do produto, ou seja, devem ser desenvolvidos protótipos e comparados seus resultados com relação às necessidades dos clientes identificadas nas fases iniciais e com resultados de

desempenho de produtos similares, comparar as saídas de cada etapa de desenvolvimento com as saídas esperadas quando foi elaborada a EAP e o alcance de bons indicadores de desempenho são essenciais para a validação do projeto (ABNT NBR ISO 9001, 2008).

É importante que nesta fase de construção de protótipos seja feita a gestão de riscos, para isso, é interessante a utilização da ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise do Modo e efeito de Falhas)

Segundo Laurenti *et al* (2012), o FMEA é uma técnica usada durante o processo de desenvolvimento de produtos, para identificar os modos de falhas potenciais, seus efeitos e causas. Para Rebelato; Rodrigues; Campagnaro (2010) o método é útil para identificar seus efeitos das falhas e definir ações que para reduzir ou eliminar o risco associado a cada uma delas. O FMEA avalia a severidade de cada falha relativamente ao impacto causado aos clientes, a forma como estas podem ocorrer e, caso ocorram, como podem ser detectadas antes de chegar às mãos dos clientes. Com base em três elementos, severidade, ocorrência e detecção, o que leva à priorização de quais modos de falha levam a um maior risco ao cliente.

A execução do FMEA não deve se limitar nesta fase do PDP. Segundo Berstche (2008) *apud* Laurenti *et al* (2012), sua aplicação de ser contínua e acompanhar todo o ciclo de desenvolvimento do produto, de modo que a evolução do projeto do produto seja documentada sistematicamente e o conceito de melhoria contínua seja aplicado e estimulado (FRANCESCHINI e GALETTO, 2001) *apud* LAURENTI *et al* (2012).

Existem quatro tipos principais de FMEA, que estão ilustrados na Figura 32. E o emprego de cada um deles depende da complexidade do que está sendo analisado, por exemplo: O DFMEA é utilizado para avaliar o projeto do produto e assegurar que modos de falhas potenciais e suas causas sejam considerados e minimizados ou eliminados, o documento deve ser iniciado antes ou na finalização do conceito do projeto, atualizado continuamente durante o seu desenvolvimento e que deve estar concluído no momento da entrega do desenho final do produto. Já o PFMEA, que avalia o processo de manufatura de uma peça/produto, ele identifica causas potenciais de falhas no processo e quais variáveis precisam ser controladas e prioriza ações de correção e controle (REBELATO; RODRIGUES; CAMPAGNARO, 2010).

## Tipos de FMEA

System FMEA	Design FMEA- DFMEA	Process FMEA- PFMEA	Service FMEA
Usado para analisar sistemas e subsistemas no início do desenvolvimento do conceito e do projeto. Um FMEA de sistema foca nos modos de falhas potenciais, casados por deficiências do sistema, das funções do sistema. Nas análises são incluídas interações entre sistemas e entre elementos (subsistemas) de um sistema	Usado para analisar produtos antes de sua liberação para a fabricação. Um DFMEA foca em modos de falha causados por deficiências de projeto do produto.	Usado para analisar processos de fabricação e montagem. Um PFMEA é focado em modos de falha causados por deficiências de processo de fabricação ou montagem.	Usado para analisar serviços antes de eles chegarem ao consumidor. Um FMEA de serviço foca em modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados por deficiências do sistema ou do processo.

Figura 32: Os quatros tipos de FMEA  
 Fonte: Adaptado de Stamatis (2005) *apud* Laurenti *et al* (2012, p.61)

A execução do FMEA começa com a identificação de funções e requisitos de um sistema, subsistema, componente ou etapa de um processo de fabricação, para em seguida, determinar todos os modos de falhas e os efeitos e causas para cada um deles (BERTSCHE, 2008) *apud* (LAURENTI *et al* 2012).

A partir daí uma equipe multidisciplinar atribui o grau de (S) severidade dos efeitos e a (O) probabilidade de ocorrência das causas, numa escala de 0 a 10 (AIAG, 2008) *apud* (LAURENTI *et al* 2012). Os controles de projeto de prevenção e detecção são listados, e eles asseguram a adequação do projeto para o modo de falha, e os valores são atribuídos para a (D) dificuldade de detecção. O produto dos valores S, O e D definem o Índice de Prioridade de Risco (Risk Priority Number - RPN), como o ilustrado na Figura 33, daí então são propostas ações para detectar os modos de falhas, as causas e limitar os efeitos, priorizando as ações que possuem o RPN mais alto. (BERTSCHE, 2008) *apud* (LAURENTI *et al* 2012).

Função	Modo de Falha	Efeito	Severid.	Causa	Ocorr.	Controle atuais	Detec.	NPR	Ações recomendadas	Resultado das ações				
										Ações tomadas	Severid.	Ocorr.	Detec.	NPR
Baixo custo	Alto custo	Prejudica vendas devida à queda na satisfação do cliente	6	Previsão incorreta devido à variação no mercado	4	Avaliação de custos	3	72	Efetuar pesquisa mais abrangente					
Iluminação agradável	Iluminação não agradável	Prejudica vendas devida à queda na satisfação do cliente	8	Tipo atual de resistências e gases só permitem iluminação limitada	4	Nenhum	10	320	Pesquisar projetos alternativos e novas pesquisas na área  Pesquisar junto aos clientes o que é iluminação agradável					

Figura 33: Exemplo de FMEA das expectativas no formulário tradicional  
 Fonte: Fernandes e Rebelato (2006, p.254)



através da definição de métodos, prazos, responsabilidades, objetivos e recursos (WERKEMA, 1995).

## **2.6. Desenvolvimento de projetos de sistemas complexos na indústria aeronáutica**

Segundo Oliveira (2009) o setor Aeronáutico é caracterizado pelo alto grau de complexidade do desenvolvimento de projetos e de integração de sistemas. A produção de Produtos Complexos (CoPS) envolve uma dinâmica distinta dos processos de produção mais tradicionais e a dificuldade na produção, integração e desenvolvimento deste tipo de produto é a sua característica mais forte. Entretanto, o que vai determinar se é ou não um sistema complexo, não é somente a tecnologia incorporada ao produto, mas sim a forma de organização da estrutura de produção e a capacidade de relação entre os atores envolvidos. Fazendo necessário que se compreenda as particularidades que regem o setor.

O desenvolvimento de projetos precisa considerar a capacidade de integração dos sistemas e subsistemas por parte da organização. É aí que reside o *core business* na produção de aeronaves. Por isso, a gestão e desenvolvimento de projetos ganha importância estratégica, reduzindo o ciclo de desenvolvimento do projeto. Essa reestruturação na dinâmica produtiva, foi exigida pela gestão e desenvolvimento de projeto, levando à necessidade de criação de mecanismos de comunicação que permitam uma eficiência na troca de informações entre os atores envolvidos no processo de produção, trazendo assim o conceito de Desenvolvimento Integrado de Projeto (DIP), que surgiu a partir da mudança de escopo do PDP, como ferramenta essencial de gerenciamento (OLIVEIRA, 2009).

### **2.6.1. O caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170**

Oliveira (2009) cita o caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170, tratando sobre a importância do desenvolvimento do projeto considerar a capacidade de integração dos sistemas e subsistemas. Neste cenário, a gestão e desenvolvimento de projetos ganham importância estratégica e a introdução de um novo paradigma para o setor favorecendo, por exemplo, a redução no ciclo de desenvolvimento do projeto. Exigindo uma reestruturação na dinâmica produtiva, o que leva à necessidade de criação de mecanismos de comunicação que permitam uma eficiência na troca de informações entre os atores envolvidos no processo de produção. O autor realiza um estudo de caso sobre o desenvolvimento da família de aviões 170 da Embraer, analisando a integração das aeronaves no processo de desenvolvimento.

Foi criada uma diretoria dedicada ao projeto para a coordenação do programa Embraer 170. E foram organizados dois grupos centrais responsáveis por cada segmento físico e subsistemas do projeto. O grupo 1, *Integrated Program Teams* (IPT), assegurou a visão funcional e a qualidade do projeto dos subsistemas da aeronave. O grupo 2, chamado *Design Build Teams* (DBT), se responsabilizou por cada segmento físico da aeronave. Os grupos tiveram como missão garantir a perfeita integração das partes do projeto, de acordo com o que é definido pela filosofia da Embraer de desenvolvimento integrado de produto. (YU & TROMBONI *apud* OLIVEIRA,2009).

Os ciclos de desenvolvimento do Produto Aeronáutico são pensados a partir do conceito de BFC, que segundo, Oliveira (2009), vem do inglês: *better, faster e, cheaper* ou seja: melhor, mais rápido e mais barato, e uma das características centrais dessa tendência, enfoca no período de desenvolvimento, produção e utilização da aeronave, observando mudanças importantes nas ferramentas que viabilizam o desenvolvimento do projeto.

A Embraer focou suas atividades na fase de agregação de valor, como uma integradora de sistemas, dominando as diversas especificidades e fases técnicas dos subsistemas no entanto não os fabricava, tendo como atividade principal combiná-los e adaptá-los conforme as suas necessidades de projeto, sendo possível observar a essência da lógica da integração de sistemas complexos, adotando um conceito de gestão denominado de DIP (Desenvolvimento Integrado de Produtos), que segundo Rozenfeld *et al* (2006) se firmou como uma das evoluções da era do Desenvolvimento Sequencial na década de 1990.

As atividades de PDP passaram a ser inseridas na estratégia geral da empresa a partir a utilização das técnicas de DIP, permitindo que as atividades exercidas nestas áreas tivessem maior controle e avaliação, justificando-se sempre os recursos aplicados. As equipes multifuncionais, profissionais mais generalistas, a participação dos fornecedores desde o início do desenvolvimento, são características fundamentais a abordagem de DIP e resultaram em um salto significativo na produtividade do processo de desenvolvimento, na qualidade dos produtos e na rapidez das respostas às exigências dos consumidores (ROZENFELD *et al*, 2006).

No contexto no projeto Embraer 170, a busca por alcançar objetivos como redução de custos, melhoria de qualidade, diminuição de *lead time* e de impactos no meio ambiente e uma otimização logística, levou a essa estratégia desenvolvida para fazer com que as equipes multidisciplinares fossem além de somente executar simultaneamente os processos do DPP

(Desenvolvimento de Produto e Processos), executando-as de maneira integrada (OLIVEIRA, 2009).

O DPP foi dividido, para que houvesse uma visualização sistêmica e operacional, nas três seguintes fases ilustradas na Figura 35. Para que a gestão seja eficiente é necessária a divisão do DPP em várias fases, desde a conceituação e planejamento do produto, o detalhamento de projeto e processo, preparação comercial até a introdução no mercado. O DPP é um instrumento fundamental para a obtenção de vantagem competitiva, contanto que se crie a estratégia correta para a sua estruturação (OLIVEIRA, 2009).

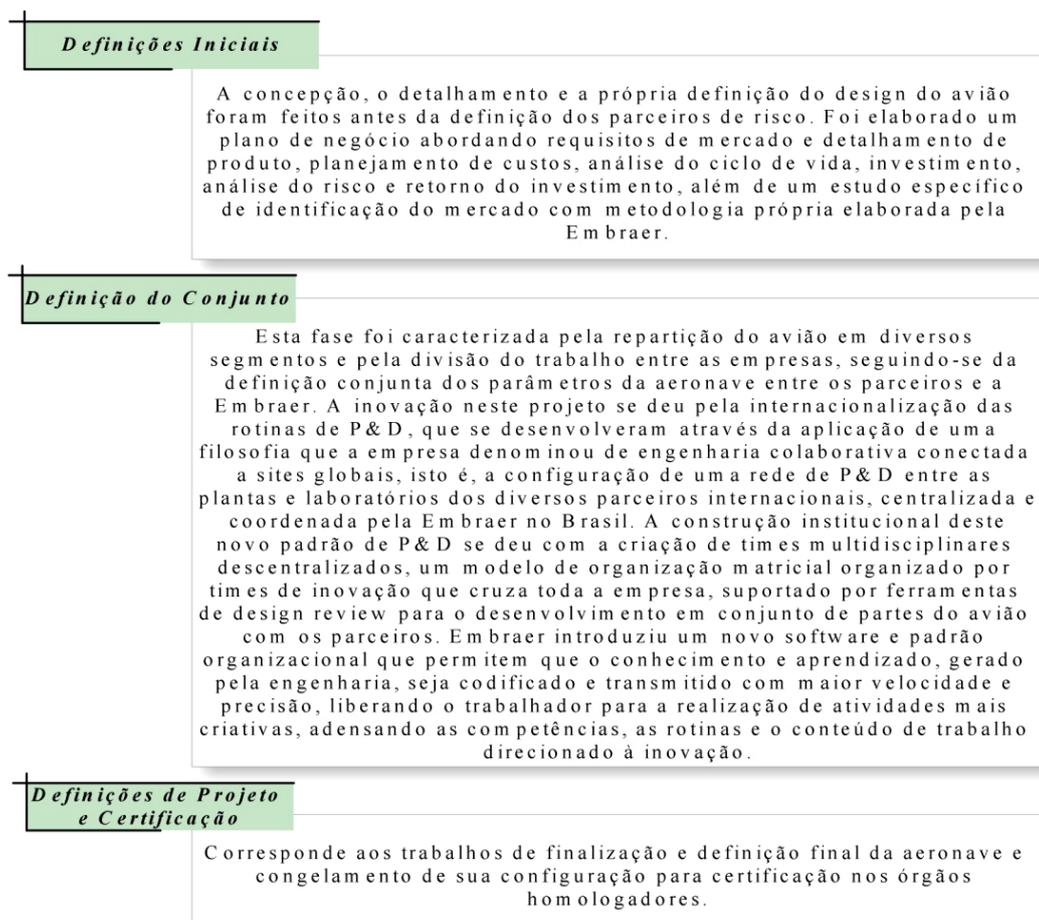


Figura 35: Definição das etapas do DPP  
Fonte: Adaptado de Oliveira (2009, p.29 - 30)

O processo de comunicação eficiente e a capacidade de troca de experiências são determinantes para o sucesso de todo o projeto. A criação de ferramentas e a introdução de times integrados no desenvolvimento de projetos são fatores que consolidam a estratégia da organização. O ciclo de desenvolvimento do produto é reduzido, ao mesmo tempo em que é observado um prolongamento no ciclo de vida útil da aeronave civil (OLIVEIRA, 2009).

A capacidade de integração, desenvolvimento e gestão de projetos, em setores complexos como o aeronáutico, é fundamental na eficiência e na capacidade de se gerar, e gerenciar. (MURMAN, WALTON, REBENTISCH; *apud* OLIVEIRA, 2009).

O autor chama atenção que, no estudo de caso Embraer 170, foi notada a eficiência da empresa em se adequar ao novo paradigma comum ao setor Aeronáutico, o BFC, a criação de mecanismos de comunicabilidade entre os times de desenvolvimento, ou ainda, a padronização de processos e ferramentas de desenvolvimento de projetos.

### **2.6.2. Desenvolvimento de sistemas complexos na indústria a partir da metodologia IPPD.**

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) define o IPPD (*Integrated Product and Process Development*) como uma técnica de gestão que integra todas as atividades de desenvolvimento de um produto, começando com a definição de requisitos e vai até o suporte técnico operacional, essa integração ocorre com o objetivo de otimizar o projeto, fabricação, processos de negócio e suporte. Ou seja, o IPPD é multidisciplinar e utiliza ferramentas de projeto, como equipes de modelagem e simulações, além das melhores práticas comerciais para desenvolver produtos e seus processos relacionados, dentro do conceito de engenharia simultânea (DoD, 1998).

É importante que seja formado um Integrated Product Teams/ Equipe integrada de produtos (IPT), que é um grupo de pessoas com habilidades distintas, formando um time multidisciplinar, responsáveis pela entrega do produto ou processo definido, essas pessoas planejam, executam e implementam as decisões do ciclo de vida do sistema que está sendo desenvolvido (DoD, 1998). Gudmundsson (2014) cita que um IPT é um grupo formado por pessoas com uma vasta gama de competências. A formação dos IPT's é muito comum na indústria da aviação moderna.

Segundo Blockley *et al* (2010), a *Boeing* passou a utilizar o IPPD como metodologia de desenvolvimento de projetos, a partir do desenvolvimento do *Boeing 777*, buscando maior integração de projeto, redução de custos com prototipagem e diminuição do tempo em que uma nova aeronave era lançada no mercado. A empresa buscava um avião com características inovadoras com relação às aeronaves já desenvolvidas, um time com maior liberdade criativa e com um grau de integração muito maior do que o existente.

O projeto teve a formação de IPT's ao longo de todo o programa de desenvolvimento, sendo que os membros dos times tinham experiências com outros programas, o que foi um fator primordial, que reduziu o cronograma geral do programa, exigindo o mínimo de treinamento no programa (BLOCKLEY *et al*, 2010).

A Figura 36 aborda a Metodologia Genérica IPPD Georgia Tech, desenvolvida por Schrage. A metodologia consiste em quatro elementos-chave: métodos da engenharia de sistemas, métodos da engenharia da qualidade, um processo de apoio à decisão *Top Down* de projeto e um ambiente de integração computacional (BLOCKLEY *et al*,2010).

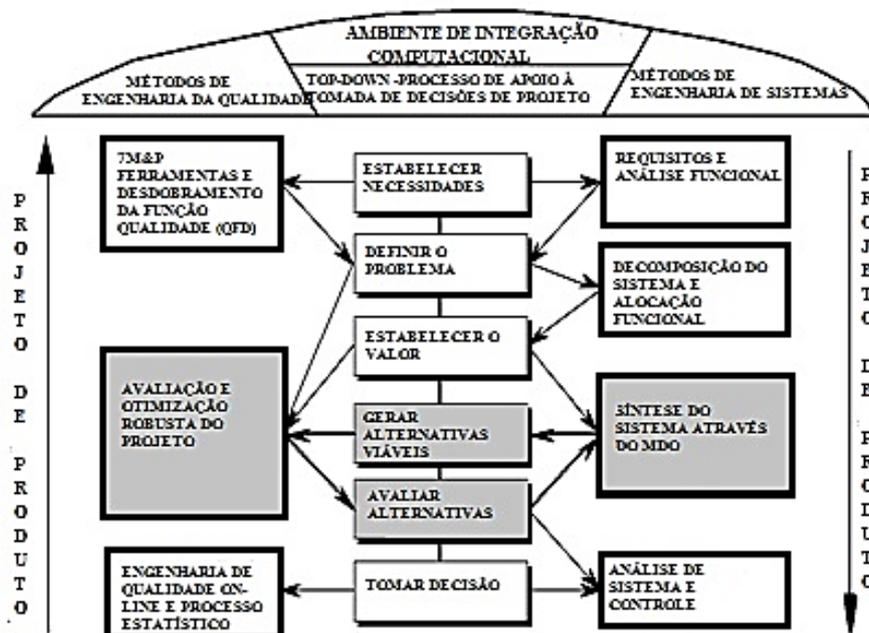


Figura 36: Metodologia Genérica IPPD Georgia Tech.  
 Fonte: Adaptado de Blockley *et al* (2010, p.4).

Depois que as necessidades são estabelecidas, utiliza-se um conjunto de ferramentas integradas para a primeira iteração, 7M&P (*Seven Management and Planning Tools* ou Sete Ferramentas de Gestão e Planejamento: Fluxograma, Diagrama de Ishikawa, Folhas de Verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Dispersão, Controle Estatístico de Processos) integradas ao QFD e daí os requisitos e funcionalidades são analisados. A partir daí o problema é definido, o *layout* robusto é desenhado, o sistemas decompostos e as funções alocadas. O projeto passa por uma etapa de MDO (*Multidisciplinary Optimization* ou Otimização Multidisciplinar) diversas vezes, até que haja uma avaliação positiva a respeito das alternativas encontradas no processo de otimização, que é denominado de multidisciplinar porque leva em consideração aspectos relevantes em todas as áreas do projeto buscando uma

solução ótima que atenda aos requisitos dos clientes internos, e as decisões são tomadas para que possam haver análises e controle sobre o projeto (BLOCKLEY *et al*, 2010).

O MDO é uma das ferramentas de integração de projeto, que quando efetiva acontece como o ilustrado na Figura 37, que mostra os resultados da integração bem-sucedida e as várias atividades que são necessárias que isso ocorra.

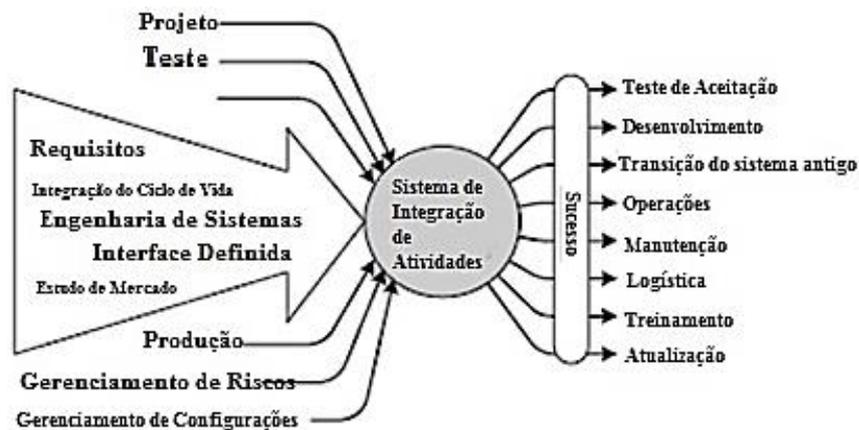


Figura 37: Entradas do Sistema de Integração e os resultados  
Fonte: Adaptado de Blockley *et al* (2010, p.3)

A experiência de prototipagem virtual do Boeing 777, através do MDO, deixa evidente a importância da gestão das ferramentas focadas nos elementos-chave, como por exemplo, no ambiente de integração computacional, que foi essencial para que empresa desenvolvesse a primeira aeronave concebida em computador e construída com sucesso sem ter havido um completo desenvolvimento de um protótipo físico BLOCKLEY *et al* (2010).

A Boeing reuniu 33 subcontratados espalhados por 13 países, todos operando em um formato eletrônico digital. A prototipagem virtual resultou em 93% de alterações de design, em comparação com as suas aeronaves anteriores. Ou seja, foi desenvolvida uma aeronave com 93% das características distintas das aeronaves já existentes. Além disso, o processo melhorou a precisão do projeto. A empresa descobriu que suas equipes de desenvolvimento de produtos e processos se beneficiaram, porque estimulou a criatividade dos funcionários (BLOCKLEY *et al*, 2010).

Quando a engenharia de sistemas é empregada ao longo do desenvolvimento do produto o sistema de integração é bem sucedido, isto inclui a definição de requisitos, análise funcional, a síntese, os estudos de mercado, definição cuidadosa da interface, a verdadeira integração do ciclo de vida, etc. Além das atividades associadas com a engenharia de sistemas, o emprego correto de outras atividades tais como gerenciamento de configuração, projeto, gestão de risco, e os testes, são essenciais para garantir que a integração funcione, os testes andam de mãos dadas com integração, pois é por meio de deles que determinam se subsistemas e sistemas funcionam como deveriam depois de integrados, os testes e integração são parte do processo de desenvolvimento do produto (BLOCKLEY *et al*,2010).

Assim, a ênfase necessária na utilização do IPPD, encontra-se no foco na engenharia de sistemas, integração de sistemas e sistema de verificação e validação. Assim como o foco do DIP encontra-se na integração de projeto, engenharia simultânea e formação de ITP's, que também é um foco do IPPD. Fatores que diferenciam a metodologia genérica IPPD e a filosofia DIP, das metodologias tradicionais para o desenvolvimento de aeronaves elaboradas por Torenbeek (1976), Roskan (1985), Raymer (1992) e Barros (2001), que adequam-se a cenários mais antigos, ou muito específicos.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Conceito de Pesquisa**

Segundo Gil (2008) a pesquisa é utilizada quando não existe disponibilidade de informação suficiente para solucionar algum problema, realizando procedimentos científicos, racionais e sistêmicos, buscando respostas para os problemas propostos.

A pesquisa é desenvolvida por uma série de fases, desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados, que só são alcançados se ela for desenvolvida a partir da análise de conhecimentos disponíveis e da utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos (PRODANOV, 2013).

#### **3.2. Classificação da Pesquisa**

##### **3.2.1. Quanto à natureza**

Segundo Prodanov (2013), a pesquisa, quanto à sua natureza, pode ser básica, que tem como objetivo gerar conhecimentos novos, tendo utilidade no avanço da ciência, ou aplicada, que gera conhecimentos e segue para a aplicação prática.

Para Gil (2008), a pesquisa pura, ou básica, busca desenvolver os conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e consequências práticas, tendendo a ter um desenvolvimento bastante formalizado, objetivando a generalização, como na construção de teorias e leis.

Já quando é aplicada, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. Sua preocupação está menos voltada para o desenvolvimento de teorias de valor universal, ao invés disso, preocupa-se com a aplicação imediata numa realidade circunstancial (GIL, 2008).

A pesquisa apresentada neste trabalho é caracterizada como aplicada, com foco na elaboração e aplicação da metodologia para o desenvolvimento de projeto de aeronaves leves radiocontroladas, elaborada a partir do levantamento bibliográfico e observação participante, voltada para o caso do *AeroDesign*, tendo como sujeito da pesquisa a Equipe F-Carranca *AeroDesign*.

### **3.2.2. Quanto aos objetivos**

A pesquisa experimental, que segundo Prodanov (2013) e Silva (2004) possui planejamento flexível, o que permite o estudo do tema a partir de diferentes visões e aspectos, de uma maneira geral busca uma maior familiaridade com o problema tornando explícito e construindo hipóteses. Pesquisas com aspecto exploratório são compostas por levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado, análise de situações semelhantes.

Segundo Silva (2004), a pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis com o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática.

Já a pesquisa explicativa é a busca do pesquisador a respeito dos porquês dos eventos e das causas, realizando registros, análises, classificando e interpretando os fenômenos observados. Objetiva identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. (PRODANOV, 2013).

Quanto aos objetivos o trabalho em questão caracteriza-se como pesquisa descritiva, onde serão realizados: levantamento bibliográfico, análises de casos pertinentes, o contato direto com o sujeito da pesquisa e com o problema pesquisado, através da observação participante, descrevendo os fenômenos e as relações entre as variáveis através da observação, traçando técnicas para coleta de dados e solução de problemas.

### **3.2.3. Quanto aos procedimentos técnicos**

Segundo Prodanov (2013), para a obtenção de dados necessários para a elaboração da pesquisa, torna-se necessário traçar o planejamento da pesquisa em sua dimensão mais ampla, envolvendo diagramação, previsão de análise e interpretação de coleta de dados, considerando o ambiente em que são coletados e as formas de controle das variáveis envolvidas. As classificações quanto aos procedimentos técnicos, segundo Prodanov (2013), são as seguintes:

Quando a pesquisa é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, a pesquisa é considerada como pesquisa bibliográfica.

No caso da pesquisa documental Gil (2008), destaca a natureza das fontes, a pesquisa documental se baseia em materiais que não receberam ainda um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa.

Na realização da pesquisa experimental, determina-se um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. O pesquisador busca refazer as condições de um fato, para estudá-lo e observá-lo sob controle (PRODANOV, 2013).

A pesquisa-ação é pensada e realizada em uma associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, com um grande envolvimento participativo e cooperativo dos pesquisadores e participantes (PRODANOV, 2013).

A pesquisa experimental e pesquisa-ação caracterizam o presente trabalho quanto aos procedimentos técnicos, pois envolvem a observação do objeto de estudo, uma análise do problema e associando com uma ação para a resolução do mesmo, com envolvimento do pesquisador e objeto de estudo.

#### **3.2.4. Quanto à abordagem**

A Pesquisa quantitativa, tem sob a perspectiva de Prodanov (2013) e Bryman (1989), que tudo pode ser quantificável, esse tipo de pesquisa baseia-se em um modelo derivado de publicações teóricas ou de leitura sobre determinado assunto, fazendo o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão).

Segundo Bryman (1989) a pesquisa quantitativa tende a dar pouca atenção ao contexto, a lidar menos bem com os aspectos processuais da realidade organizacional, havendo uma estrutura sistematizada para a coleta de dados.

Terence e Filho (2006) tratam a abordagem qualitativa de modo que o pesquisador procura aprofundar-se na compreensão dos fenômenos que estuda, dos indivíduos, grupos ou organizações em seu ambiente e contexto social, buscando observar e interpretar na perspectiva dos participantes. Não há grandes preocupações com representatividade numérica, generalizações estatísticas e relações lineares de causa e efeito. Sendo a interpretação, do pesquisador principal instrumento de investigação.

Neves (1996) trata os métodos de investigação como não excludentes, por apresentarem características tanto qualitativas, quanto quantitativas. O pesquisador pode, ao desenvolver o seu estudo, utilizar os dois métodos, usufruindo, da vantagem de poder explicitar todos os passos da pesquisa e da oportunidade de prevenir a interferência de sua subjetividade nas conclusões obtidas.

A pesquisa em questão, caracteriza-se como qualitativa e quantitativa, alguns os fatores analisados serão subjetivos e não quantificáveis, utilizando como método de coleta e análise de dados a observação sistêmica e a análise crítica, respectivamente. Enquanto outros fatores poderão ser quantificáveis, comparando-se resultados e indicadores de desempenho, por meio de gráficos e tabelas.

### 3.3. Classificação da pesquisa

A pesquisa em questão classifica-se da seguinte maneira, ilustrada na Figura 38:

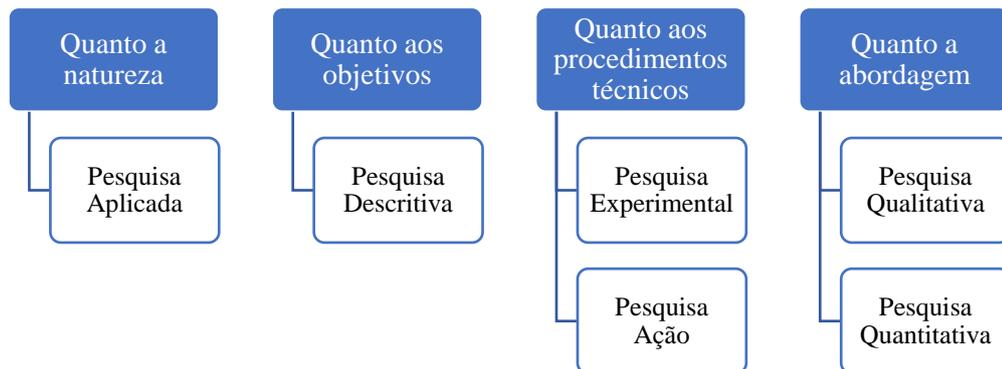


Figura 38: Classificação da Pesquisa  
Fonte: Autoria Própria

### 3.4. Sujeitos da Pesquisa

A equipe F-Carranca *AeroDesign* foi fundada em 2012, na Universidade Federal do Vale do São Francisco, com objetivo de participar da Competição SAE Brasil *AeroDesign*. A equipe é subdividida setorialmente, com uma liderança formada por Capitão, Vice-Capitão e líderes de setores, como apresentado no organograma ilustrado na Figura 39. Além dos integrantes, o grupo conta com um professor orientador, responsável por auxiliar nas funções burocráticas, a aquisição de recursos através da universidade, sanar dúvidas a respeito da

elaboração do relatório técnico, e entre outras maneiras de dar apoio às atividades realizadas pela equipe.

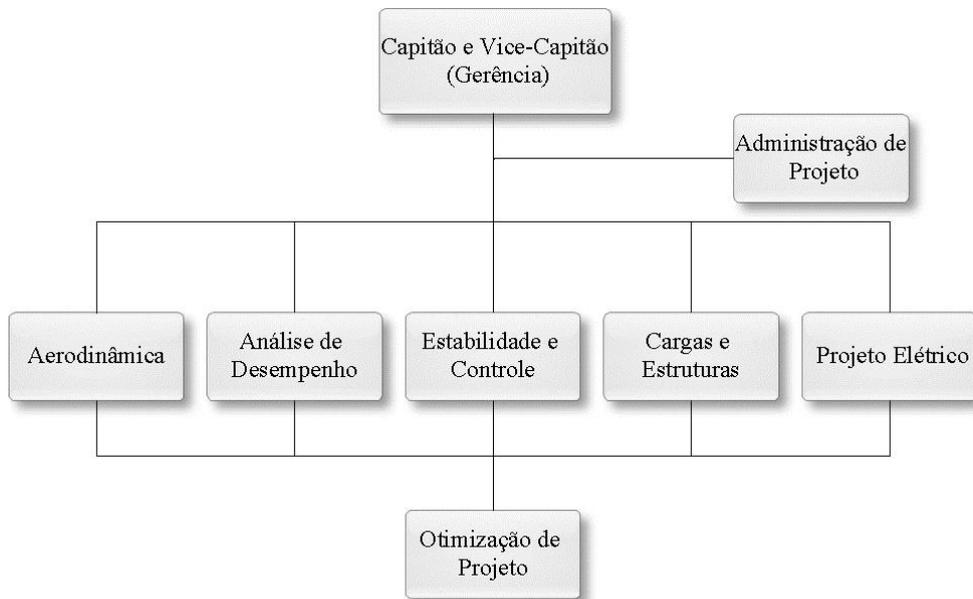


Figura 39: Organograma da equipe F-Carranca *AeroDesign*  
Fonte: Autoria Própria

A equipe possui as seguintes missão, visão e valores:

**Missão:** Se classificar para a competição SAE AeroDesign East e manter o legado de conhecimento para a equipe.

**Visão:** Ser tradicionalmente a equipe referência nas competições SAE AeroDesign, nacionais e internacionais, e diferenciar a formação ética e profissional dos nossos integrantes.

**Valores:** Comprometimento, qualidade, competitividade, honestidade, foco em resultados, organização, respeito, impessoalidade (F-Carranca, 2016).

Existem três categorias distintas na competição: Regular, Aberta e Micro, que de acordo com o regulamento de cada ano, podem diferir entre si por exigirem portes de aeronaves ou restrições e tipos de propulsão distintos. Geralmente, a classe Regular restringe a equipe ao uso de motores a combustão, classe Micro, motores elétricos e a Aberta, pode optar por um ou outro. Destacando que as missões e requisitos entre um grupo e outro também possuem diferenças (SAE Brasil 2015).

Desde o ano da fundação, na XIV Competição SAE Brasil *AeroDesign*, a equipe F-Carranca compete na classe regular, ano em que a equipe focou em adquirir experiência, e absorver conhecimento, principalmente observando as equipes de renome. Na XV Competição SAE Brasil *AeroDesign*, em 2013 alcançou o 8º lugar dentre as 71 equipes inscritas, consagrando-se como a melhor equipe do Nordeste (EESC USP *AeroDesign*, 2013).

Em 2014 a equipe obteve um relatório de projeto entre os 10 melhores, teve uma grande evolução no quesito eficiência estrutural (Peso carregado/peso da aeronave), e pelo segundo ano consecutivo, a melhor equipe do Nordeste e 10º colocação no geral (SAE BRASIL, 2014). Observou-se um crescimento muito grande na competitividade das equipes de um modo geral, a partir daí surge a necessidade da busca pelos diferenciais competitivos.

Com o passar dos anos e o amadurecimento da competição, para se conseguir grandes avanços, os esforços passaram a ser grandes, demorados e custosos. A cada edição do evento, torna-se mais difícil evoluir em termos de configuração de aeronave. Percebeu-se, então, que o diferencial desejado deve vir a partir da implantação de novos modelos de gestão, inovando a metodologia de projeto, nos métodos de fabricação e na busca pela maior qualidade, e foi assim, que em 2015 a equipe adquiriu uma sensibilidade muito maior para a percepção de falhas, melhoria significativa na qualidade construtiva em um *lead time* menor, e um aumento significativo da carga útil levada pela aeronave. Na XVII Competição, um dos eventos mais acirrados da história do *AeroDesign*, conquistou a 12º colocação, e a maior carga levantada no Nordeste (SAE Brasil 2015).

### **3.5. Descrição das Etapas do Trabalho**

A partir da identificação das necessidades da equipe para obter melhores resultados, levando em conta a percepção de que diferenciais competitivos poderiam vir da inovação metodológica, iniciou-se uma revisão bibliográfica, a respeito de metodologias de desenvolvimento de projeto de aeronaves, PDP (Processo de desenvolvimento de produto), requisito 8.3 da ABNT NBR ISO 9001:2015 e desenvolvimento de sistemas complexos na indústria aeronáutica. A partir do levantamento bibliográfico, elaborou-se uma Metodologia de Desenvolvimento de Projeto de Aeronaves Leves Radiocontroladas, que foi proposta e aplicada ao projeto de *AeroDesign* da UNIVASF. Todas as etapas metodológicas e as ferramentas utilizadas para facilitar e otimizar o desenvolvimento do projeto, foram descritas nos resultados, iniciando por uma apresentação das metodologias utilizadas nos anos anteriores e dos resultados obtidos a partir de cada uma delas.

Aplicou-se a Metodologia ao projeto 2016, durante o desenvolvimento da aeronave pela equipe F-Carranca *AeroDesign*, destinada a participar da 18ª Competição SAE Brasil *AeroDesign*, passou por diversas etapas de validação durante o desenvolvimento do projeto e a validação final da Metodologia desenvolvida, ocorreu quando todas as etapas do processo

foram concluídas, incluindo as fases de coleta e análise de dados. Para finalizar o trabalho, a metodologia foi descrita isoladamente, já com as melhorias, levando em conta os resultados obtidos pelo projeto 2016.

### **3.6. Coleta de Dados**

Segundo Vigorena e Battisti (2011), a pesquisa qualitativa é entendida como uma investigação que busca o exame dos dados em um nível que não é captada pelos números, tabelas e dados quantitativos, o que se pretende descobrir, muitas vezes, é particular àquela situação e, por isso, é analisado de acordo com aquele caso específico, tendo em conta a perspectiva histórica e/ou social do momento em que se faz a análise.

Como alternativa ao procedimento de coleta de dados da pesquisa em questão foram usados procedimentos de documentação, por do relatório anual enviado para a competição, e os relatórios parciais elaborados como forma de acompanhamento e controle do projeto, as declarações sobre a missão da equipe, as planilhas de materiais, de custos, políticas de *marketing*, documentos legais, memorandos e principalmente os resultados, fotografias e *feedback* obtidos na Competição SAE Brasil *AeroDesign*.

A prática de observação participante, que segundo Prodanov (2013) consiste na participação real do grupo ou de uma situação determinada, o observador assume o papel de um membro do grupo, é uma importante ferramenta de coleta de dados com aspecto qualitativos.

### **3.7. Análise de Dados**

A análise qualitativa de dados se caracteriza por ser um processo indutivo que tem como foco a fidelidade ao universo de vida cotidiana dos sujeitos da pesquisa, estando baseada nos mesmos pressupostos da chamada pesquisa qualitativa (ALVES e SILVA, 1992).

Segundo André (1983) *apud*, Alves e Silva (1992), a análise de uma pesquisa qualitativa é multidimensional a partir dos fenômenos em sua manifestação natural, bem com captar os diferentes significados de uma experiência vivida, auxiliando a compreensão do sujeito da pesquisa no seu contexto. A partir desse ponto de vista, a etapa de análise de dados será realizada da seguinte maneira:

Para a realização da análise de dados em caráter qualitativo e quantitativo, foram utilizados os resultados obtidos pela aplicação do método proposto, desde os feedbacks dos jurados da competição, até a avaliação de desempenho da equipe, realizada pelos próprios membros ao final ciclo do projeto, observando sempre os dados relevantes para a pesquisa, que tinham vínculo direto com a abordagem conceitual do trabalho.

A composição dos resultados foi feita através da redação, que é a parte em que a análise qualitativa é concretizada. Foram escolhidos os tópicos e temas, e uma sequência de narrativa ancorada no sequenciamento da metodologia proposta. A análise quantitativa foi realizada através dos resultados obtidos pela equipe, por meio de análises de gráficos comparativos e de tabelas, para avaliar a progressão da equipe proporcionalmente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Histórico das Metodologias de Projeto utilizadas pela equipe F-Carranca.

Nos anos anteriores a equipe utilizou a metodologia proposta por Barros (2001), ilustrada na Figura 8: Disposição das etapas de desenvolvimento de aeronaves proposta pelo autor. O método supriu as necessidades da equipe durante os projetos de 2013 e 2014. Porém, com o objetivo de buscar maior qualidade de projeto no ano de 2015, percebeu-se a necessidade buscar uma metodologia que possibilitasse o crescimento da equipe nos aspectos gerenciais, se adaptasse melhor as necessidades da equipe e que organizasse e adequasse os processos de desenvolvimento do projeto ao objetivo da competição.

Assim surgiu a primeira metodologia própria, F-Carranca 2015, que foi uma adaptação do que é proposto pelo requisito 7.3 da ABNT NBR ISO 9001:2008. O método formulado a partir da Norma Regulamentadora é dividido em etapas usuais para o desenvolvimento do produto: pré-projeto, desenvolvimento do projeto e pós-projeto, como ilustrado na Figura 40, que resultam em etapas de planejamento, entradas, saídas, análise crítica.

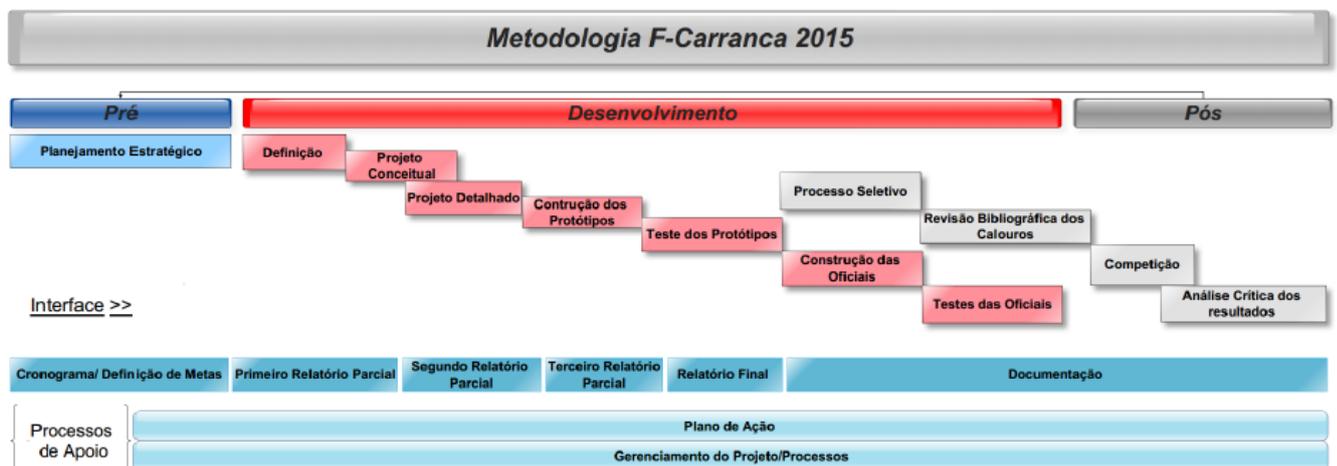


Figura 40: Metodologia F-Carranca 2015

Fonte: Autoria própria

A utilização da metodologia proposta supriu as necessidades da equipe no ano, onde tivemos como resultado o projeto FC015 mostrado na Figura 40, uma aeronave competitiva, que obteve, na 17ª Competição SAE Brasil *AeroDesign*, 17º lugar em pontuação de projeto, como pode ser visto na Figura 42 e 12º lugar na classificação geral, como o indicado na Figura 43. **Erro! Fonte de referência não encontrada..**



Figura 41: Aeronave FC015  
Fonte: www.aeroin.net (2015)

Ainda no quarto ano de participação no evento, a equipe estava muito abaixo das expectativas construídas, onde o objetivo era estar entre as cinco melhores equipes do Brasil. Começou-se então a busca por falhas que pudessem ter influenciado na queda de qualidade de projeto, e suas causas, para que pudessem ser eliminadas.

Competição SAE BRASIL de Aerodesign										
RELATÓRIO E APRESENTAÇÃO										
Classificação (por categoria)	N°	Nome Equipe	Aerodinâmica	Estabilidade e Controle	Desempenho	Cargas e Estruturas	Projeto		Bêtrica	sub-Total Relatório
							Relatório	Plantas		
1	003	EESC-USP Alpha	25,96	27,40	26,80	27,14	24,92	7,71	16,00	155,92
2	001	Uubus Aerodesign	23,73	26,24	24,05	31,54	23,84	9,16	14,25	152,81
3	008	Keep Flying	23,94	18,65	26,24	32,73	23,90	7,65	18,00	151,12
4	007	Tucano Aerodesign	23,50	19,47	24,94	28,55	25,96	9,50	17,50	149,43
5	011	Uai...sol Fly!!!	23,80	21,54	26,71	25,34	23,82	8,43	18,00	147,63
6	005	FEI Regular	23,97	17,97	22,21	25,97	26,40	9,81	17,00	143,33
7	009	Aerofeg	25,15	19,18	25,63	26,02	24,88	6,69	15,25	142,80
8	002	UIRA	20,03	18,89	24,03	27,06	22,46	10,00	18,25	138,71
9	035	Draco Volans Aerodesign	23,13	22,62	20,25	29,21	23,69	5,63	16,00	140,52
10	033	AeroDesign UFMT Regular	22,09	20,17	22,39	23,51	21,77	8,63	19,50	138,07
11	037	Trem Ki Vba Aerodesign	19,43	20,04	18,00	17,47	25,47	9,88	19,06	129,35
12	019	BlackBird	20,74	18,25	17,95	29,05	21,98	8,75	18,38	135,09
13	036	Axe Fly	18,43	19,93	20,10	18,85	23,66	8,31	16,75	125,94
14	055	AeroNo Regular	14,91	15,15	24,55	25,75	22,74	8,23	19,50	130,82
15	021	Mnena Aerodesign	15,69	15,95	22,34	22,68	21,08	7,83	19,75	125,31
16	025	Albatros Aerodesign	20,10	15,88	19,37	29,08	20,34	6,00	19,25	129,47
17	012	F-Carranca	18,65	20,44	18,73	21,30	21,51	8,63	12,00	121,26
18	006	CEFAST AERODESIGN	21,96	13,51	19,38	21,17	24,60	10,00	14,00	124,23
19	016	Harpia aerodesign	18,32	16,92	17,53	25,54	18,73	5,88	19,75	122,76
20	010	Uai...sol Fly!!! Kids	21,44	13,22	10,00	23,46	21,40	7,50	17,75	114,86

Figura 42: Pontuação de Relatórios 2015  
Fonte: portal.saebrasil.org.br (2015)

Competição SAE BRASIL de Aerodesign											
REGULAR											
Pos	N° Equipe	Nome Equipe	Escola	Carga Paga Total (kg)	Peso Vazio (kg)	Alt. Dens. (m)	EE	FPV	Total Notas Rel e Apres.ª	Penalidades Competição	Total Geral
1	003	EESC-USP Alpha	Escola de Engenharia de São Carlos - USP	13,900	2,130	951	5,526	1,100	188,93		494,61
2	009	Aerofeg	Universidade Estadual Paulista - Guaratinguetá	14,065	1,930	950	7,288	1,096	171,18		474,79
3	005	FEI Regular	Centro Universitário da FEI	12,950	2,300	1068	5,630	1,100	176,19		466,67
4	011	Uai...sol Fly!!!	Universidade Federal de Minas Gerais	14,220	2,640	1065	5,386	1,096	178,74		464,23
5	002	UIRA	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	13,585	2,380	1066	5,708	1,099	167,65		464,19
6	007	Tucano Aerodesign	Universidade Federal de Uberlândia	12,810	2,415	995	5,304	1,099	180,83		463,64
7	008	Keep Flying	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	12,975	2,150	1063	5,035	1,091	183,23		467,51
8	013	Aero Vitoria Espirito Santo	Universidade Federal do Espírito Santo	12,280	2,285	999	5,374	1,099	143,28		419,98
9	036	Axe Fly	Universidade Federal do Rio de Janeiro	11,080	2,370	1063	4,675	1,100	156,33		415,04
10	010	Uai...sol Fly!!! Kids	Universidade Federal de Minas Gerais	11,675	2,790	1061	4,185	1,093	146,99		412,44
11	053	AeroDesign UFMT Regular	Universidade Federal do Mato Grosso	10,625	2,575	948	4,126	1,087	161,48		406,48
12	012	F-Carranca	Universidade Federal do Vale do São Francisco	12,790	2,330	1030	5,489	1,099	148,09		396,96
13	000	CEFAST AERODESIGN	CEFEI-MG	11,820	2,430	1055	4,804	1,095	147,47		389,90
14	019	BlackBird	Universidade Federal Fluminense	9,045	2,760	985	3,277	1,087	156,44		378,38
15	035	Draco Volans Aerodesign	Universidade de Brasília	9,205	2,350	1055	3,917	1,079	167,42		367,68

Figura 43: Classificação Final 2015  
Fonte: portal.saebrasil.org.br (2015)

Observando, portanto, que havia um *gap* bastante significativo entre os resultados de relatório dos cinco primeiros colocados na classificação final, e os resultados obtidos pela

equipe, notou-se que esse era um ponto que deveria ser revisto e desenvolvido, dessa maneira, a equipe concentrou-se na busca de crescimento nesse aspecto.

#### 4.2. Metodologia Proposta

A equipe recebeu no *feedback* individual, que é disponibilizado para as equipes via *e-mail*, cerca de 1 mês após a competição, onde os jurados da competição quanto ao uso da metodologia própria, como citado a seguir:

“Relatório muito bom com uso de ferramentas computacionais, otimização e metodologias de planejamento e de projeto o que é um diferencial da equipe.” Juiz da Competição (2015)

Tendo chegado a um projeto competitivo a equipe optou pela melhoria e refinamento para a utilização no projeto 2016, buscando evitar as falhas e repetir os acertos do ano anterior.

A metodologia de projeto foi elaborada como proposta desta monografia, que adota os conceitos abordados no referencial teórico como o de Desenvolvimento Integrado de Produto (DIP) e *Integrated Product and Process Development (IPPD)*, usados para Desenvolvimento de Sistemas Complexos, e as metodologias tradicionais de desenvolvimento de projetos de aeronaves, tendo como benefícios claros a redução de *lead time* e de custos, melhoria da qualidade e confiabilidade dos projetos, e maior facilidade em sua administração.

Baseada principalmente, no conceito de *IPPD* como um processo iterativo, apresentado na Figura 44, em que os Times Integrados de Projeto, ferramentas e os processos de desenvolvimento, fazem parte de uma abordagem direcionada, para garantir que os requisitos sejam atendidos, e trabalhados sobre o conceito de melhoria contínua. Levando-se em conta as principais características, dificuldades e restrições do projeto.

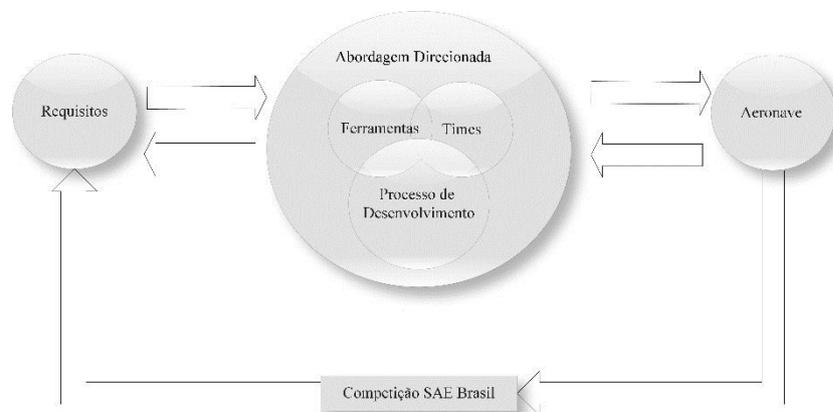


Figura 44: Processo Genérico Iterativo IPPD adaptado ao AeroDesign  
Fonte: Adaptado de Blockley *et al* (2010)

O propósito de utilizar uma metodologia própria foi o fato de conseguir adequar o processo de desenvolvimento do projeto à disponibilidade de recursos humanos, financeiros, materiais e computacionais, facilitar a utilização de ferramentas gerenciais e da qualidade, reforçando a busca pela melhoria da qualidade de projeto, e fazer com que o processo de integração seja mais eficiente, promover a percepção dos membros da equipe de quais são as etapas de desenvolvimento de projeto e quais são as atividades que devem ser realizadas em cada etapa. Ilustradas na Figura 45, as etapas da metodologia são descritas detalhadamente nos tópicos subsequentes, relatando o projeto 2016, as fases e ferramentas utilizadas em cada uma delas.

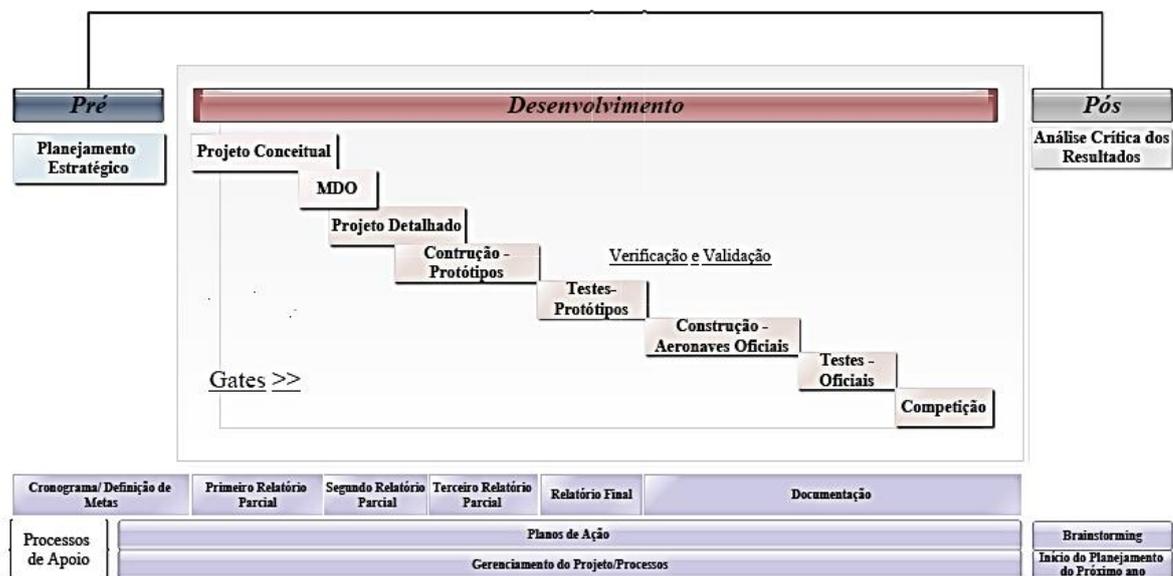


Figura 45: Etapas de desenvolvimento de projetos de aeronaves leves radiocontroladas  
 Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.1. Análise Crítica dos Resultados e Planejamento Estratégico

O projeto 2016, denominado de AGE I, começou com uma análise minuciosa de todos os aspectos que poderiam ter causado falhas graves durante as fases de planejamento, desenvolvimento e execução do projeto 2015. Foram realizados *brainstormings* e a partir disso as principais percepções foram documentadas, descritas na Figura 46. Partiu-se então a fase onde se identificaram parâmetros que pudessem ser modificados, corrigindo as falhas que fossem possíveis, para otimizar o *MTOW* (*Maximum Takeoff Weight*/ Peso Máximo de Decolagem) que havia sido definido e melhorar os resultados.

Erros	Causas	Possíveis Soluções
Dimensões fora do projeto após a construção	Erros de medição e falta de interação entre os setores	Mais integração, melhoria nos planos de fabricação e fiscalização na construção
Posicionamento do Centro de Gravidade	Momentos atuantes na decolagem diferente dos analíticos	Garantir fidelidade nos posicionamentos analíticos é fundamental
Posicionamento do Trem de Pouso	Necessidade de alta carga da Superfície Horizontal	Obedecer fielmente e dimensionamento e decisões tomadas em conjunto
Acoplamento do rolamento das rodas	Perda de velocidade na corrida e folgas entre o eixo da roda e rolamento	Novo método de acoplamento
Conteúdo em relatório	Pouca integração entre os setores, falta de objetividade e coesão	Controlar o fluxo de informação de forma mais eficiente e objetividade

Figura 46: Quadro dos principais erros do projeto 2015  
Fonte: F-Carranca (2016)

Foi traçado um gráfico, ilustrado na Figura 47, onde são comparados o *MTOW* dos campeões, da maior carga levantada e o da equipe, desde o surgimento do F-Carranca, em 2012. Isso foi feito para avaliar os pontos fortes e fracos da equipe, diante das outras com maior vantagem competitiva. Notou-se então que qualidade de projeto não é o único fator que distancia a equipe de alcançar as metas mais ousadas, é necessário também que exista uma equipe integrada, com estruturas organizacional e gerencial sólidas, metas e objetivos bem definidos, para que possamos melhorar em aspectos como: Pontuação de relatório e fator eficiência estrutural.

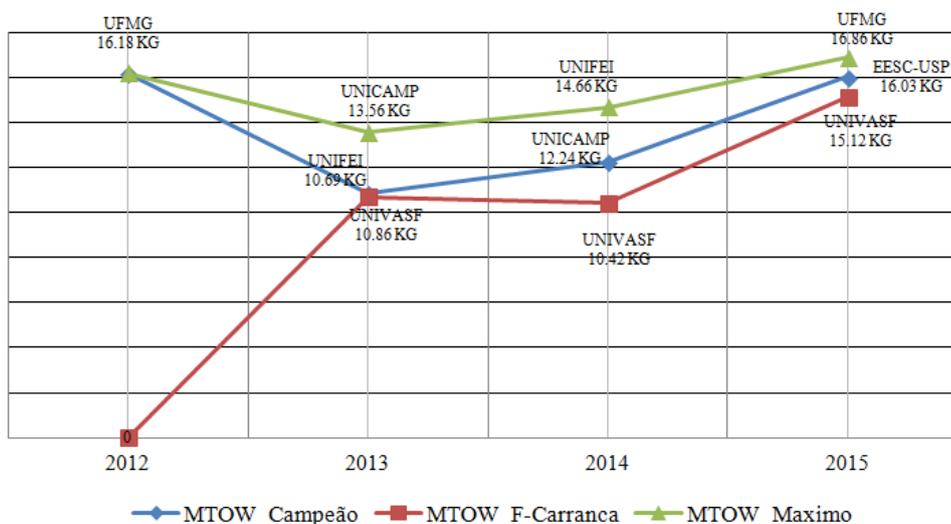


Figura 47: Gráfico comparativo do MTOW  
Fonte: F-Carranca (2016)

A partir de uma análise crítica dos resultados, realizada em reunião de planejamento estratégico composta pelos líderes dos setores, foi feita uma análise de SWOT, ilustrada na Figura 48, para entender principalmente a vantagem competitiva das equipes concorrentes e perceber quais pontos poderiam ser trabalhados como vantagem.

<b>Análise de SWOT</b>	
<p><b>Forças</b></p> <p>Noções de <i>AeroDesign</i> Boa Construção Número de Membros Alta Carga Infraestrutura Suporte Networking</p>	<p><b>Fraquezas</b></p> <p>Falta de Conhecimento Avançado Falta de Túnel de Vento e Ensaios Falta de Telemetria Confiável Perda de Tempo com atividades que não agregam valor ao projeto Baixo DIP Comunicação Database – Relatórios e Lideranças Visão a longo prazo</p>
<p><b>Oportunidades</b></p> <p>Pista de Voo Piloto Networking Benchmarking Parcerias com universidades Túnel de Vento – IFBA/UFC</p>	<p><b>Ameaças</b></p> <p>Número de membros Cortes da UNIVASF Piloto Acomodação Gestão de Recursos Imediatismo Falta de Integração Teimosia</p>

Figura 48: Análise de SWOT F-Carranca AeroDesign  
Fonte: F-Carranca (2016)

Além da realização da análise das forças e fraquezas da equipe, a primeira reunião de planejamento estratégico teve como objetivo o estabelecimento da missão do projeto 2016, que foi definida como: Construir uma aeronave competitiva, que levasse alto valor de MTOW, com a filosofia de voo de alto risco e alta recompensa. Para isso, era necessário que as seguintes metas fossem alcançadas:

- Melhoria significativa do relatório;
- Maximizar pontuações de voo com adicionais de bonificações, realizando uma análise de sensibilidade das equações de pontuação e de bonificações, previstas no regulamento;
- Voar em Abril;
- Otimização de Recursos;
- Melhoria da qualidade construtiva;
- Voar com MTOW antes do relatório;
- Relatório pronto pelo menos 1 semana antes da data limite.

#### 4.2.1.1. Estabelecimento de Estratégias e Cronograma

Para traçar as estratégias de alcance de metas elaborando o cronograma, sistematizou-se uma meta principal, assegurando uma equipe alinhada e focada na conquista do primeiro lugar. Elencou-se metas e objetivos, descritos na Figura 49, a percepção dos objetivos, possibilitou a implementação rápida e eficiente de estratégias sólidas, além de auxiliar nas ferramentas de integração.

Metas	Objetivos
Melhoria significativa do relatório	Melhorar a classificação da competição de projeto, consequentemente em projeto mais competitivo, com maior qualidade
Maximizar pontuações de voo com adicionais de bonificações, realizando uma análise de sensibilidade das equações de pontuação e de bonificações, previstas no regulamento	Melhorar o aproveitamento das vantagens competitivas que a aeronave possui e/ou buscar vantagens
Voar em abril	Maior tempo para conhecer, testar, modificar e otimizar o projeto, garantindo confiabilidade e acuracidade
Otimização de Recursos	Projetar e construir em menos tempo, com menor custo
Melhoria da qualidade construtiva	Garantir fidelidade ao projeto
Voar com o MTOW antes do relatório	Garantindo confiabilidade e acuracidade ao projeto
Relatório pronto pelo menos 1 semana antes da <i>dead line</i>	Enviar o relatório revisado e corrigido para evitar falhas que tragam perdas na competição de projeto

Figura 49: Quadro de metas e objetivos  
Fonte: Autoria própria

A partir do Planejamento Estratégico, definiram-se as metas e foi elaborado o cronograma de execução do projeto AGE I, ilustrado nas Figuras 50 e 51, e planos de ação para auxiliar a execução e acompanhamento das atividades.

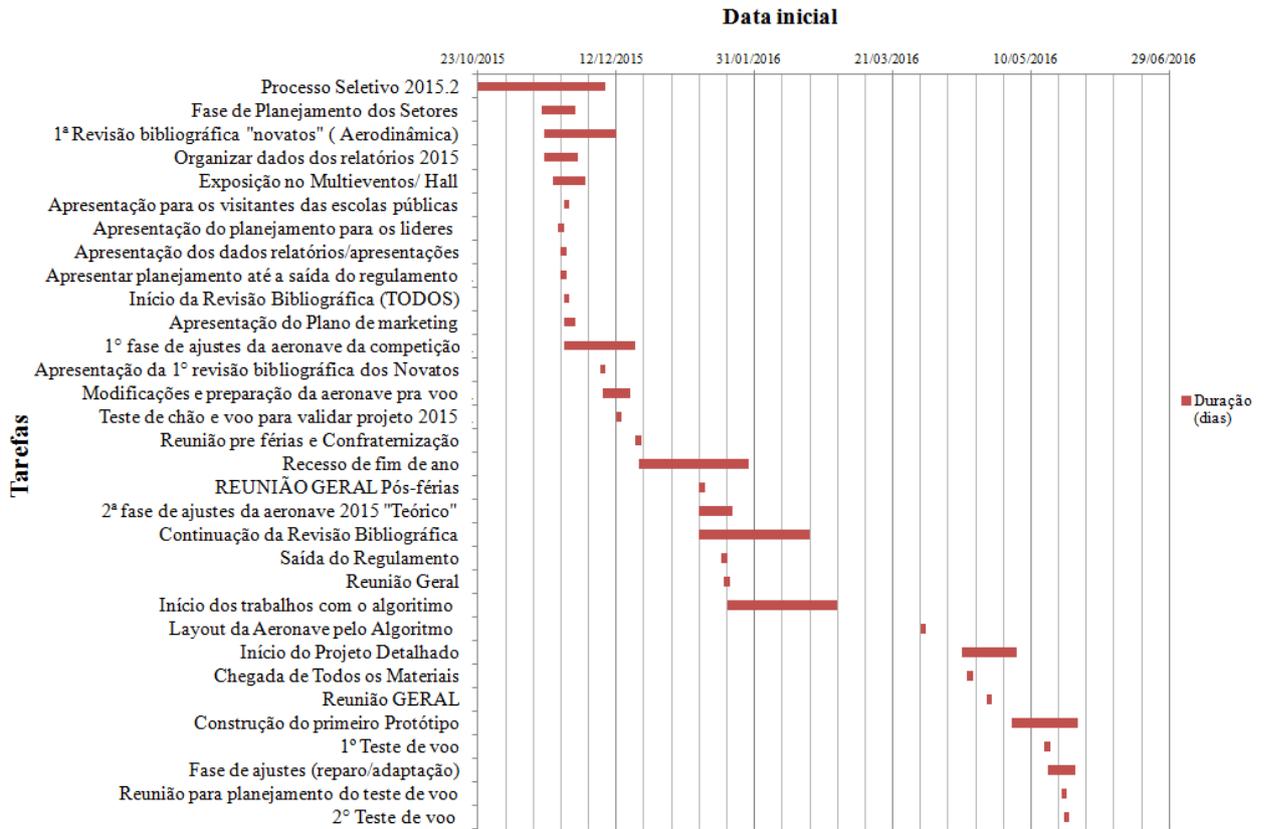


Figura 50:Fase I - Cronograma do projeto AGE I  
Fonte: F-Carranca (2016)

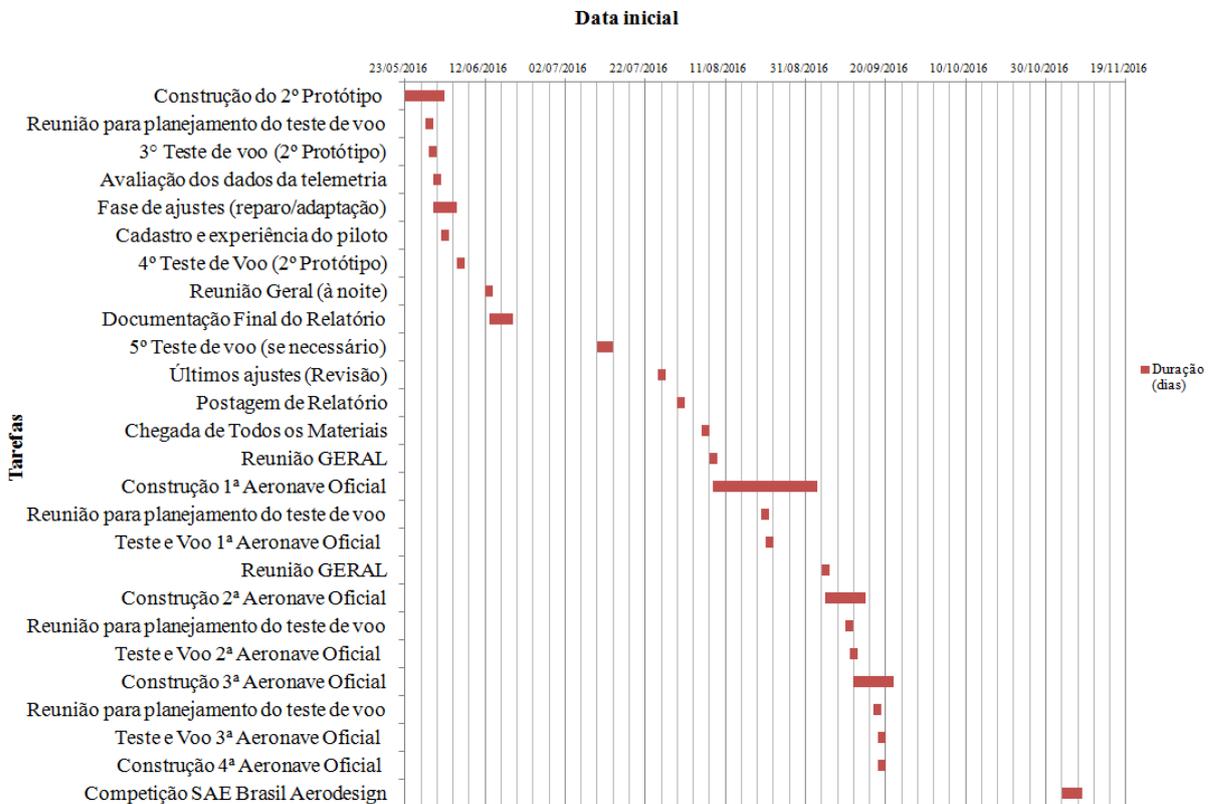


Figura 51: Fase II - Cronograma do projeto AGE I  
Fonte: F-Carranca (2016)

## 4.2.2. Projeto Conceitual

### 4.2.2.1. Restrições do Regulamento e Requisitos de Projeto

Como o principal objetivo do projeto é atender às necessidades da competição, a divulgação do regulamento que dita as restrições de projeto e a partir de uma análise crítica dessas restrições os requisitos de projeto são estabelecidos, para que adequem-se as metas pré-estabelecidas. As restrições de regulamento da 18ª Competição SAE Brasil AeroDesign estão ilustradas na Figura 52.

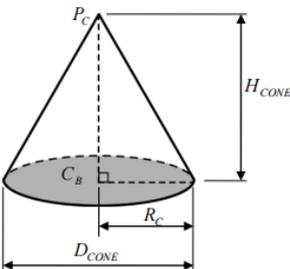
Restrições do Regulamento	
<b>Restrições Geométricas</b>	 <p>As aeronaves projetadas deverão ser inseridas num hangar em forma de cone regular onde:</p> <p><b>H<sub>CONE</sub> = 0,75 m</b> (altura do cone).</p> <p><b>D<sub>CONE</sub> = 2,5 m</b> (diâmetro da base do cone)</p>
<b>Restrições de Motor</b>	<p>O motor deve ser somente um, a ser escolhido pela equipe entre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• K&amp;B 0.61 RC/ABC (PN 6170)</li> <li>• O.S. 0.61 FX,</li> <li>• O.S. 0.55 AX,</li> <li>• Magnum XLS-61A,</li> <li>• ASP S61AII.</li> </ul>
<b>Compartimento de Carga</b>	Deverá ser único, totalmente fechado e com portas de acesso a carga que devem fazer parte do avião
<b>Restrição Eletrônica</b>	<p>Um pack de 500mAh é a carga mínima permitida. As baterias permitidas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Níquel Cádmio (NiCd)</li> <li>• Níquel Metal Hidreto (NiMH)</li> <li>• Lítio Ferro Polímero (LiFePO4)</li> <li>• Não serão aceitas baterias do tipo Lítio Íon Polímero (LiPo).</li> </ul>
<b>Restrição de Peso Máximo Elegível</b>	As aeronaves não poderão ter seu peso total (peso vazio + carga máxima) maior que 20kg
<b>Restrição Distância de Decolagem</b>	O compartimento limite para a distância de decolagem é 60m

Figura 52: Restrições do regulamento da 18ª Competição SAE Brasil AeroDesign  
 Fonte: Autoria própria baseada em SAE Brasil regulamento

A partir das restrições e dos requisitos de projeto, utilizou-se da ferramenta QFD, Figura 53, para direcionar os esforços às atividades corretas, com maior peso na competição, atividades como: Voar com MTOW antes da entrega de relatório; Maximização da carga útil, Investir em melhorias no relatório; Aeronave oficial pronta antes da entrega de relatório; Eficiência Estrutural; Acuracidade e Peso da Aeronave, além de outras atividades de menor urgência, a partir da identificação das prioridades, pôde-se dar início ao projeto conceitual.

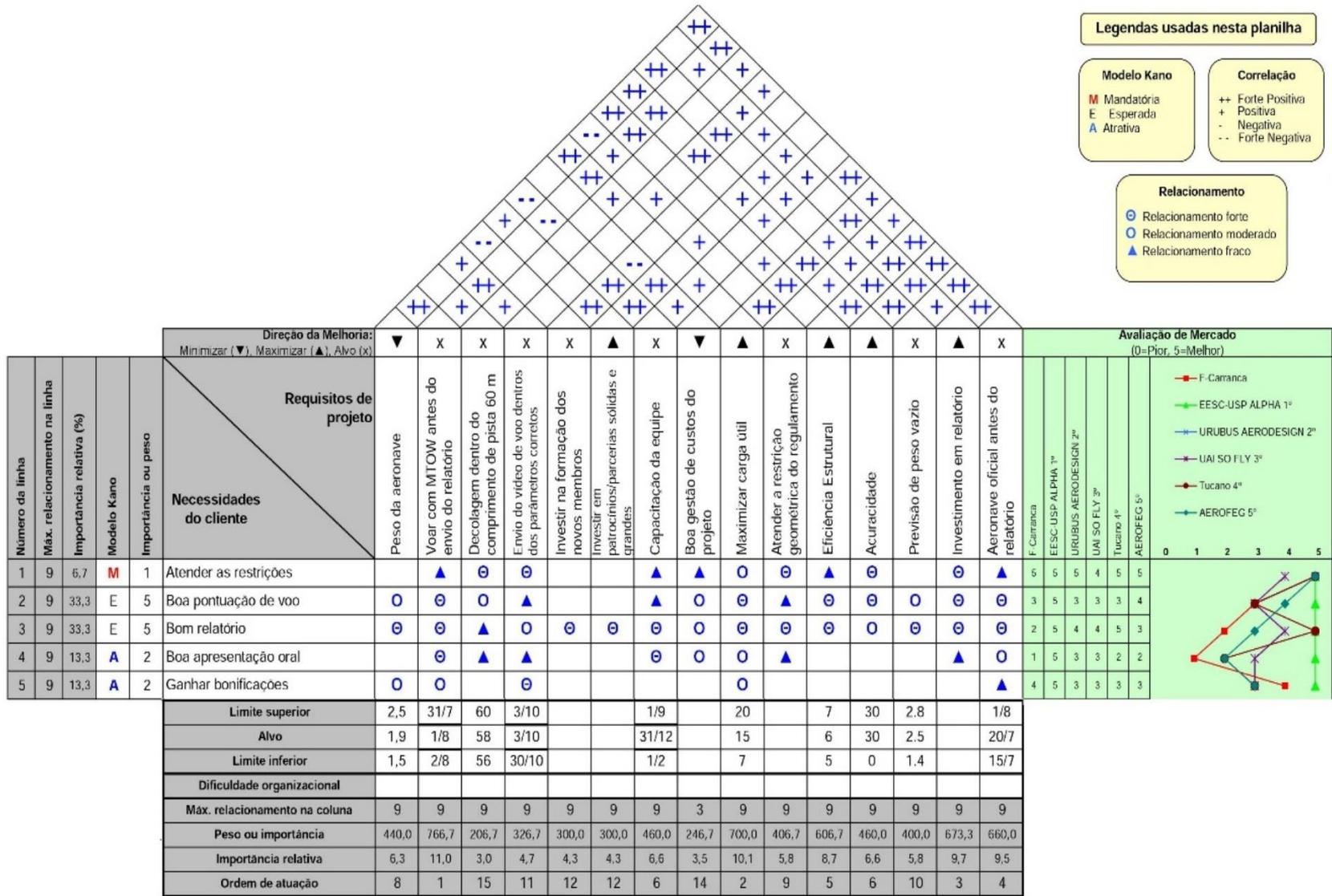


Figura 53: QFD de Projeto Conceitual  
Fonte: Autoria própria

#### 4.2.2.2. Decisões Conceituais de Projeto

Observando as prioridades obtidas a partir do QFD, que foram:

- Voar com MTOW antes da entrega de relatório;
- Maximização da carga útil;
- Investir em melhorias no relatório;
- Eficiência Estrutural;
- Acuracidade e Peso da Aeronave,

Traçou-se como objetivo principal, a maximização do *MTOW*, a partir daí foram tomadas decisões a respeito das características da aeronave, que levassem ao alcance do objetivo central. Das características definidas inicialmente optou-se por:

- Asa Baixa, buscando maior envergadura possível
- Asa poderia ser enflexada ou não
- Trapezoidal, retangular ou reto-trapezoidal;
- *Tail Boom* único com material sanduíche de espuma de PVC laminado com fibra de carbono, iniciando do berço até a fixação da longarina da superfície horizontal, servindo também de acoplamento da superfície vertical
- O Trem de pouso na configuração triciclo, adotando a mesma opção utilizada no ano de 2015 por conta do desempenho satisfatório
- Trem de nariz em tubo de alumínio;
- Compartimento com facilidade de medição e ajuste do Centro de Gravidade;
- Rodas mais eficientes e distantes de falhas em decolagem e pouso;
- Longarinas das superfície horizontal e superfície vertical em tubos de fibra de carbono;
- Longarina da asa em caixão, laminada em fibra de carbono com alma de espuma de PVC, buscando maior leveza e resistência à flexão e torção;
- Pontos de fixação seguros, trem de nariz no berço, trem de pouso principal na longarina da asa e vertical no boom;

- Cauda tripla com leme parcialmente móvel na superfície central fixada no *tail boom* e superfície vertical de suporte nas pontas da superfície horizontal minimizando o arrasto induzido.

A partir das decisões conceituais, pode-se criar o primeiro esboço, ilustrado na Figura 54e então, foi possível implantar o algoritmo de otimização.

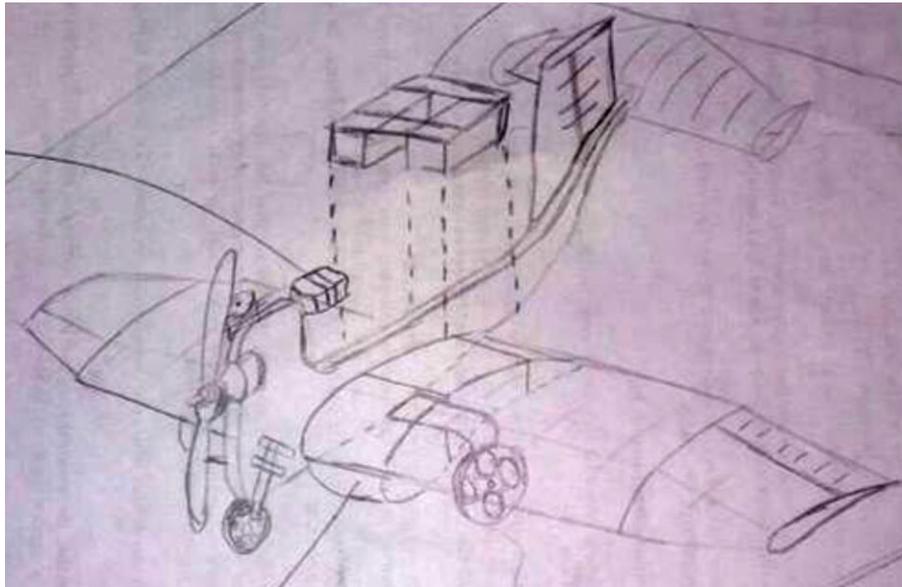


Figura 54: Esboço do projeto conceitual  
Fonte: F-Carranca (2016)

#### 4.2.3. Otimização Multidisciplinar (MDO)

A otimização multidisciplinar acontece no lugar da etapa de projeto preliminar, em busca das soluções ótimas para alcançar os objetivos e atender os requisitos. Torna-se inviável levar em consideração todas as variáveis de projeto no decorrer do processo de otimização, tendo em vista que seria um processo de alta complexidade, exigindo tempo e recursos computacionais avançados, ocasionando a perda de eficiência no processo.

Por isso, na etapa de otimização os estudos foram direcionados na busca de novos métodos analíticos, que trouxessem maior eficiência ao processo e que fosse capaz de analisar um número de variáveis adequado, tanto para alcançar bons resultados quanto que pudessem ser atendidos pelos recursos computacionais que a equipe possuía disponíveis. Posteriormente foi necessário que uma análise crítica fosse realizada, selecionando as variáveis que afetariam os requisitos de projeto e as restrições do regulamento, por exemplo, aquelas que estavam diretamente ligadas ao aumento do MTOW, que seria o principal requisito de projeto e aquelas

que poderiam afetar as dimensões da aeronave, buscando respeitar a geometria do cone. Diante dessa premissa, foram tomadas decisões integradas para simplificar a implantação do novo algoritmo de otimização.

A partir da restrição do cone foram cogitadas nove hipóteses para geometria de asa a otimizar, ilustradas na Figura 55.

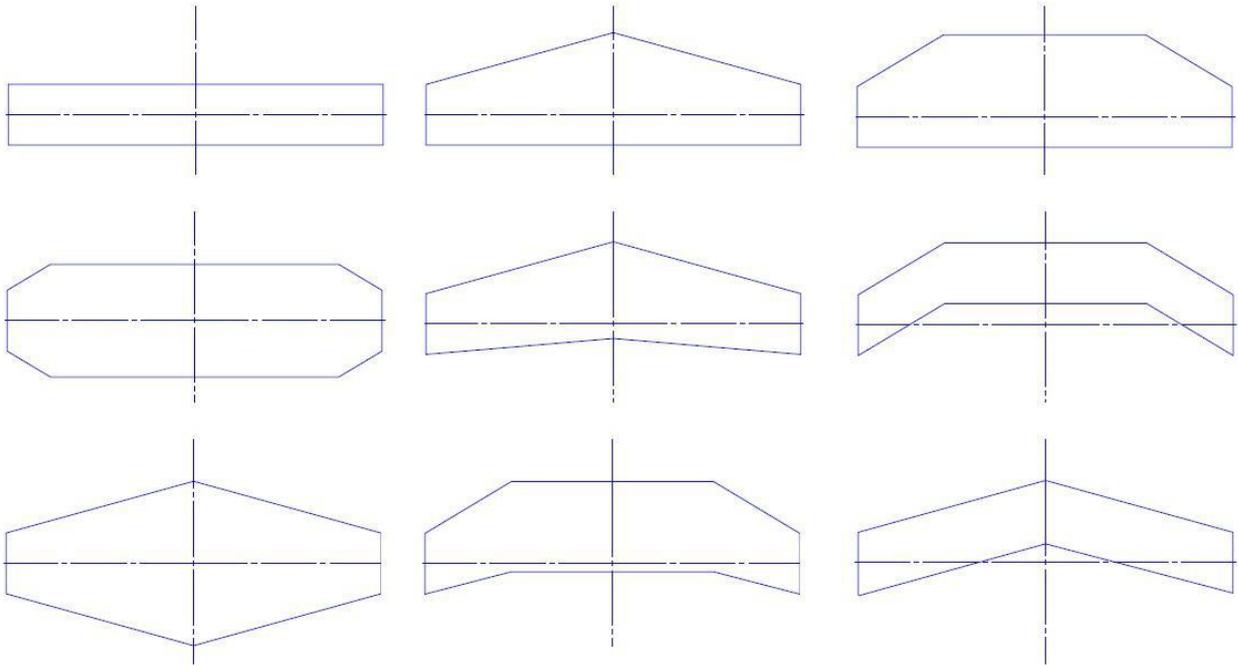


Figura 55: Possibilidade de geometria de asa  
Fonte: F-Carranca (2016)

O primeiro *gate* de projeto é realizado na etapa de MDO, em um conjunto de testes preliminares usando os *softwares* XFRL5, STAR-CCM+®, Excel, *MATLAB*®, Solidworks, e a otimização em ModeFrontier para ter ideia das características geométricas, do comportamento das variáveis mais importantes, arranjo dentro do cone e da convergência dos resultados, a partir das análises críticas, combinadas as bibliografias disponíveis.

O resultado obtido foi fruto de tomadas de decisão em conjunto, através de reuniões específicas dos líderes de setores, que levaram em consideração as dificuldades de refinamento dos cálculos, características aerodinâmicas, limitações das bibliografias disponíveis, até dificuldades nas configurações estruturais, obtendo ao final do processo de MDO a saída ilustrada na Figura 56.

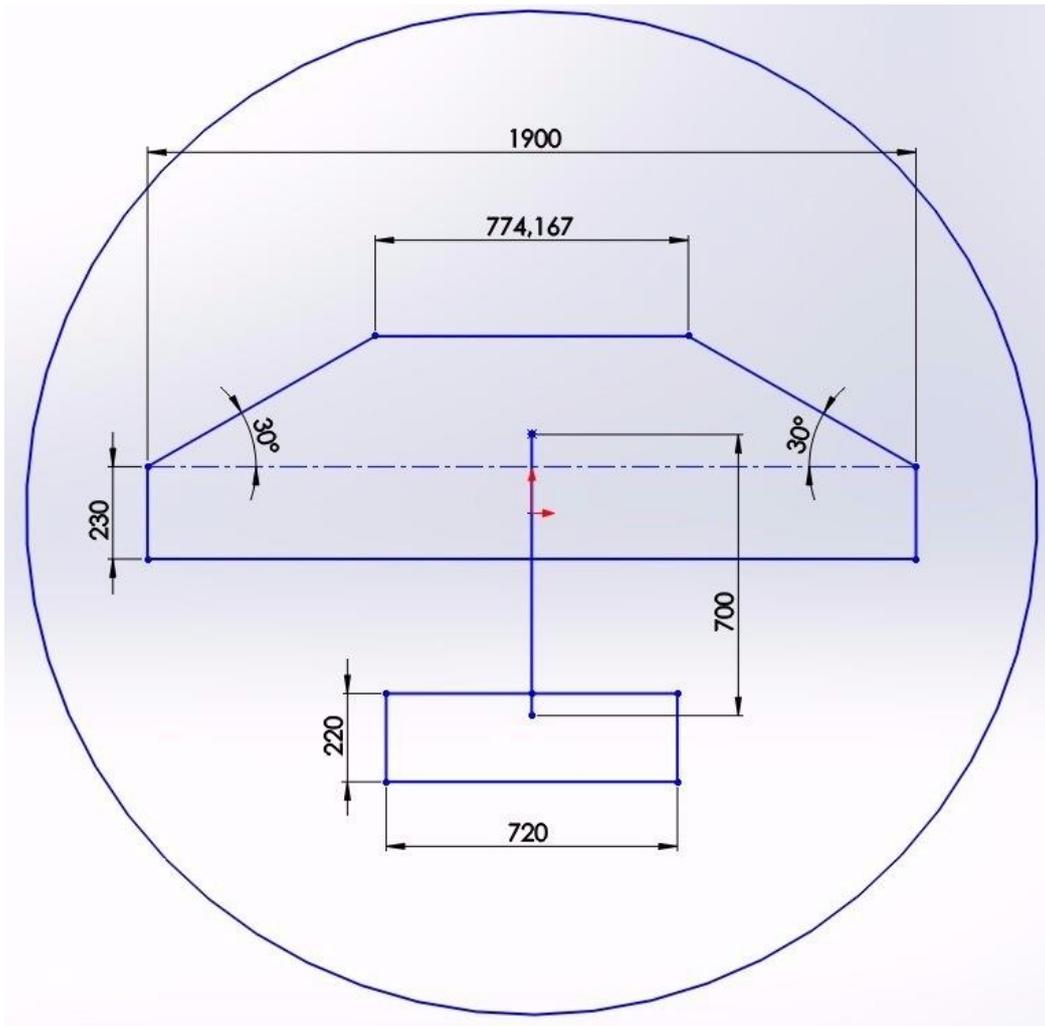


Figura 56: Vista em planta da aeronave saída da etapa de MDO  
 Fonte: F-Carranca (2016)

#### 4.2.4. Projeto Detalhado

A partir da saída do algoritmo de otimização, realizado na etapa de MDO, pode-se iniciar o processo de detalhamento do projeto, onde os cálculos aerodinâmicos, desempenho e estabilidade são refinados e as estruturas são dimensionadas, na busca por uma aeronave leve. Neste momento do projeto já se tem uma estimativa dada pelo algoritmo de otimização, do MTOW que aquela aeronave é capaz de levar. Mas, na etapa de projeto detalhado existe a necessidade da verificação, e depois a busca por otimizar a carga útil da aeronave e diminuir seu peso vazio, aumentando assim, a eficiência estrutural da aeronave, que é resultado da divisão entre carga útil e peso vazio, fator essencial na pontuação final de voo e na qualidade de projeto.

Foi realizado um mapeamento de atividades, elaborando-se uma EAP (Estrutura Analítica de Projeto) para facilitar o fluxo de informações de projeto, que é um dos pontos

críticos da etapa de projeto detalhado. Toda a fase acontece de acordo com o ilustrado na Figura 58. Nessa ferramenta, constam todos os *inputs* e *outputs* de cada setor.

A fase de projeto detalhado é um trabalho constante de interação entre os setores, como ilustrado na Figura 57, onde os setores de Estabilidade e Controle, Aerodinâmica e Análise de Desempenho, trabalham em conjunto buscando soluções analíticas para uma configuração de aeronave que possua características que satisfaçam aos requisitos de projeto dos três setores. Estruturas integra-se ao setor de Cargas e Aeroelasticidade com o intuito de garantir que a aeronave escolhida analiticamente seja capaz de realizar a missão sem danos estruturais, assim como projeto elétrico precisa dimensionar o sistema de modo a garantir também a missão da aeronave. Além disso, o setor valida o projeto com a telemetria.

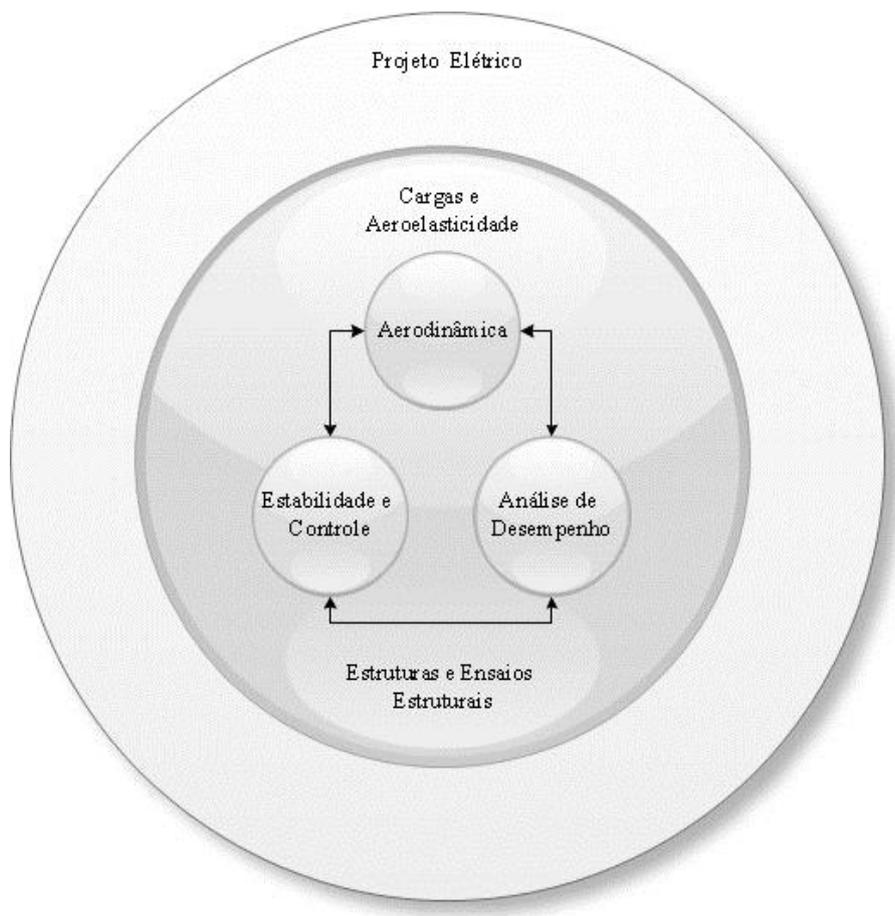


Figura 57: Sistema de Integração Intersetorial  
Fonte: Autoria própria

# F-Carranca Map

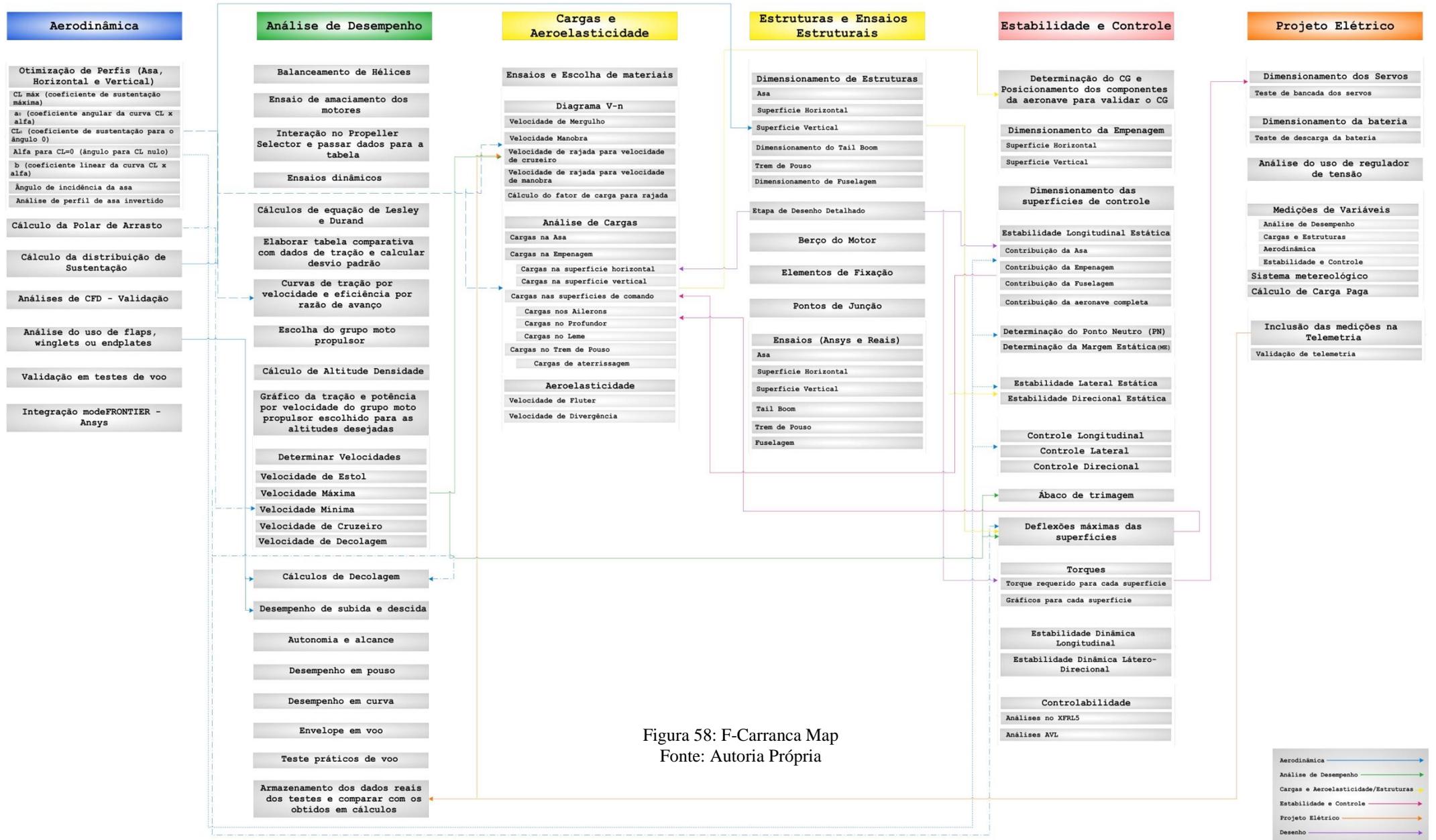


Figura 58: F-Carranca Map  
Fonte: Autoria Própria

O projeto detalhado dá origem ao desenho detalhado da aeronave, onde são pensados e desenhados todos os detalhes de fixações de peças e componentes, todo o sistema elétrico e obtém-se a primeira estimativa de peso vazio da aeronave, já com o dimensionamento de componentes como longarinas, *tail boom*, trem de pouso e berço. O resultado desta etapa encontra-se ilustrado nas Figura 59 e Figura 60, a aeronave AGE I.

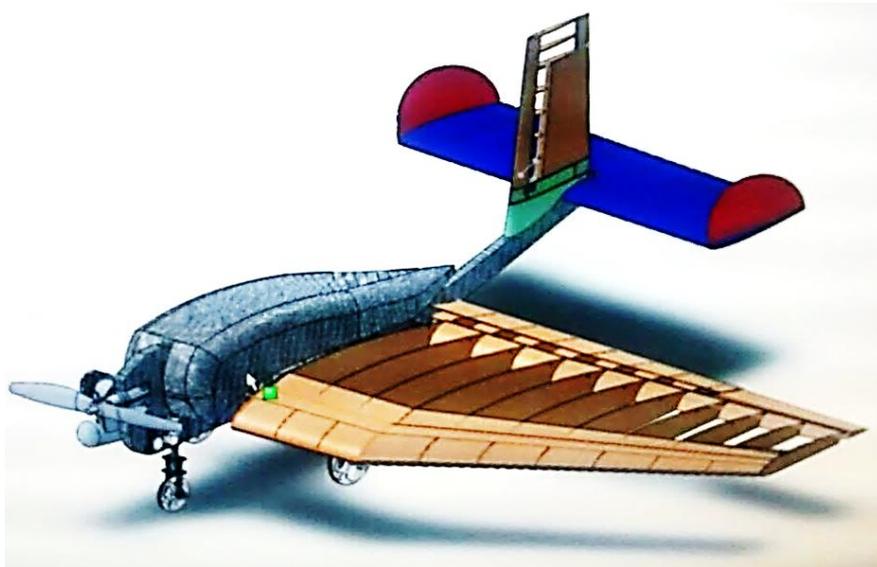


Figura 59: Vista isométrica do desenho detalhado da aeronave AGE I  
Fonte: Autoria própria

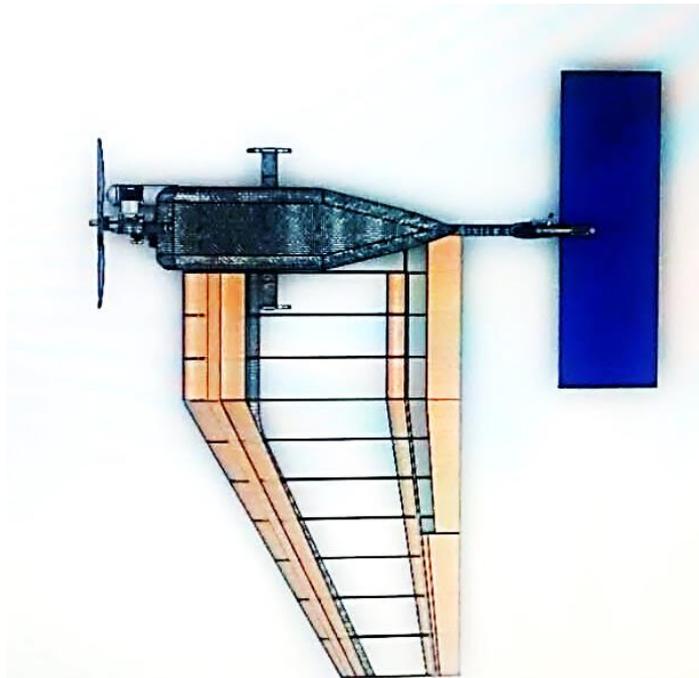


Figura 60: Vista em planta do desenho detalhado da aeronave AGE I  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.5. Construção e Testes de Protótipos/ Verificação e Validação

Com o principal objetivo de verificar o comportamento da aeronave em corrida, decolagem, voo e pouso, e validar comparando aos resultados analíticos e computacionais, foi construído o primeiro protótipo da aeronave AGE I, ilustrada nas Figuras 61, 62 e 63, onde cada setor precisou avaliar diversos parâmetros em dias do voo, indicados na Tabela 1, realizando o segundo *gate* de projeto, onde são feitas as respectivas observações:

Tabela 1: Check List de Desempenho de Aeronave

Check List – Desempenho de Aeronave			
Setor	Parâmetros Avaliados	Satisfatório	Não Satisfatório
Aerodinâmica:	Verificação da propagação de estol		
Estabilidade e Controle	Margens estáticas		
	Manobra e Trimagem		
	<i>Deep stall</i>		
Análise de Desempenho	Corrida de decolagem		
Cargas e Aeroelasticidade/ Estruturas e Ensaios Estruturais:	Deflexão da longarina		
	Torção no <i>tail boom</i>		
	Resposta dos mecanismos		
	Vibrações no berço		
	Eficiência do trem de pouso		
	Flexão da empenagem		
	Fixações		
	Folgas pós voo		
	Ocorrência de <i>flutter</i>		
Projeto Elétrico	Bateria ofereceu potência suficiente ao sistema		
	Os servos obedeceram aos comandos		
	Telemetria conseguiu captar os dados dentro dos parâmetros esperados		



Figura 61: Aeronave AGE I com carenagem no primeiro dia de voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 62: Aeronave AGE I após primeiro reparo, sem carenagem  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 63: Aeronave AGE I sendo preparada para voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

Durante os testes, todos os parâmetros citados anteriormente eram avaliados pelos integrantes da equipe, como parte de um dos Gates de projeto, e a partir daí decidiam as mudanças e melhorias necessárias. A aeronave AGE I tratava-se de um projeto bastante complexo, com 2 dispositivos de hipersustentação na asa, para melhorar os aspectos aerodinâmicos, o *slot*, e de desempenho, o *flap*. Entretanto era uma característica da geometria da asa, enflechada, uma propagação de estol (fenômeno em que o escoamento descola da superfície da asa, causando uma perda de sustentação) que se iniciava na ponta da asa, onde localizam-se os ailerons, que são superfícies de comando, fazendo assim com que o piloto perdesse o controle da aeronave e ela entrasse em parafuso, todas as vezes que decolasse, uma das quedas que resultou em perda total da aeronave, esta ilustrada na Figura 64.



Figura 64: Aeronave AGE I pós queda  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

A falha identificada no projeto estava dentro da avaliação do primeiro parâmetro de aerodinâmica, a propagação de estol, um erro que foi cometido em fase conceitual, e foi propagado nas demais fases, como na etapa de MDO, por exemplo, na escolha de possibilitar que o algoritmo gerasse uma asa enflechada.

Com o erro propagado, a aeronave tinha um problema a ser solucionado, por não ter passado no *Gate* de validação de projeto, havia duas possibilidades: o projeto precisaria retornar a fase de MDO em qualquer uma delas ou a equipe poderia solucionar o problema aplicando torção aerodinâmica na ponta da asa. A solução levaria a um aproveitamento da aeronave, porém havia uma insegurança por parte da equipe, porque adicionaria uma complexidade ao

dimensionamento e a construção, além do que poderia não trazer os mesmos resultados em termos de MTOW que a primeira versão do AGE I.

A segunda possibilidade era arriscada, por conta do tempo que restava para a entrega do relatório de projeto, porém, iria chegar a soluções nas quais a equipe teria disponibilidade de recursos humanos para realizar e poderia trazer resultados semelhantes ou melhores que AGE I em termos de MTOW.

A solução adotada foi a de retornar ao projeto conceitual, definindo que a asa poderia ter geometria retangular, trapezoidal e reto-trapezoidal e que não poderia ser enflechada, a partir daí, partiu-se para a etapa de MDO, reconstruindo e modificando as restrições do algoritmo de otimização, buscando a melhor solução.

#### 4.2.6. Retomando a Otimização Multidisciplinar (MDO)

Na busca por indivíduos mais seguros e eficientes, eliminando a possibilidade de ocorrência das mesmas falhas, os quais o processo de MDO não tem a sensibilidade de escolher adequadamente, a equipe levou em consideração alguns parâmetros aerodinâmicos e de estabilidade, que estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Quadro de decisões dos parâmetros de entrada do algoritmo de otimização

Parâmetros	Objetivos
Asas com percentual retangular acima de 60%	Evitar que o estol inicie na ponta da asa
Afilamento maior que 0.5	Evitar uma progressão de estol desfavorável
Razão de aspecto da asa maior que 4	Garantir a convergências dos cálculos analíticos
Razão de aspecto da empenagem menor que a da asa	Garantir o estol após o da asa
Margem estática entre 5-10%	Reduzir as superfícies de controle e melhor a arfagem da aeronave na decolagem

Fonte: Autoria Própria



#### 4.2.7. Retomando ao Projeto Detalhado

O projeto detalhado seguiu o mesmo direcionamento da fase anterior, com o fluxo de dados acontecendo como o ilustrado na Figura 58, necessitando de um pouco mais de agilidade por conta da proximidade da data limite, teve-se como resultado desta etapa, o desenho detalhado, ilustrado na Figura 66.

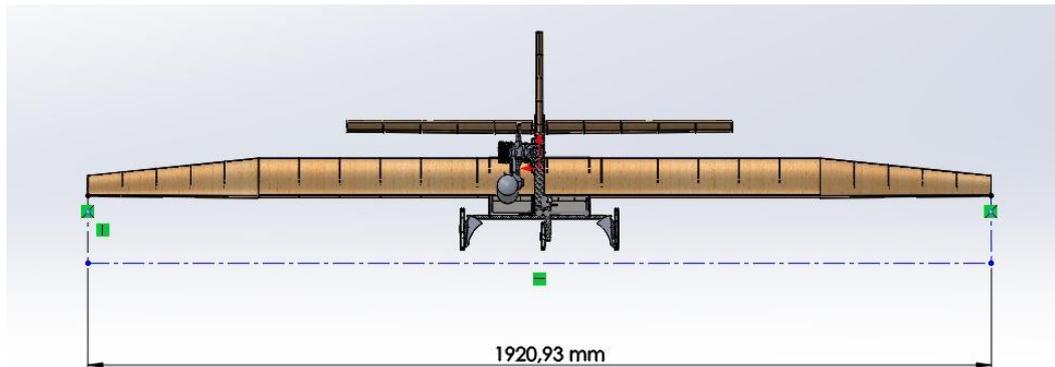


Figura 66: Vista frontal do desenho detalhado da aeronave AGE II  
Fonte: F-Carranca (2016)

#### 4.2.8. Construção e Testes de Protótipos/ Verificação e Validação

O processo de construção da aeronave AGE II, seguiu o fluxo de atividades ilustrado na Figura 67, basicamente o mesmo direcionamento da aeronave anterior, porém, mais simplificado, pela exclusão dos dispositivos *slot* e *flap*, entretanto, a busca pela qualidade dos processos foi muito maior do que a aeronave anterior, com o intuito de buscar a eliminação ou mínima ocorrência de falhas.

Desde o ano de 2015, a equipe utiliza um modelo padrão de planos de fabricação, o que vem auxiliando no aumento da qualidade construtiva da equipe, além de fazer com que os novos membros, que nunca tiveram contato com a manufatura da aeronave, sejam direcionados corretamente as atividades de construção, o modelo de plano de fabricação está ilustrado na Figura 68, ele descreve todo o sequenciamento de atividades dos componentes e montagem da aeronave, os materiais necessários, as especificações e dimensões do componente, observações necessárias e lacunas para anotações de dados, como o peso vazio, por exemplo. A ferramenta evitou que se iniciasse a construção sem planejamento e ocorressem erros que ocasionariam falhas graves, retrabalhos, ou que a qualidade construtiva fosse perdida.

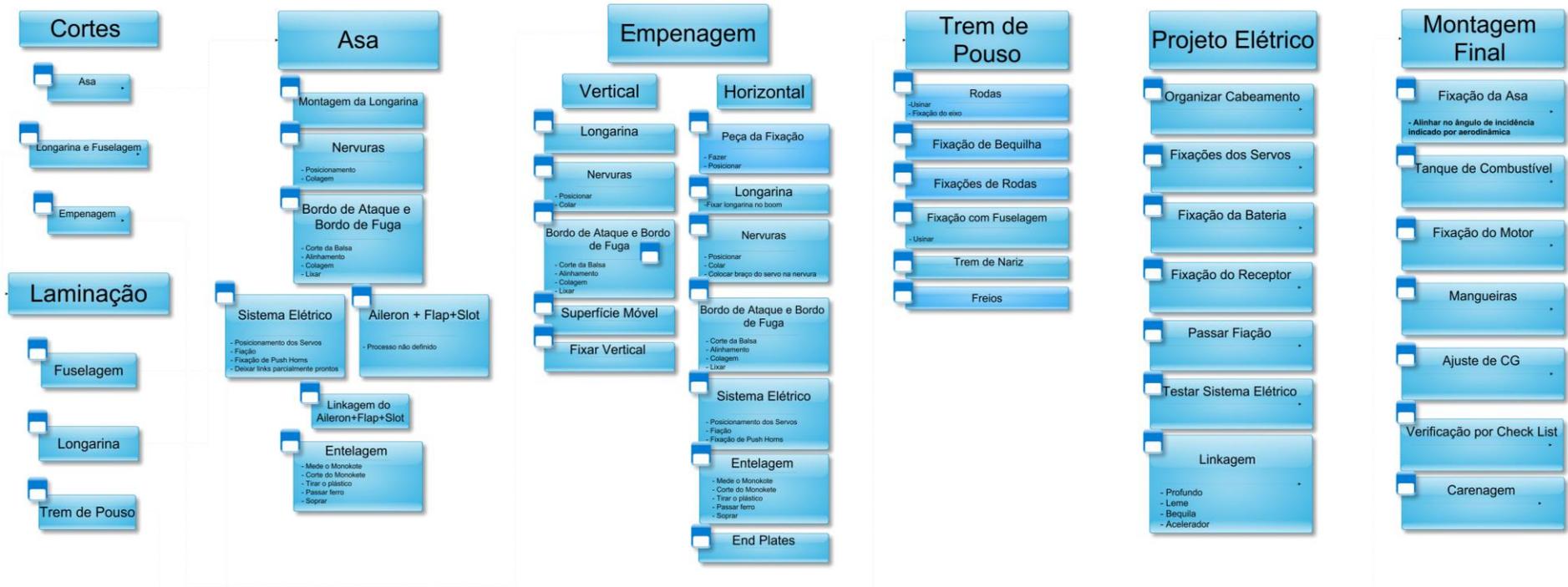
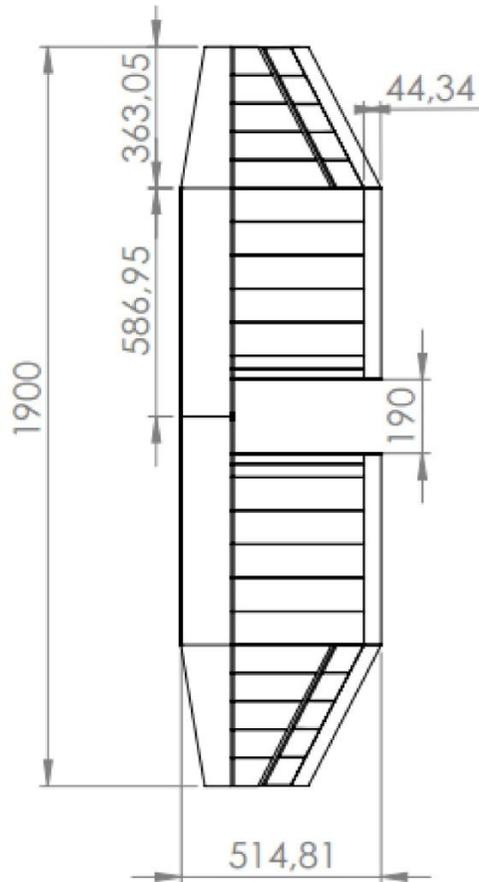


Figura 67: Fluxo de atividades de manufatura da aeronave  
 Fonte: Autoria própria

# Plano de Fabricação - Asa



Verificação		
	Responsável	Assinatura
Materiais e Ferramentas		
Processos - Qualidade		
Peso		
Aprovação do Componente		

Montagem	
<b>Longarina</b>	<b>Bordo de Ataque</b>
<b>Fixadores Asa-Fuselagem</b>	I - No bordo de ataque (extradorso), medir o comprimento da chapa de balsa de 1,5mm necessário para cobrir cada uma das partes da asa (R e T), levando em consideração a largura que já estará cortada na nervura; II - Passar álcool no lado oposto ao qual a balsa deve se curvar; III - Após a curvatura necessária da chapa de balsa, passar cola de media viscosidade, em partes, no tarugo e colocar a chapa de balsa, repetindo o procedimento por todo o tarugo; IV - Terminar a fixação da chapa de balsa na nervura, passando cola e pressionando até a completa secagem da mesma; V - Repetir o procedimento no intradorso do bordo de ataque, com uma chapa de balsa de 1,5mm
<b>Posicionamento das Nervuras</b>	<b>Bordo de Fuga</b>
I - Fixar o gabarito da asa em uma superfície plana II - Colocar a longarina (laminada) em cima do gabarito III - Destacar as nervuras da balsa (corte a laser) e colocar uma por uma na longarina, começando pelas nervuras da raiz; IV - Alinhar a nervura tomando como referência o gabarito impresso e utilizando o gabarito feito com MDF; V - Após o alinhamento, fixar as nervuras na longarina com uma gota de cola de media viscosidade; VI - Reforçar as fixações das nervuras na longarina aplicando mais cola.	I-Para o bordo de fuga (extradorso), cortar uma chapa de balsa de 1,5mm de espessura ao meio (2"), medindo o comprimento necessário para as partes R; II-Passar álcool na chapa de balsa, no lado oposto ao qual ela deverá se curvar; III-Passar cola de media viscosidade nas nervuras e colar a chapa de balsa, pressionando até secar completamente; IV-Repetir o procedimento no intradorso do bordo de fuga com uma chapa de balsa de 1 mm de espessura; V-Na parte trapezoidal, colar uma chapa de balsa de 3mm de espessura no corte da asa, para fixar as dobradiças do aileron;
<b>Tarugos</b>	<b>Final da Construção</b>
I- Após o alinhamento e fixação de todas as nervuras na longarina, encaixar um tarugo 4x4mm e medir o comprimento exato para a parte retangular e trapezoidal (não tem problema se passar um pouco nas pontas da asa); II-Lixar os tarugos na diagonal, de forma a criar um encaixe perfeito na união entre a parte retangular e a trapezoidal; III-Fixar os tarugos com uma gota de cola de baixa viscosidade, reforçando depois colocando mais cola.	I-Reforçar todos os pontos de fixação das estruturas com cola; II-Lixar toda a asa; III-Reforçar o local onde o servo e as dobradiças serão fixadas (com balsas e laminados); IV-Ajustar as linkagens dos ailerons com os servos; V-Entelar a asa com monkote ou coverite, evitando ao máximo que ela fique enrugada; VI-Passar o soprador com cuidado, evitando "abaulamento".

Montagem Aileron	
<b>Nervuras+Tarugos</b>	
I-Fixar o gabarito do aileron em uma superfície plana II-Destacar as nervuras da balsa (corte a laser) III-Medir o comprimento do tarugo 2x2mm e cortar, V caso seja necessário IV-Fixar as nervuras com uma gota de cola de baixa viscosidade, uma por uma no tarugo, alinhando-as em relação ao gabarito V-Fixar as dobradiças nas nervuras	
<b>Borda de Ataque</b>	
I-Para o extradorso, medir o comprimento necessário e cortar uma chapa de balsa de 1,5mm de espessura, com uma largura de 1"; II-Passar álcool na chapa de balsa, no lado oposto ao qual ela irá se curvar; III-Fixar a chapa de balsa no tarugo com cola de baixa viscosidade; IV-Colocar cola de media viscosidade nas nervuras e pressionar a chapa de balsa até a completa fixação da mesma; V-Repetir o procedimento no intradorso, com uma chapa de balsa de 1,5mm e 1" de largura; VI-Reforçar o intradorso com balsas para a fixação da linkagem.	
<b>Bordo de Fuga</b>	
I-Para o bordo de fuga (extradorso), cortar uma chapa de balsa de 1,5mm de espessura ao meio (2"), medindo o comprimento necessário para o aileron; II-Passar álcool na chapa de balsa, no lado oposto ao qual ela irá se curvar; III-Passar cola de media viscosidade nas nervuras e colar a chapa de balsa, pressionando até secar completamente; IV-Repetir o procedimento no intradorso do bordo de fuga com uma chapa de balsa de 1 mm de espessura	
<b>Final da Construção</b>	
I-Reforçar todos os pontos de fixação das estruturas com cola II-Lixar os ailerons III-Reforçar o local em que as dobradiças e os links serão fixados IV-Ajustar a linkagem dos ailerons com os servos V-Entelar os ailerons, evitando ao máximo que ela fique enrugada VI-Passar o soprador com cuidado, evitando "abaulamento"	

Atividade	Início	Termino
Fixadores asa-fuselagem		
Posicionamento das nervuras		
Borda de fuga e ataque		
Aileron		
Sistema elétrico		

Dimensões - Asa	
Envergadura	1920 mm
Corda na Raiz	520mm
Corda na Ponta	270 mm
Dimensões - Aileron	
Envergadura	361 mm
Corda na Raiz	119 mm
Corda na Ponta	119 mm

Materiais		
Nervuras (retangular)		
Tipo	Material	Quantidades
N1	Balsa 2,0mm	2
N2	Balsa 2,0mm	2
N3	Balsa 2,0mm	2
N4	Balsa 2,0mm	2
N5	Balsa 2,0mm	2
N6	Balsa 2,0mm	2
N7	Balsa 2,0mm	2

Longarina			
Laminada			
Laminados (servo /dobradiças)		Servos	2
Bordo de Ataque		Bordo de Fuga	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Balsa 1,5 mm	3	Balsa 1,5 mm	3
Tarugos de Balsa 4x4	6	Balsa 3,2 mm	1
Aileron			
Dobradiças	6	Push-Horn	2
Bordo de Ataque		Bordo de Fuga	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Balsa 1,5 mm	1	Balsa 1,5 mm	1

**PROTEJA-SE**

Sempre que for submetido a fortes ruídos

Figura 68: Exemplo do plano de fabricação padrão

Fonte: Autoria própria

Peso(g)	LONGA L Longarina	LONGA N Longarina+Nervuras	LONGA E Etq 2+Tar(BF e BA)	LONGA A Aileron	Asa Completa	Asa Completa+Monokote
Real						
Estimado						

Tipo	Material	Quantidades
N1	Balsa 2,0mm	2
N2	Balsa 2,0mm	2
N3	Balsa 2,0mm	2
N4	Balsa 2,0mm	2
N5	Balsa 2,0mm	2

Cola Tek-Bond	2	Trenas	2
Lixas	3	Canetas	3
Ferro de Entelar	1	Soprador	1
Paquímetro	1		
Dremel	1		

O processo de manufatura deu origem a aeronave AGE II, ilustrada na Figura 69, e a partir daí pode-se realizar a etapa de verificação e validação, onde foram analisados os mesmos parâmetros da primeira aeronave.



Figura 69: Aeronave AGE II preparada para voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 70: Primeiro protótipo AGE II em voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

A Figura 70 mostra a aeronave em voo. Foram realizados ensaios reais, testes de chão e testes de voo. A partir dos testes, foram analisados em cada setor os parâmetros ilustrados na Figura 71, onde também estão mostradas as análises sobre o desempenho do primeiro protótipo em voo.

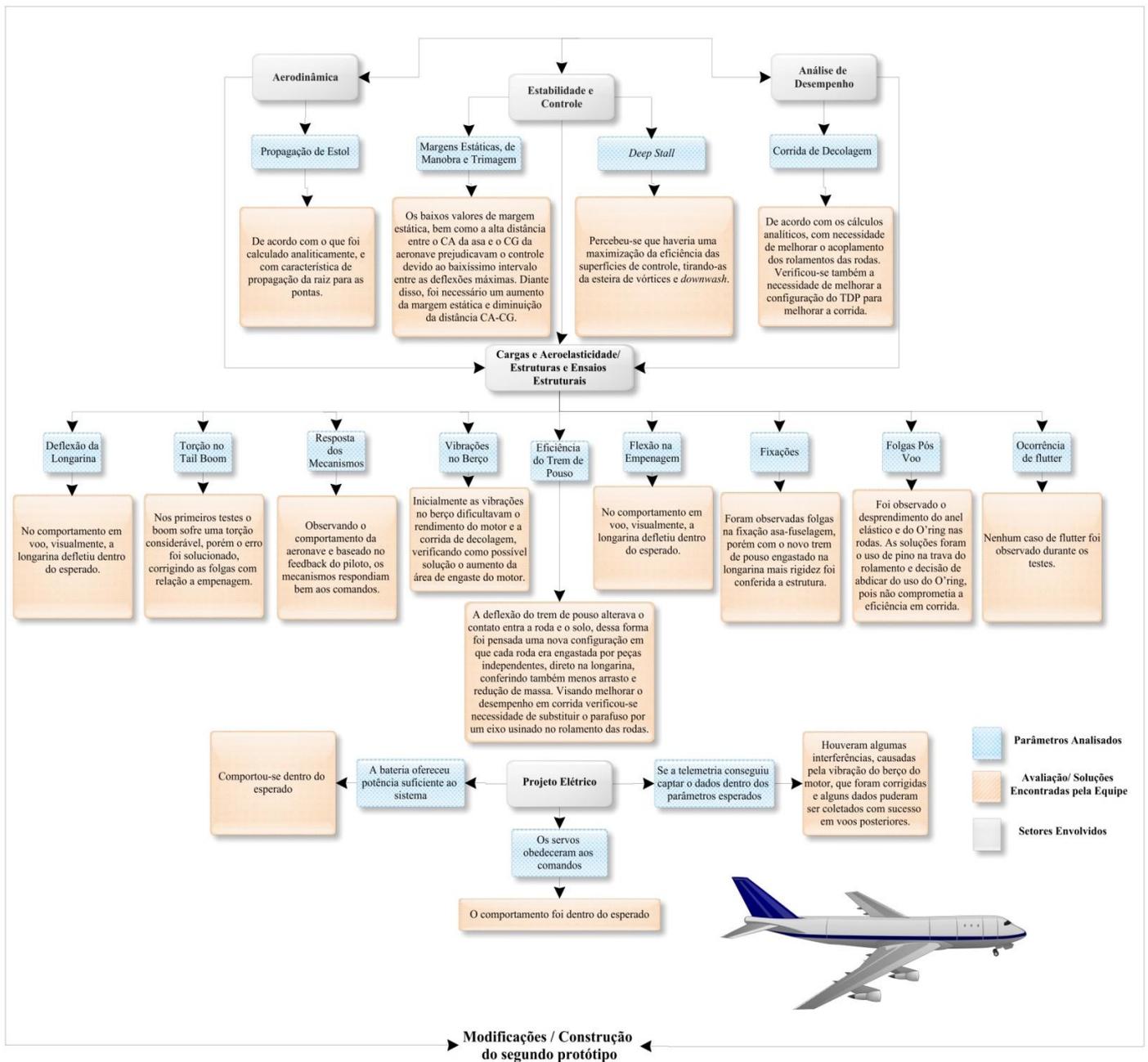


Figura 71: Parâmetros avaliados em voo e análises do desempenho da aeronave  
 Fonte: Autoria própria

#### 4.2.8.1. Gate de Projeto

As revisões de projeto aconteceram com base nos parâmetros observados na etapa de verificação, analisados tanto visualmente, quanto com o auxílio da telemetria, então foram feitas algumas modificações para o segundo protótipo, com o intuito de corrigir algumas falhas detectadas ou melhorar algumas características, que por consequência maximizou o MTOW da aeronave, as mudanças realizadas estão no quadro comparativo, ilustrado pela Figura 72.

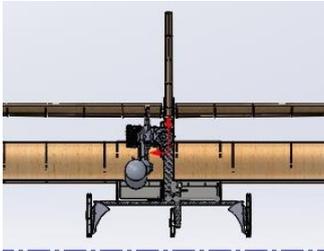
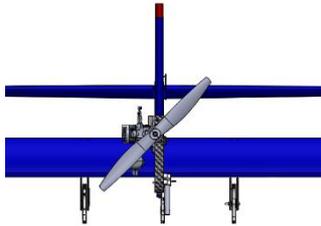
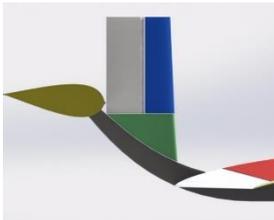
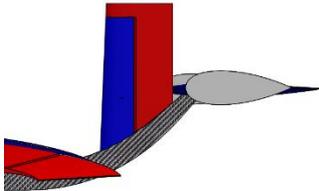
<b>Quadro Comparativo</b>	
<b>Protótipo I</b>	<b>Protótipo II</b>
	
<p>O motor foi posicionado mais a frente, para melhorar o ajuste de CG;  As mudanças na configuração do TDP, aumento do diâmetro das rodas e melhoramento no acoplamento do rolamento das rodas, foram feitas para melhorar a corrida de decolagem;  A seção do <i>tail boom</i> foi aumentada para minimizar os efeitos de torção.</p>	
	
<p>O trem de pouso principal passou a ser fixado na longarina, em quatro placas de laminado de fibra de carbono e <i>kevlar</i> com alma de espuma de PVC, dando espaço entre as duas fixações das rodas, suficiente para acomodar toda a carga dentro da asa, eliminando a necessidade do volume da fuselagem, aumentando a área efetiva da asa. E melhorando o alinhamento na corrida.</p>	
	
<p>O leme teve seu tamanho aumentado mediante feedback do piloto.</p>	
	
<p>Os ailerons foram diminuídos e tiveram seu afilamento proporcional ao percentual de corda.</p>	

Figura 72: Quadro comparativo das modificações do protótipo I para o protótipo II  
Fonte: Autoria própria

Como resultado da etapa de verificação e validação, obteve-se a aeronave AGE II, ilustrada na Figura 73, que conseguiu levantar sua carga máxima em voos de teste, se mostrando um projeto bastante competitivo. A aeronave AGE II, possuía um *MTOW* de 142,9 N, tendo um peso vazio de 2,15 kg, cumprindo todos os requisitos de projeto, assim como as restrições de regulamento.



Figura 73: Segundo protótipo da aeronave AGE II  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

#### 4.2.9. Construção e Testes aeronaves oficiais

A etapa de construção das aeronaves oficiais ocorre após o período da entrega de relatório e a principal busca nesta fase é a fidelidade de projeto, para que sejam alcançados os mesmos resultados dos testes realizados em protótipos e que se chegue ao peso vazio informado em relatório, pois é um fator muito importante na competição de voo, fazendo até com que a equipe perca pontos caso o valor real e o valor em relatório sejam muito discrepantes.

Na construção das aeronaves oficiais não existe mais possibilidades de rever o projeto, pois segundo o regulamento, configura penalidade apresentar uma aeronave diferente da que

foi apresentada no envio das plantas e características descritas em relatório. É a etapa em que apenas as pessoas mais habilidosas e treinadas participam da manufatura dos aviões, evitando falhas e retrabalhos. As aeronaves são construídas uma após a outra, pois é uma maneira que se encontrou para corrigir qualquer falha que viesse a acontecer, tendo ainda a possibilidade de obter uma aeronave melhor do que a anterior. As aeronaves oficiais estão ilustradas nas Figuras 74 e 75.



Figura 74: Aeronaves oficiais

Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 75: Preparação das aeronaves oficiais

Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

Os testes das aeronaves oficiais são feitos apenas para trimagem, ou seja, fazer os ajustes dos comandos, para que em voo oficial as aeronaves tenham o desempenho mais satisfatório e

sejam mais fáceis de pilotar, sem o risco de que ocorram falhas graves de resposta de comandos durante o voo.

A trimagem das aeronaves é feita alguns dias antes da viagem. A equipe realizou os testes de voo três dias antes de viajar, e por algum problema estrutural, a melhor aeronave em termos de leveza foi perdida porque sofreu falha estrutural durante o voo. A longarina defletiu e quebrou, ocasionando a queda da aeronave, como o ilustrado na Figura 76.



Figura 76: Aeronave oficial após queda por falha estrutural  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

A equipe partiu para a construção de mais uma aeronave oficial, pois para obter vantagem competitiva é necessário que se tenha pelo menos três aeronaves testadas e prontas para voo na competição, pois existem três tentativas de voo de classificação e caso não consiga se classificar na primeira ou segunda tentativa, ocorrendo queda com perda total ou não da aeronave, ela terá pelo menos uma aeronave para a tentativa da terceira classificação e para as baterias de voo de carga, enquanto as outras são reparadas ou reconstruídas. A aeronave encontra-se ilustrada na Figura 77. Como não houve tempo hábil para trimagem antes da viagem, pois a aeronave foi concluída no momento de ser embalada para transporte, decidiu-se

que ela seria utilizada no voo classificatório, pois é um voo com menos carga, ideal para trimar a aeronave.



Figura 77: Aeronave oficial na fila para voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

#### 4.2.10. A Competição

A competição ocorre em duas etapas, competição de projeto, onde são avaliados os relatórios técnicos de cada área de conhecimento, que foram enviados em etapa anterior a construção das aeronaves oficiais, e a competição de voo, onde é avaliada a acuracidade de projeto em termos de carga útil e peso vazio, e verificado se a aeronave atende as restrições do regulamento.

A etapa de projeto ocorre no primeiro dia do evento, é dividida em duas partes, os Relatórios Técnicos de Projeto, podendo pontuar no máximo de 185 pontos e mínimo 0 (zero) e incluem a entrega de:

- Relatório de cada disciplina;
- Plantas e desenhos técnicos;
- Previsão de carga paga;
- Outros documentos, conforme o caso;

E a apresentação oral, podendo pontuar no máximo de 35 pontos e mínimo 0 (zero). A pontuação total para a competição de projeto somaria até 220 pontos, e para os relatórios técnicos, a pontuação se subdividia em cada disciplina da seguinte maneira:

- Integração do Projeto: 30 pontos (20 + 10: relatório e plantas)
- Aerodinâmica: 25 pontos
- Desempenho: 25 pontos
- Estabilidade e Controle: 25 pontos
- Cargas e Aeroelasticidade: 25 pontos
- Estruturas e Ensaio Estruturais: 30 pontos (20 + 10: relatório e plantas)
- Projeto Elétrico: 25 pontos

A apresentação oral, onde a equipe apresenta em 15 minutos um resumo dos objetivos, decisões de projeto e resultados alcançados, aos jurados da competição, é o momento em que os responsáveis pela correção dos relatórios fazem questionamentos para esclarecer qualquer dúvida ou divergência que tenha ficado no momento da leitura e buscar evidências de que a equipe realmente sabia o que estava fazendo no momento dos cálculos, otimização, simulações e dimensionamento.

Os resultados obtidos pela equipe nesta etapa da competição foram insatisfatórios, já que, no momento da abertura dos questionamentos, foi dito pelos jurados que havia ocorrido uma falha no envio dos relatórios técnicos e no lugar do arquivo do de Cargas e Aeroelasticidade, foi enviado outro arquivo de Estruturas e Ensaio Estruturais, o que penalizava a equipe em até 25 pontos. O resultado da competição de projeto está ilustrado na Tabela 3, onde a equipe ficou na 18ª colocação, resultado causado pela grave falha do não envio de um dos relatórios. A equipe prosseguiu com a estratégia de voo, tendo em mente que possuíam um projeto bastante competitivo.

Tabela 3: Resultado competição de projeto classe regular

Competição SAE BRASIL de Aerodesign: RELATÓRIO E APRESENTAÇÃO															
Equipe	Universidade	Classe	Integração do Projeto Relatorio	Integração do Projeto	Aerodinâmica	Desempenho	Estabilidade e Controle	Cargas e Aeroelasticidade	Estruturas e Ensaio Estruturais	Projeto Elétrico	Total Relatório	Total Apresentação	Total Vídeo de Voo	Total	Classificação (por categoria)
EESC-USP ALPHA	Escola de Engenharia de Sao Carlos -	REGULAR	15,25	8,95	22,05	24,09	22,84	13,62	20,77	14,26	141,84	32,51	6,00	180,35	1
AEROFEG	Universidade Estadual Paulista Julio de	REGULAR	15,30	6,38	19,80	12,98	13,38	11,28	17,42	15,03	111,58	27,90	6,00	145,47	12
FEI REGULAR	Centro Universitario da FEI	REGULAR	15,68	8,64	19,04	13,95	19,13	12,14	23,40	17,29	126,99	29,92	6,00	162,91	5
UAI SO FLY	Universidade Federal de Minas Gerais	REGULAR	14,55	4,80	21,15	19,88	19,98	13,41	22,09	17,16	131,36	27,94	6,00	165,30	4
UIRA	Universidade Federal de Itajuba	REGULAR	15,98	9,34	17,11	13,86	19,47	12,21	18,81	14,69	121,46	33,61	6,00	161,08	6
Tucano	Universidade Federal de Uberlandia	REGULAR	17,50	9,68	20,71	17,41	17,45	16,03	23,28	17,94	138,95	29,89	6,00	174,84	2
KEEP FLYING	Escola Politecnica da Universidade de	REGULAR	15,51	8,99	18,07	16,36	15,18	10,01	24,26	14,95	121,66	29,10	6,00	156,77	7
AERO VITORIA	Universidade Federal do Espirito Santo	REGULAR	11,45	7,48	19,90	18,36	10,32	5,72	20,17	12,22	105,60	28,61	0,00	134,21	15
Axe Fly	Universidade Federal da bahia	REGULAR	14,55	8,77	19,37	17,60	15,29	11,27	12,55	15,86	115,26	27,37	6,00	148,63	10
AERODESIGN UFMT - F-CARRANCA	Universidade Federal do Mato Grosso	REGULAR	11,14	6,60	15,92	12,65	11,09	6,06	15,15	12,48	91,09	19,76	0,00	110,84	24
CEFAST AERODESIGN	UNIVASF	REGULAR	13,05	7,84	15,43	13,93	17,18	0,00	18,90	15,21	100,97	26,27	6,00	127,24	18
CEFAST AERODESIGN	CEFET - MG	REGULAR	14,09	8,21	10,06	10,72	10,73	10,49	19,57	14,69	98,55	30,36	6,00	134,91	14
BLACKBIRD	Universidade Federal Fluminense	REGULAR	11,55	5,93	14,16	15,51	12,83	10,23	17,78	11,70	99,25	21,83	6,00	127,08	19
DRACO VOLANS	Universidade de Brasilia	REGULAR	13,84	6,94	21,34	15,02	15,94	12,56	18,24	17,16	120,92	29,59	6,00	156,52	8
AERORIO REGULAR	Pontificia Universidade Catolica do Rio de	REGULAR													
MINERVA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE	REGULAR	8,80	7,40	14,91	14,03	15,21	9,90	13,11	14,30	97,41	23,09	6,00	128,51	20
ALBATROZ	Universidade do Estado de Santa	REGULAR	12,17	7,23	20,00	17,97	10,68	10,55	18,41	14,04	111,05	25,99	4,00	141,05	13
AERODESIGN SAE USE	Universidad Simon Bolivar	REGULAR	10,83	2,74	8,50	10,50	14,81	6,37	9,72	16,38	71,37	25,87	0,00	97,24	33
CEU AZUL REGULAR	Universidade Federal de Santa Catarina	REGULAR	12,82	8,49	19,54	17,28	19,33	7,47	22,96	17,16	124,83	28,52	0,00	153,35	9
URUBUS AERODESIGN	Universidade Estadual de Campinas	REGULAR	13,13	7,04	18,72	24,80	21,66	12,88	21,65	16,12	136,00	30,86	6,00	172,86	3
ZEFIRO	Instituto Militar de Engenharia	REGULAR	8,36	7,70	9,83	10,53	7,38	10,44	14,95	9,36	78,27	20,85	4,00	103,11	29
KAMIKASE	Universidade de Santa Cruz do Sul	REGULAR	17,05	8,77	13,90	16,50	13,56	9,51	20,98	18,20	114,72	27,58	6,00	148,30	11
PARAHYASAS	Universidade Federal de Campina Grande	REGULAR	10,71	8,05	16,99	12,67	12,91	9,41	18,46	16,12	105,31	23,20	0,00	128,51	17
ZEUS	Universidade Estadual do Maranhao	REGULAR	11,85	7,40	9,28	16,45	9,27	10,00	16,59	13,78	94,25	26,95	4,00	125,20	21
UFSCAR DRAGAO	Universidade Federal de Sao Carlos	REGULAR	10,88	7,53	13,57	13,51	11,82	7,53	15,62	11,96	87,97	24,71	0,00	112,67	23
ACCEPTOR	Universidade Federal Rural do Semiarido	REGULAR	11,87	6,03	11,25	13,30	7,47	8,12	8,28	14,82	80,70	19,96	6,00	106,66	25
KUKULCAN	ESIME U.P. TICOMAN IPN	REGULAR	9,33	4,87	9,60	11,30	11,35	8,13	16,47	10,40	78,72	21,29	6,00	106,02	26
SOL DO EQUADOR	Instituto Federal de Educacao, Ciencia e	REGULAR	10,29	3,12	10,06	14,48	7,60	7,77	10,01	12,74	72,01	24,14	4,00	100,15	31
AEROUNISAL	UNISAL	REGULAR	9,64	1,66	11,00	8,56	4,48	2,92	6,74	12,22	56,00	25,31	4,00	85,31	38
CARANCHO	Universidade Federal de Santa Maria	REGULAR	13,60	7,48	18,38	12,05	5,20	5,25	14,37	10,82	80,51	17,17	4,00	101,68	30
Harpia Aerodesign	Universidade Federal do ABC	REGULAR	13,68	6,16	17,91	14,51	10,68	9,14	17,38	17,16	106,37	24,43	0,00	130,80	16
Aerococcus UPF	Fundacao Universidade de Passo Fundo	REGULAR	7,15	3,08	16,02	16,13	11,66	5,31	6,67	14,56	79,46	20,05	6,00	105,51	27
Acaua	Universidade Federal de Vicosa - Campus	REGULAR	11,55	6,54	9,81	8,82	8,03	1,26	4,46	14,04	64,02	25,00	0,00	89,01	37
AeroSATC	FASATC - Faculdade SATC	REGULAR	9,24	1,65	14,11	13,21	1,26	6,30	11,29	16,64	68,10	0,00	0,00	68,10	43
AeroDuca	Universidade Anhembí Morumbi	REGULAR	10,53	3,85	10,12	9,05	3,05	1,95	8,96	13,78	5,18	22,24	0,00	27,42	47
L.O.T.S Aerodesign	Universidade Federal de Itajuba	REGULAR	7,27	4,03	12,77	10,43	8,76	0,00	6,61	16,90	46,87	0,00	0,00	46,87	45
12 Bis	Universidade Federal de Ouro Preto	REGULAR	11,38	6,89	7,94	13,93	13,02	5,76	16,70	17,16	92,78	24,55	0,00	117,33	22
Skywards Aerodesign	Universidade Federal de Vicosa	REGULAR	10,53	6,13	13,00	9,39	11,95	6,72	16,51	16,90	80,84	22,29	0,00	103,14	28
AeroUCV	Universidad Central de Venezuela	REGULAR													
SAE AERODESIGN LUZ	Universidad Del Zulia	REGULAR	6,09	3,12	11,00	8,64	8,80	0,81	10,80	15,08	0,00	0,00	0,00	0,00	51
AeroCataratas	Universidade Estadual do Oeste do	REGULAR	2,04	0,07	6,84	10,59	7,66	4,13	4,86	6,24	0,00	16,00	0,00	16,00	49
ICARO	ASSOCIACAO EDUCACIONAL NOVE DE	REGULAR	12,44	3,48	12,53	11,01	5,33	3,44	14,72	9,88	71,41	24,04	4,00	99,44	32
Burning Goose	Universidade Federal do Parana	REGULAR	7,21	1,47	9,33	7,77	3,72	2,29	7,90	9,62	48,44	21,70	0,00	70,15	41
IUNA AERODESIGN	Fundacao Herminio Ometto - Uniararas	REGULAR	8,18	5,01	9,74	12,78	4,28	2,28	8,61	5,72	53,92	0,00	0,00	53,92	44
U-Fly Aerodesign	Universidad Aeronautica en Queretaro	REGULAR	11,26	4,12	9,31	13,82	4,19	2,31	11,10	5,72	61,83	25,38	6,00	93,20	35
FAM AERODESIGN	Universidade Federal do Espirito Santo	REGULAR	8,30	2,41	10,57	8,70	4,13	5,22	7,35	5,72	0,00	0,00	0,00	0,00	51
Falcons Aerodesign	FACENS - Faculdade de Engenharia da	REGULAR	7,70	1,88	9,57	12,34	6,55	5,41	3,08	8,84	50,67	24,40	6,00	81,06	40
Acalantis	Universidade Tecnologica Federal do	REGULAR	8,39	5,00	10,88	16,40	11,00	6,06	10,05	11,96	71,51	21,79	0,96	94,26	34
MasBah Aerodesign	Faculdade Horizontina	REGULAR	6,52	3,77	7,93	16,54	8,00	4,60	13,81	9,36	63,85	17,52	0,00	81,37	39
Apollo (DESISTENTE)	Faculdade Pitagoras Uberlandia	REGULAR													
AeroBeetle	PITAGORAS SISTEMA DE EDUCACAO	REGULAR	11,25	8,74	12,43	10,02	7,22	7,14	12,33	10,14	68,83	21,33	0,00	90,15	36
Aerodactyl	Universidade Federal de Goias	REGULAR	6,07	1,51	10,37	17,08	4,29	6,61	6,75	3,38	0,00	18,44	0,00	18,44	48
AEROEEL	Escola de Engenharia de Lorena - USP	REGULAR	4,86	0,36	9,91	6,45	2,45	1,25	1,94	6,24	28,61	18,12	0,00	46,73	46
Aerovale (DESISTENTE)	Universidade Federal dos Vales do	REGULAR													
Fatecnautas	FATEC - Faculdade de Tecnologia de Sao	REGULAR	6,50	3,58	7,49	0,00	0,00	0,00	4,11	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	51
Horus Aerodesign	Instituto Federal de Educacao, Ciencia e	REGULAR	5,17	2,89	7,36	6,22	5,50	3,82	10,31	3,38	0,00	0,00	0,00	0,00	51
Pegasus Aerodesign	Centro Universitario Fundacao Assis	REGULAR													
Tuiuiu (DESISTENTE)	MSMT - Universidade Catolica Dom	REGULAR													
Aeroaria	Pontificia Universidade Catolica do	REGULAR	6,63	7,03	10,77	5,55	3,97	2,65	10,81	7,02	54,44	15,05	0,00	69,49	42

Fonte: SAE Brasil (2016)

Partiu-se então para a etapa de provas de voo, que é organizada como o ilustrado no diagrama abaixo, Figura 78. Para participar desta etapa, a equipe deve ter cumprido todos os requisitos da competição de projeto e ter voado previamente o avião. Por isso, precisa ter entregue a declaração de que a aeronave já voou, assinada pelo professor orientador da equipe e pelo diretor da escola (ou representante).

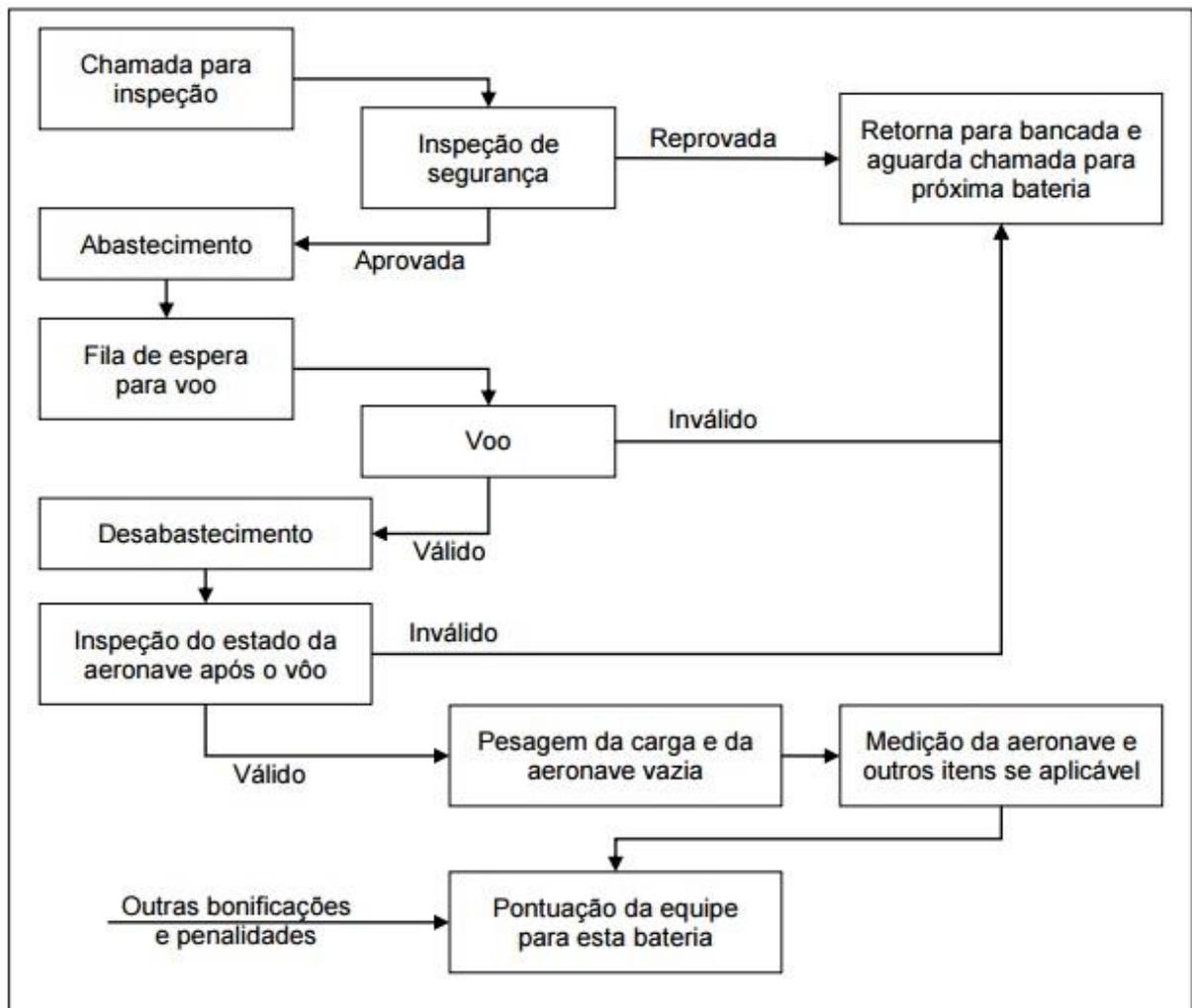


Figura 78: Fluxograma de atividades competição de voo  
 Fonte: SAE Brasil, 2016, p.71

A pontuação da competição de voo é influenciada por fatores como: Carga Paga, Eficiência Estrutural, Fator Peso Vazio, Acuracidade e Bonificações por distância de pouso, tempo de retirada de carga e confiabilidade.

Estão ilustradas nas figuras seguintes as atividades da competição de voo realizadas pela equipe, como a inspeção, Figura 79; fila de espera para voo, Figura 80; voo, Figura 81, Figura 82, Figura 83 e Figura 84; e retirada de carga, Figura 85.



Figura 79: Aeronave AGE II no momento da inspeção de segurança  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 80: Aeronave AGE II na fila de espera para voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 81: Aeronave AGE II no momento da decolagem  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 82: Aeronave AGE II começando a ganhar altitude  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)



Figura 83: Aeronave AGE II realizando o circuito da competição de voo  
Fonte: [www.aeroin.net](http://www.aeroin.net) (2016)



Figura 84: Aeronave AGE II se aproximando para pouso  
Fonte: [www.aeroin.net](http://www.aeroin.net) (2016)

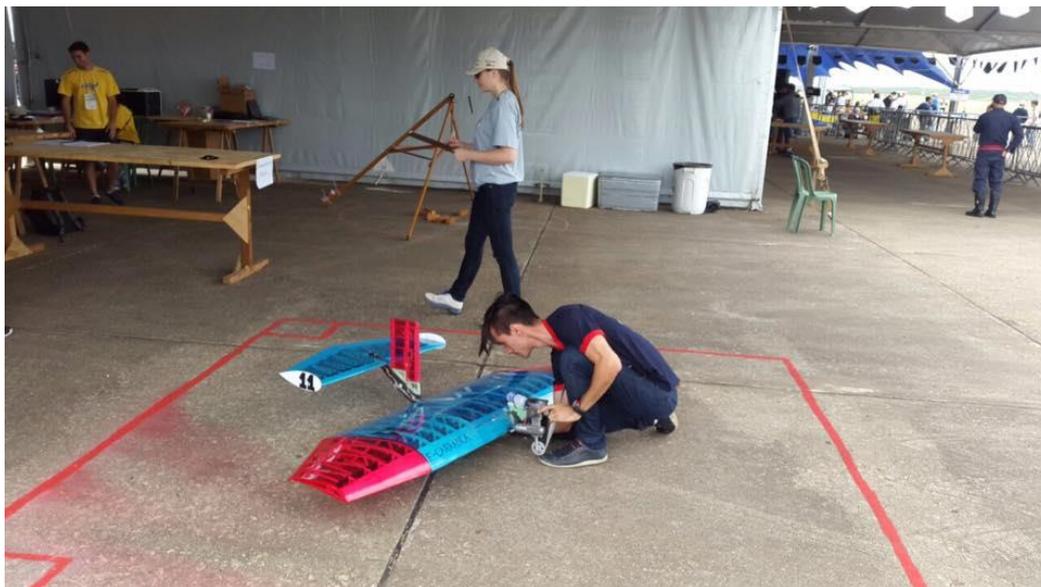


Figura 85: Aeronave AGE II no momento da retirada de carga e inspeção pós voo  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

Os resultados obtidos pela equipe na competição estão ilustrados na Tabela 4. A equipe realizou o voo de classificação na primeira bateria, além de realizar dois voos válidos carregados, sendo a aeronave que ficou em segundo lugar na pontuação de carga, com a segunda maior carga da competição, terceiro lugar na pontuação de voo, mas que, por aspectos de acuracidade, eficiência estrutural, bonificação de confiabilidade, e principalmente, por conta da pontuação na competição de projeto, levou a equipe a 9ª colocação na competição de voo. A Figura 86 mostra a equipe reunida após a última bateria de voo, já no final da competição.



Figura 86: Equipe reunida ao final da competição com aeronave pós voo de ultima bateria  
Fonte: <https://www.facebook.com/f.carranca/> (2016)

Tabela 4: Resultado final da classe regular

Competição SAE BRASIL de Aerodesign - REGULAR (Até a 9ª Bateria)																
	Equipe	Escola	Carga Paga Total (kg)	Peso Vazio (kg)	EE	FPV	Pontos Carga	Pontos EE	Pontos Acurac.	Pontos Voo	Bonus Pousou	Bonus Tempo Carga	Total Melhor Bateria	Total Notas Rel e Apres *	Total Video	Total Geral
1	FEESC-USP ALPHA	Escola de Engenharia de Sao Carlos - USP	13.560	1.970	6.883	1.100	169.5	34.42	25.61	224.29	13.56	19.53	282.99	174.35	6.00	483.24
2	URUBUS AERODESIGN	Universidade Estadual de Campinas	10.730	2.080	5.159	1.062	134.1	25.79	29.88	169.79	10.73	19.81	230.21	166.86	6.00	423.07
3	UAL SO FLY	Universidade Federal de Minas Gerais	10.735	1.735	6.187	1.084	134.1	30.94	27.50	178.98	10.74	19.49	236.71	159.30	6.00	421.58
4	Tucano	Universidade Federal de Uberlândia	10.225	1.980	5.164	1.100	127.8	25.82	27.31	168.94	10.23	19.27	225.74	168.84	6.00	419.55
5	AEROFEQ	Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho	11.305	2.050	5.515	1.089	141.3	27.57	26.86	183.85	11.31	19.76	241.77	139.47	6.00	406.20
6	CEFAST AERODESIGN	CEFET - MG	11.335	2.090	5.423	1.070	141.6	27.12	29.31	180.56	11.34	19.79	241.00	128.91	6.00	394.29
7	FEI REGULAR	Centro Universitario da FEI	10.495	2.095	5.010	0.975	131.1	25.05	28.37	152.39	10.50	0.00	191.26	156.91	6.00	373.39
8	KEEP FLYING	Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo	9.805	1.970	4.977	1.037	122.5	24.89	29.64	152.89	9.81	19.86	212.20	150.77	6.00	368.96
9	F-CARRANCA	UNIVASF	11.630	2.250	5.169	1.068	145.3	25.84	21.18	182.79	11.63	19.71	235.31	127.24	6.00	368.55
10	AERO VITORIA ESPIRITO	Universidade Federal do Espirito Santo	9.675	1.980	4.886	1.058	120.9	24.43	30.00	153.74	9.68	19.81	213.22	134.21	0.00	366.94
11	DRACO VOLANS	Universidade de Brasilia	10.535	2.615	4.029	0.986	131.6	20.14	2.25	149.78	10.54	15.67	178.23	150.52	6.00	353.70
12	ALBATROZ AERODESIGN	Universidade do Estado de Santa Catarina	10.040	2.345	4.281	1.094	125.5	21.41	21.80	160.75	10.04	19.79	202.34	137.05	4.00	345.54
13	U-Flv Aerodesign	Universidade Aeronautica em Quereator	9.725	2.315	4.201	1.099	121.5	21.00	28.46	156.73	9.73	19.82	214.74	87.20	6.00	326.52
14	UIRA	Universidade Federal de Itaiuba	7.000	2.255	3.104	1.096	87.50	15.52	0.00	112.94	7.00	19.45	139.39	155.08	6.00	300.47
15	AEROUNISAL	UNISAL	8.500	3.210	2.648	1.059	106.2	13.24	24.72	126.51	8.50	19.82	179.55	81.31	4.00	281.37
16	BLACKBIRD	Universidade Federal Fluminense	8.100	2.690	3.011	1.097	101.2	15.06	0.00	127.54	8.10	17.99	153.63	121.08	6.00	280.71
17	KAMIKASE	Universidade de Santa Cruz do Sul	6.845	2.085	3.283	1.073	85.56	16.41	0.00	109.41	6.84	19.69	129.10	142.30	6.00	277.41
18	Aerococcus UPF	Fundacao Universidade de Passo Fundo	8.565	2.765	3.098	1.040	107.0	15.49	0.00	127.40	8.57	19.08	155.04	99.51	6.00	275.25
19	KUKULCAN AERODESIGN	ESIME U.P. TICOMAN IPN	8.725	2.555	3.415	0.916	109.0	17.07	7.42	115.49	8.73	19.97	151.61	100.02	6.00	268.12
20	MINERVA AERODESIGN	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	8.245	2.970	2.776	0.950	103.0	13.88	0.00	111.10	8.25	19.63	138.97	120.51	6.00	267.55
21	ACCEPTOR AERODESIGN	Universidade Federal Rural do Semiárido	7.805	2.620	2.979	1.099	97.56	14.90	0.00	123.60	7.81	19.99	151.40	100.66	6.00	258.06
22	CEU AZUL REGULAR	Universidade Federal de Santa Catarina	7.030	3.315	2.121	0.800	87.88	10.60	0.00	78.78	7.03	16.87	102.68	153.35	0.00	256.03
23	AERODESIGN SAE USB	Universidad Simon Bolivar	6.275	2.080	3.017	0.965	78.44	15.08	25.53	90.28	6.28	19.94	134.03	97.24	0.00	248.06
24	ZEUS	Universidade Estadual do Maranhao	7.015	2.505	2.800	0.812	87.69	14.00	0.00	82.54	7.02	19.82	109.38	121.20	4.00	237.09
25	Falcons Aerodesign	FACENS - Faculdade de Engenharia da Qualidade	7.300	3.260	2.239	0.800	91.25	11.20	28.62	81.96	7.30	14.68	132.56	75.06	6.00	232.04
26	Harpia Aerodesign UFABC	Universidade Federal do ABC	5.090	2.465	2.065	1.031	63.63	10.32	0.00	76.21	5.09	18.46	99.76	130.80	0.00	230.56
27	ZEFIRO	Instituto Militar de Engenharia	6.535	2.740	2.385	0.856	81.69	11.93	0.00	80.12	6.54	19.89	106.55	99.11	4.00	228.19
28	ICARO	ASSOCIACAO EDUCACIONAL NOVE DE JULHO	6.505	3.180	2.046	1.046	81.31	10.23	0.00	95.75	6.51	19.90	122.16	95.44	4.00	221.60
29	SOL DO EQUADOR	Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Piaui	7.015	2.465	2.846	0.800	87.69	14.23	0.00	81.53	7.02	15.87	104.42	96.15	4.00	204.57
30	CARANCHO AERODESIGN	Universidade Federal de Santa Maria	5.890	2.990	1.970	0.927	73.63	9.85	0.00	77.38	5.89	16.36	99.63	97.68	4.00	201.31
31	AeroBeetle	PITAGORAS SISTEMA DE EDUCACAO SUPERIOR	5.300	2.970	1.785	1.023	66.25	8.92	7.59	76.86	5.30	19.91	109.66	90.15	0.00	200.21
32	Acalantis	Universidade Tecnologica Federal do Parana	4.215	3.820	1.103	0.800	52.69	5.52	0.00	46.56	4.22	18.83	69.61	93.30	0.96	182.92
33	Skvwards Aerodesign	Universidade Federal de Vicosa	4.300	2.405	1.788	0.800	53.75	8.94	0.00	50.15	4.30	18.76	73.21	103.14	0.00	176.35
34	Axe Fly	Universidade Federal da bahia												142.63	6.00	148.63
35	AEROFFEL	Escola de Engenharia de Lorena - USP	5.630	3.400	1.656	0.800	70.38	8.28	29.92	62.92		19.66	100.30	46.73	0.00	147.03
36	PARAHYASAS	Universidade Federal de Campina Grande												128.51	0.00	128.51
37	12 Bjs	Universidade Federal de Ouro Preto												117.33	0.00	117.33
38	UFSCAR DRAGAO BRANCO	Universidade Federal de Sao Carlos												112.67	0.00	112.67
39	AERODESIGN UFMT -	Universidade Federal do Mato Grosso												110.84	0.00	110.84
40	Acua	Universidade Federal de Vicosa - Campus Florestal												89.01	0.00	89.01
41	MasBah Aerodesign	Faculdade Horizontina												81.37	0.00	81.37
42	Burning Goose	Universidade Federal do Parana												70.15	0.00	70.15
43	Aerocaria	Pontificia Universidade Catolica do Parana												69.49	0.00	69.49
44	AeroSATC	FASATC - Faculdade SATC												68.10	0.00	68.10
45	IUNA AERODESIGN	Fundacao Herminio Ometto - Uniararas												53.92	0.00	53.92
46	L.O.T.S Aerodesign	Universidade Federal de Itaiuba												46.87	0.00	46.87
47	AeroDuca	Universidade Anhembi Morumbi												27.42	0.00	27.42
48	Aerodactyl	Universidade Federal de Goias												18.44	0.00	18.44
49	AeroCataratas	Universidade Estadual do Oeste do Parana												16.00	0.00	16.00

Fonte: SAE Brasil (2016)

### 4.3. Descrição da Metodologia Proposta

Durante a etapa de aplicação e validação da metodologia proposta, foram encontradas falhas e melhorias que poderiam ser feitas, usando os KPI's de sucesso operacional, sucesso em qualidade e sucesso perceptivo e analisando respectivamente características como: Tempo de desenvolvimento, qualidade do projeto entregue na perspectiva dos resultados alcançados e *feedbacks* obtidos, e qualidade do projeto na percepção da equipe.

A metodologia com fases e atividades bem definidas, possibilitou que a equipe identificasse onde encontravam-se as falhas do primeiro projeto para que fossem corrigidas pontualmente, possibilitando uma redução do tempo de desenvolvimento, podendo ser notada no fato de que a equipe desenvolveu dois projetos em um ano, sendo o AGE II melhorado em um segundo protótipo. Considerando então que a metodologia proporciona uma melhor utilização do tempo de desenvolvimento.

No que diz respeito a qualidade de projeto entregue, tanto na perspectiva dos resultados alcançados, *feedbacks* e na percepção da equipe, precisa-se evoluir no fator competição de projeto, um relatório melhor, livre de falhas na elaboração e envio é fundamental para o alcance de resultados melhores, por isso a metodologia propõe algumas modificações, ilustradas na Figura 87, para que o relatório seja visto com produto e conseqüentemente consiga-se obter melhor avaliação nos quesitos sucesso perceptivo e em qualidade.

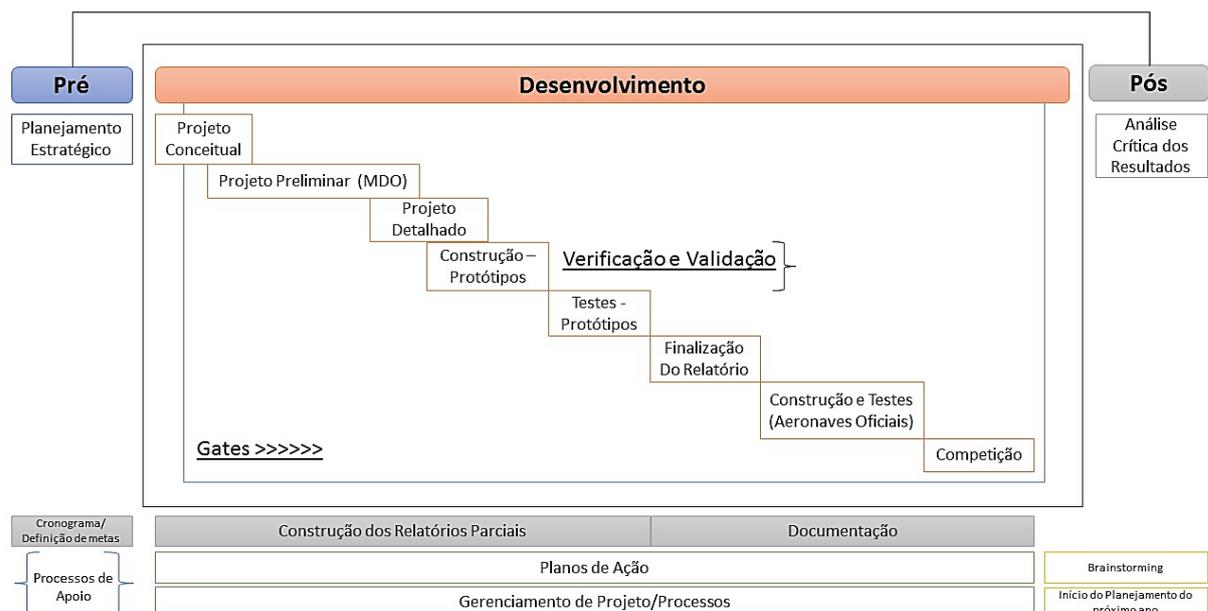


Figura 87: Metodologia Proposta a partir da experiência vivenciada  
Fonte: Autoria Própria

### 4.3.1. Análise Crítica dos Resultados

As atividades da etapa de Análise Crítica devem ser realizadas em grupo, reunindo os membros da equipe em encontros pós competição, para relatar os acontecimentos, identificar e listar todas as falhas e suas causas, assim como elencar possíveis soluções. Listar os acertos e buscar alternativas de melhorias é um fator bastante importante. Em seguida, é necessária a avaliação de tudo o que foi dito pelos jurados da competição, a respeito do relatório de projeto, da construção da aeronave, da qualidade de projeto e principalmente, os pontos que eles pedem para ser melhorados ou acrescentados, a partir daí a equipe deve iniciar um brainstorming da percepção de cada membro a respeito dos resultados, avalia-los e pontuar o que é essencial para chegar a melhores resultados.

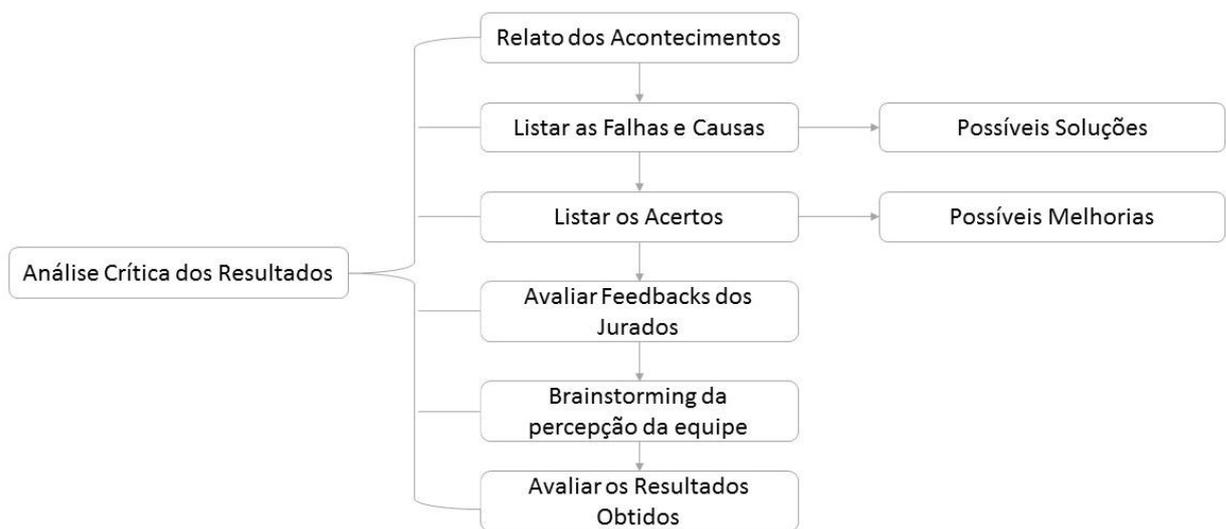


Figura 88: Fase de Análise Crítica dos Resultados  
Fonte: Autoria Própria

### 4.3.2. Planejamento estratégico

A elaboração do Planejamento Estratégico é essencial para que as metas e objetivos sejam bem definidos e para que a equipe compreenda como pode alcançá-los. Essa etapa deve ser feita em reuniões específicas, entre os líderes, membros da gestão e os membros mais experientes da equipe, porém é necessário que novatos acompanhem o processo para entender como deverá ser feito no ano seguinte.

A primeira atividade é a elaboração de uma análise de SWOT, listando todas as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, a partir daí são estabelecidas as metas do ano para a equipe, assim como os objetivos, que devem ser possíveis de alcançar, tendo em mente todos os aspectos elencados anteriormente no SWOT. As metas precisam ter prazos para serem

cumpridos por isso um cronograma precisa ser elaborado. As atividades do planejamento estratégico encontram-se ilustradas na Figura 89.



Figura 89: Fase de Planejamento Estratégico  
Fonte: Autoria Própria

### 4.3.3. Projeto Conceitual

O Projeto Conceitual é uma fase que deixa bastante dúvidas quando trata-se de *AeroDesign*, como o objetivo é levar carga, quase sempre, os regulamentos deixam margem para diversos tipos de aeronave e geralmente utiliza-se a etapa de Otimização Multidisciplinar para definir a geometria ótima para aquele tipo de regulamento. Por isso, na maioria dos casos a saída do Conceitual algumas alternativas de aeronave.

A primeira atividade do Projeto Conceitual é a realização de uma análise minuciosa do regulamento da competição, analisando a sensibilidade de cada equação de pontuação, indicando necessidade de atenção características específicas do projeto, dando bastante atenção para as restrições dimensionais, geométricas, de motor, elétrica, etc.

A partir dessa análise, inicia-se a busca pelos requisitos de projeto, que precisam contemplar as restrições geométricas e dinâmicas e o que a equipe busca para o projeto. A elaboração da uma matriz QFD, é essencial nesta atividade, para as características conceituais e valores sejam relacionados possibilitando da lista de prioridades da aeronave seja elaborada. Contendo requisitos indispensáveis para o sucesso do projeto.

A partir daí as decisões conceituais de projeto são tomadas, onde são definidas as características externas básicas da aeronave e só então um esboço é delimitado. É importante a utilização de *benchmarking* e de outros métodos comparativos, observando sempre as

fotografias das outras aeronaves, outros regulamentos, utilizando informações observadas nas apresentações orais e os resultados obtidos em termos de carga paga, eficiência estrutural, peso vazio e bonificações. Utilizando como referência os bons resultados dos concorrentes e as características das aeronaves que obtiveram melhor desempenho. As atividades da etapa de Projeto Conceitual encontram-se ilustradas na Figura 90.



Figura 90: Fase de Projeto Conceitual  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.3.4. Otimização Multidisciplinar

A Otimização Multidisciplinar é realizada substituindo a etapa de Projeto Preliminar, a partir da elaboração de um algoritmo de otimização onde são definidas as características geométricas mais precisas e o MTOW da aeronave é estimado. As principais características geométricas da aeronave são saídas da etapa de MDO, como por exemplo: envergadura e afilamento da asa e empenagem, altura com relação ao solo, distância asa-empenagem, percentual retangular e trapezoidal da asa. Mas as saídas dependem bastante do tipo e do objetivo do algoritmo e de quais foram as entradas do MDO.

Como *gate* da etapa de Otimização Multidisciplinar deve ser realizado um conjunto de testes preliminares usando os *softwares* XFRL5, STAR-CCM+®, Excel, MATLAB®, Solidworks, e a otimização em ModeFrontier verificar as características geométricas, convergência dos resultados, e verificar se a aeronave atende aos requisitos e obedece às restrições do regulamento e só então partir para a etapa de Projeto Detalhado.

#### 4.3.5. Projeto Detalhado

Nesta fase é realizado o processo de detalhamento do projeto, refinando os cálculos aerodinâmicos, desempenho e estabilidade e dimensionando as estruturas na busca por uma aeronave leve. A fase de MDO traz uma estimativa de MTOW, mas no projeto detalhado são feitas verificações. Buscando otimizar a carga útil da aeronave e diminuir seu peso vazio.

Realizar um mapeamento de atividades é essencial para melhorar o fluxo de informações do projeto, pois há uma dependência muito grande de dados entre setores e é fundamental que haja um entendimento dos *inputs* e *outputs* de cada área. A Figura 91, indica como o Projeto Detalhado é dividido, deixando claro que como cada setor se ramifica depende do direcionamento da equipe, como é o caso do F-Carranca Map, elaborado especificamente para o direcionamento da equipe. Uma das principais saídas desta etapa é o desenho detalhado, com os componentes já dimensionados e com fixações e materiais bem definidos.



Figura 91: Fase de Projeto Detalhado  
Fonte: Autoria Própria

#### 4.3.6. Construção e Testes de Protótipos

A construção e teste de protótipos precisa ser feita como forma de verificar e validar o projeto. Para que haja fidelidade entre a aeronave projetada e a que será construída é necessário que as atividades da manufatura sejam bem definidas, com processos seguros e padronizados, a elaboração de planos de fabricação é fundamental para garantir a qualidade construtiva da aeronave.

Devem ser realizados teste de chão e testes de voo, avaliando a corrida, alinhamento, resposta dos comandos, e entre outros parâmetros que a equipe decidir avaliar. Esses itens devem compor um *check list* de testes, trabalhado como *gate* de projeto, pontuando as mudanças e melhorias necessárias, deixando claro os parâmetros com desempenho insatisfatório.

Além dos parâmetros avaliados, os testes servem para que o MTOW, distância decolagem e pouso, eficiência do sistema elétrico da aeronave sejam validados, fatores essenciais para a finalização dos relatórios.

#### **4.3.7. Finalização dos Relatórios**

Um dos grandes problemas encontrados durante a aplicação da metodologia foi o fato de não enxergar o relatório técnico com produto do projeto, assim com a aeronave é vista. Por isso a necessidade de inserir uma etapa específica para a finalização do relatório, que precisa ser construído gradativamente durante o projeto, mas durante esta fase, todas as etapas do projeto devem ser descritas, revisadas e corrigidas antes da entrega.

Garantir um relatório bem escrito, bem referenciado, didático e objetivo é essencial para o alcance de bons resultados na competição. Mostrando as escolhas de projeto, como foram feitas e porque foram feitas. Provando sempre que dentro de um contexto específico, aquela foi a escolha ótima.

#### **4.3.8. Construção e Testes de Aeronaves Oficiais**

A aeronaves oficiais devem ser construídas e testadas antes da competição, para que sejam feitos os ajustes nos comandos, verificar possíveis falhas e realizar as correções necessárias. Deve-se evitar falhas e retrabalhos. A etapa ocorre após o período da entrega de relatório e pelo fato de não haver possibilidades de rever o projeto, pois configura penalidade, o ideal é buscar a fidelidade de projeto, e alcançar o peso vazio informado em relatório.

Os testes das aeronaves oficiais são feitos apenas para trimagem, realizando os ajustes dos comandos, para que em voo oficial as aeronaves tenham o desempenho mais satisfatório, diminuindo o risco de que ocorram falhas graves de resposta de comandos durante o voo.

#### **4.3.9. Competição**

A competição ocorre em duas etapas, competição de projeto e competição de voo. As orientações a respeito da realização da competição, a sequência de atividades e os parâmetros

de pontuação serão descritas no regulamento do ano corrente, que está sempre passivo de mudanças, por isso deve ser feita uma análise minuciosa do texto do regulamento para que entender todas as orientações e para que falhas não sejam cometidas nas etapas de apresentação e competição de voo, obedecendo a todas as restrições e requisitos impostos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma metodologia de desenvolvimento de projeto de aeronaves, como contribuição para o *AeroDesign*, que foi aplicada ao projeto 2016 da equipe F-Carranca *AeroDesign* da Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Como primeiro passo do trabalho, foi realizado um estudo sobre as principais metodologias de projeto de aeronaves, o modelo genérico do processo de desenvolvimento de produto (PDP), os requisitos de qualidade de projeto do produto e o desenvolvimento de sistemas complexos na indústria aeronáutica. Foram estudadas também as principais ferramentas gerenciais, de qualidade e controle de processos. A partir do estudo foram identificadas as necessidades de um projeto de *AeroDesign* e aí então, baseado nos estudos realizados, a metodologia de projeto foi proposta por este trabalho, especificando e descrevendo as fases. A metodologia foi aplicada durante o ano de 2016, ao projeto, dando origem ao capítulo 4 deste trabalho.

Foi possível fazer algumas considerações a respeito do desenvolvimento do projeto, e como foi possível observar nos resultados apresentados no capítulo 4, diversos erros foram cometidos, o primeiro deles, foi a nível conceitual, que incorreu em custos com uma aeronave que tinha problemas relacionados a propagação de estol e levou ao retrabalho, a nível de projeto, na busca por uma solução de aeronave com o desempenho em termos de MTOW equivalente ou superior ao da aeronave descartada e que não tivesse o mesmo problema que o AGE I e a nível de manufatura.

Permanece então, como lição aprendida sobre a importância da fase conceitual, trabalhando melhor os *trade-offs* de projeto, pois as decisões equivocadas tomadas durante essa etapa acarretam em falhas maiores no decorrer das atividades, e quanto mais próximo do final do ciclo, mais difícil se torna a correção de um erro.

O segundo grande erro cometido no projeto 2016 foi a falha no envio do relatório, ocasionando uma perda de pontuação. Essa pontuação perdida poderia, juntamente com a bonificação de confiabilidade, que foi zerada, ter levado a equipe ao pódio.

Analisando os dados, é possível perceber que existe uma necessidade de melhoria da qualidade de relatório técnico de projeto, já que existia uma aeronave competitiva, com o principal requisito de projeto atendido, alto valor de MTOW, mas, não só a falha no envio

prejudicou a pontuação, a qualidade de escrita de relatório não era satisfatória, segundo *feedback* dado pelos jurados.

Em termos de validação do trabalho, a metodologia proposta foi bastante importante para que fosse possível a realização de um novo projeto em um espaço de tempo tão curto, principalmente por direcionar um sequenciamento de atividades e as ferramentas gerenciais, de qualidade ou de controle, pudessem auxiliar na realização das tarefas. Destacando a grande importância das etapas de pré e pós desenvolvimento para que se consiga alcançar resultados satisfatórios.

Valida-se a metodologia proposta quando comparam-se os KPI's de sucesso operacional, sucesso em qualidade e sucesso perceptivo e analisando respectivamente características como: Tempo de desenvolvimento, qualidade do projeto entregue na perspectiva dos resultados alcançados e *feedbacks* obtidos, e qualidade do projeto na percepção da equipe.

A metodologia com fases e atividades bem definidas, possibilitou que a equipe identificasse onde encontravam-se as falhas do primeiro projeto para que fossem corrigidas pontualmente, possibilitando uma redução do tempo de desenvolvimento, podendo ser notada no fato de que a equipe desenvolveu dois projetos em um ano, sendo o AGE II melhorado em um segundo protótipo. Considerando então que a metodologia proporciona uma melhor utilização do tempo de desenvolvimento.

No que diz respeito a qualidade de projeto entregue, tanto na perspectiva dos resultados alcançados, *feedbacks* e na percepção da equipe, precisa-se evoluir no fator competição de projeto, e algumas modificações foram sugeridas, como a de adicionar a etapa de finalização de relatório, o enxergando como produto, e conseqüentemente melhorando avaliação nos quesitos sucesso perceptivo e em qualidade.

Conclui-se então, a importância de adaptar modelos genéricos as necessidades de cada organização, equipe ou empresa, no caso do *AeroDesign*, as equipes precisam adequar a metodologia a sua estrutura organizacional e gerencial, de maneira que se torne mais simples e eficiente gerenciar as atividades. Desenvolver boas técnicas de gestão é uma consequência do conhecimento que a equipe adquire ao longo das participações, percebendo a necessidade do uso de ferramentas e métodos gerenciais para atingir um bom nível de qualidade de projeto.

## Referências Bibliográficas

- ABNT CATALOGO, 2015. Disponível em:  
<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=345041>. Acesso em: 16/03/2016.
- Aeroin – Galeria de Fotos. Disponível em: < <https://www.flickr.com/photos/aeroin/sets/>> .  
Acesso 05 de maio de 2016
- AGUIAR, R. A. A. de. Desenvolvimento de produtos e protótipos: o caso do projeto aerodesign do CEFET/RJ. 2005. In: Congresso Brasileiro de Ensino e Engenharia, 33, 2005 - Campina Grande. Anais... Paraíba: CEFET, 2005
- ALVES, Z. M. M. B.; SILVA, M. H. G. F. D. da. **Análise qualitativa de dados de entrevista: uma proposta.** *Paidéia (Ribeirão Preto)* [online]. 1992, n.2, pp.61-69. ISSN 0103-863X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-863X1992000200007>.
- AMARAL, D. C. Arquitetura para gerenciamento de conhecimentos explícitos sobre o processo de desenvolvimento de produto. 2002, 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: [http://alvarestech.com/temp/PDP2011/CDAndrea/Tese\\_DANIEL%202002.pdf](http://alvarestech.com/temp/PDP2011/CDAndrea/Tese_DANIEL%202002.pdf). Acesso em 22 mar. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9001: 2008 Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008. 28 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9001: 2015 Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
- BACK, N. et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Malone, 2008.
- BARROS, C. P. Uma metodologia para desenvolvimento de aeronaves leves subsônicas. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Minas Gerais, 2001.
- BLOCKLEW, R.; SHYY, W.; WILLEY & SONS, J. Encyclopedia of aerospace engineering. Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2010.
- CHENG, L. C. QFD em desenvolvimento de produto características metodológicas e um guia para intervenção. *Revista Produção On Line*, v. 3, n. 2, 2003.
- CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. D. R., QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. Belo Horizonte: Edgard Blucher, 2007. 568 p.
- Confederação Nacional dos Metalúrgicos da CUT- CNM/CUT, Federação dos Sindicatos Metalúrgicos da CUT/SP - FEM-CUT/SP, Sindicato dos Metalúrgicos do ABC, Sindicato dos Metalúrgicos de Sorocaba e Sindicato dos Metalúrgicos de Taubaté . A INDÚSTRIA

AEROESPACIAL E DA DEFESA NO BRASIL - Diagnóstico e Propostas elaboradas pelos Metalúrgicos da CUT. São Paulo, 2012.

CUNHA, G. D. Uma Análise da Evolução dos Procedimentos de Execução do Desenvolvimento de Produtos. Revista Produto & Produção, Porto Alegre, v. 7, n. 1. 2004.

DA ROSA, E., Introdução ao projeto aeronáutico: uma contribuição ao projeto SAE *AeroDesign*. Florianópolis: UFSC/GRANTE, 2006.

DAVILA, T. An empirical study on the drivers of management control systems design in new product development. *Account, Organizations and Society*, v. 25, p. 383-409, 2000.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0361-3682\(99\)00034-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0361-3682(99)00034-3)

DEPARTMENT OF DEFENSE – DOD. 1998. Integrated Product and Process Development Handbook (IPPD Handbook). Washington: DOD, 1998. Disponível em:  
<http://www.acq.osd.mil/se/docs/DoD-IPPD-Handbook-Aug98.pdf>. Acesso em 14 mar. 2016.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – EESC. Resultado Competição SAE Brasil *Aero Design* 2013. São Paulo: USP, 2013. Disponível em:  
[http://www.eesc.usp.br/AeroDesign/conteudo/resultados/brasil/2013/AD2013\\_Classificacao\\_Regular.pdf](http://www.eesc.usp.br/AeroDesign/conteudo/resultados/brasil/2013/AD2013_Classificacao_Regular.pdf). Acesso em: 04/02/2016.

F-Carranca Univasf – Disponível em:<  
<https://www.facebook.com/f.carranca/?ref=bookmarks>>. Acesso em 05 de maio de 2016

F-Carranca, AeroDesign. Relatório Técnico de Projeto. Juazeiro: Universidade Federal do Vale do São Francisco. Bahia, 2016

FERREIRA, M. J. B.; MELLO, C. H.; MARQUES, R. Relatório de Acompanhamento Setorial: Indústria Aeronáutica. Brasília: ABDI/UNICAMP, 2009, v. 3. Disponível em:  
<http://www.abdi.com.br/Estudo/Aeron%C3%A1utica%20-%20junho2009.pdf>. Acesso em: 16 Mar. 2016.

FERREIRA, P. L. Capital intelectual na indústria de private equity e venture capital: Um estudo sob a ótica dos Investidores Institucionais e Gestores de Fundos. 2010, 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

FETTER, D. FORSTER, E. PEIXOTO, L. C. DIESEL, L. EGERT, F. A. MORAES, J. A. Desenvolvimento de uma metodologia de gestão aplicada ao projeto de uma aeronave não tripulada rádio controlada. In: SALÃO DE ENSINO E DE EXTENSÃO. 2., 2011, Santa Cruz do Sul. Anais... Rio Grande do Sul: UNISC, 2011.

GIL, A. C., Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 6ª ed.. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2008.

KOTLER, P.; KELLER, K. Administração de marketing. 12ª ed.. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

LAURENTI, R.; VILLARI, B. D.; ROZENFELD H. Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura. P&D em Engenharia de Produção, Itajubá, v. 10, n. 1, p. 59-70, 2012.

LAWRENCE, P. R.; LORSCH, J. W. As empresas e o ambiente: diferenciação e integração administrativas. Petrópolis: Vozes, 1973.

LOOS, M. J.; CAUCHICK, A. Utilização do QFD no desenvolvimento de novos produtos: uma análise das publicações em periódicos nacionais. Produto & Produção, Santa Catarina, vol. 15, n. 3, p. 17-31, out. 2014

MACHADO, L. G. Aplicação da Metodologia PDCA: Etapa P (Plan) com Suporte das Ferramentas da Qualidade. 2007 . Monografia (Graduação em Engenharia de Produção)- UFJF, Minas Gerais, 2007.

MORETTI, C.I.; SPAK, M.D.S.; SILVA, L.C.S, Modelos de referência para desenvolvimento de produtos: análise da contribuição acadêmica. 2012. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2012- Bento Gonçalves. Anais... Rio Grande do Sul: UTFPR, 2012.

OLIVEIRA, L. G. de. **O desenvolvimento de projetos de sistemas complexos na indústria aeronáutica: o caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170.** *Cad. EBAPE.BR* [online]. 2009, vol.7, n.1, pp.19-33. ISSN 1679-3951. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-39512009000100003>.

ONROYAMA, M.M.; TOLEDO, J.C. A gestão do processo de desenvolvimento de produtos em empresas fornecedoras de bens de capital para o Setor Sucroalcooleiro. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 8, 2011- Porto Alegre. Anais... Rio Grande do Sul: UFScar, 2011.

PAULA, J. O. de; MELLO, C. H. P. **Seleção de um modelo de referência de PDP para uma empresa de autopeças através de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios.** *Prod.* [online]. 2013, vol.23, n.1, pp.144-156. Epub 30-Out-2012. ISSN 0103-6513. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132012005000082>.

PEÇANHA, A. da S.; Silva, C. E. S. da; Barbêdo, S. A. D. Contribuições da ISO 9001:2000 ao Processo de Desenvolvimento de Produtos. 2003. In: Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos , 4, 2005 –Gramado. Anais... Rio Grande do Sul: UNIFEI, 2003

PINTO, R. S.; FONTENELLE, M.A.M. Desdobramento da função qualidade-QFD no processo de desenvolvimento de produtos: Uma aplicação prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 33, 2013- Salvador. Anais...Bahia: UFERSA ,2013.

Portal SAE Brasil – Programas Estudantis: Aerodesign. Disponível em: <  
<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-aerodesign>> . Acesso em 05 de maio de 2016

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C., Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico – 2ª ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE-PMI. A Guide to the Project Management Body of Knowledge(PMBoK). 4.ed. PMI Standard- ANSI, 2008.

RAYMER, D. Aircraft Design: A Conceptual Approach. Washigton: AIAA Education Series, 1992.

REBELATO, M.G.; RODRIGUES, A. M.; CAMPAGNARO, C. A. Visão Integrada sobre as Ferramentas Voltadas ao Planejamento da Qualidade do Produto/Processo e à Prevenção de Não Conformidades. Revista de Administração da UNIMEP. Piracicaba, v.8, n.3, 2010. Disponível em: <http://www.regen.com.br/ojs/index.php/regen/article/view/272>. Acesso em 19 mar. 2016.

RODRIGUES, L. E. M. Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações ao Projeto SAE-*AeroDesign* - Análise de Estabilidade, Análise Estrutural, Metodologia de Projeto e Relatório de Projeto, vol.2, 1 ed. rev. – São Paulo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2011.

ROSKAN, J. Airplane Design – Part I Preliminary Sizing of Airplanes. Kansas: Roskan Aviation and Engineering Corporation, 1985.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. v. 1. 542 p.

SAE *AeroDesign* Brasil, 2014. Disponível em:  
[http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas\\_estudantis/aero2014/Mensagens.aspx](http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/aero2014/Mensagens.aspx) .  
Acesso em : 04/02/2016.

SAE *AeroDesign* Brasil, 2015. Disponível em:  
[http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas\\_estudantis/aero2015/aero.aspx](http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/aero2015/aero.aspx). Acesso em:  
04/02/2016.

SAE Brasil, 18ª Competição SAE Brasil *AeroDesign* 2016: Classes Regular, *Advanced* e Micro- Regulamento da competição, São José dos Campos, São Paulo, 2016. Disponível em:  
[http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas\\_estudantis/arquivos/Regulamento\\_SAE\\_BRA\\_SIL\\_AeroDesign\\_2016\\_Rev01.pdf](http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/arquivos/Regulamento_SAE_BRA_SIL_AeroDesign_2016_Rev01.pdf). Acesso em: 08 Mar. de 2016.

SALGADO, E. G; SALOMON, V. A. P.; MELLO, C. H. P.; FASS, F. D. M.; XAVIER, A. F. Modelos de referência para desenvolvimento de produtos: classificação, análise e sugestões para pesquisas futuras. Revista Produção Online v.10, n.4, 2010.

SILVA, C. R. O. Metodologia do trabalho científico. Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.

SOTILLE, M. A. *et al.* Gerenciamento dos projetos: Como definir e controlar o escopo do projeto. 2 ed..São Paulo: Saraiva, 2009.

TORENBEEK, E. Synthesis of subsonic airplane design. Rotterdam: Nijgh-Wolters-Noordhoff, Universitaire Uitgevers B.V. 1976.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

VIEIRA, S. Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

VIGORENA, D.A; BATTISTI, P.S. Procedimentos de coleta de dados em trabalhos de conclusão do curso de Secretariado Executivo da Unioeste/PR. Revista do Secretariado Executivo, Passo Fundo, p. 95-111, n. 7, 2011.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

## GLOSSÁRIO

**Aileron** - Superfícies móveis no bordo de fuga da asa, que auxiliam as manobras de curva da aeronave

**Ângulo de ataque** – Ângulo formado entre o vento relativo e a corda do aerofólio

**Arrasto** – Força de resistência ao avanço de um veículo, resultante da ação do meio

**Berço** – Local de fixação do grupo moto-propulsor

**Bequilha** – Roda traseira das aeronaves convencionais

**Bordo de ataque** – Seção dianteira de uma asa

**Bordo de fuga** – Seção posterior de uma asa

**Cabrar** – Puxar o manche para a aeronave subir

**CG** – Centro de gravidade

**Corda** – Linha reta que liga o bordo de ataque ao bordo de fuga

**Diedro** – Inclinação da asa em relação ao eixo transversal da aeronave

**Efeito solo** – Composição de dois efeitos diferentes: aumento da sustentação devido a proximidade do solo e a redução do arrasto gerado pelo “vórtice de ponta” das asas

**Empenagem** – Conjunto de superfícies que conferem estabilidade e controle direcional à aeronave, que incluem estabilizador vertical, leme de direção, estabilizador horizontal e profundor (leme de profundidade, responsável pelo movimento de subir e descer da aeronave)

**Envergadura** – Medida entre as duas pontas da asa

**Superfície horizontal** – Pequena asa localizada na parte traseira da aeronave, que é responsável pelo movimento em torno do eixo lateral (subir e descer). Faz parte do estabilizador horizontal a superfície móvel do profundor (leme de profundidade)

**Superfície vertical** – Superfície aerodinâmica que incorpora o leme direcional, responsável pelo movimento da aeronave em torno do eixo vertical

**Estol** – Perda de sustentação

**Flape** (flap) – Dispositivo hipersustentador que aumenta a curvatura da asa e, por consequência, a sustentação da aeronave

**Flape de bordo de ataque** (leading edge) – Dispositivo hipersustentador instalado na parte dianteira da asa que permite à asa produzir maior sustentação, permitindo, assim, que a aeronave decole ou aproxime com velocidades mais baixas, utilizando menos pista

**Kevlar** – Fibra leve derivada do Nylon, mas bastante resistente

**Longarina** – Principal elemento estrutural de asa e que está interligado à fuselagem

**MTOW** (Maximum Takeoff Weight) – Peso máximo de decolagem

**Slat** – Dispositivo hipersustentador que permite à asa produzir maior sustentação

**Tail Boom** - Estrutura da aeronave que tem como função principal ligar a superfície sustentadora da aeronave com as superfícies estabilizadoras

**Trem de pouso escamoteável** – Trem de pouso que recolhe e fica alojado em compartimento fechado

**Triciclo** – Aeronave configurada com um trem principal na asa e uma roda dianteira (triquilha)

**Trem de Nariz** – Roda dianteira de uma aeronave do tipo triciclo (trem principal nas asas)

**Wing fences** – Dispositivos que evitam o estol nas pontas da asa em virtude do atrito da camada limite (fina camada de ar de baixa velocidade aderente à superfície externa do avião) durante o percurso da mesma da raiz para as pontas da asa

**Winglets** – Dobras nas pontas da asa, que melhoram a aerodinâmica da aeronave, proporcionando mais economia de combustível