

UNIVERSIDADE  
BEIRA INTERIOR

# O Processo de Projeto de Aeronaves

## Projeto de Aeronaves (15096)

Licenciatura em Engenharia Aeronáutica

2024

Pedro V. Gamboa

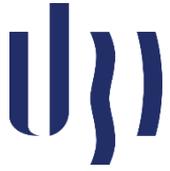
Departamento de Ciências Aeroespaciais

Faculdade de Engenharia

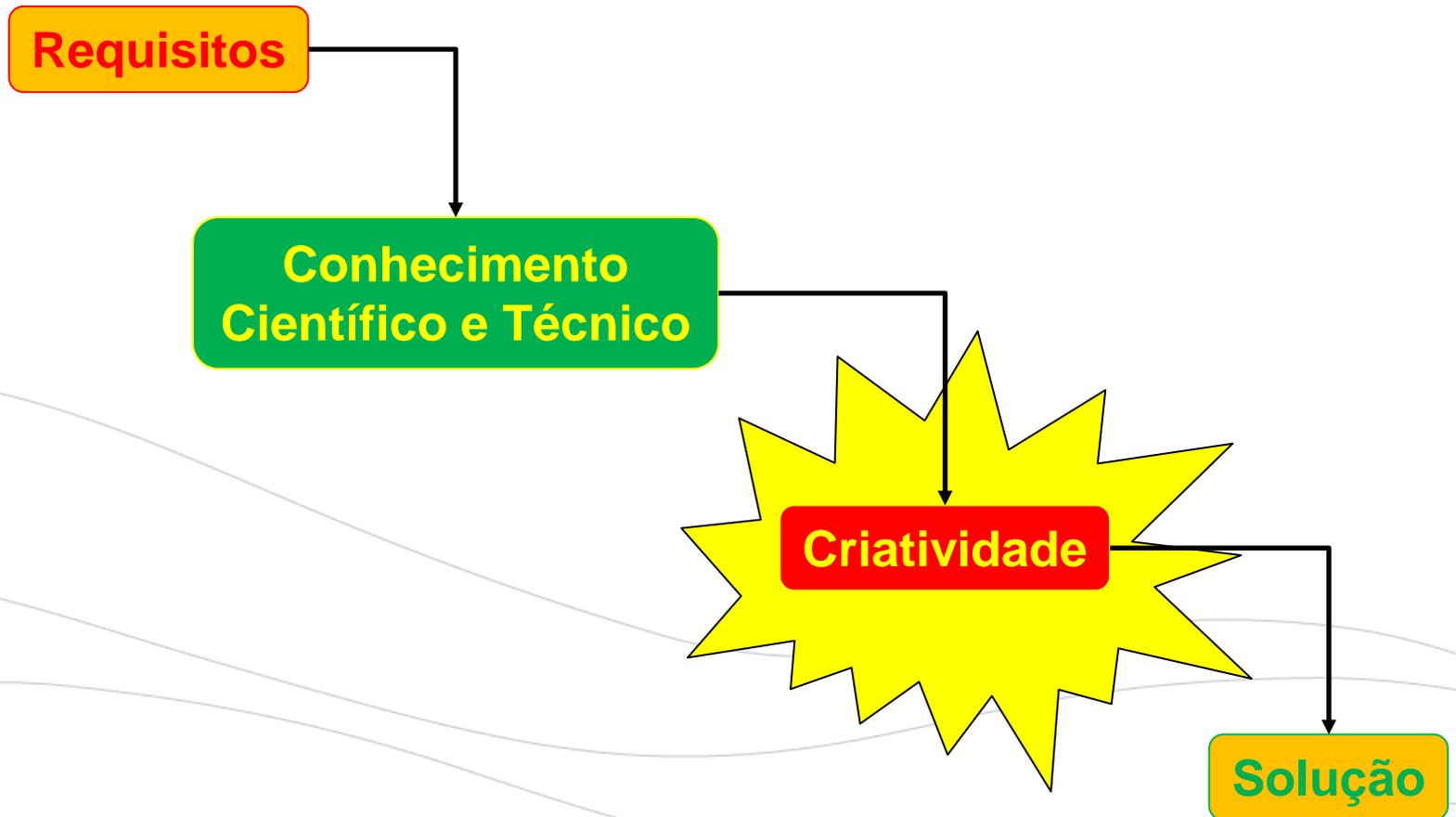


# 1. Introdução

- O projeto de uma aeronave nasce, geralmente, da troca de sugestões entre construtor e comprador, mas pode nascer da iniciativa da entidade projetista
- O projeto de aeronaves é um compromisso entre muitos fatores e constrangimentos opostos
- É importante reconhecê-los e compreender a influência de cada um na configuração e no desempenho da aeronave



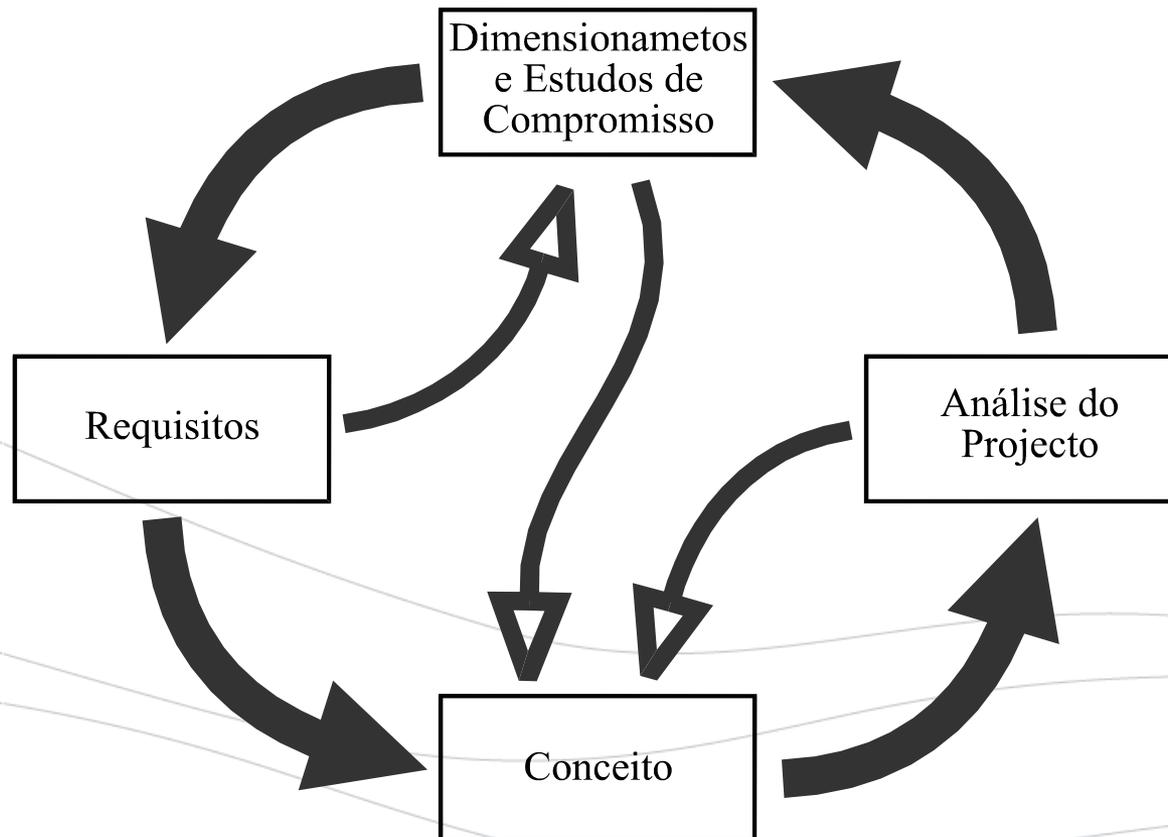
# 1. Introdução





## 2. O que é o Projeto?

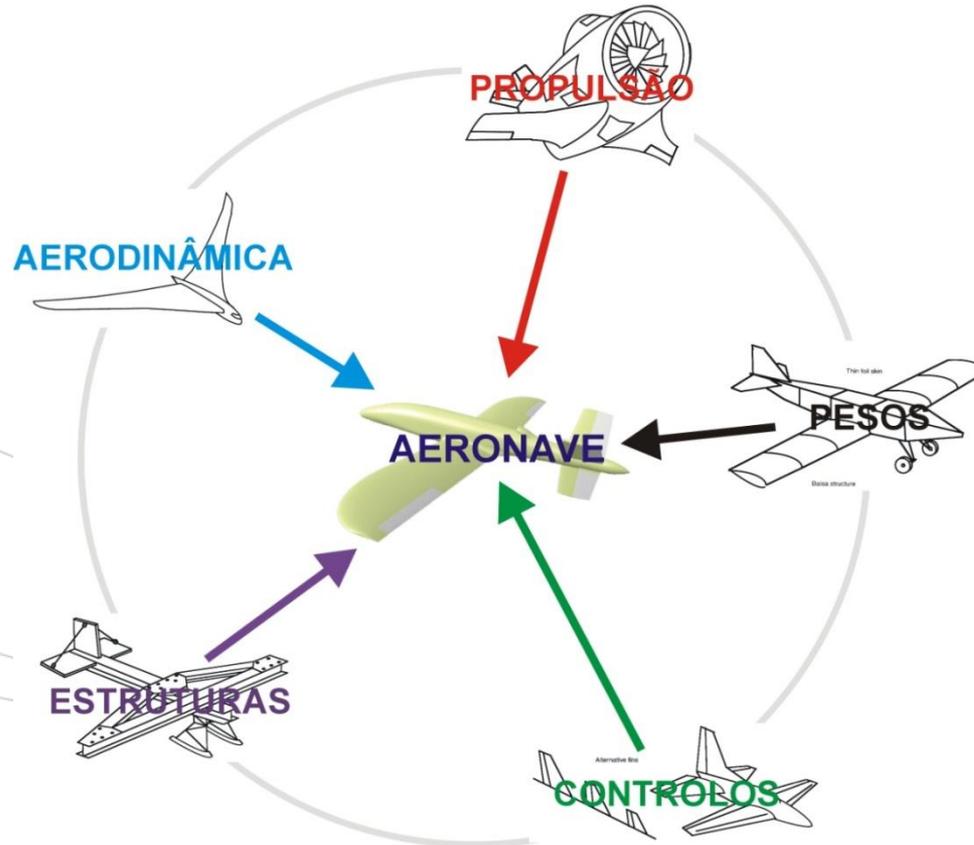
- O projeto de aeronaves é uma sequência de estudos direcionados para a construção de uma aeronave viável





# 3. Projeto multidisciplinar

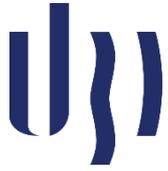
- O projeto de aeronaves é multidisciplinar.
- Todas as disciplinas contribuem para um objetivo comum





## 4. Processo de projeto

1. Definir o problema, definir o objetivo do produto, traduzir este objetivo em parâmetros de desempenho e estabelecer medidas de mérito para o custo, a facilidade de fabricação e o desempenho
2. Recolher dados sobre os requisitos e limites do problema, projetos existentes, tecnologias disponíveis e métodos de análise
3. Criar ou sintetizar um ou mais conceitos e descrevê-los em palavras, parâmetros, diagramas, desenhos, etc.
4. Selecionar os tipos de análise necessários para avaliar o(s) conceito(s)
5. Analisar, registrar e comunicar os resultados
6. Tomar decisões: Vai funcionar? Qual ideia é a melhor? O que deve ser mudado? As medidas de mérito são razoáveis? Se forem necessárias alterações, voltar ao ponto 1 ou 2 e repetir o ciclo



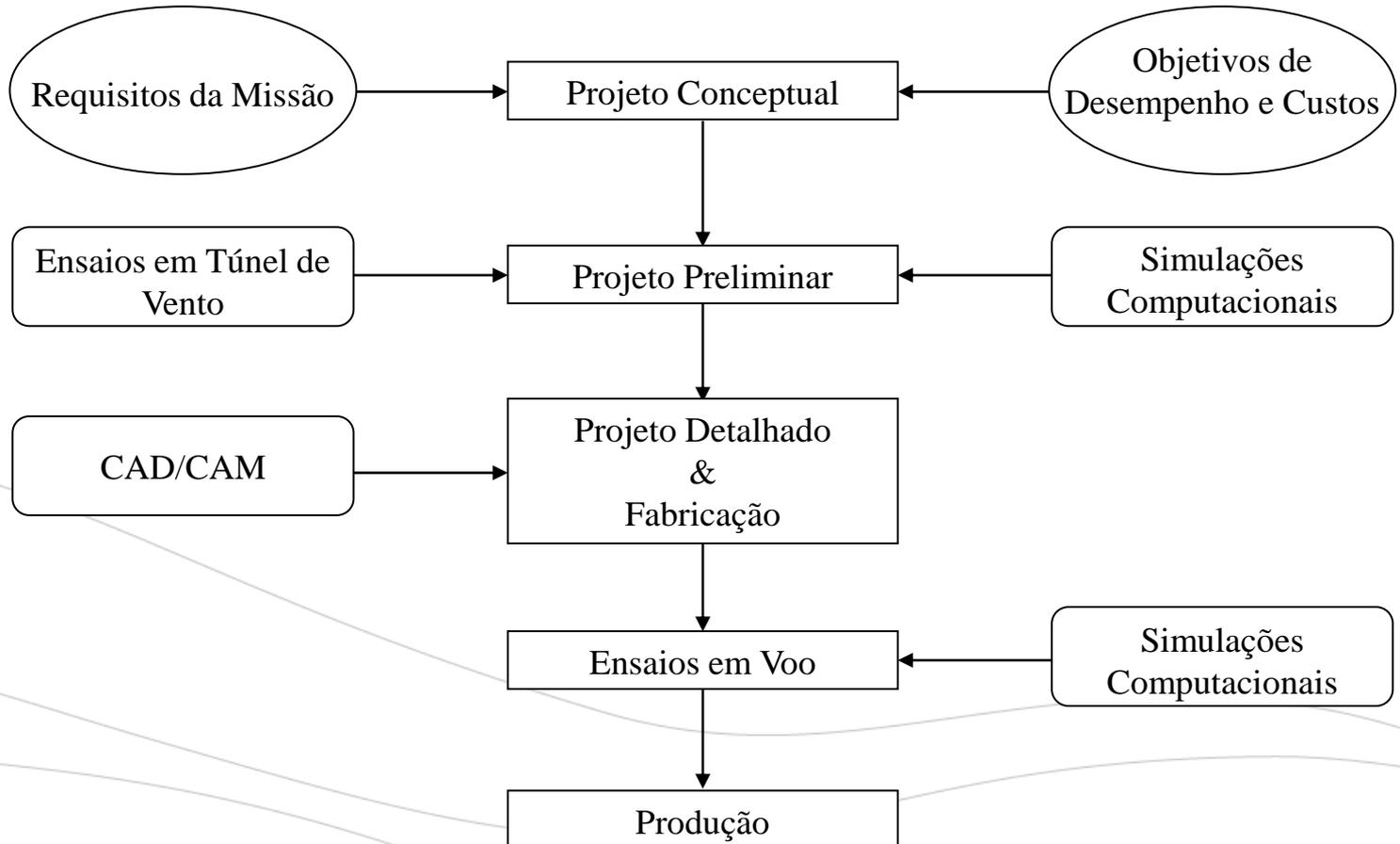
## 5. Fases do projeto

- O **processo de projeto clássico** é dividido em três fases:
  - **Projeto conceptual:**
    - O objetivo desta fase é selecionar um conceito viável e otimizá-lo o mais possível;
  - **Projeto preliminar:**
    - Depois de escolhido o conceito, mais iterações no processo de projeto são necessárias para selecionar os materiais, definir as dimensões, estruturas e funções do projeto. São realizadas simulações em computador e modelos físicos são construídos e testados;
  - **Projeto detalhado:**
    - Nesta fase o produto é preparado para a produção. O projeto é descrito em completo detalhe e os processos de fabrico são planeados. Desenhos detalhados, listas de materiais e estimativas detalhadas de custos são preparadas. Normalmente constrói-se um protótipo para ensaios.



## 5. Fases do projeto

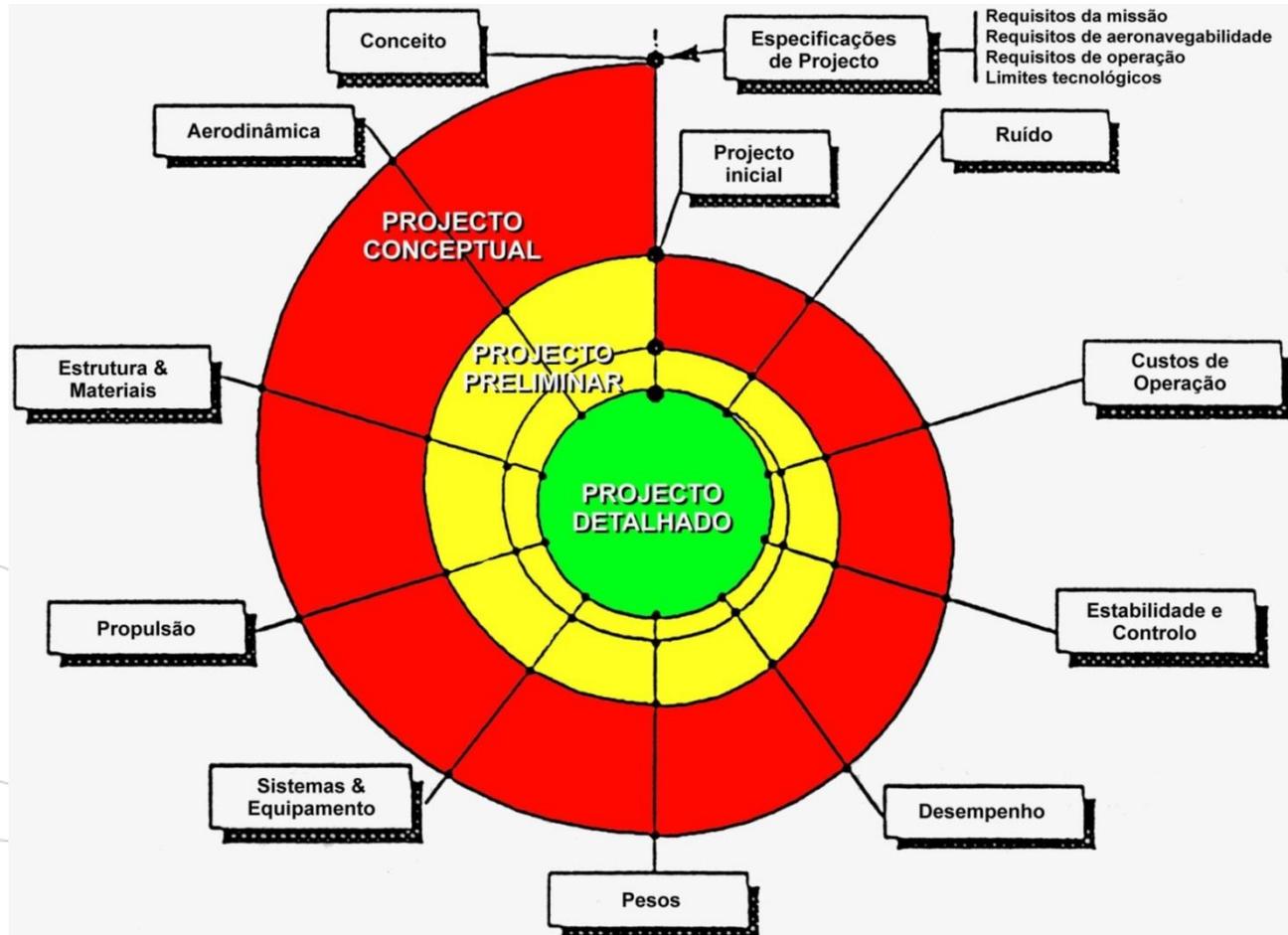
# Projeto clássico





## 5. Fases do projeto

# Projeto clássico





## 5. Fases do projeto

# Projeto clássico

O Processo de Projeto de Aeronaves

Requisitos

Projeto  
Conceptual

- Irá funcionar?
- Que requisitos guiam o projeto?
- Qual deve ser o aspeto?
- Qual deve ser o seu peso e custo?
- Que compromissos se devem considerar?
- Que tecnologias se devem usar?
- Os requisitos levam a um avião viável?

Projeto  
Preliminar

- Configuração.
- Desenvolver a traçagem (definição da superfície).
- Desenvolver testes e análises.
- Otimização.
- Desenhar componentes principais.
- Desenvolver estimativa de custo real (estatística).

Projeto  
Detalhado

- Definir a configuração interna (estrutura e sistemas).
- Desenhar as peças.
- Testar componentes principais (estrutura, trem, etc.).
- Finalizar estimativa de peso e desempenho.

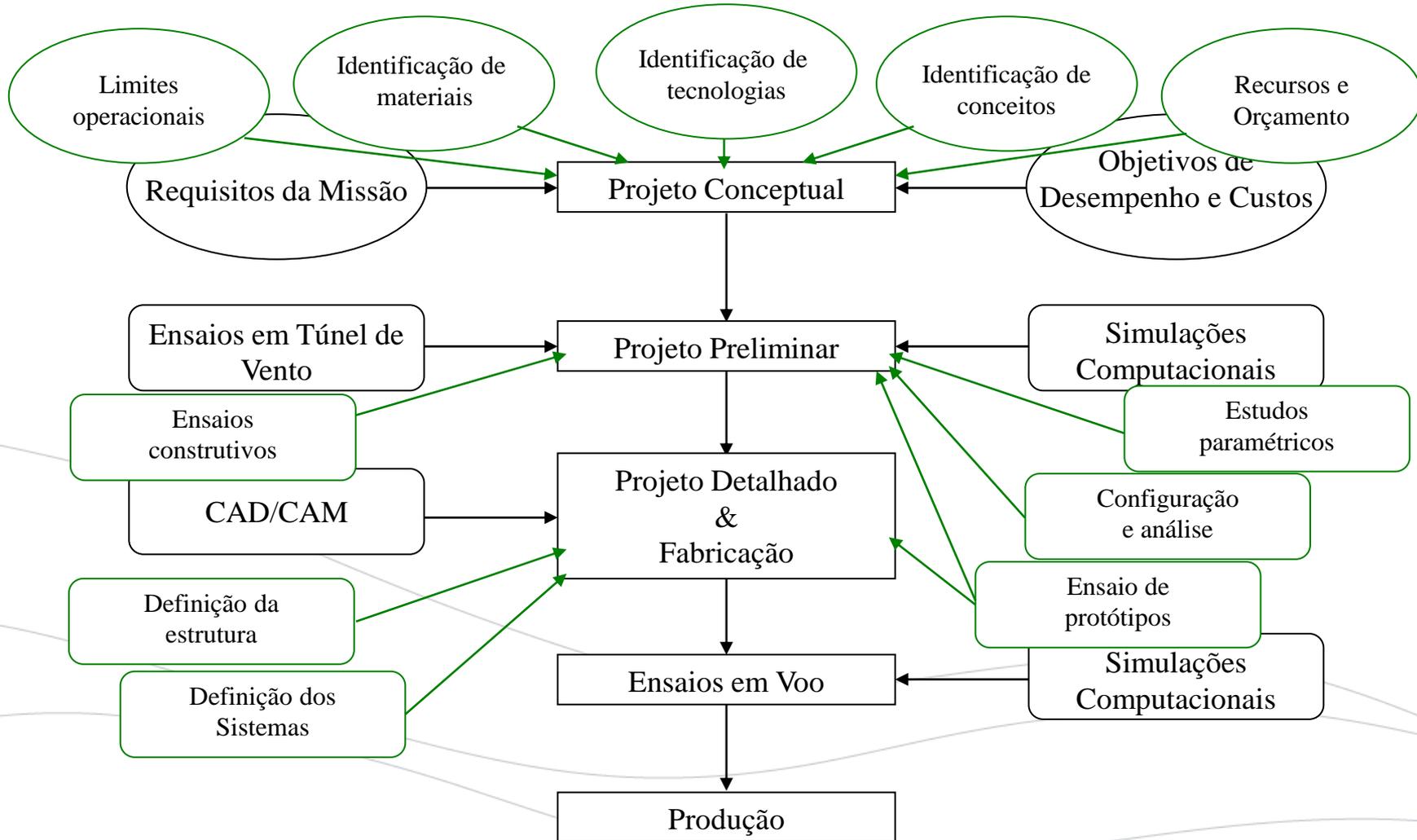
Projeto de  
Produção

**Ensaio  
construtivos,  
avaliação de  
tecnologias,  
avaliação de  
protótipos, etc.**



## 5. Fases do projeto

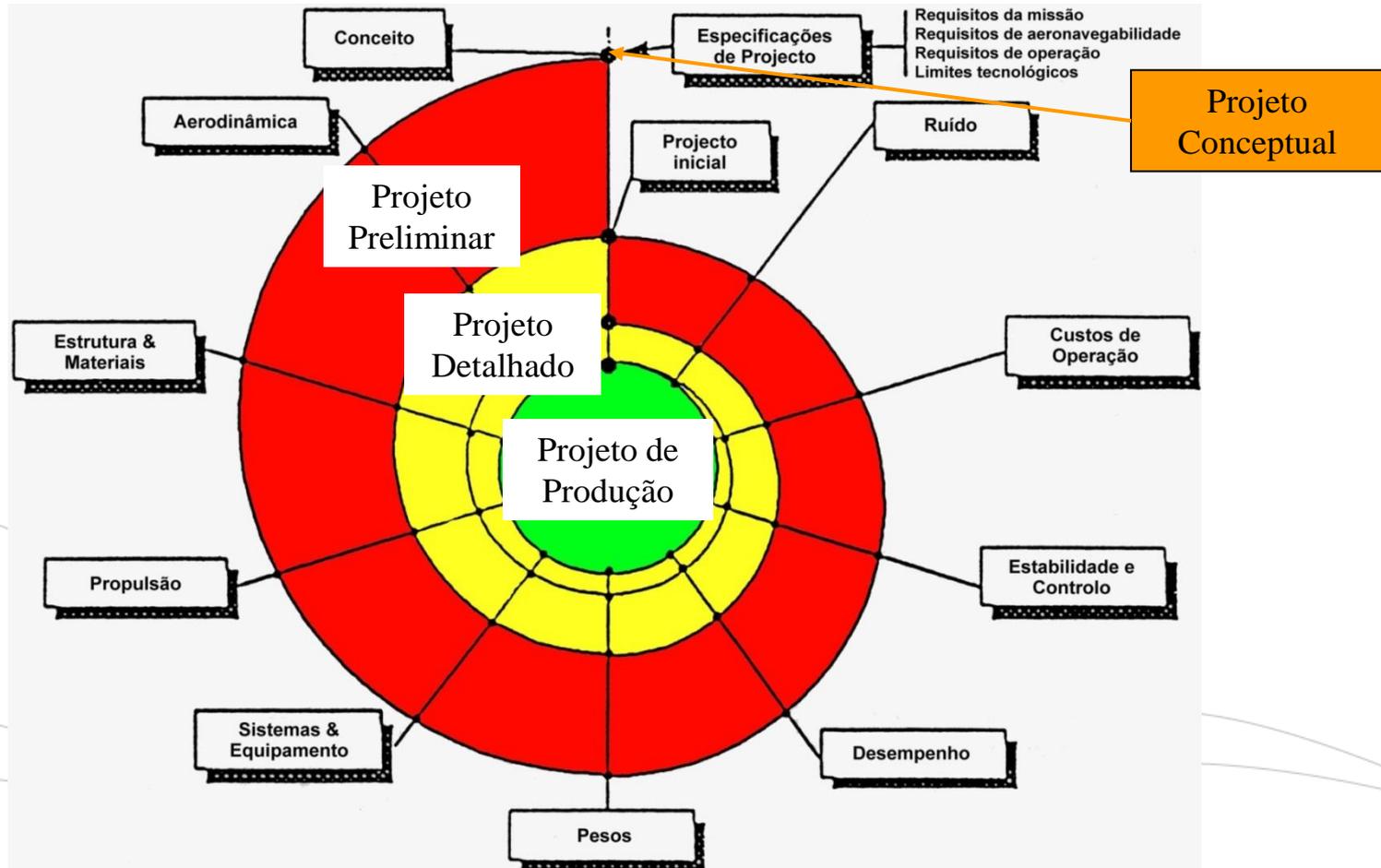
# Projeto real/adaptado





## 5. Fases do projeto

# Projeto real/adaptado

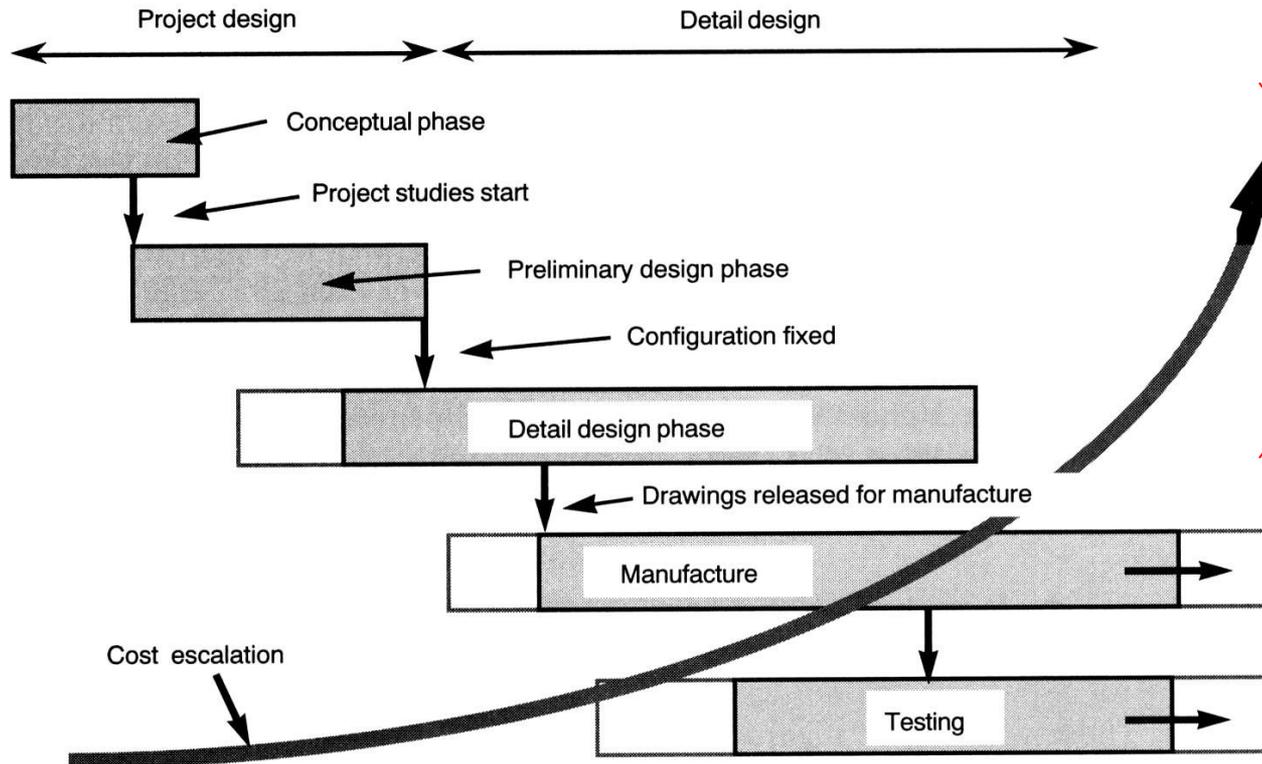




## 5. Fases do projeto

# Timeline

- As fases do projeto não são perfeitamente sequenciais mas sobrepõem-se em certo grau:

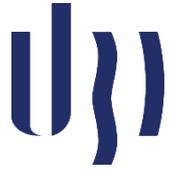


Pode conter ensaios construtivos, avaliação de protótipos, etc.



## 6. Projeto conceptual

- O projeto baseia-se nos requisitos/especificações da aeronave para orientar as decisões tomadas
- O projeto conceptual pode iniciar-se com um estudo comparativo de aeronaves existentes que desempenham funções idênticas
- Com base nos estudos comparativos é necessário decidir que tipo de projeto responde melhor aos requisitos. Existem três possibilidades:
  - Alterações relativamente pequenas a uma aeronave já existente
  - Alterações profundas a uma aeronave já existente
  - Projeto completamente novo

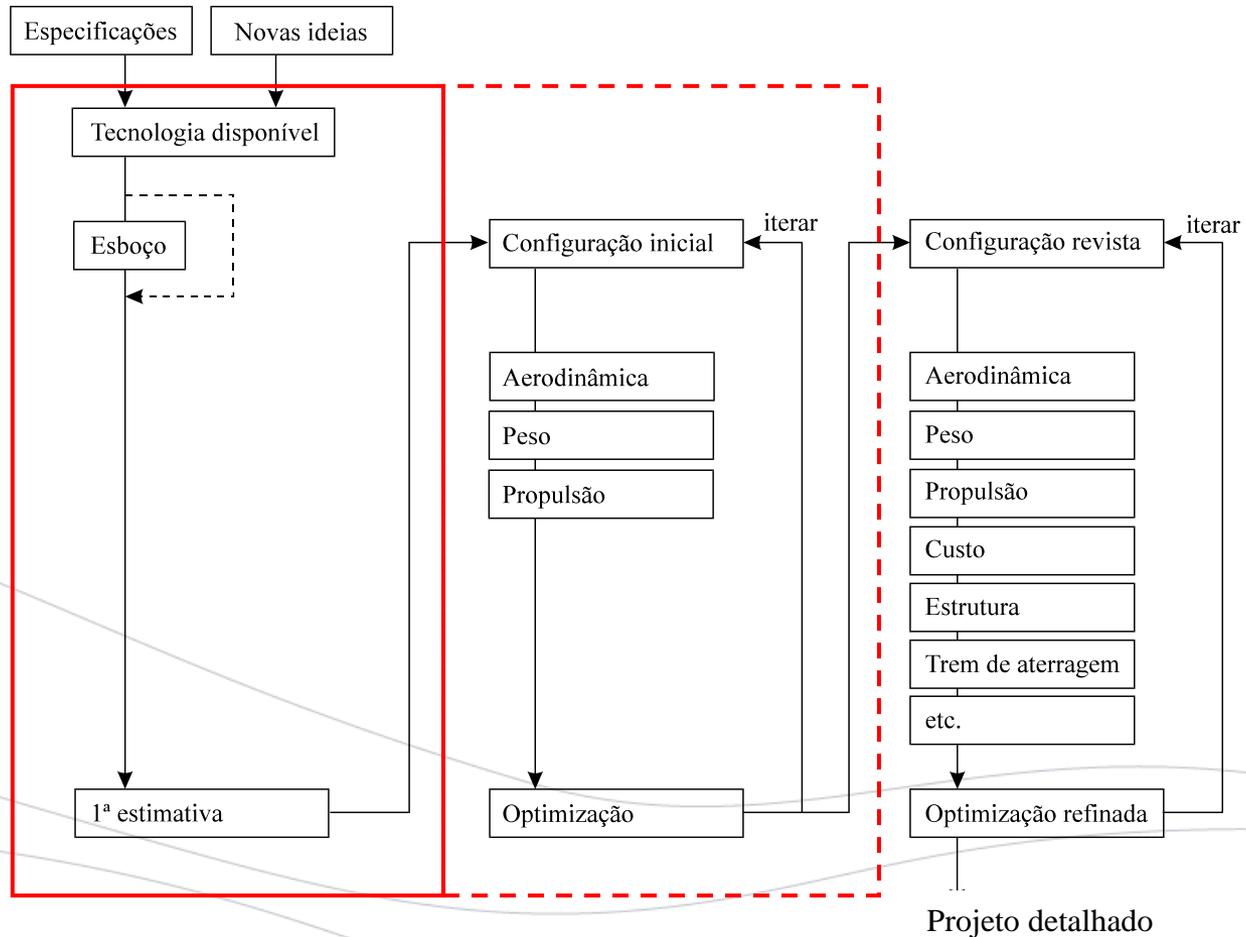


## 6. Projeto conceptual

- Um projeto completamente novo resulta, normalmente, na melhor solução para os requisitos propostos mas também requer o maior investimento;
- O resultado dos estudos iniciais deve ser uma orientação para o resto do projeto.



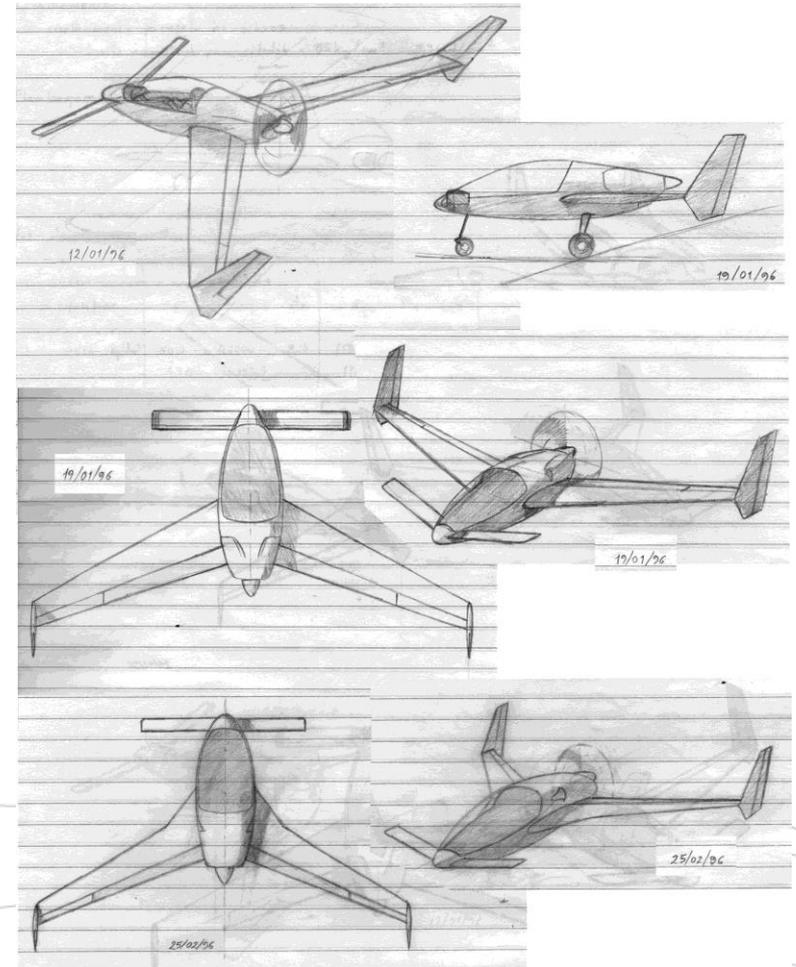
# 6. Projeto conceptual





## 6. Projeto conceptual

- As perspetivas podem ajudar a visualizar melhor as dimensões relativas e as formas da aeronave
- O registo das datas permite ter uma noção da evolução dos conceitos





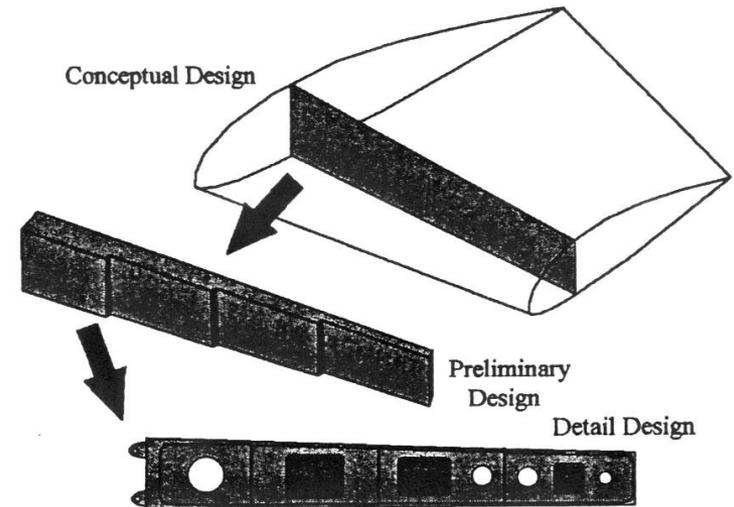
# 7. Projeto preliminar

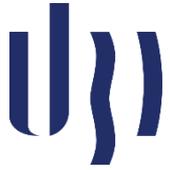
- O projeto preliminar pretende dimensionar a aeronave com base na informação recolhida no projeto conceptual
- A configuração da aeronave será definida
- Realização de análises com base nas disciplinas principais:
  - Aerodinâmica
  - Propulsão
  - Massa
  - Estabilidade e controlo
  - Etc..
- Ensaios em túnel de vento
- Ensaios construtivos



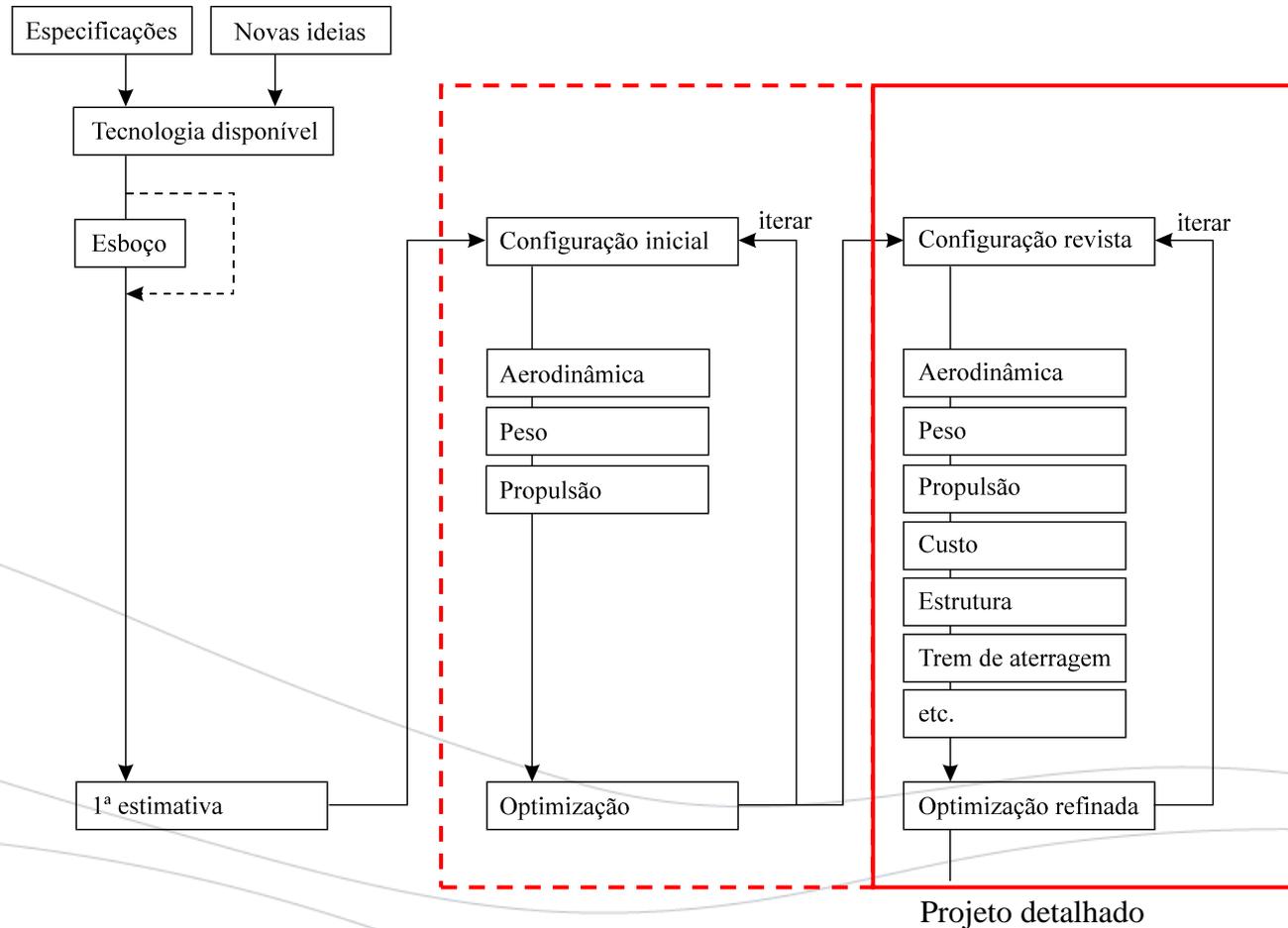
# 7. Projeto preliminar

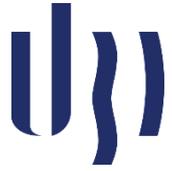
- São realizados testes em modelos:
  - Aerodinâmicos;
  - Propulsivos;
  - Estruturais;
  - Estabilidade e controle;
- Definição das formas do avião (matematicamente).



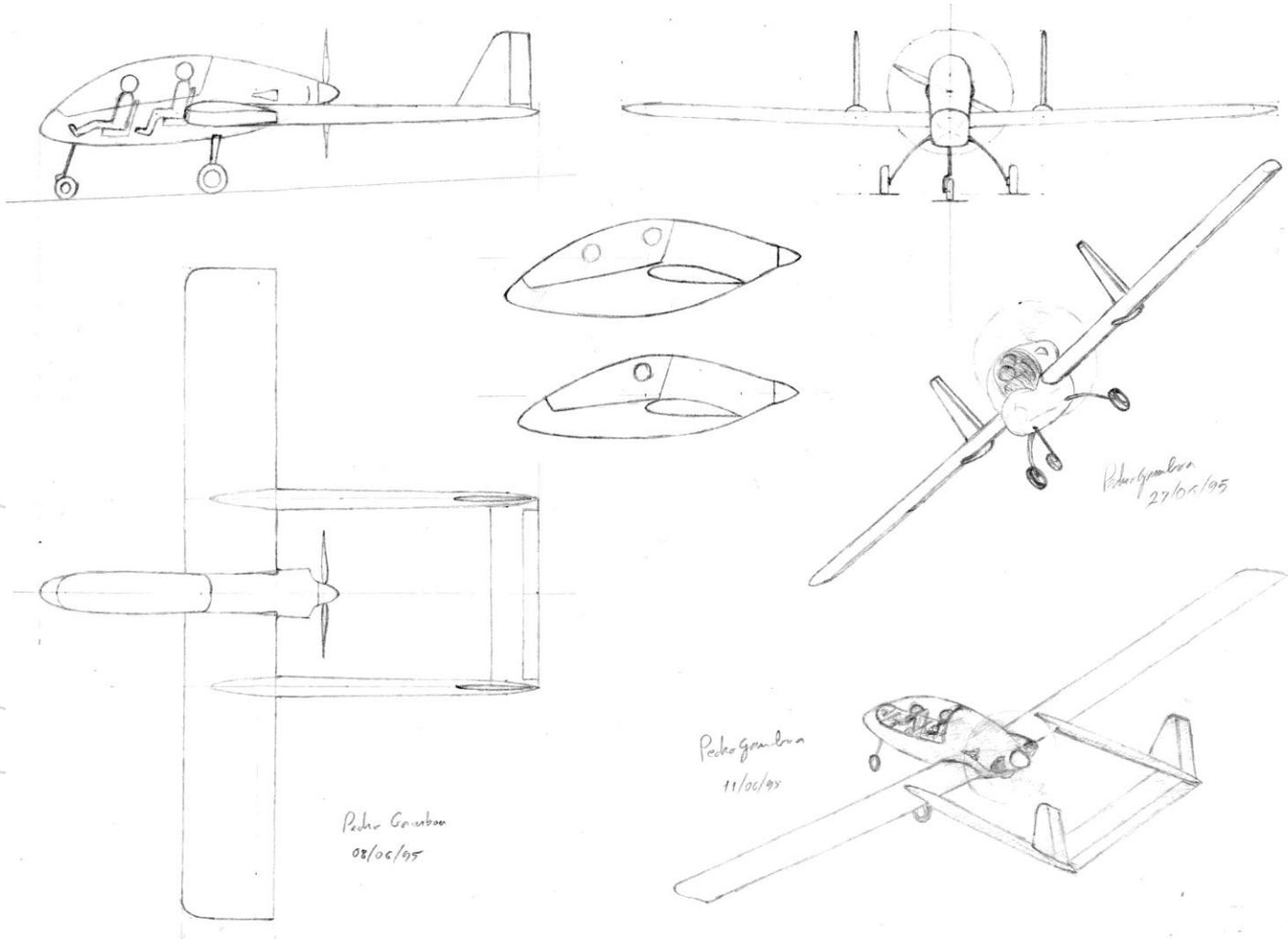


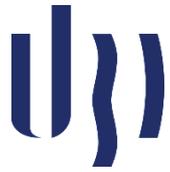
# 7. Projeto preliminar





# 7. Projeto preliminar

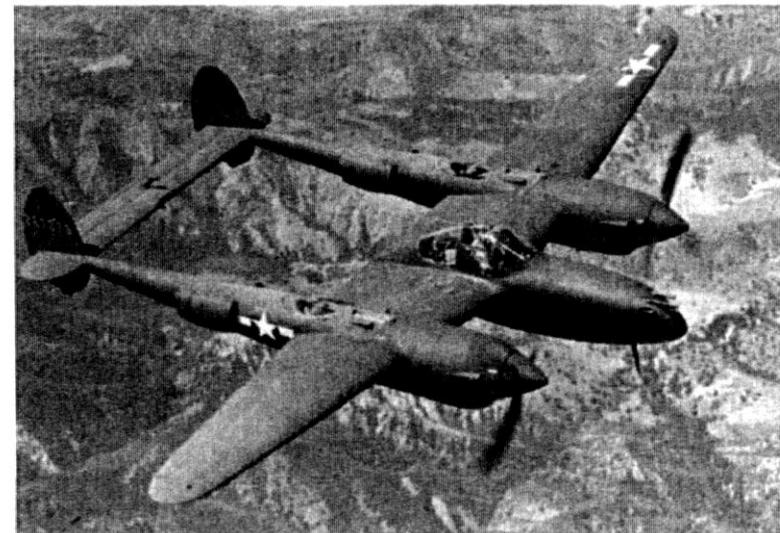
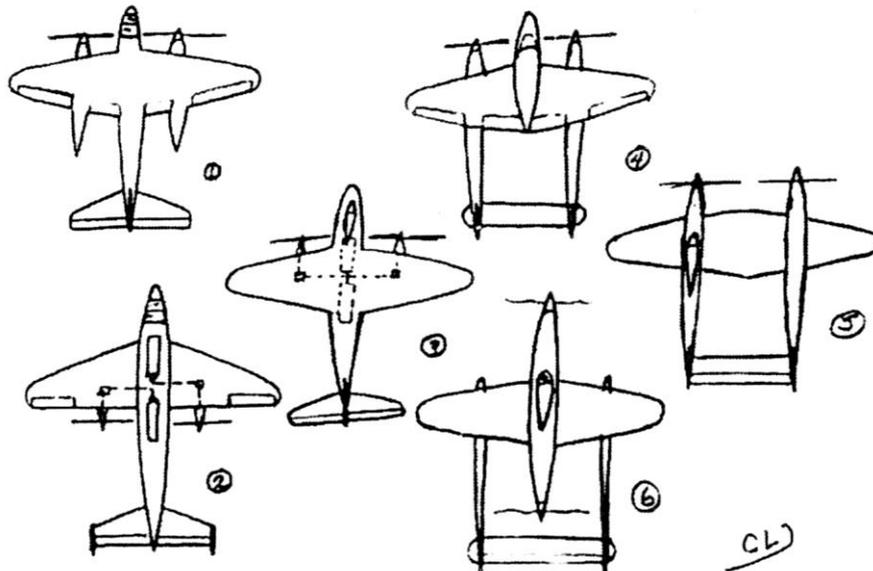




# 7. Projeto preliminar

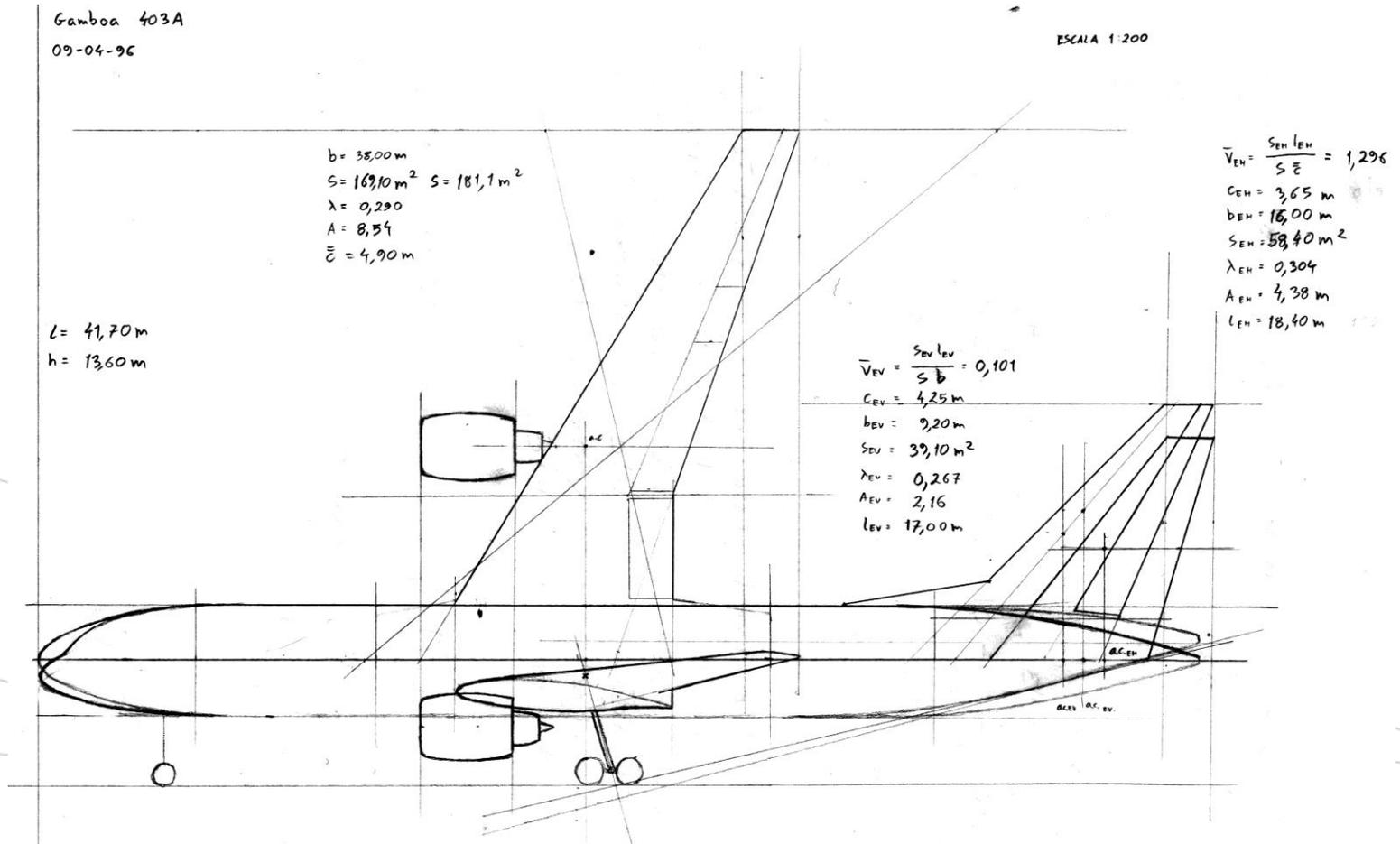
- Pode ser benéfico manter mais do que uma configuração para as diferenças entre elas poderem ser melhor analisadas e compreendidas
- Esboços iniciais permitem transmitir ideias e comparar conceitos

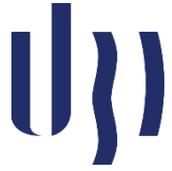
Esboços conceituais da fase inicial do projeto do Lockheed P-38 por Kelly Johnson em 1937



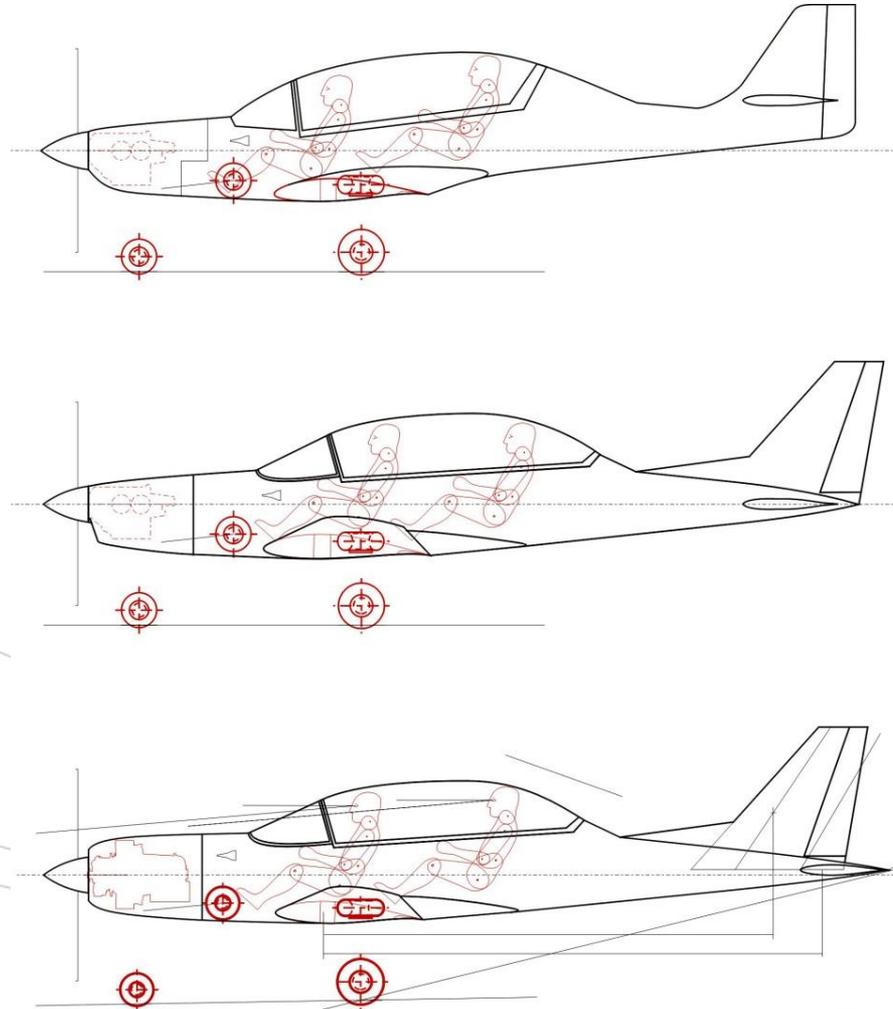


# 7. Projeto preliminar





# 7. Projeto preliminar





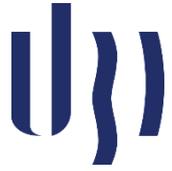
## 8. Projeto detalhado

- A configuração da aeronave não irá alterar-se significativamente
- Dimensionamentos e análises mais aprofundadas dos vários grupos são levadas a cabo:
  - Aerodinâmica
  - Estrutura
  - Sistema propulsivo
  - Trem de aterragem
  - Sistema de controlo
  - Sistema elétrico
  - Sistema hidráulico
- Protótipos de avaliação



## 8. Projeto detalhado

- Quando se decide entrar no desenvolvimento em escala real inicia-se a fase de projeto detalhado, onde todas as partes são definidas até ao mais pequeno pormenor
- Detalhe dos componentes:
  - Definição da estrutura
  - Definição dos sistemas
  - Produção de desenhos de peças e conjuntos
  - Cálculo do peso e CG
- Intensificação dos ensaios em conjuntos e componentes reais:
  - Estrutura
  - Mecanismos
  - Simulação

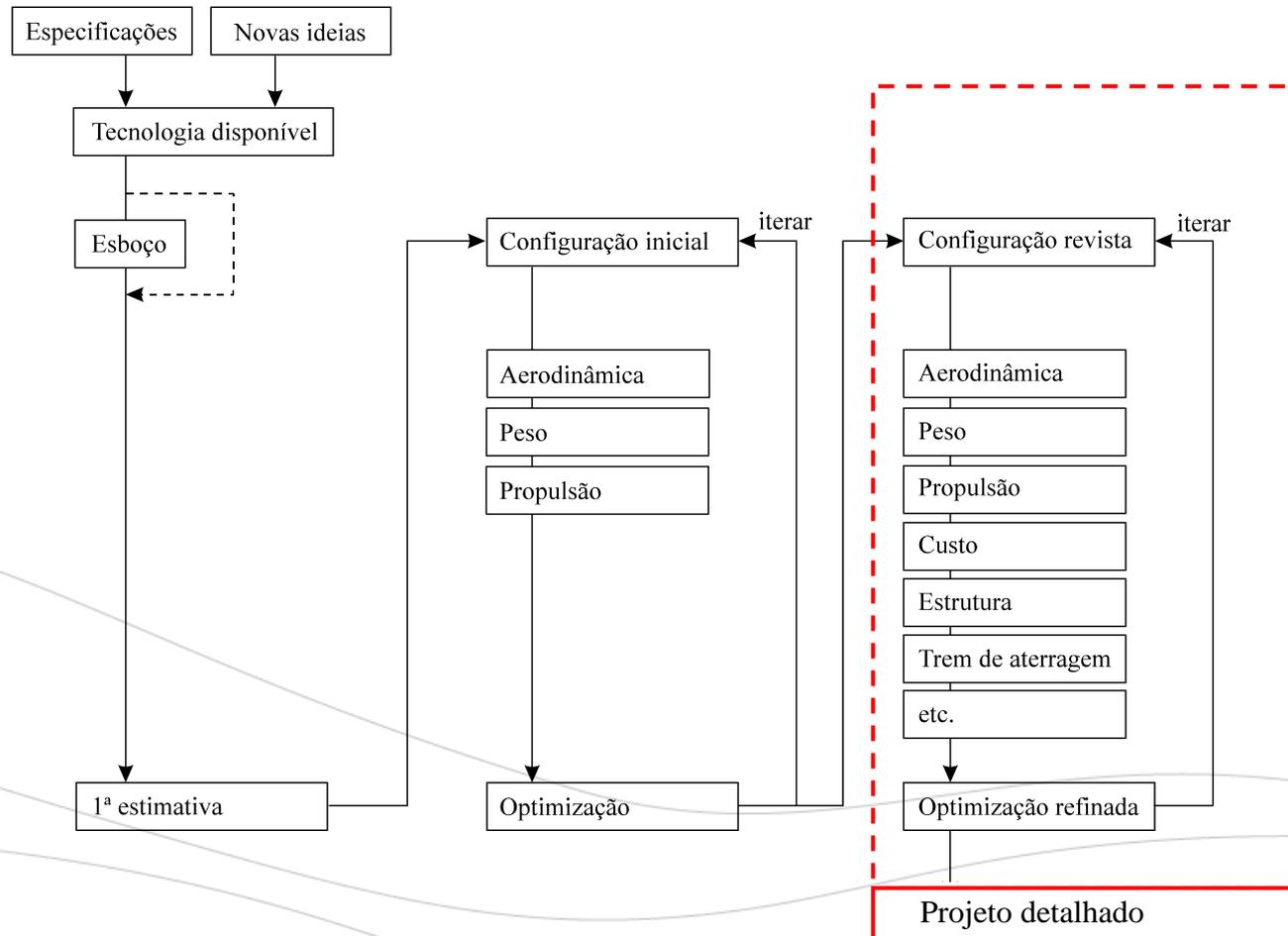


## 8. Projeto detalhado

- Pode construir-se um ou mais protótipos da aeronave completa para avaliação

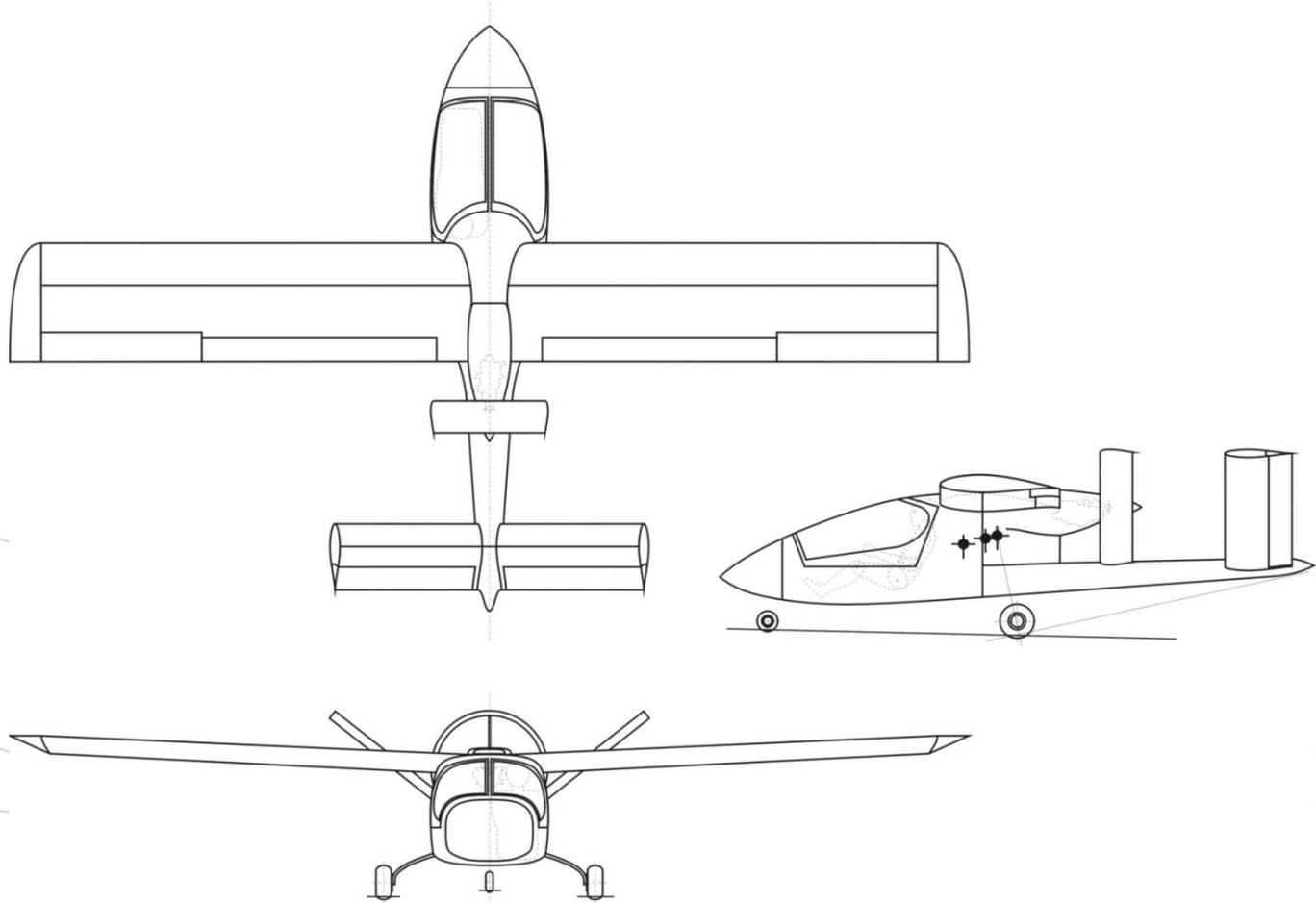


# 8. Projeto detalhado



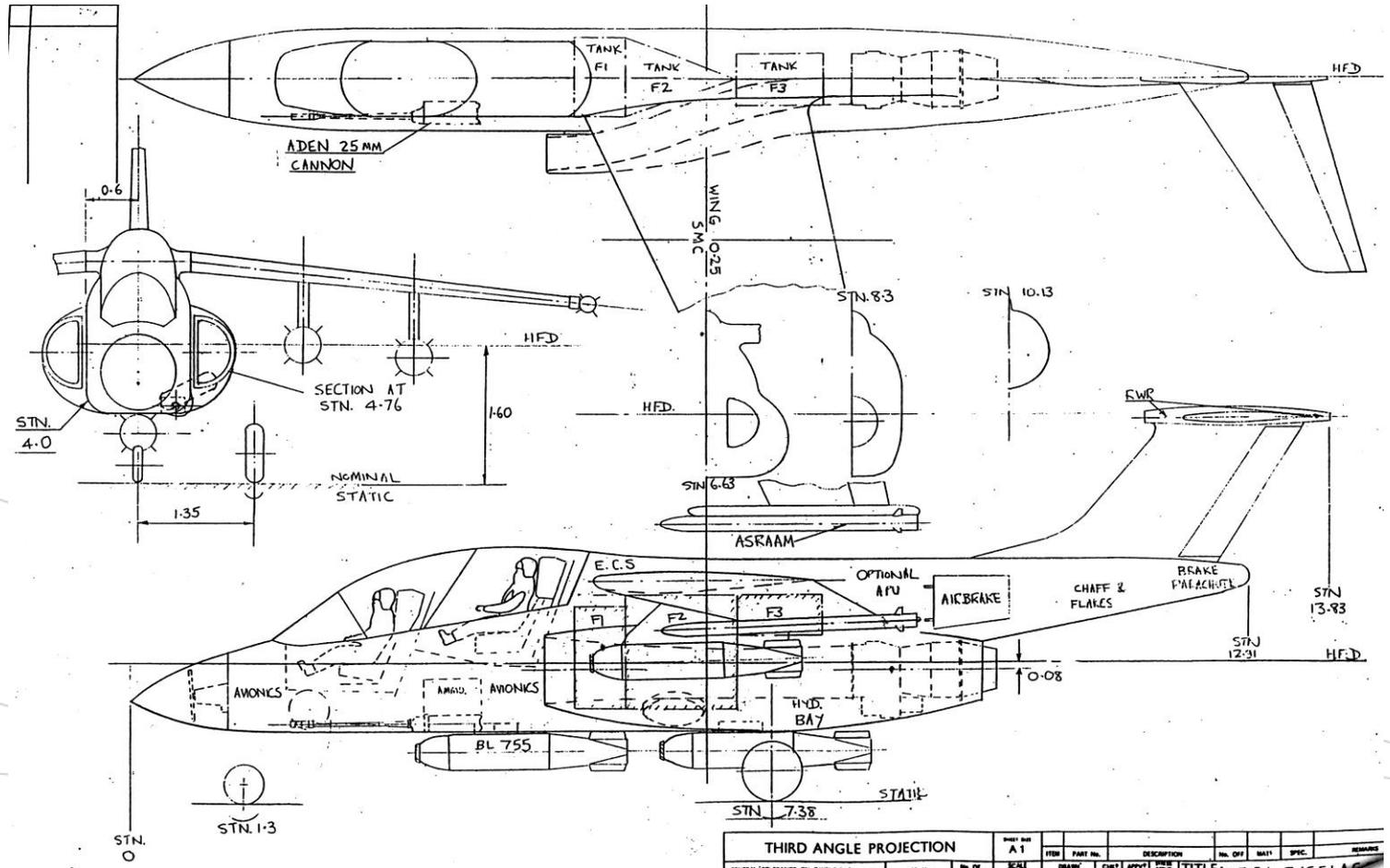


# 8. Projeto detalhado



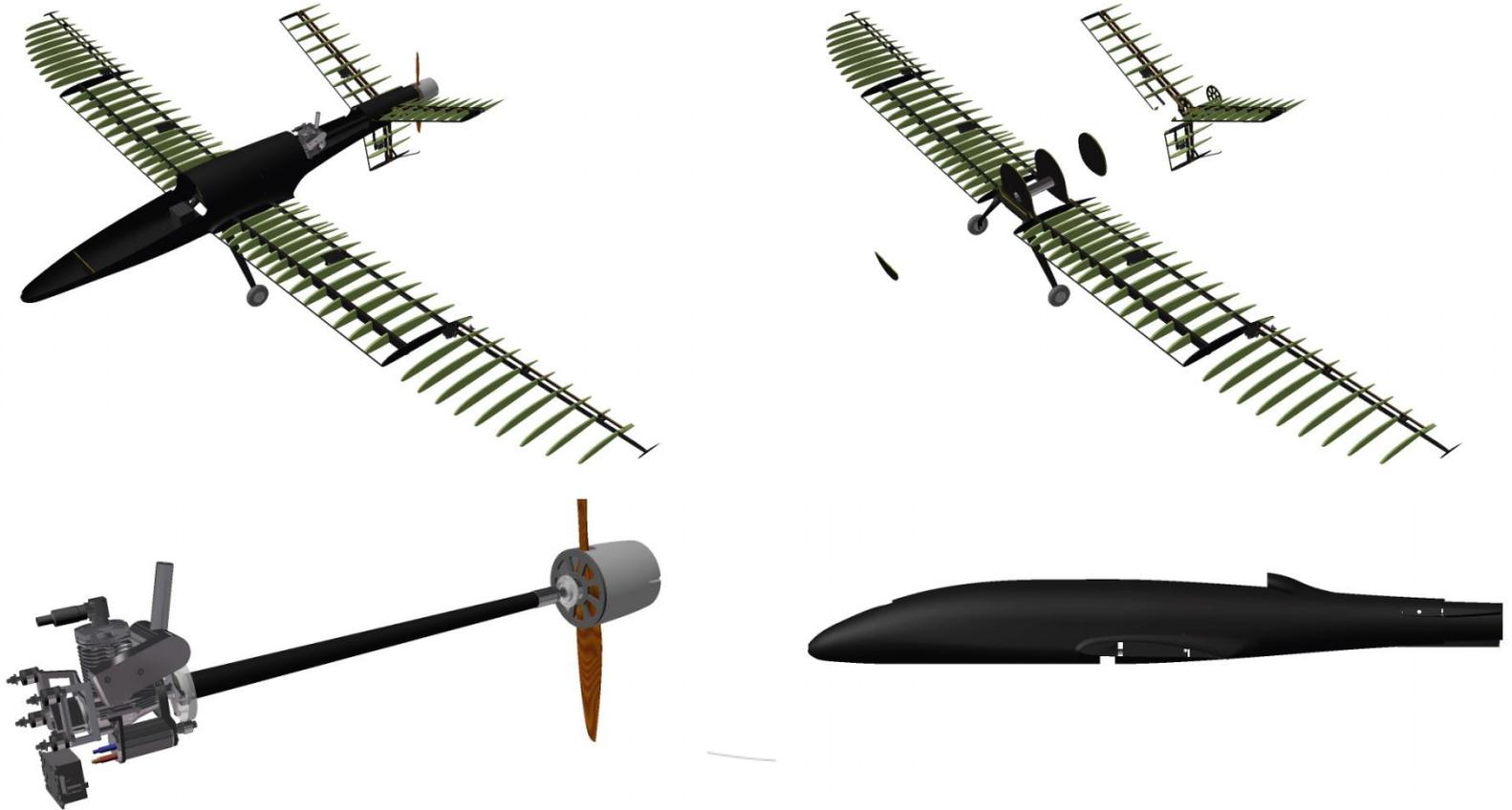


# 8. Projeto detalhado





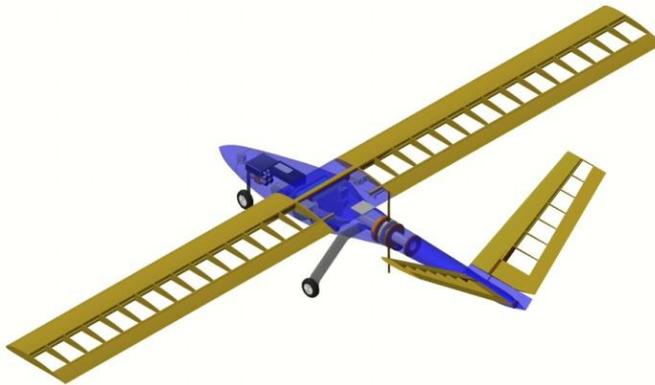
# 8. Projeto detalhado

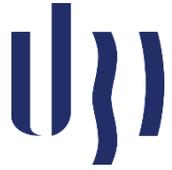




## 9. Protótipo

- Antes da conclusão do projeto detalhado da aeronave de série podem desenvolver-se protótipos para verificar o cumprimento das especificações:
  - Cumpre o peso previsto?
  - O desempenho é o desejado?
  - As qualidades de voo são adequadas?
  - A estrutura está bem dimensionada e construída?





## 9. Protótipo

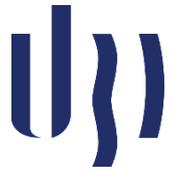
- Uso de tecnologias diferentes:
  - Processos de fabrico mais simples e baratos

Protótipo do Bambi em  
alumínio



Avião de série (MCR01) em  
compósito carbono/epoxi





# 9. Protótipo

- A não conformidade vai influenciar novas iterações no projeto a nível conceptual, preliminar e/ou detalhado
- Testes no solo e em voo são fundamentais





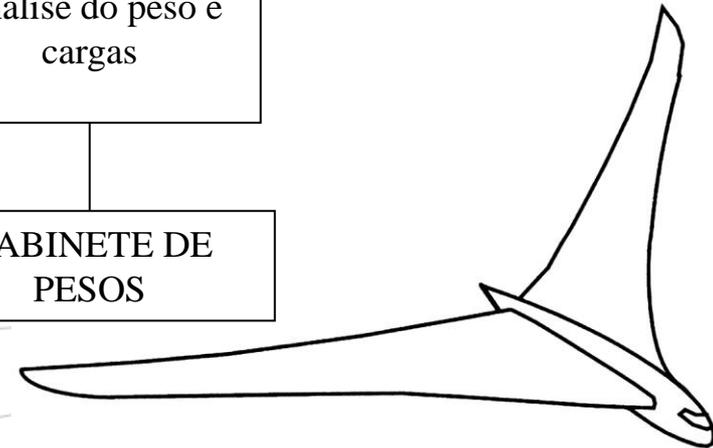
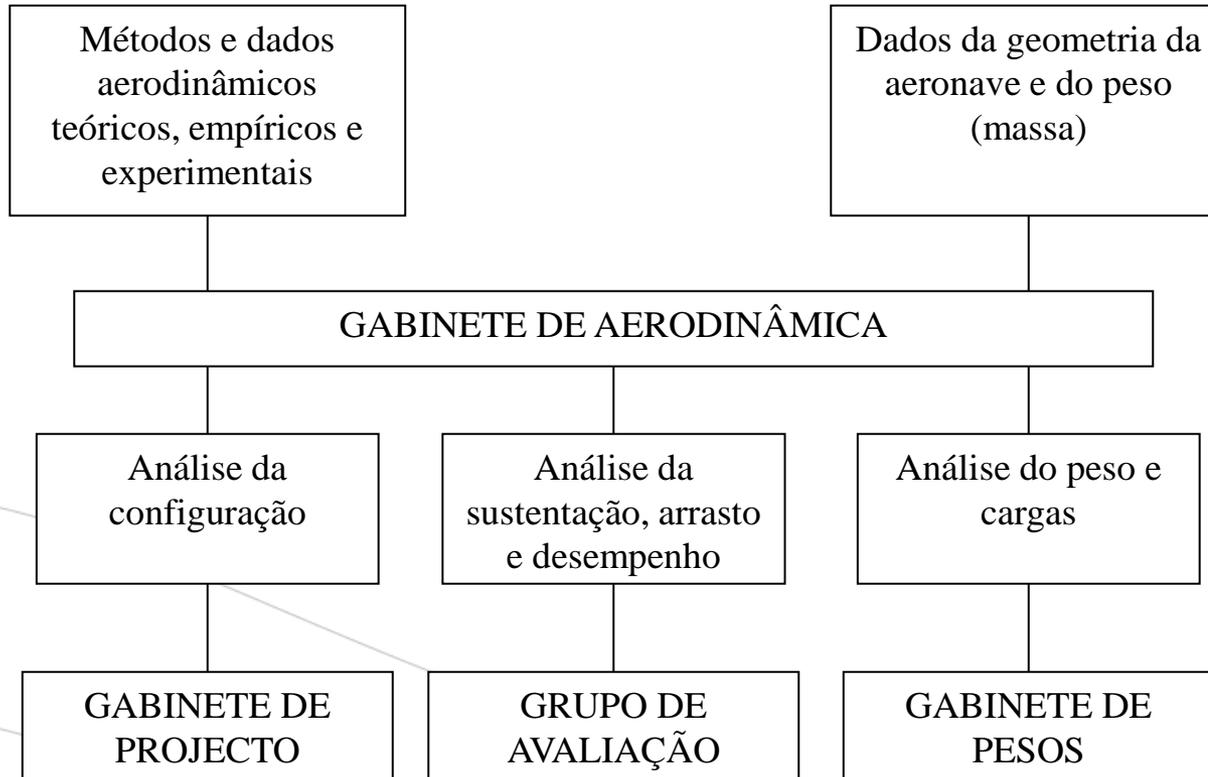
# 10. Grupos de projeto

- Todo o processo de projeto é de natureza iterativa com o objetivo final de obter uma solução otimizada com base em requisitos conflituosos
- Soluções que melhor respondem um grupo podem ser grandemente inapropriadas para outro ou outros grupos
- Alterações numa área em particular têm, normalmente, um efeito negativo noutras áreas. Isto é, de certa forma, inevitável mas o projeto deve, eventualmente, convergir para uma solução de compromisso
- Uma gestão e coordenação efetivas dos vários grupos de projeto são críticos para o sucesso do projeto



## 10. Grupos de projeto

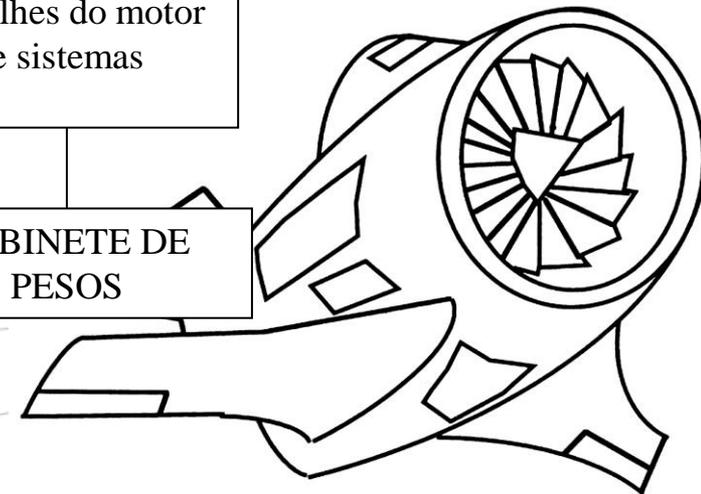
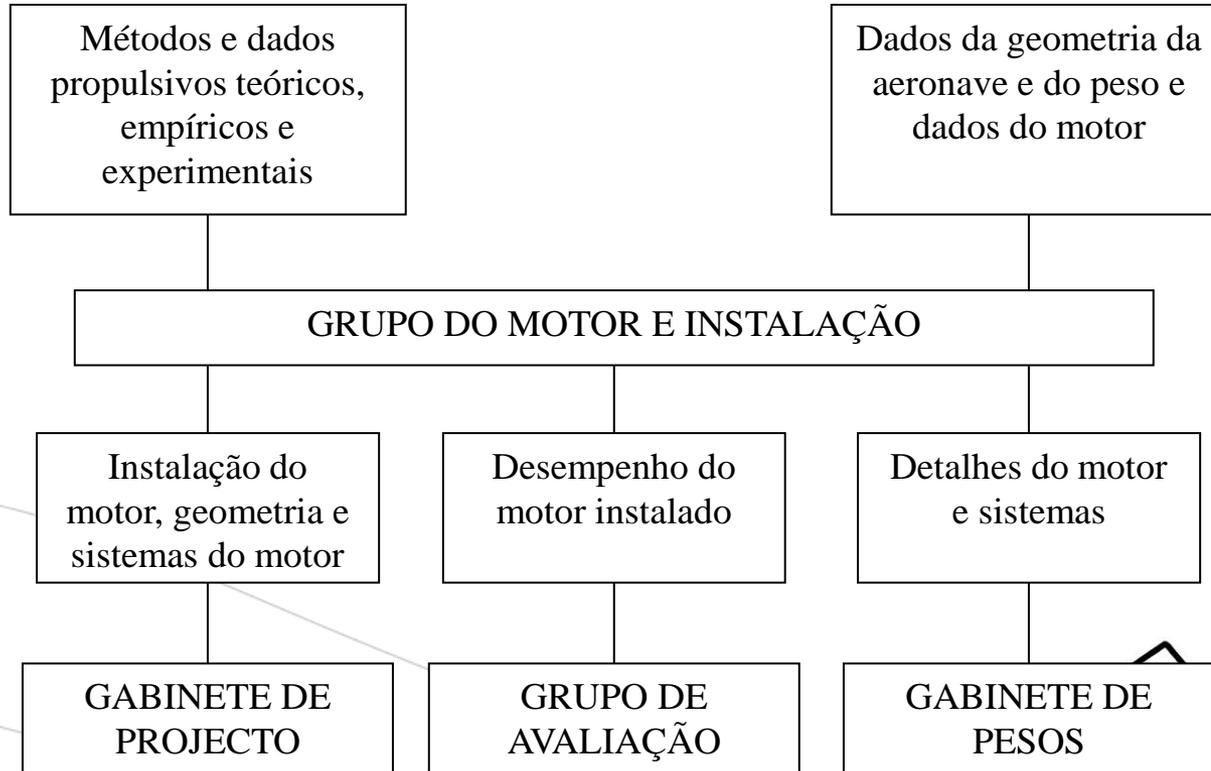
# Aerodinâmica





## 10. Grupos de projeto

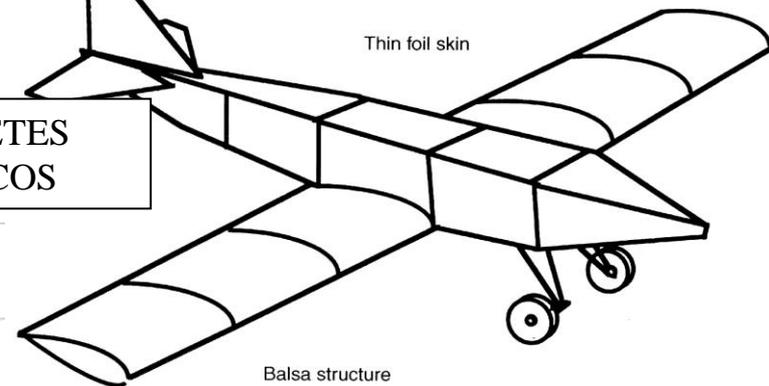
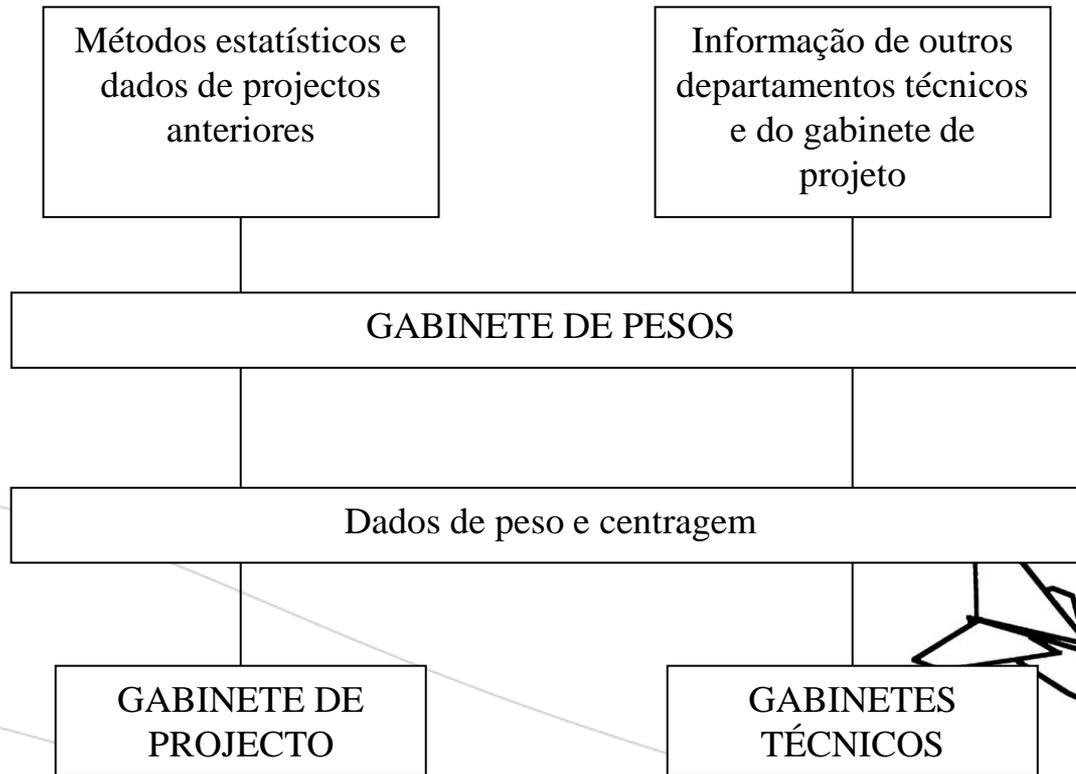
# Propulsão





## 10. Grupos de projeto

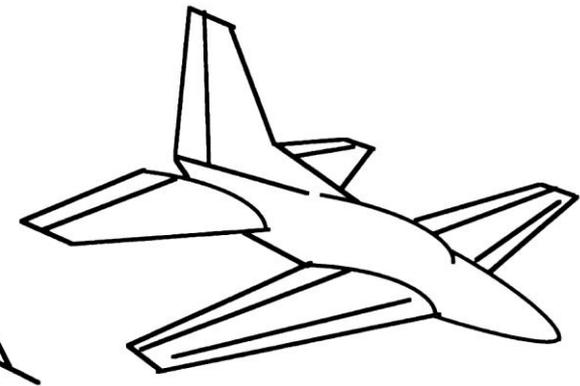
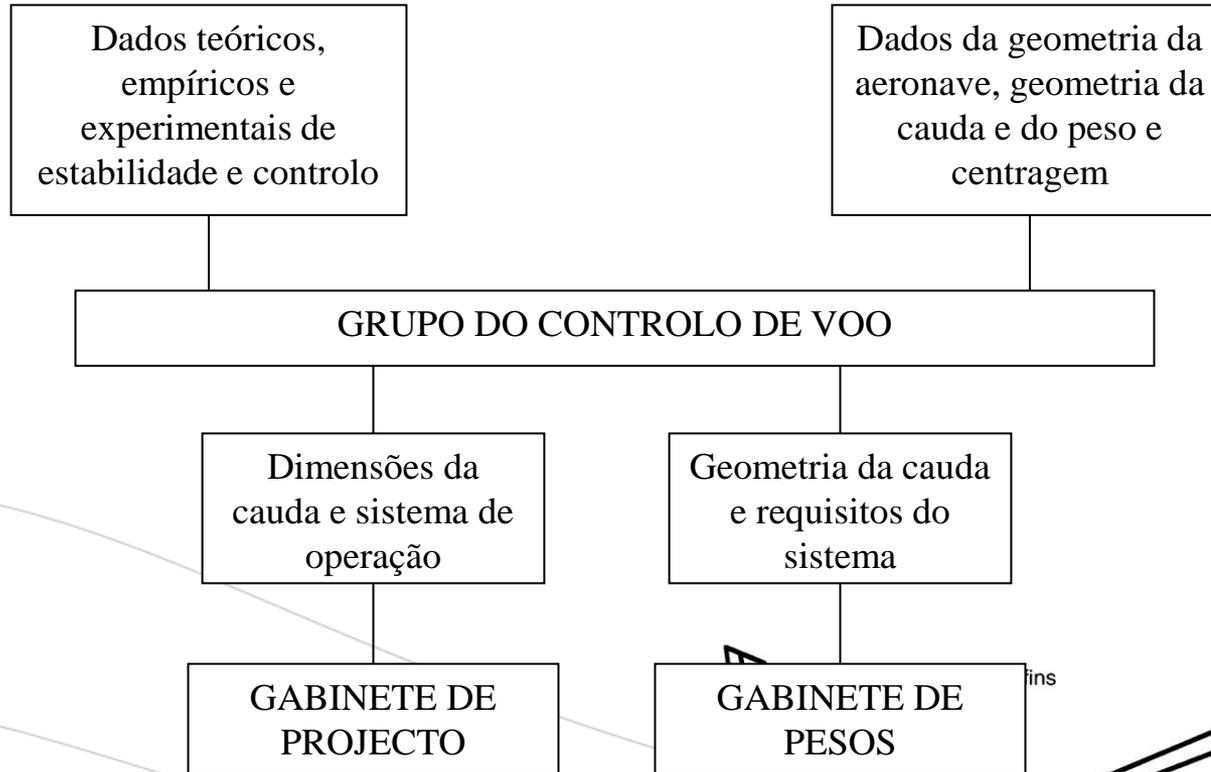
# Pesos





## 10. Grupos de projeto

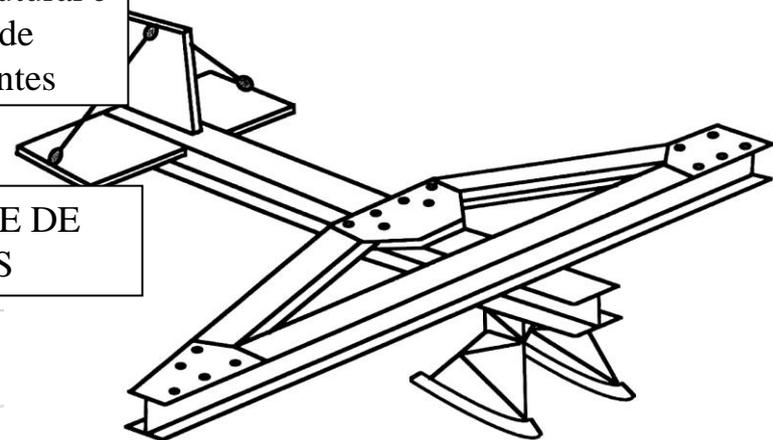
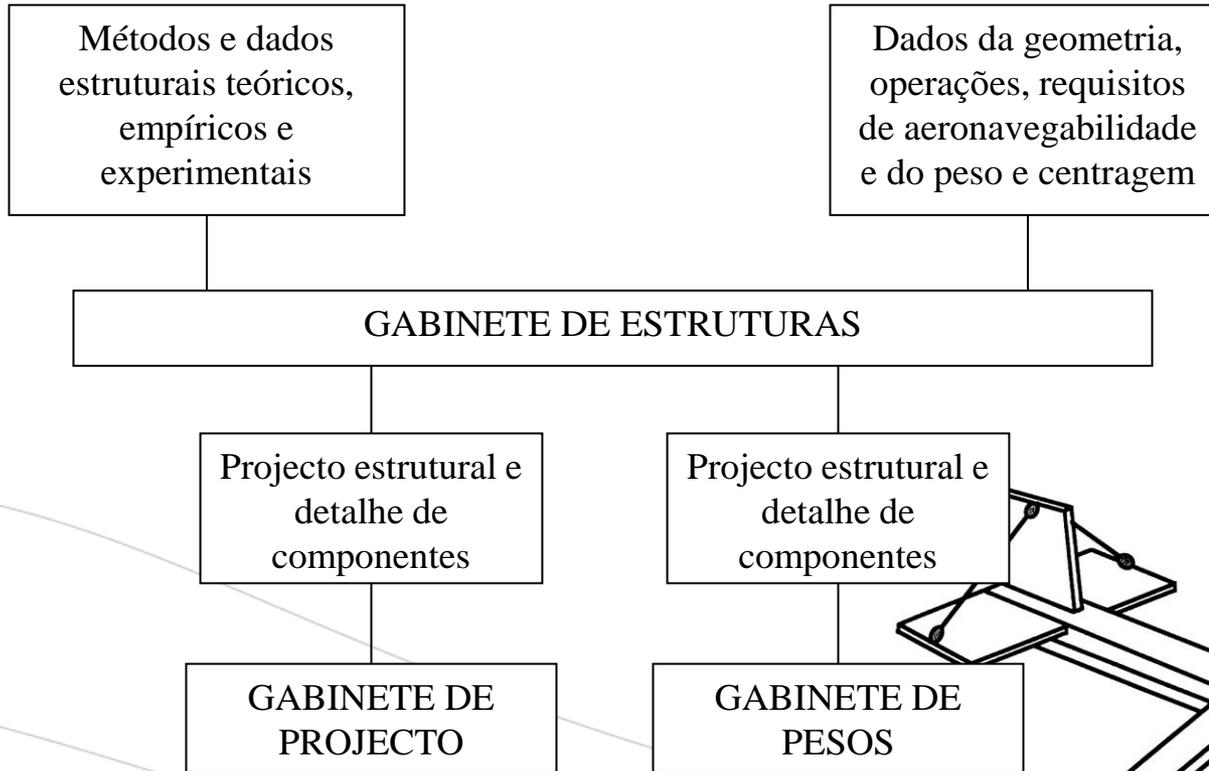
# Controlo

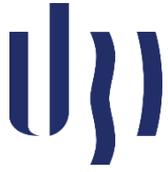




## 10. Grupos de projeto

# Estruturas





# 11. Desenvolvimento integrado do produto

- No desenvolvimento integrado do produto o enfoque cai, em ordem decrescente, no cliente, no produto, no processo, nos constrangimentos e finalmente na estrutura da organização
- Devido à complexidade do produto aeronave e aos custos elevados envolvidos no seu projeto é necessário juntar todos os grupos de projeto desde o início
- Assim, por exemplo, o gabinete de projeto sabe, à partida, se é possível fabricar determinado componente porque conversou com a produção
- As decisões tomam-se ao nível dos grupos especialistas em vez do topo da hierarquia. No entanto, existe um projetista experiente com decisão final na configuração da aeronave, baseada nos requisitos do cliente e informação técnica da equipa de projeto.



## 12. Otimização Multidisciplinar

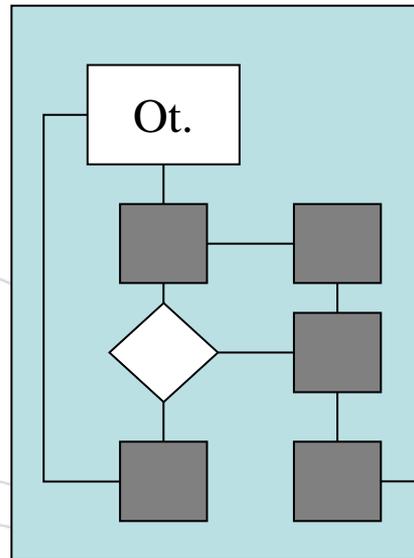
- O que é a otimização multidisciplinar no projeto (MDO)?
  - É uma metodologia para melhorar o projeto de sistemas de engenharia, onde tudo influencia tudo o resto



## 12. Otimização Multidisciplinar

# Projeto e otimização integrados

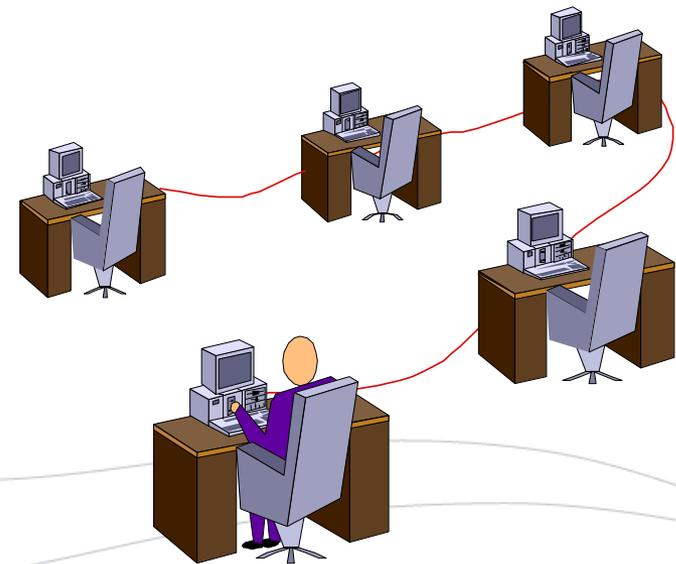
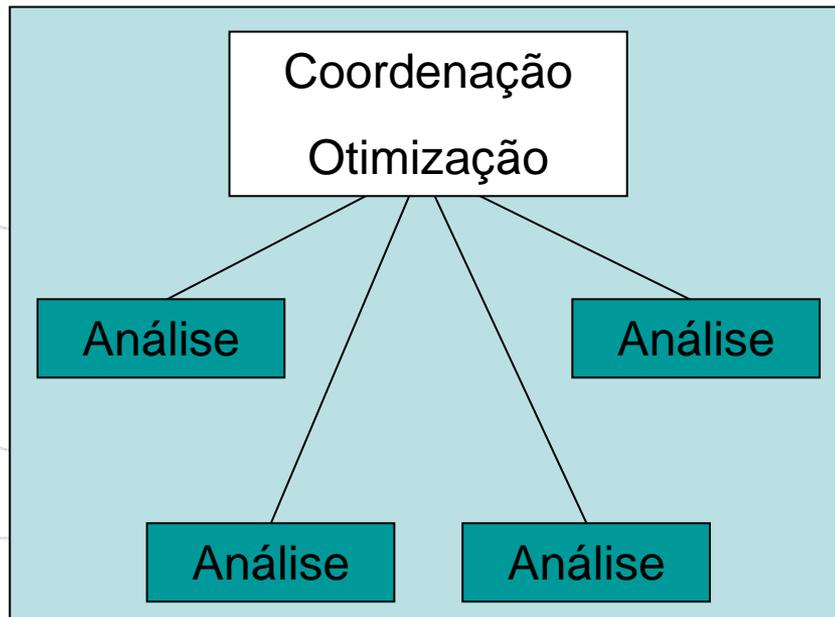
- Primeira geração de otimização
- Ideal para projetos simples
- Atenção colocada na eficiência da otimização





# Análise e otimização distribuídas

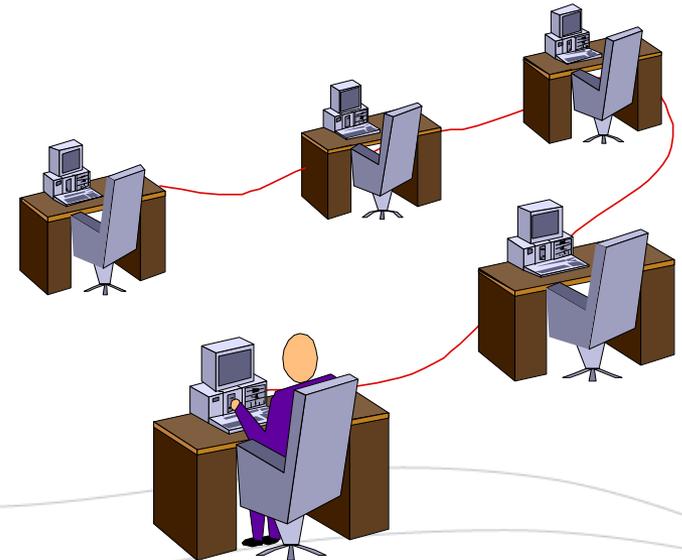
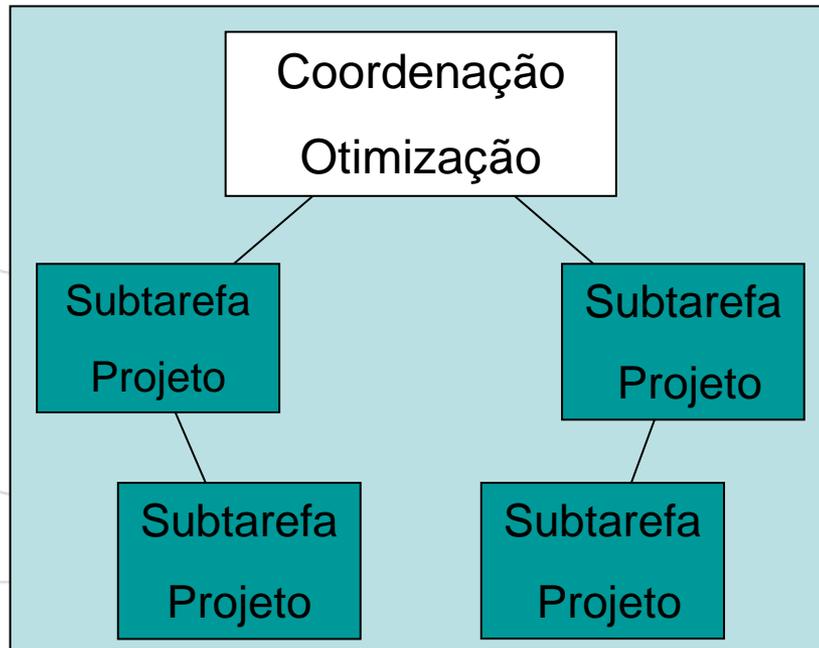
- Segunda geração de otimização
- Análise modular com particular atenção na otimização interdisciplinar





# Projeto e otimização distribuídos

- Normalmente conseguido com arquiteturas informais: sequenciais e iterativas



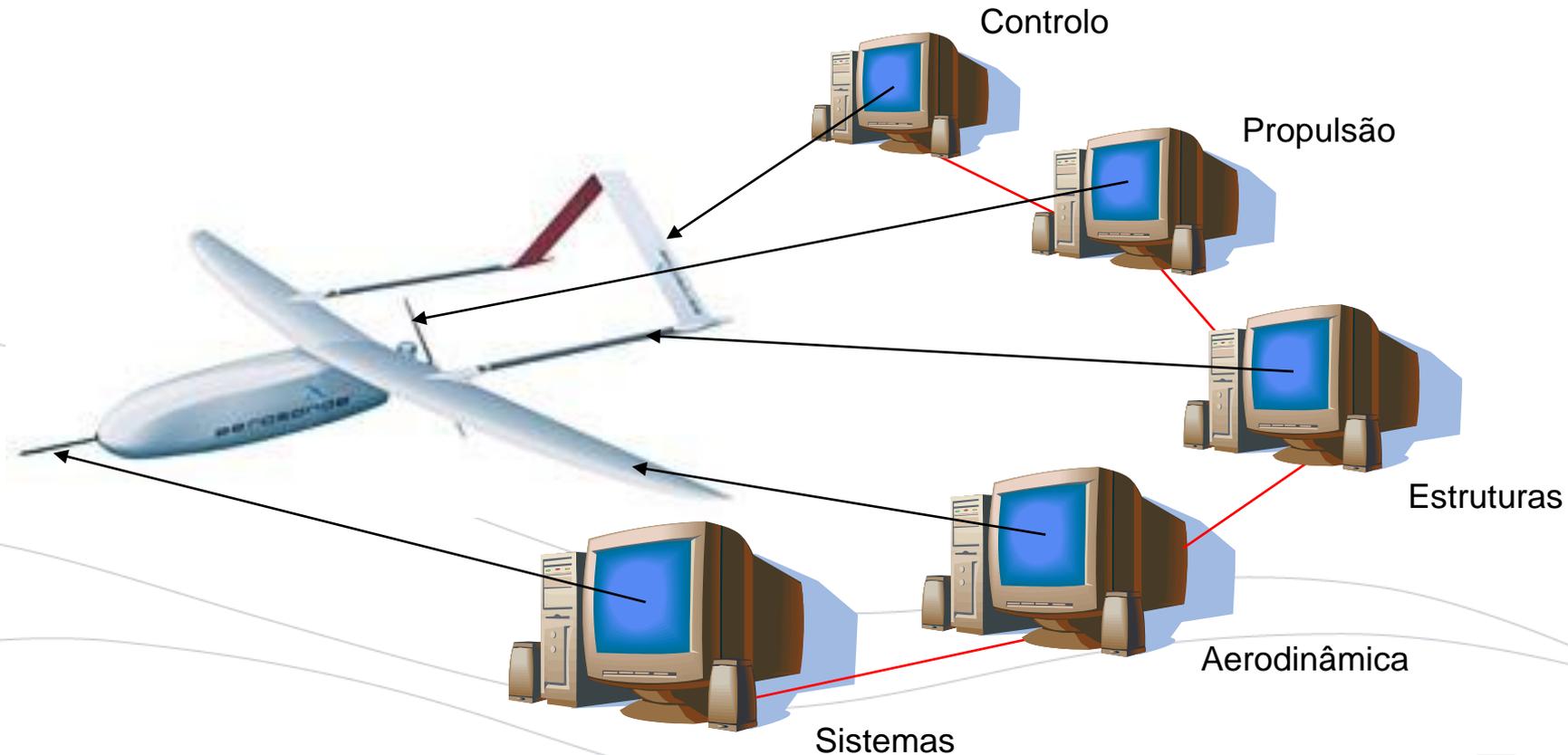


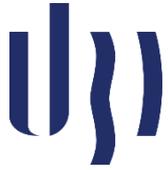
## 12. Otimização Multidisciplinar

# MDO distribuída

- O projeto de engenharia atualmente é feito desta forma

O Processo de Projeto de Aeronaves

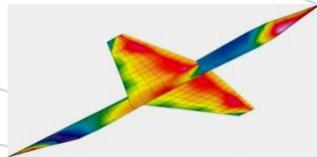




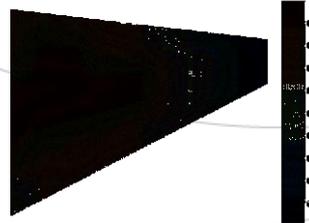
## 12. Otimização Multidisciplinar

# MDO distribuída

- Objetivo do projeto distribuído:
  - Projeto de equipa



Aerodinâmica



Estruturas



Minimização Boom



## 12. Otimização Multidisciplinar

# MDO distribuída

- Estrutura computacional:
  - Foco na conversão e transferência de dados

