



# Fatores de Sucesso na Operação de SisVANTs

Onofre Trindade Jr  
ICMC – USP  
otj@icmc.usp.br

São Paulo, junho 2013

# Sumário

- ▶ Desenvolvimento de SisVANTs no ICMC
- ▶ Arquitetura de um SisVANT
- ▶ Sistemas de Voo
- ▶ Iniciativas Livres GISA e Ararinha
- ▶ Sucesso na Utilização
- ▶ Fatores de Insucesso
- ▶ Novos Conceitos: IFA e MOSA
- ▶ Estudo de Caso - Tiriba
- ▶ Comentários Finais

# Projeto ARARA

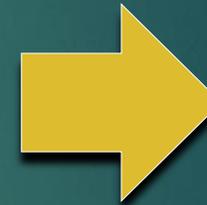
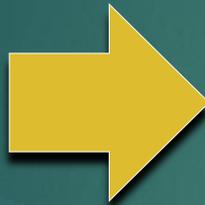
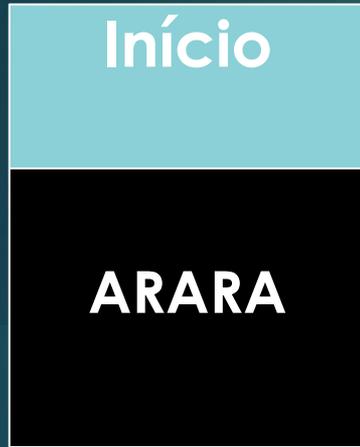
- ARARA – Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Radio e Autonomas
- O projeto teve início em 1997 visando o desenvolvimento e o uso de veículos aéreos não tripulados para monitoramento e gerenciamento na agricultura e monitoramento ambiental
  - ▶ Fase 1 – Aeronaves remotamente pilotadas no alcance visual (término em 2000)
  - ▶ Fase 2 – Aeronaves remotamente pilotadas fora do alcance visual (término em 2003)
  - ▶ Fase 3 – Piloto automático. (término em 2006)
  - ▶ Fase 4 – Novas arquiteturas de hardware e software, processamento de imagens a bordo, novos sistemas de comunicação de dados (início em 2007)

# ARARA / AGplane2



- Motor 55cc, 2T, 1 cil, AVGAS (opção: 57cc, 4T, 2cil)
- Peso máximo: 20kg
- Payload: ~~3kg~~ **5kg**
- Autonomia: ~~7h~~ **10h**
- Cruzeiro: ~~100km/h~~ **140Km/h**
- Estol: ~~40km/h~~ **50Km/h**
- Voo autonomo ou remotamente controlado
- Paraquedas de emergência
- Decolagem automática sobre veículo
- Pouso em pista curta (15m)
- PA redundante

# Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos



## Projetos Associados

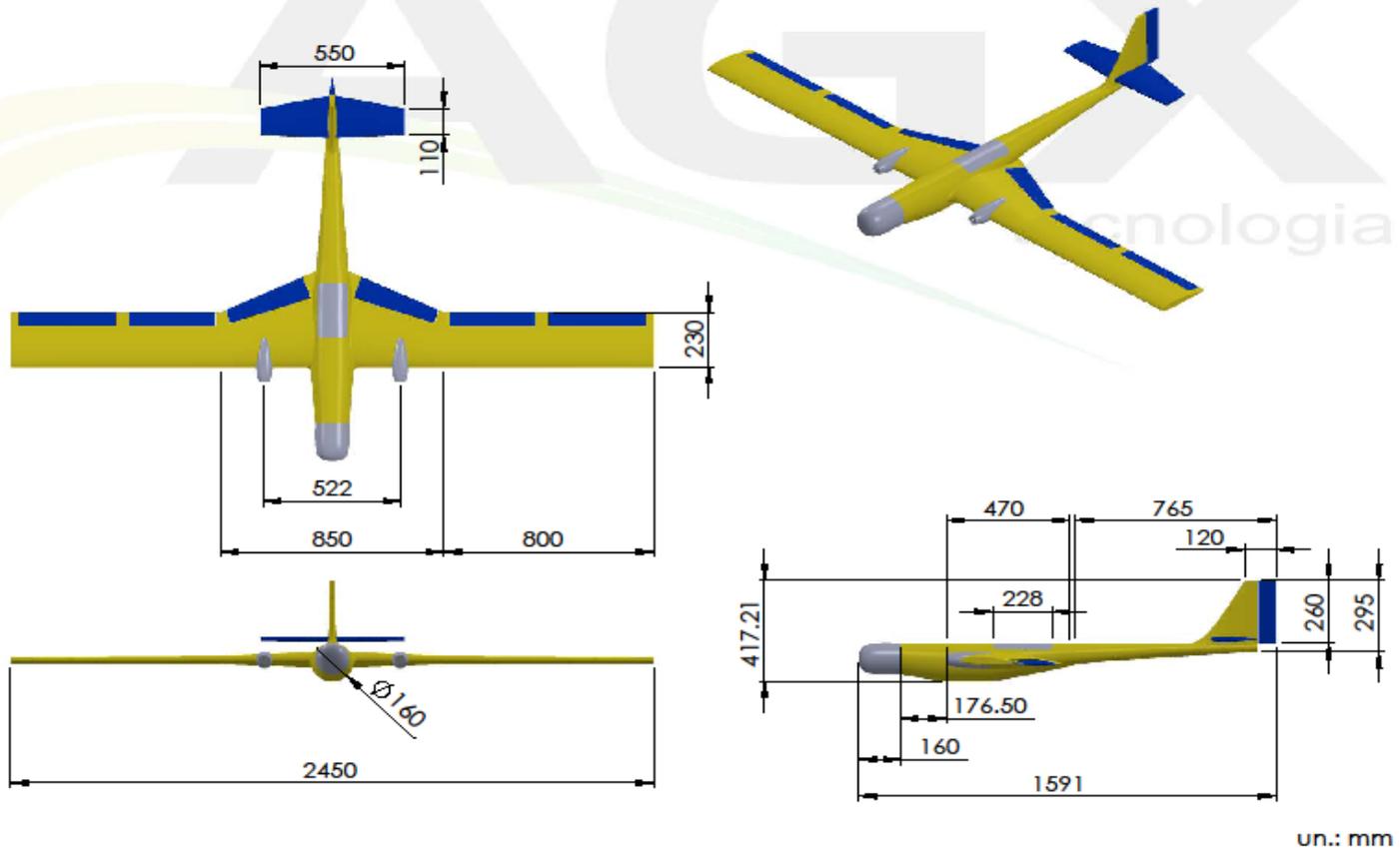


# Projeto Tuim

- ▶ Peso máximo: 7 Kg
- ▶ *Payload*: 1,5 Kg
- ▶ Cruzeiro: 100 Km/h
- ▶ Autonomia: 1h @ 80 Km/h
- ▶ Propulsão: 2 motores elétricos
- ▶ Pouso e decolagem: verticais
- ▶ Paraquedas de emergência
- ▶ *Airbag* para proteção dos sensores
- ▶ Sensores: diversos, incluindo Gimbal Controp série Stamp
- ▶ Características adicionais: robustez para uso em campo, transporte em mochila

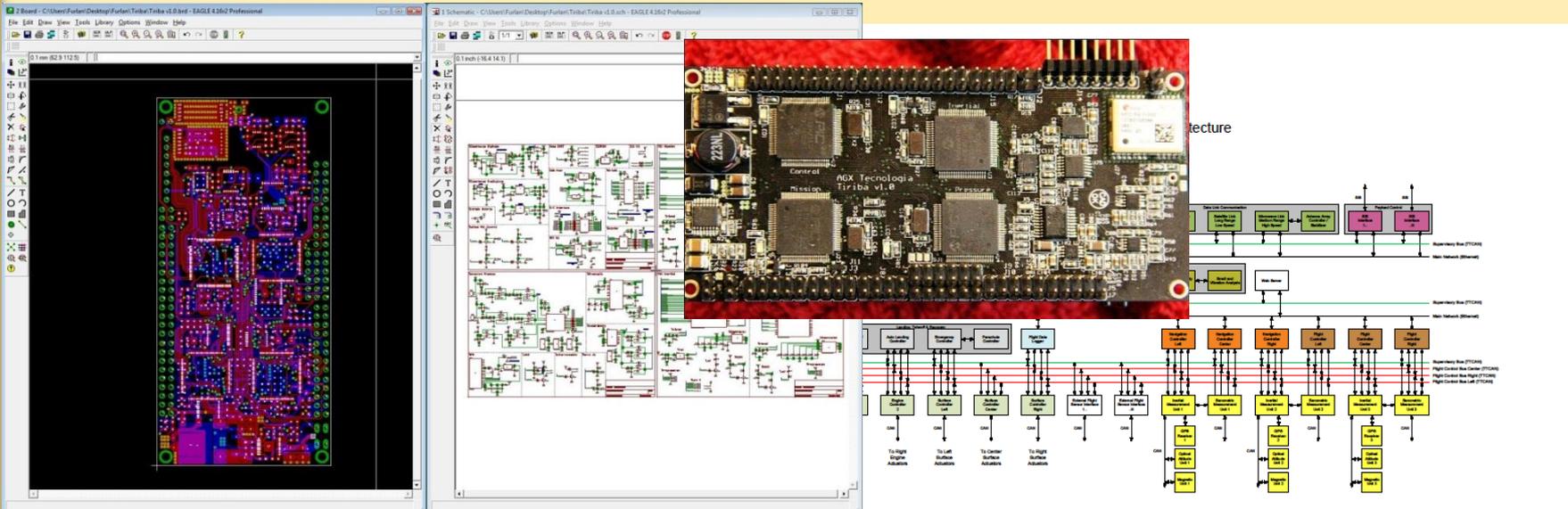
# Projeto Tuim

TUIM

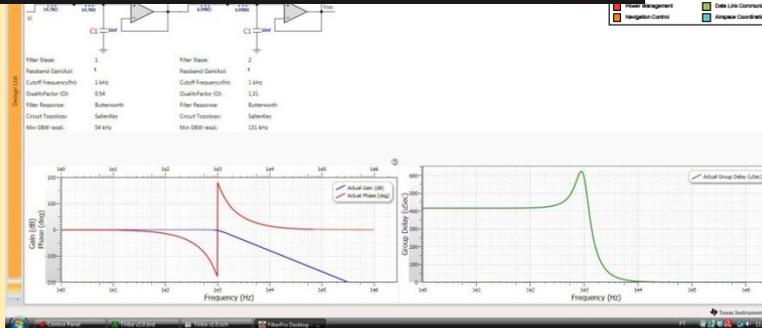


# Desenvolvimento de Hardware com Padrão Aeronáutico

## Sistemas Multi-processor com RTOS



Simulação Funcional de Hardware



Arquiteturas Avançadas de SisVANTs

# Desenvolvimento de Software com Padrão Aeronáutico

Metodologia baseada em modelos, direcionada para certificação

The image displays a collage of software development tools and a methodology diagram. On the left, a FlightGear window shows a 3D aircraft simulation. In the center, a 'debug10MergeOnly/Navigator' window displays a complex system architecture diagram. To the right, an 'eeprom\_server\_test3' window shows a task-based state machine diagram. Below it, a code editor displays C code for a navigation algorithm. On the far right, a 'Stateflow (chart) eeprom\_server\_test3/ISR Client' window shows a state transition diagram. To the right of the code editor is a vertical flowchart of the development methodology, starting with Requirements Analysis and ending with Integration and Final Tests.

Simulação funcional

Desenvolvimento baseado em linha de produtos

Geração de código automática

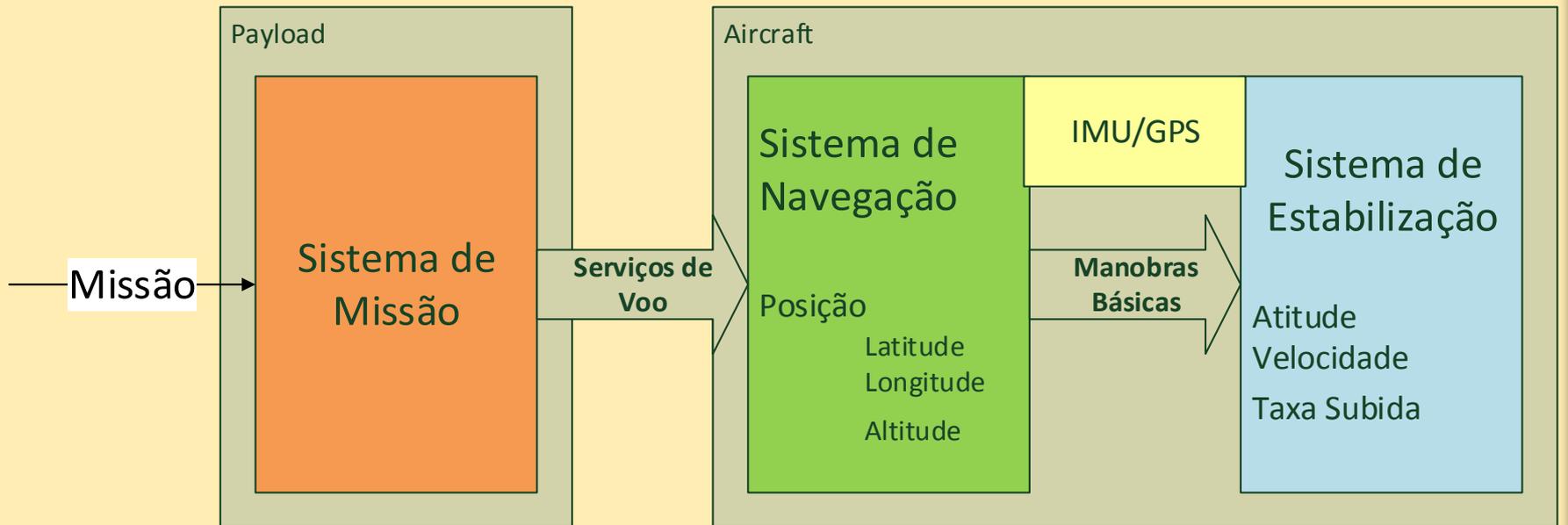
# Arquitetura de um SisVANT

- ▶ Segmento terrestre
  - ▶ Estação de monitoramento e controle
  - ▶ Estação de controle de *payload*
- ▶ Segmento aéreo
  - ▶ Aeronave
  - ▶ Aviônica de controle
  - ▶ *Payload*
- ▶ Comunicações
  - ▶ Ar-Ar
  - ▶ Ar-Solo

# Arquitetura de um SisVANT

- ▶ Segmento terrestre
  - ▶ Estação de monitoramento e controle
  - ▶ Estação de controle de *payload*
- ▶ Segmento aéreo
  - ▶ Aeronave
  - ▶ Aviônica de controle
  - ▶ **Payload**
- ▶ **Comunicações**
  - ▶ Ar Ar
  - ▶ Ar solo

# Organização Básica de um Piloto Automático



## Manobras Básicas:

- Voo nivelado
- Curva nivelada à esquerda de média inclinação
- Voo ascendente
- Curva ascendente à direita com baixa inclinação
- Etc...

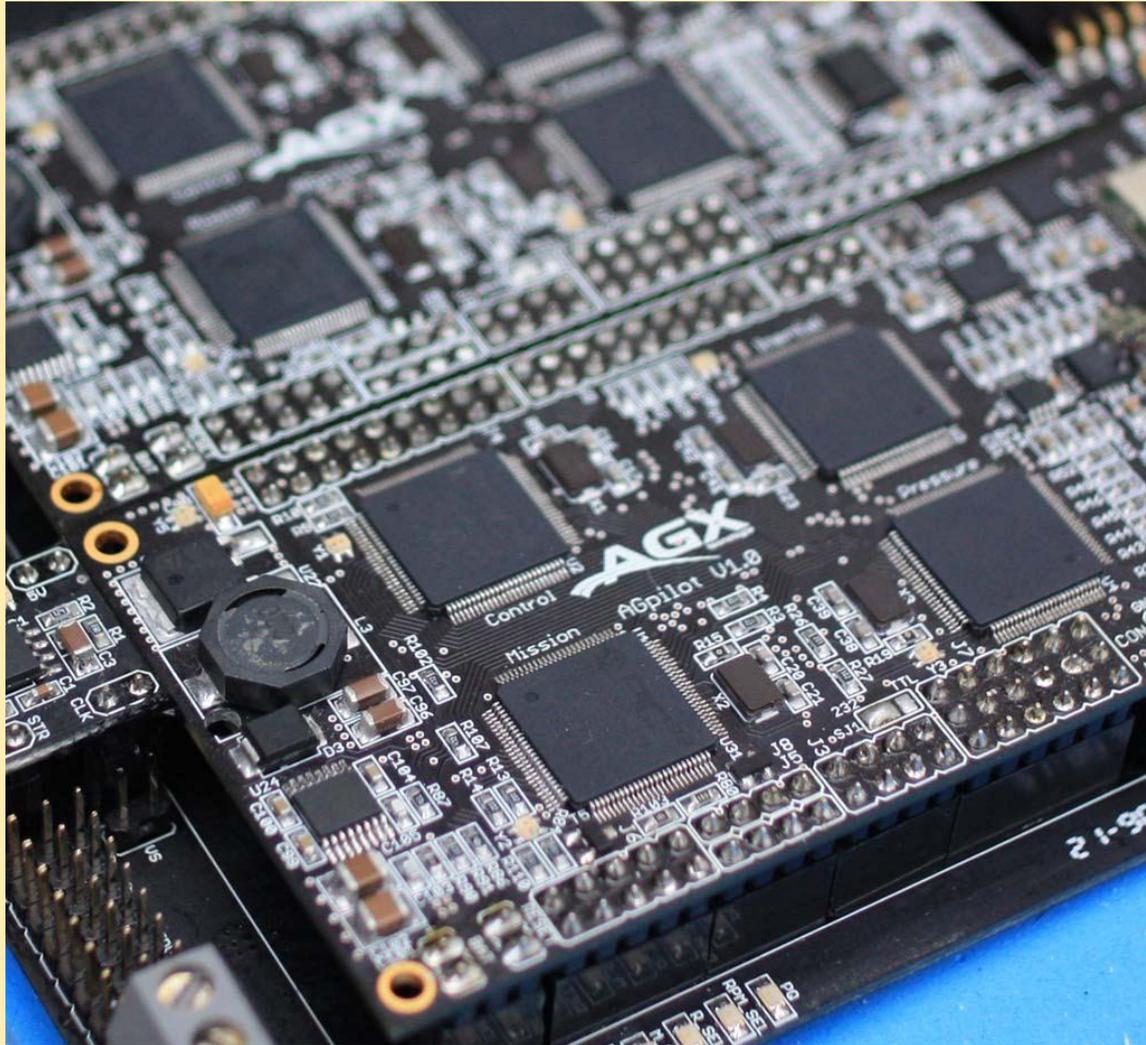
# Classes de INS/IMU

Classe	Tipo	Desempenho	Uso	Custo
<i>Marine</i>	INS	<i>Drift</i> < 1.8 Km/dia	Embarcações Espaçonaves	US\$ 10 <sup>6</sup>
<i>Aviation Navigation</i>	INS	Drift < 1.5 Km na primeira hora	Aviação militar	US\$ 10 <sup>5</sup>
<i>Intermediate</i>	IMU	10x pior que na classe anterior	Aviação civil leve	US\$ 2-5 10 <sup>4</sup>
<i>Tactical</i>	IMU	Usável por alguns minutos sem GPS - AHRS	UAVs	US\$ 5-20 10 <sup>3</sup>
<i>Automotive</i>	IMU	Normalmente integradas com GPS - AHRS	Automóveis, Video Games, Celulares	US\$ 15

# Piloto Automático para SisVANTs de Pequeno Porte



# Piloto Automático para SisVANTs Médios – Sistema Redundante



# Iniciativas Livres

GISA e  
Ararinha



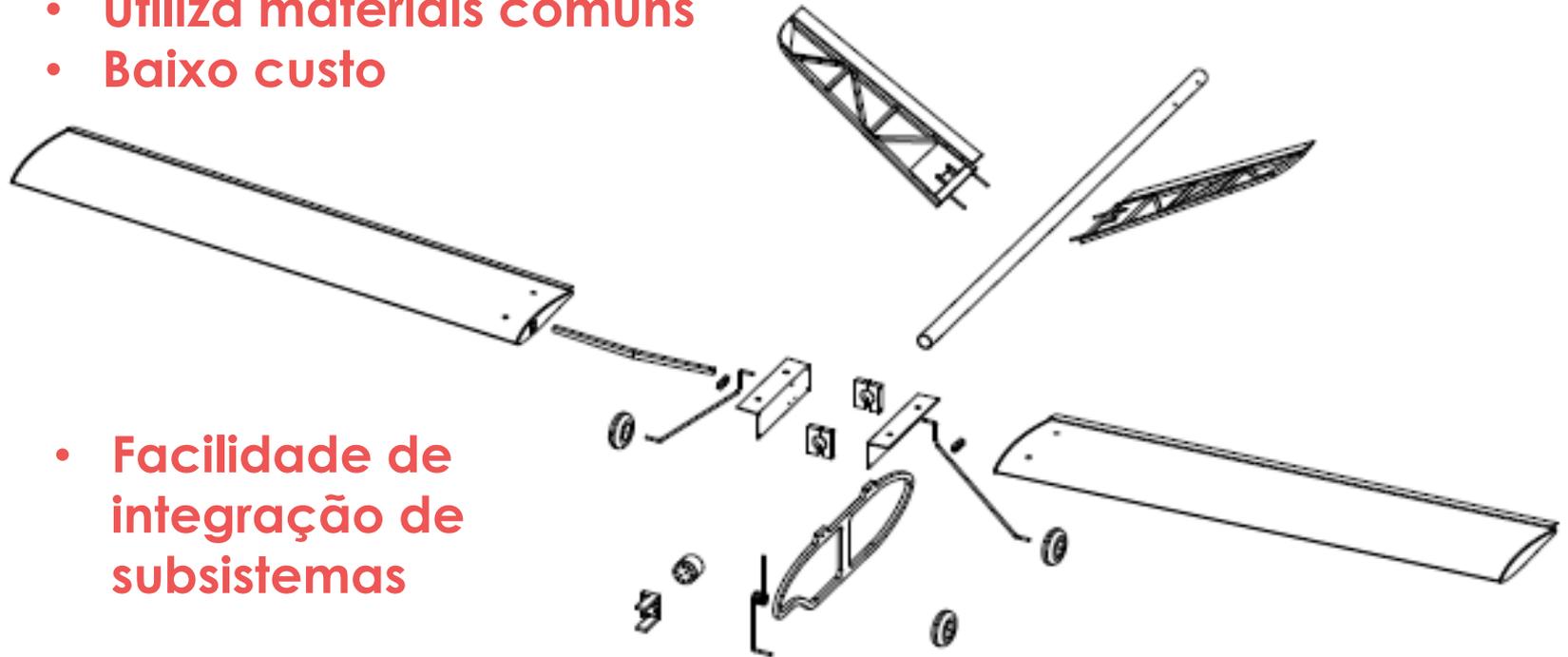
# Ararinha

Aeronave desenvolvida dentro do GISA – Grupo de Interesse em SisVANTs e Aplicações para servir de plataforma de desenvolvimento acadêmico em SisVANTs ([www.gisa.icmc.usp.br](http://www.gisa.icmc.usp.br))

Objetivo – disseminar conhecimento na área de sistemas de veículos aéreos não tripulados e aplicações congregando a academia, indústria e iniciativas amadoras

# Ararinha

- **Construção Simplificada**
- **Utiliza materiais comuns**
- **Baixo custo**



- **Facilidade de integração de subsistemas**

# Definindo Sucesso de Utilização

- Ponto de vista **segurança** – não incorrer em falhas catastróficas com risco potencial de perda de vidas humanas ou instalações de alto custo em solo
- Ponto de vista **missão** – cumprir integralmente a missão programada

# Definindo Sucesso de Utilização

- Ponto de vista econômico – a hora de voo de um VANT deve custar menos que a hora de voo de um aeronave leve, tripulada, que cumpra a mesma missão
  - Embora esse fator pareça fácil de ser cumprido, essa não tem sido a realidade. P. ex, supondo que a hora de uma aeronave leve tripulada custe cerca de 500 reais (para aluguel) e desprezando-se o custo da equipe de operação do VANT (o que pode ser uma completa inverdade), um VANT de R\$ 50.000,00 deve ser capaz de realizar pelo menos 200 missões de  $\frac{1}{2}$  hora cada sem custo adicional para ser economicamente viável

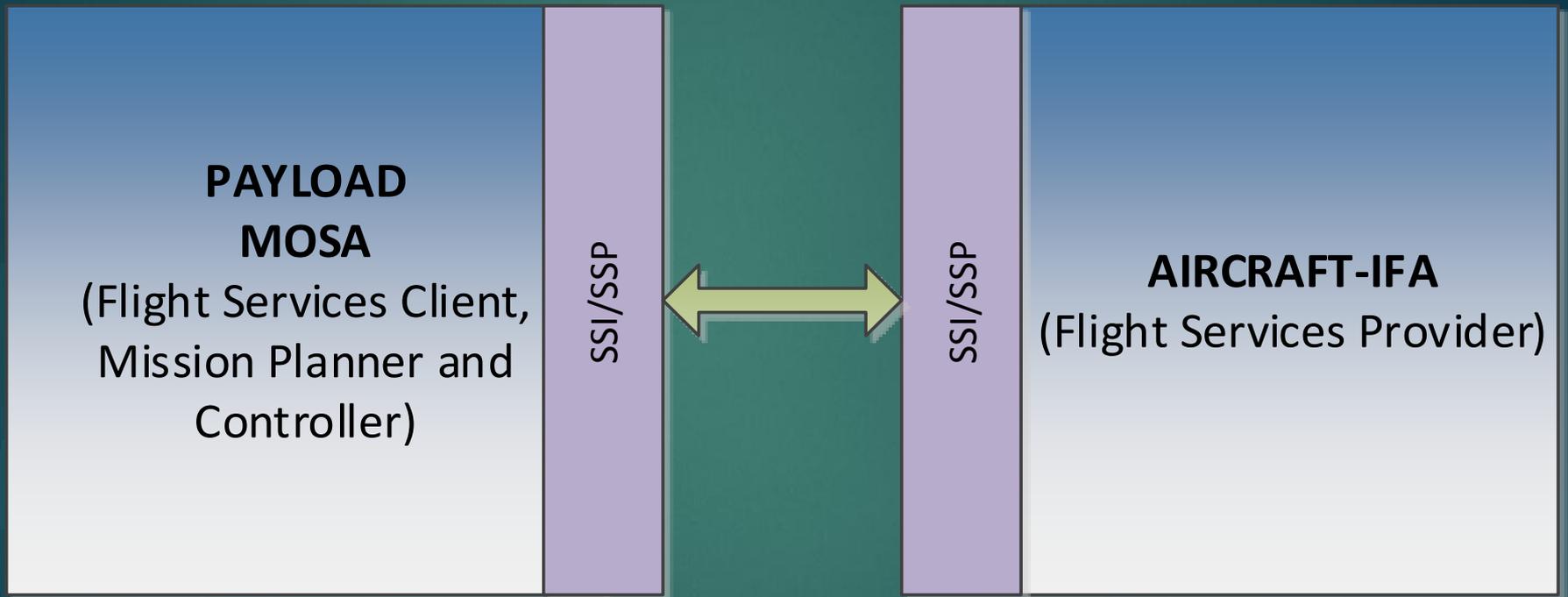
# Fatores de Insucesso

- Erros de projeto e implementação do sistema:
  - Especificação errada ou incompleta;
  - Falhas de implementação;
  - Testes incompletos ou inadequados.
- Erros no processo de fabricação e controle de qualidade;
- Falhas normais dos sistemas;
- Falhas operacionais:
  - Manutenção inadequada;
  - Erro de planejamento das missões;
  - Operação inadequada.
- Fatores externos:
  - Ambientes hostis, incluindo fatores climáticos e outros de qualquer natureza;
  - Ataque físico ou lógico;
  - Coordenação de uso do espaço aéreo.

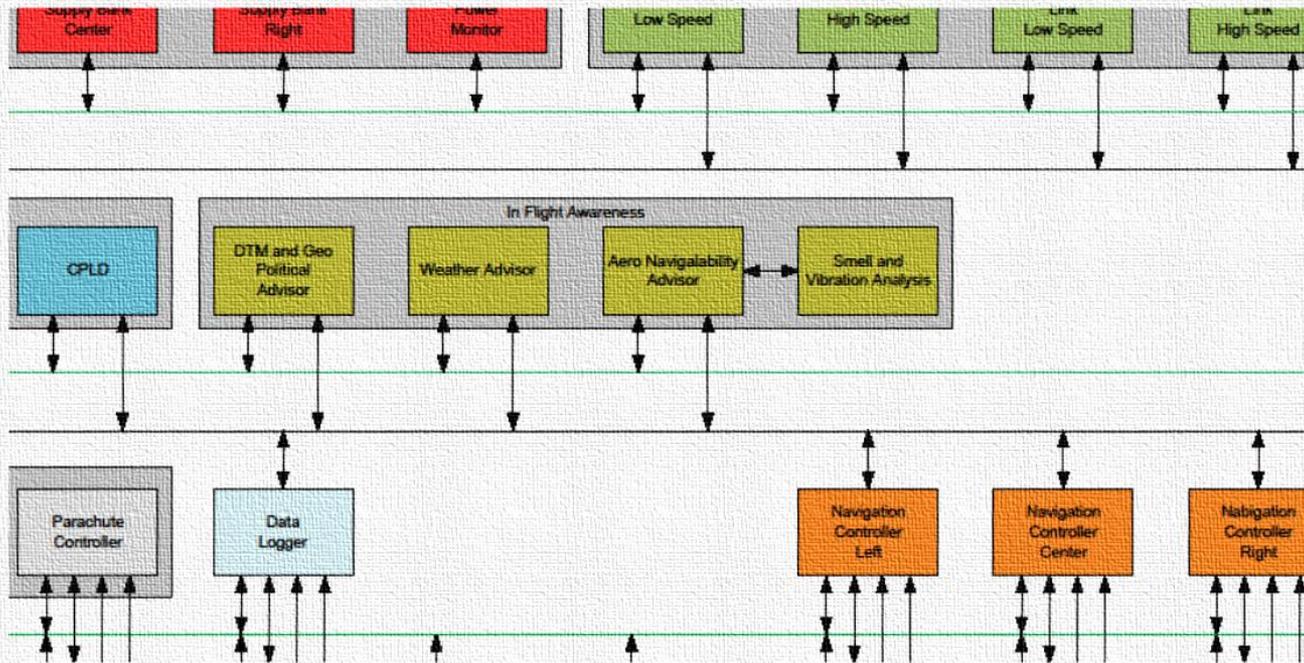
# Experiências Observadas

- Experiências observadas:
  - Na literatura tem-se citado com frequência uma perda de aeronave não tripulada para cada 100 horas de voo (incidência 100 vezes maior que a observada para aeronaves leves de uso civil);
  - Exército britânico no Afeganistão: 412 Desert Hawk 3 (Lookheed Martin) perdidos em 5 anos, ou seja, uma aeronave a cada 5 dias. Supondo duas horas de voo em média por dia (o que é razoável), isso implica na perda de uma aeronave a cada 10 horas de voo, nenhuma abatida pelo fogo inimigo.

# Separando Missão e Aeronave



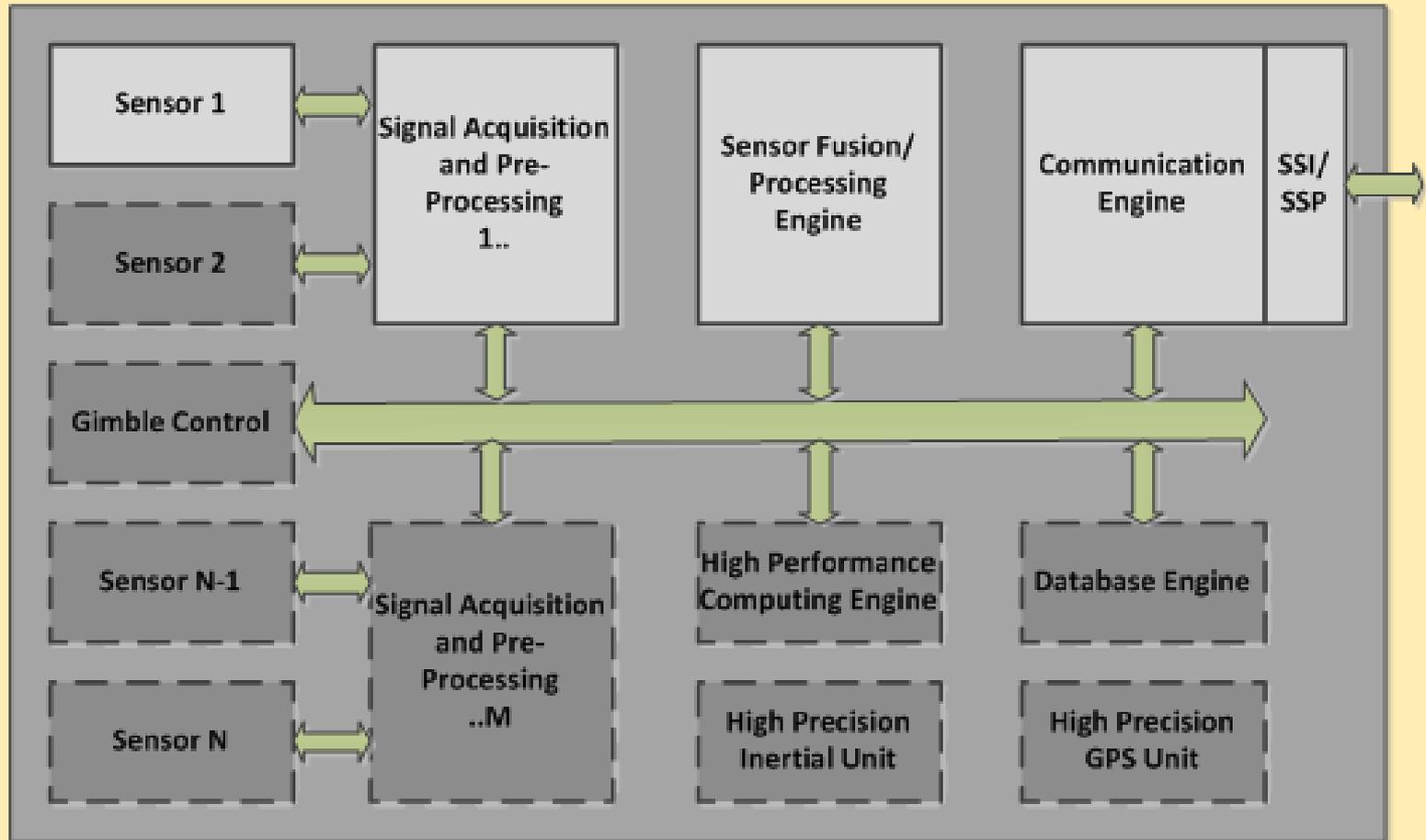
# IFA – In Flight Awareness



## Objetivos:

- Colocar de volta na aeronave o conhecimento situacional de um piloto humano
- Geo-política (DTM, fronteiras, ocupação humana, opções de pouso, obstáculos, etc...)
- Aeronavegabilidade e condições climáticas
- Tráfego aéreo

# MOSA – Mission Oriented Sensor Arrays



**MOSA – Arquitetura Básica**

# Estudo de Caso

## Projeto Tiriba



- Propulsão elétrica
  - Peso máximo: 4.3kg
  - *Payload*: 800 g
  - Autonomia: 45 min
  - Cruzeiro: 100km/h
  - Estol: 45km/h
- Voo autônomo ou remotamente controlado
- Pouso – manual ou por paraquedas
  - Paraquedas de emergência
  - Decolagem - lançamento manual

# Caso de Estudo

- Homologação de Uso para a PMA
- Fatores de sucesso, em ordem de prioridade:
  1. Não permitir voo sem controle;
  2. Interromper o voo de forma controlada sempre que o risco de ocorrência de falha catastrófica for considerado muito alto;
  3. Cumprir a missão.

# Caso de Estudo

- Pontos importantes
  - Por não possuir pessoas a bordo, a destruição de um VANT não constitui falha catastrófica, podendo inclusive ser utilizada como fator mitigador de falha catastrófica;
  - O paraquedas é um bom dispositivo de término controlado de voo. Mesmo quando ele não infla propriamente, ele impede que a aeronave saia da área pré-determinada para voo.

# Caso de Estudo

- Pontos importantes
  - Supõe-se operação em áreas fracamente povoadas, com densidade menor que 20 hab/Km<sup>2</sup>;
  - Supõe-se probabilidade de colisão aérea desprezível, consequência das ações adotadas para coordenação do uso do espaço aéreo;
  - Supõe-se desprezível a probabilidade de danos a instalações importantes em solo por causa da baixa energia de impacto representada pela aeronave e seleção criteriosa da região sobrevoada.

Situação	Velocidade de ensaio [m/s]	Energia [KJ]	Observações
Pouso normal (velocidade horizontal)	18	0,65	
Descida vertical em queda livre não planada (provavelmente motivada por falha estrutural)	60	7,2	
Descida horizontal em voo planado sem motor (provavelmente motivada por perda de propulsão)	28	1,56	
Descida vertical com paraquedas não inflado	20	0,8	Energia pouco maior que um pouso normal (ainda perigosa para impacto direto sobre pessoas em solo porem substancialmente menor que a associada com uma queda livre ou voo planado)
Descida vertical com paraquedas inflado	7	0,1	

### Caso 1: Descida em voo planado (falha total do paraquedas)

Parâmetros			Cálculos		
Densidade populacional	20	Hab/Km <sup>2</sup>	Área de colisão varrida pela aeronave durante a descida	50.4	m <sup>2</sup>
Área sobrevoada em 1 hora	15	Km <sup>2</sup>	Número de pessoas na área sobrevoada	300	Hab
Velocidade vertical de descida	2	m/s	Taxa de falhas totais do paraquedas	1.0E-03	Fal/hora
Velocidade horizontal de descida	25	m/s	Taxa de falhas parciais do paraquedas	1.0E-04	Fal/hora
Envergadura da aeronave	2.24	m/s	Taxa de colisões com pessoas em solo	1.0E-03	Col/hora
MTBF da aeronave (falhas catastróficas)	100	horas	Taxa de fatalidades	1.0E-08	Fat/hora
MTBF do mecanismo de término controlado de voo	1000	horas			
MTBF paraquedas (falha parcial)	10	horas			
Altura de uma pessoa	1.8	m			

### Caso 2: Descida vertical (falha parcial do paraquedas)

Parâmetros			Cálculos		
Densidade populacional	20	Hab/Km <sup>2</sup>	Área de colisão varrida pela aeronave	2.016	m <sup>2</sup>
Área sobrevoada em 1 hora	15	Km <sup>2</sup>	Número de pessoas na área sobrevoada	300	Hab
Velocidade vertical de descida	20	m/s	Taxa de falhas totais do paraquedas	1.0E-03	Fal/hora
Velocidade horizontal de descida	10	m/s	Taxa de falhas parciais do paraquedas	1.0E-04	Fal/hora
Envergadura da aeronave	2.24	m/s	Taxa de colisões com pessoas em solo	4.0E-05	Col/hora
MTBF da aeronave (falhas catastróficas)	100	horas	Taxa de fatalidades	4.0E-10	Fat/hora
MTBF do mecanismo de término controlado de voo	1000	horas			
MTBF paraquedas (falha parcial)	10	horas			
Altura de uma pessoa	1.8	m			

# Comentários Finais

- VANTs não somente substituem, mas ampliam a faixa de aplicações e configurações das aeronaves tripuladas
- Aviônica avançada tem sido em grande parte a responsável pelos elevados níveis de segurança exibidos pela aviação comercial
- Sensores cada vez mais sofisticados e orientados a missão devem fazer dos VANTs o principal meio para sensoriamento remoto inteligente

# Comentários Finais

- Mecanismos tipo IFA devem levar a segurança de voo para níveis até aqui inimagináveis mesmo para a aviação comercial
- VANTs devem ser o tipo predominante de aeronaves em um futuro distante 10 anos ou pouco mais
- Mercado potencial de SisVANTs e Aplicações para uso civil é estimado em US\$ 80 bilhões anuais para 2017.