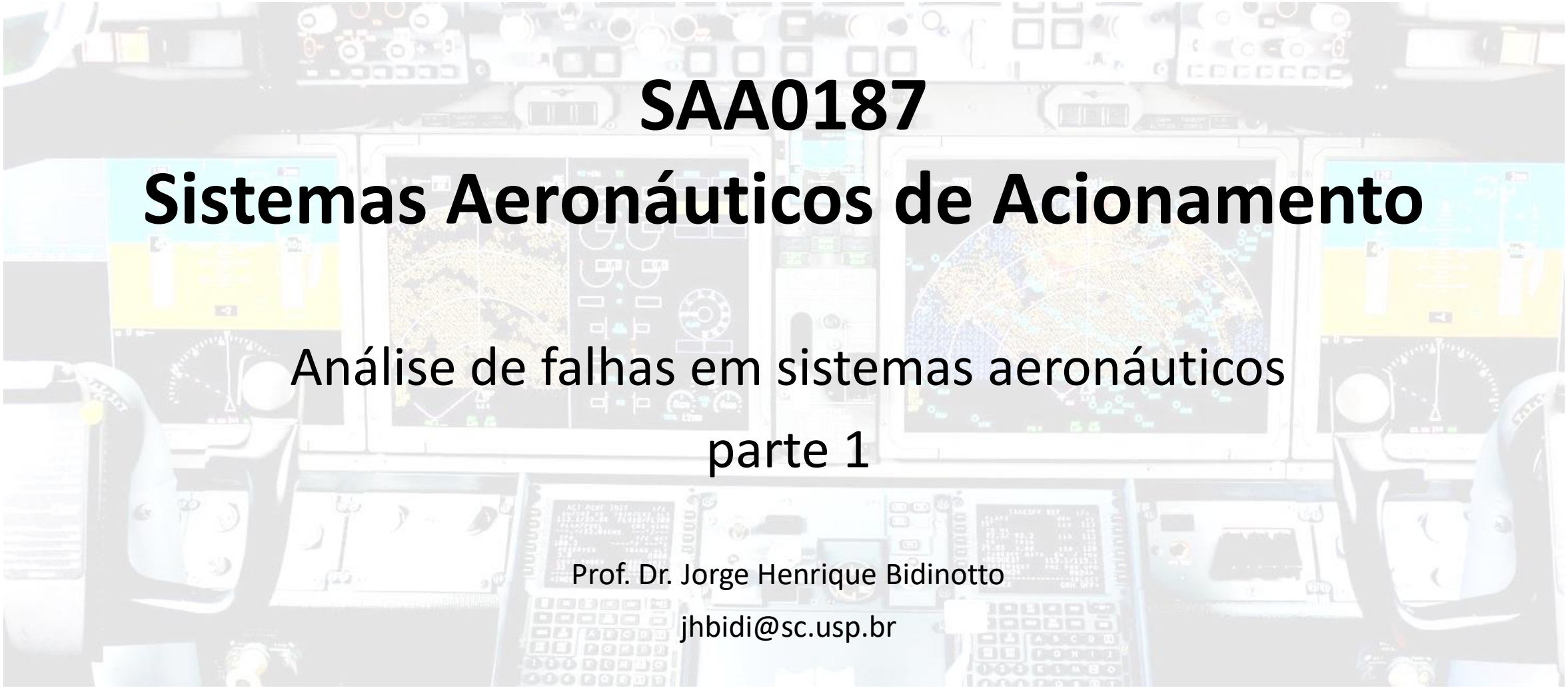


SAA0187
Sistemas Aeronáuticos de Acionamento

Análise de falhas em sistemas aeronáuticos
parte 1

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

jhbidi@sc.usp.br

Sumário

- Conceitos preliminares
- Perspectiva histórica
- O acidente aeronáutico

Sumário

- Conceitos preliminares
- Perspectiva histórica
- O acidente aeronáutico

Conceitos preliminares

- Safety Assessment = Análise de Confiabilidade e Segurança de Sistemas

- Permite desenvolvimento do produto com aplicação paralela e simultânea da análise de segurança

- Desenvolve produtos com base em requisitos de segurança solidamente definidos (high level safety requirements)

Conceitos preliminares

Safety ≠ Security

- **Safety** – ligado à segurança da aeronave
- **Security** – ligado a ameaças externas decorrentes de atos ilegais/criminosos

Assessment ≠ Analysis

- **Assessment** – Ferramenta de engenharia baseada em julgamentos de engenharia. Analisa o funcionamento do sistema como um todo
- **Analysis** – Análise pontual de um componente e/ou seu funcionamento

Conceitos preliminares

- **Aeronavegabilidade (Airworthiness)** – Capacidade de a aeronave realizar, de forma continuada, as operações para a qual foi projetada

- **Confiabilidade (Reliability)** – Probabilidade de um item desempenhar sua função, dentro de condições especificadas, por um determinado período de tempo

- **MEL (Minimum Equipment List)** – Corresponde à lista mínima de equipamentos que devem estar presentes em uma aeronave para que ela possa realizar uma operação numa determinada condição

- **MMEL (Master MEL)** – Lista mínima de equipamentos para operação em qualquer condição

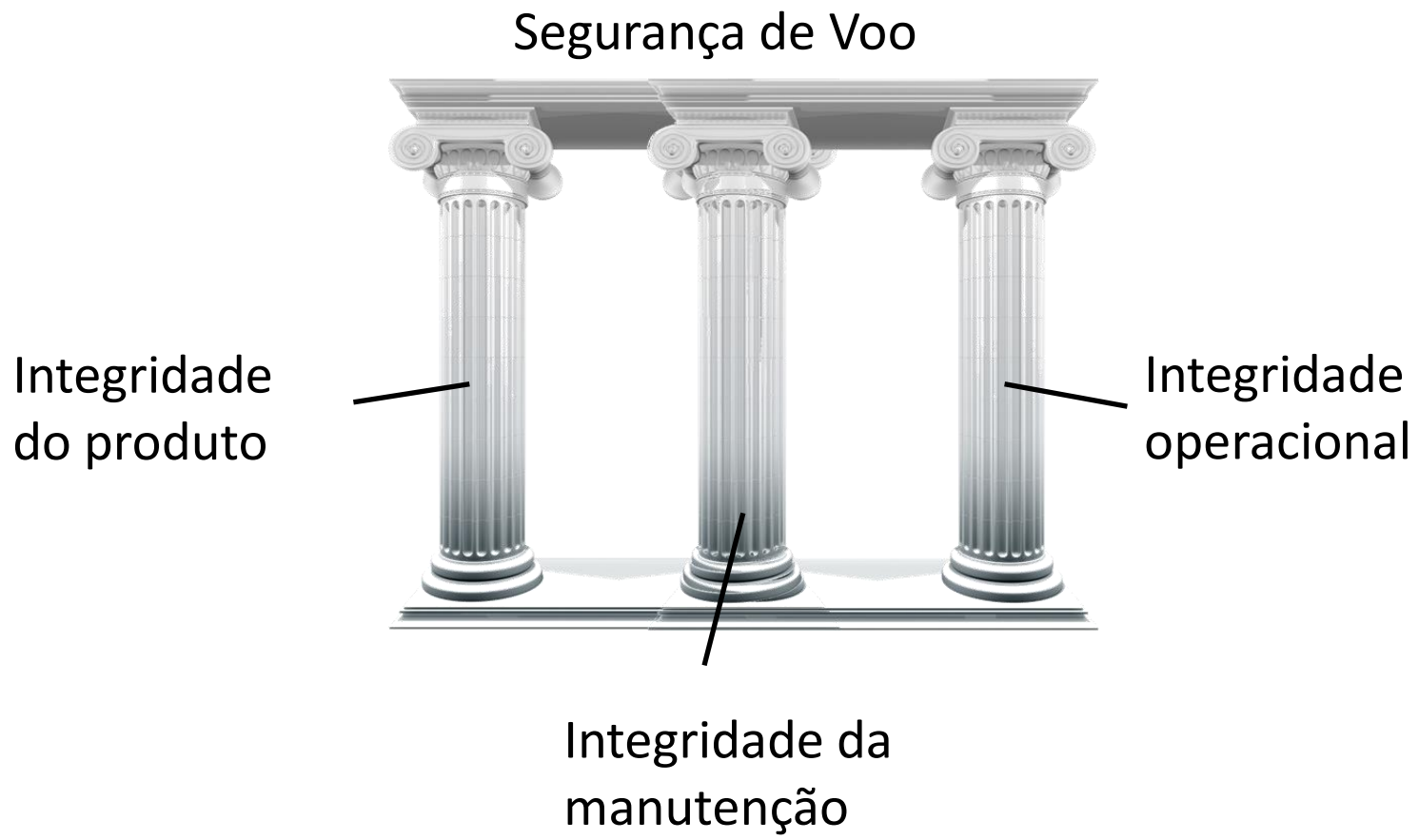
MEL ≠ MMEL

Conceitos preliminares

- **Fatores que influenciam um projeto seguro:**
  - Tecnologia
  - Metodologia
  - Lições Aprendidas
  - Requisitos
  - Fatores Humanos
  - Conhecimento das Falhas

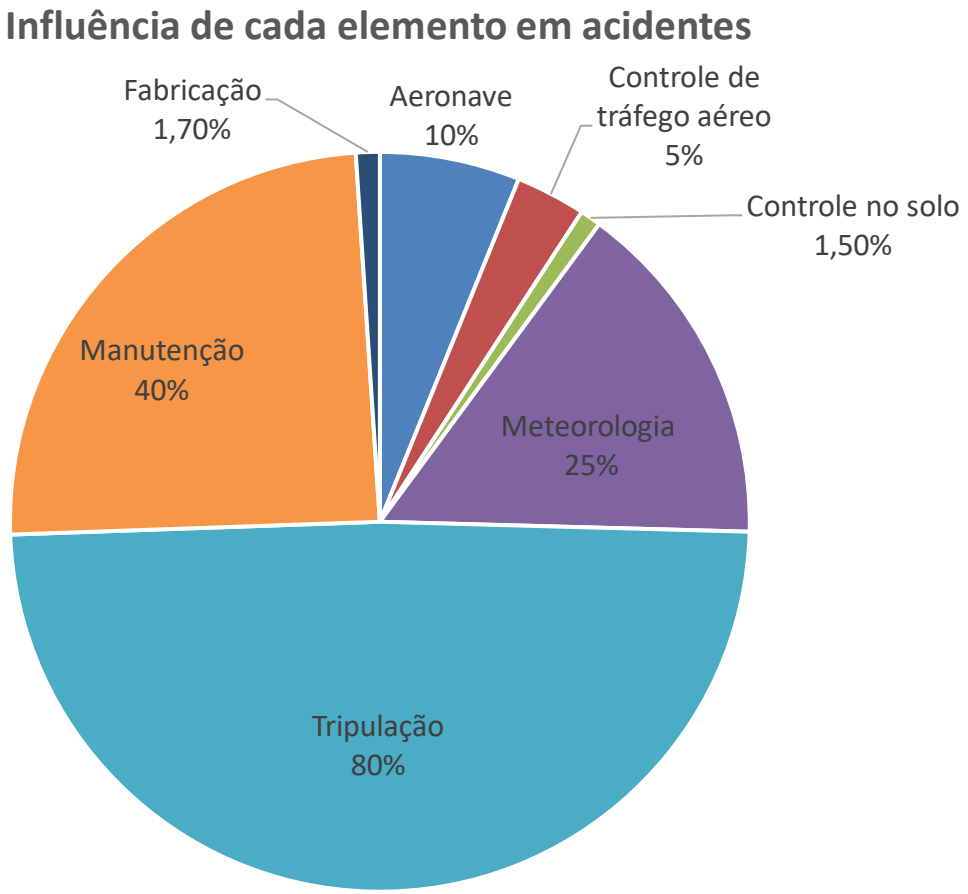
Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo**



Conceitos preliminares

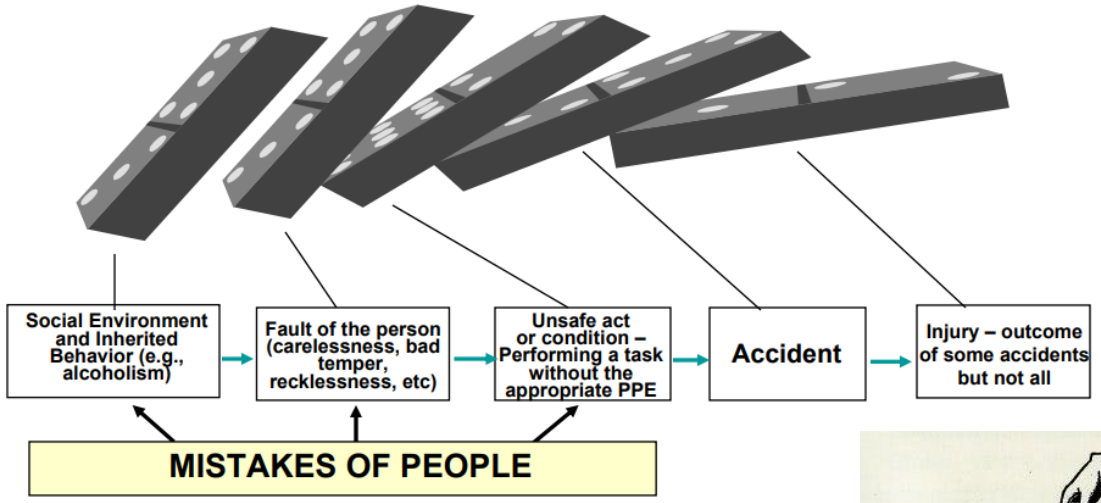
- **Segurança de Voo**

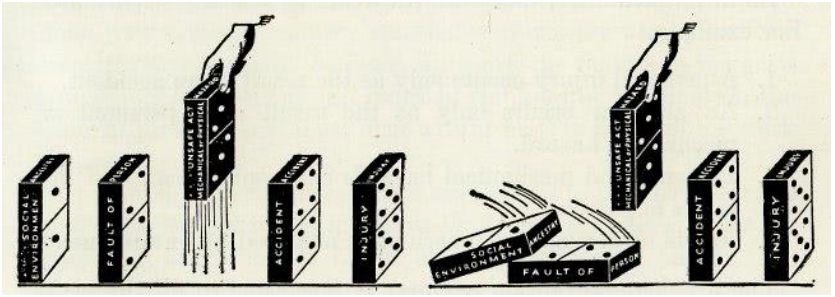


Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo – Modelos**
- Modelo Sequencial (Dominó)

Herbert W. Henrich (1932)





Conceitos preliminares

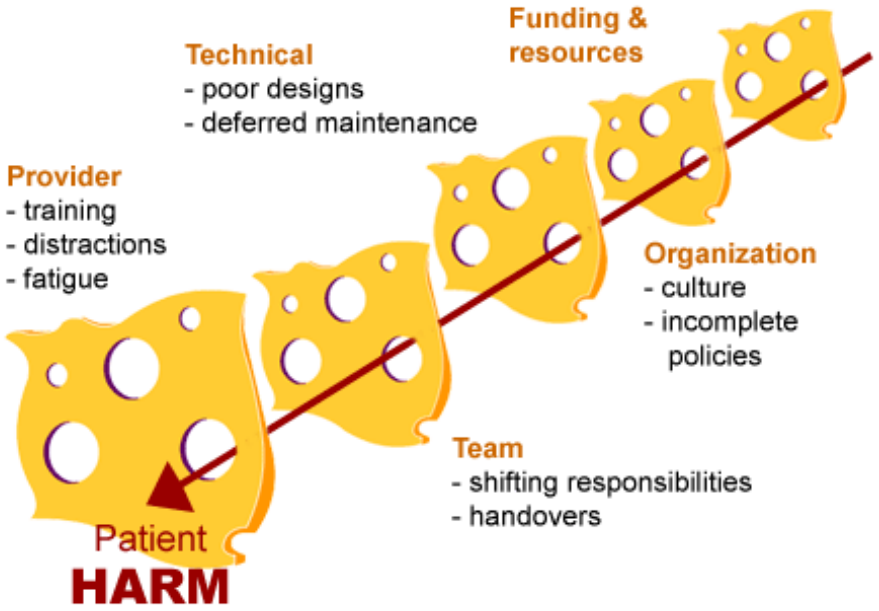
- **Segurança de Voo – Modelos**
- Pirâmide de Heinrich

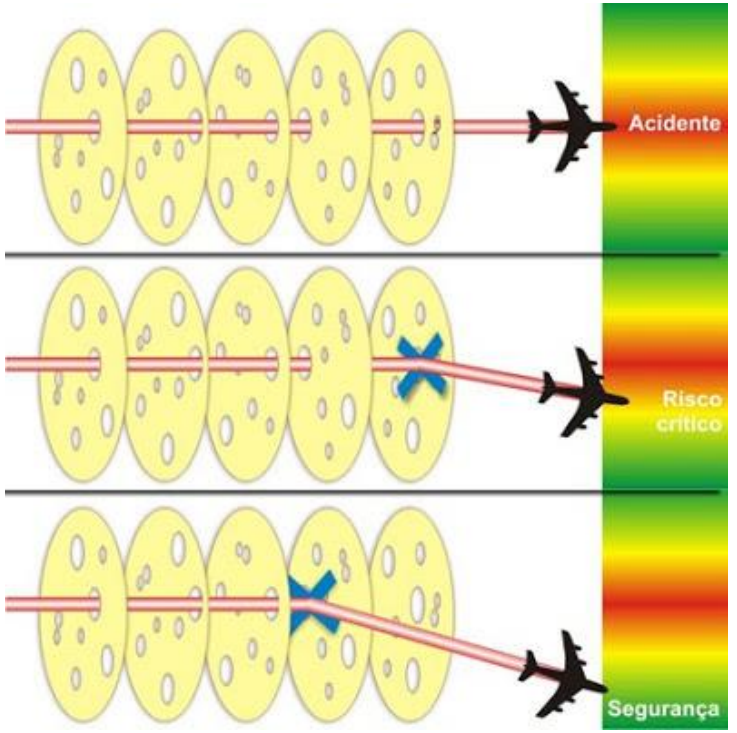
Herbert W. Henrich

Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo – Modelos**
- Modelo do queijo suíço

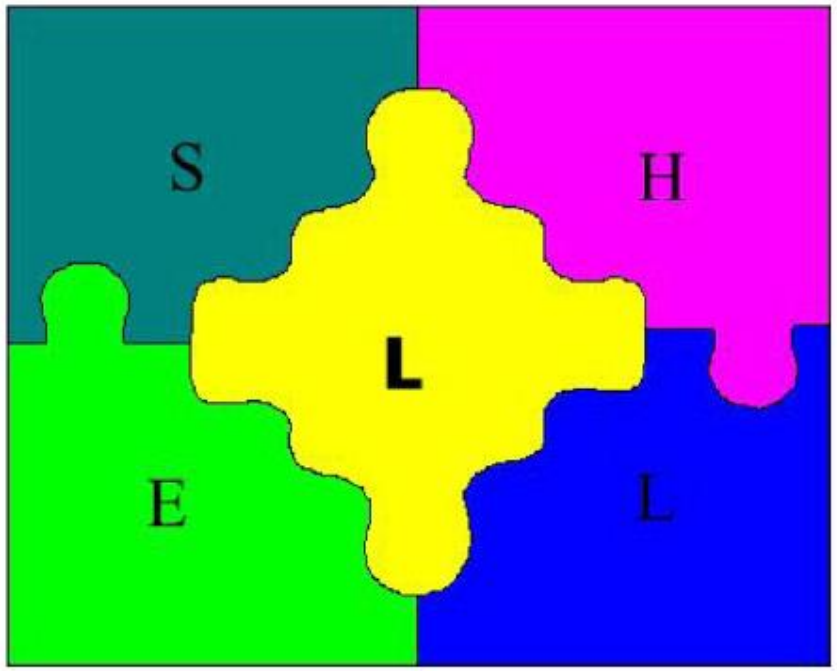
James Reason (década de 1980)





- **Segurança de Voo – Modelos**
- Modelo SHELL

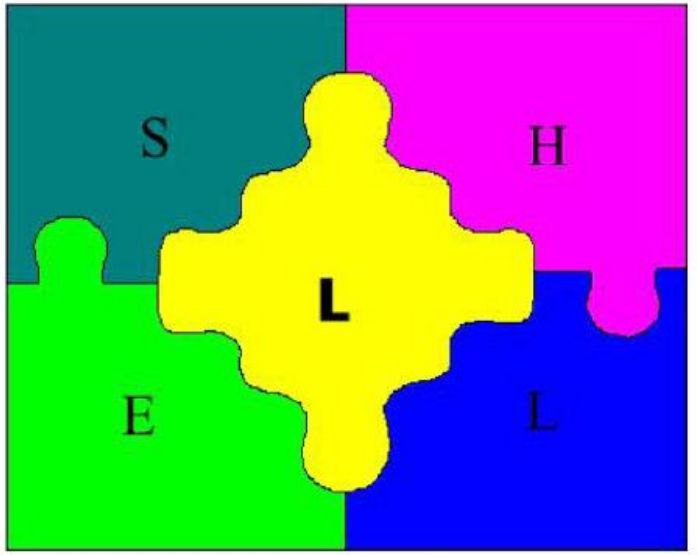
Edwards & Hawkins (década de 1970)



Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo – Modelos**
- Modelo SHELL

Edwards & Hawkins (década de 1970)



***Software* (S):** Suporte lógico, representa todo tipo de informação escrita disponível (requisitos normativos, manuais de operação, fichas de despacho, etc.) e também a automatização dos processos (piloto automático, planilhas de calculo etc.);

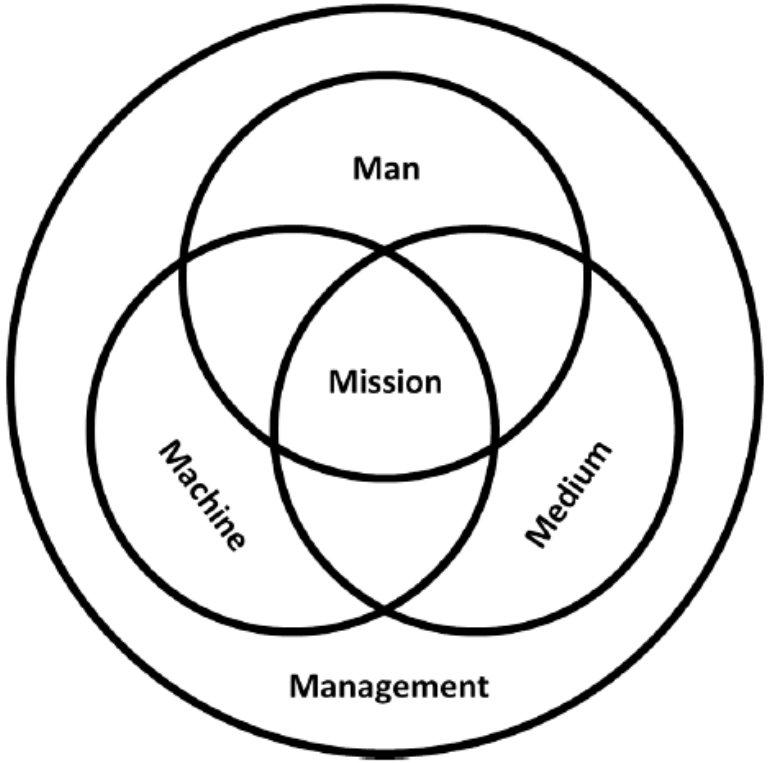
***Hardware* (H):** simboliza os equipamentos em si com todas as variáveis envolvidas (ergonomia, espaço de trabalho etc.);

***Environment* (E):** retrata o ambiente, sendo assim, pode estar para as condições dos espaços físico interno e externo a aeronave, assim como para os hangares de manutenção, conjuntura de pátio de manobras etc.;

***Liveware* (L):** trata-se do próprio elemento humano com suas capacidades e limitações fisiológicas, psicológicas e sociais (visão, audição, vícios, personalidade, motivação, atenção, relações, problemas etc.).

Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo – Modelos**
- Teoria 5M



Conceitos preliminares

- **Segurança de Voo – Modelos**
- Como lidar com a segurança de voo??

ATAQUE vs DEFESA

Sumário

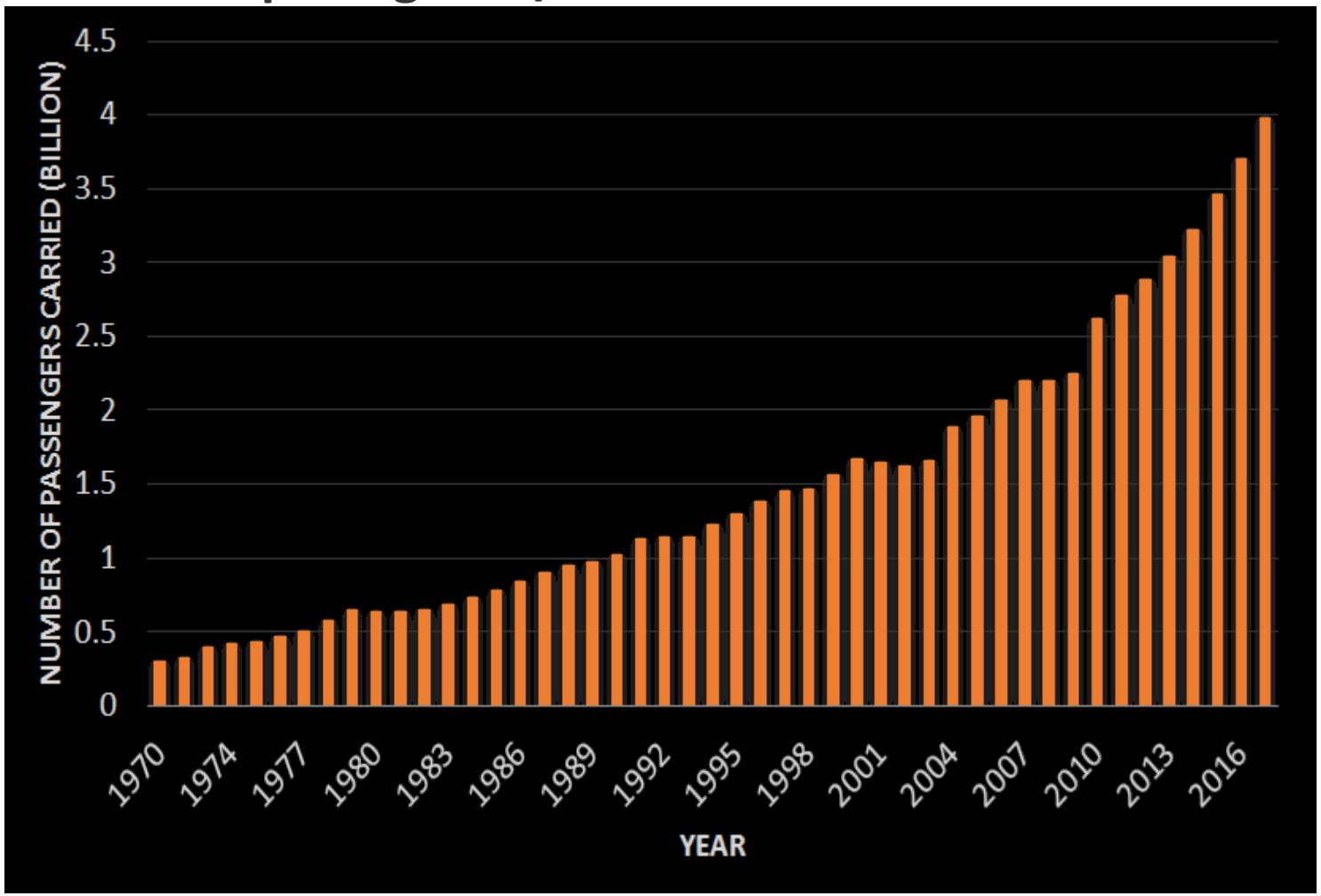
- Conceitos preliminares
- Perspectiva histórica
- O acidente aeronáutico

Perspectiva histórica

- **1958 – Criação do FAA**
- Surgimento de outras autoridades de certificação
- FAA – Federal Aviation Administration
- FAR – Federal Aviation Regulations
  - Parte das leis federais dos EUA:
  - CFR14 (Aeronautics and Space)
  - Chapter 1 (FAA)
  - Sub-chapter C (Aircraft)
  - Part 23, 25, etc.
- www.faa.gov

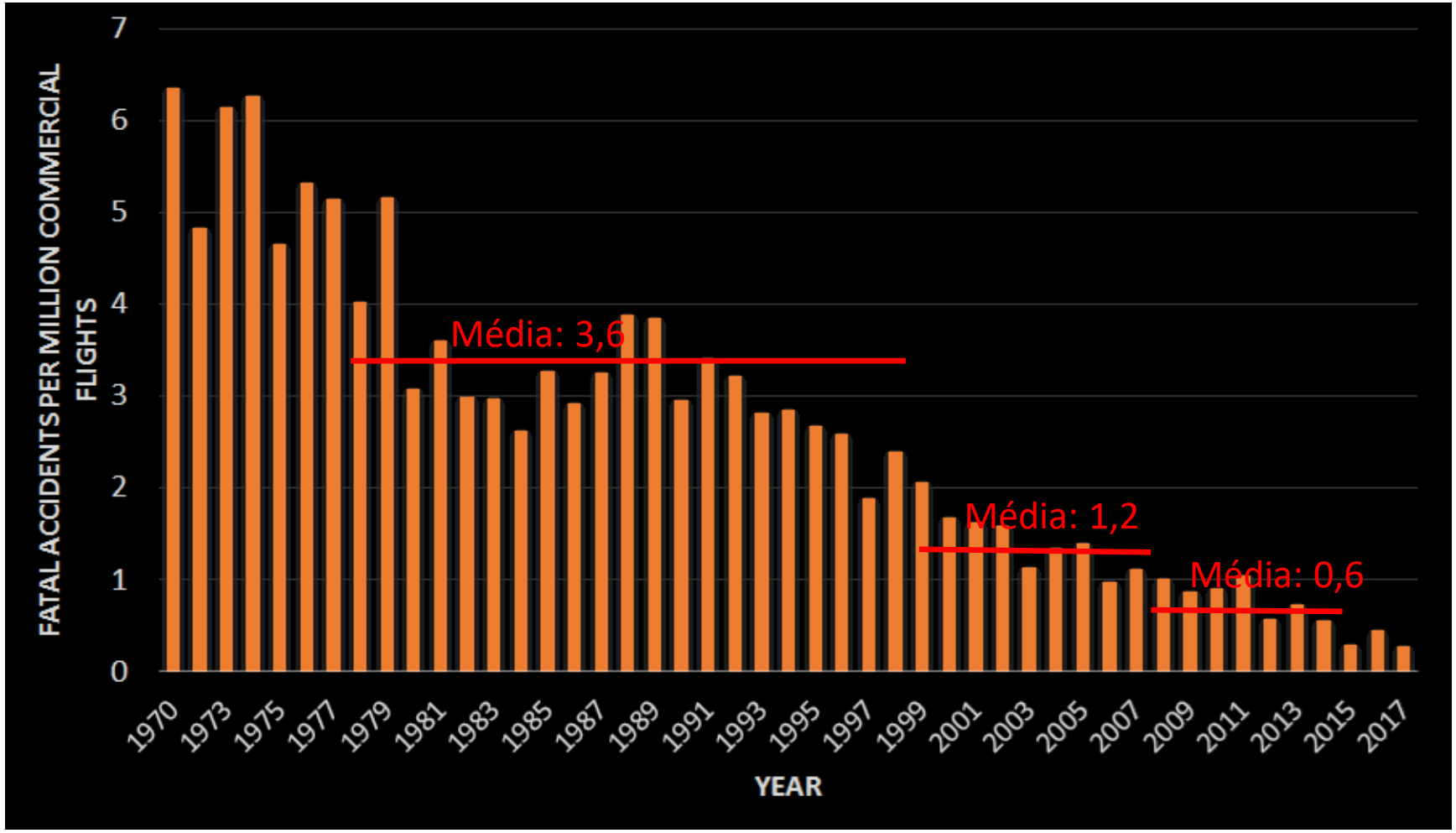
Perspectiva histórica

- Evolução do número de passageiros/ano



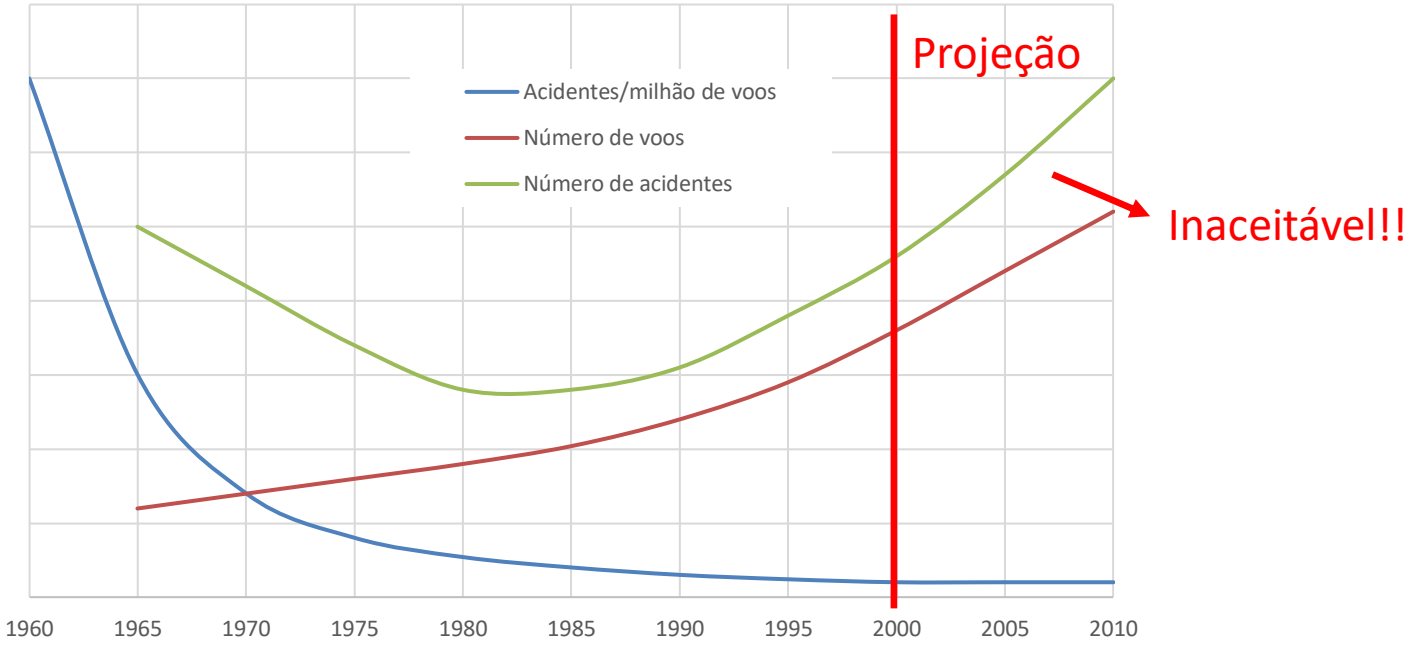
Perspectiva histórica

- Evolução do número de acidentes por milhão de voos/ano



Perspectiva histórica

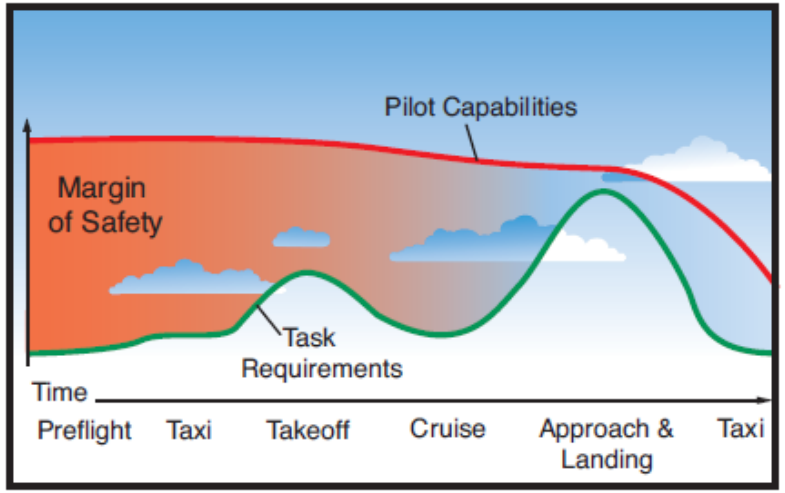
- **Evolução do número de acidentes por milhão de voos/ano**



Perspectiva histórica

- **Número de acidentes por etapa do voo**

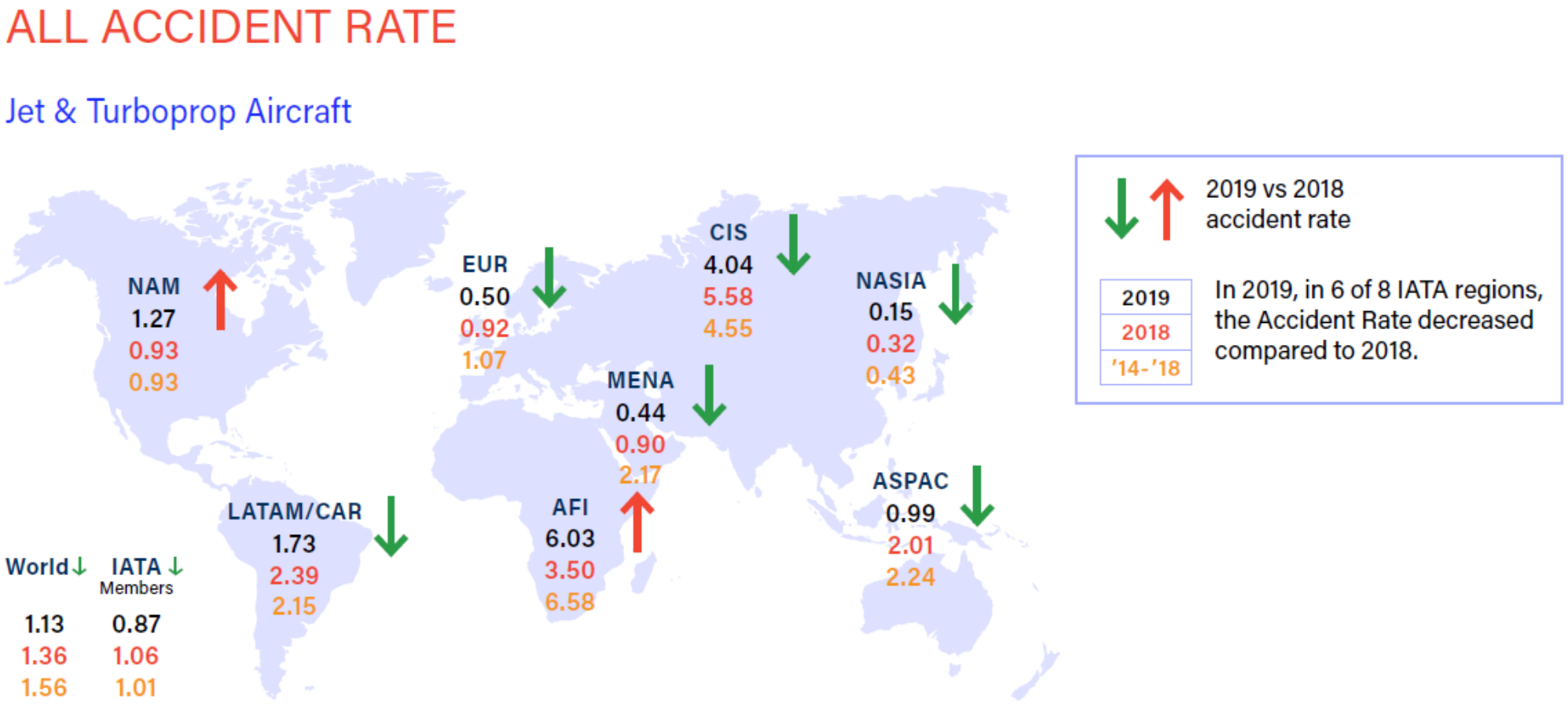
Fase do voo	Exposição [% do tempo do voo]	% de acidentes	Exposição [% do tempo do voo]	% de acidentes
Taxi	1	5,2	3	26,9
Decolagem	1	13,8		
Subida Inicial	1	7,9		
Subida	11	6,7	83	18,7
Cruzeiro	62	6,8		
Descida	10	5,2		
Aproximação Inicial	11	5,8	14	54,3
Aproximação Final	2	13,8		
Pouso	1	34,7		



Sumário

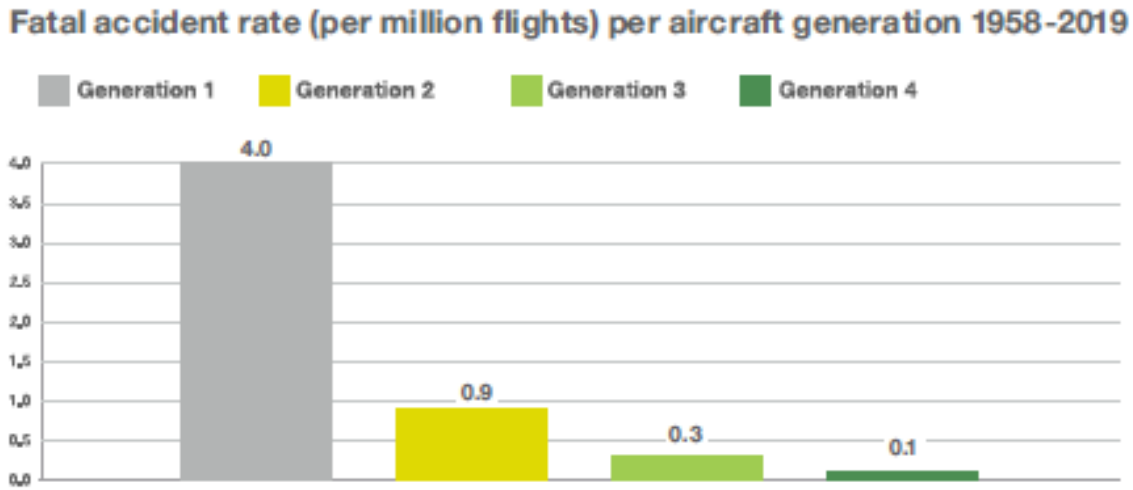
- Conceitos preliminares
- Perspectiva histórica
- O acidente aeronáutico

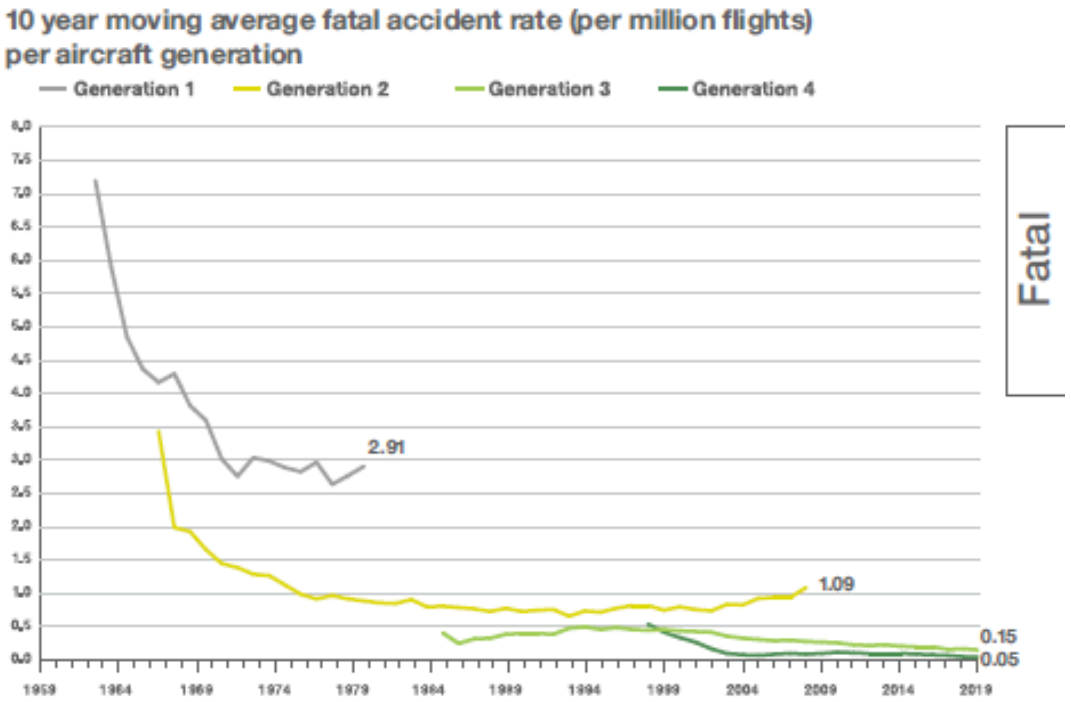
- **Número de acidentes por milhão de voos/região**



O acidente aeronáutico

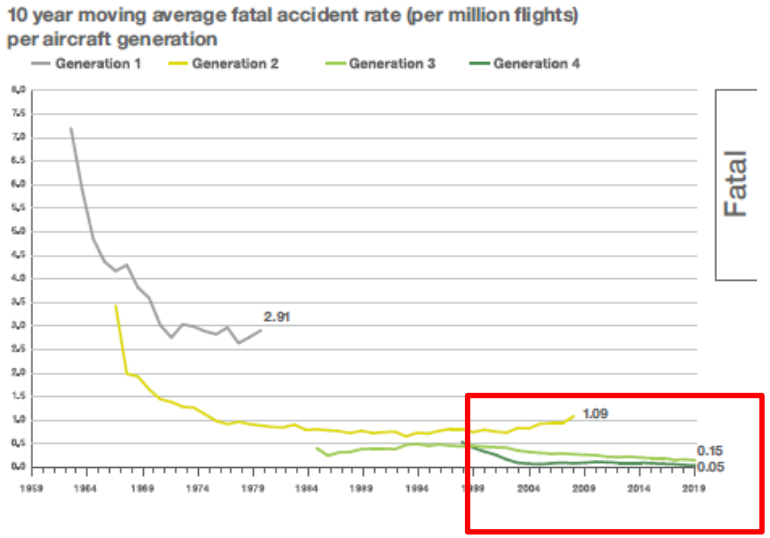
- **Influência das diferentes gerações de aeronaves na segurança de voo**

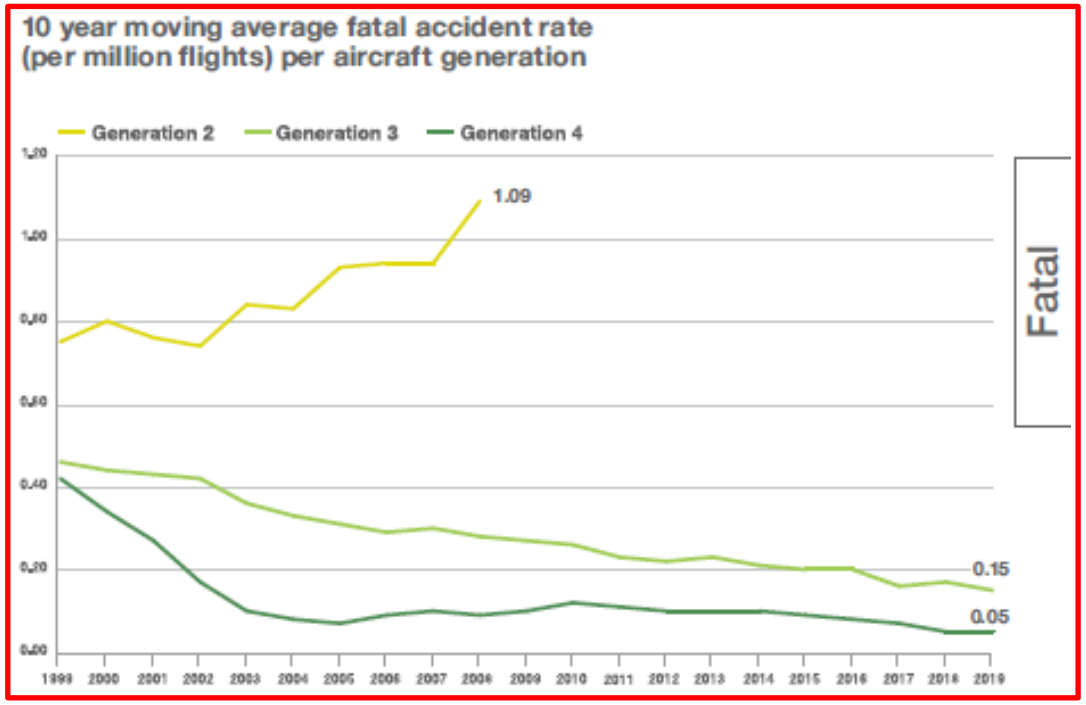




O acidente aeronáutico

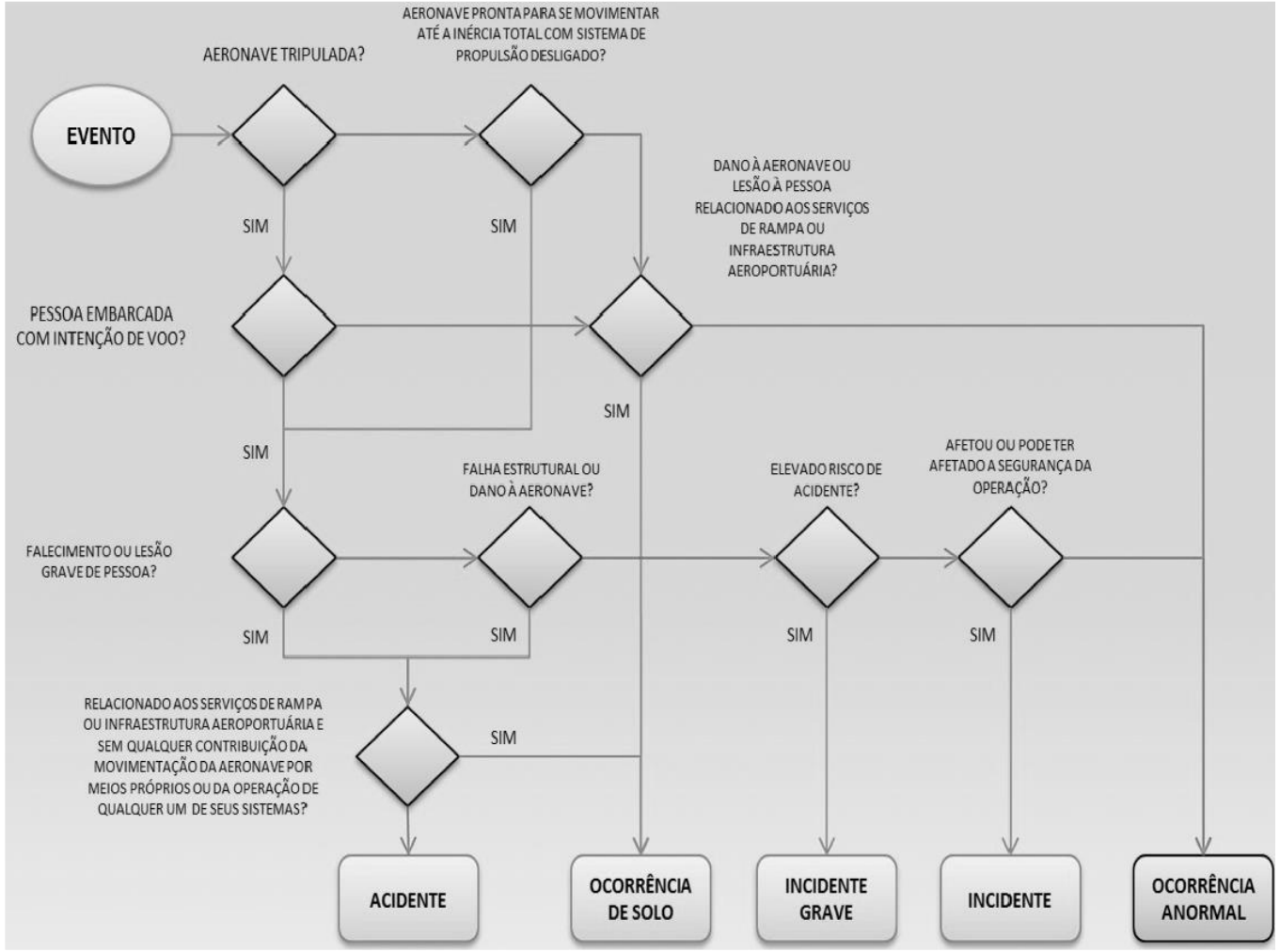
- **Influência das diferentes gerações de aeronaves na segurança de voo**





O acidente aeronáutico

- **Diagrama para classificação de evento aeronáutico**



O acidente aeronáutico

- Década de 1970
- Surge o requisito FAR 25.1309

§25.1309 Equipment, systems, and installations.

(a) The equipment, systems, and installations whose functioning is required by this subchapter, must be designed to ensure that they perform their intended functions under any foreseeable operating condition.

(b) The airplane systems and associated components, considered separately and in relation to other systems, must be designed so that—

(1) The occurrence of any failure condition which would prevent the continued safe flight and landing of the airplane is extremely improbable, and

(2) The occurrence of any other failure conditions which would reduce the capability of the airplane or the ability of the crew to cope with adverse operating conditions is improbable.

(c) Warning information must be provided to alert the crew to unsafe system operating conditions, and to enable them to take appropriate corrective action. Systems, controls, and associated monitoring and warning means must be designed to minimize crew errors which could create additional hazards.

(d) Compliance with the requirements of paragraph (b) of this section must be shown by analysis, and where necessary, by appropriate ground, flight, or simulator tests. The analysis must consider—

(1) Possible modes of failure, including malfunctions and damage from external sources.

(2) The probability of multiple failures and undetected failures.

(3) The resulting effects on the airplane and occupants, considering the stage of flight and operating conditions, and

(4) The crew warning cues, corrective action required, and the capability of detecting faults.

(e) In showing compliance with paragraphs (a) and (b) of this section with regard to the electrical system and equipment design and installation, critical environmental conditions must be considered. For electrical generation, distribution, and utilization equipment required by or used in complying with this chapter, except equipment covered by Technical Standard Orders containing environmental test procedures, the ability to provide continuous, safe service under foreseeable environmental conditions may be shown by environmental tests, design analysis, or reference to previous comparable service experience on other aircraft.

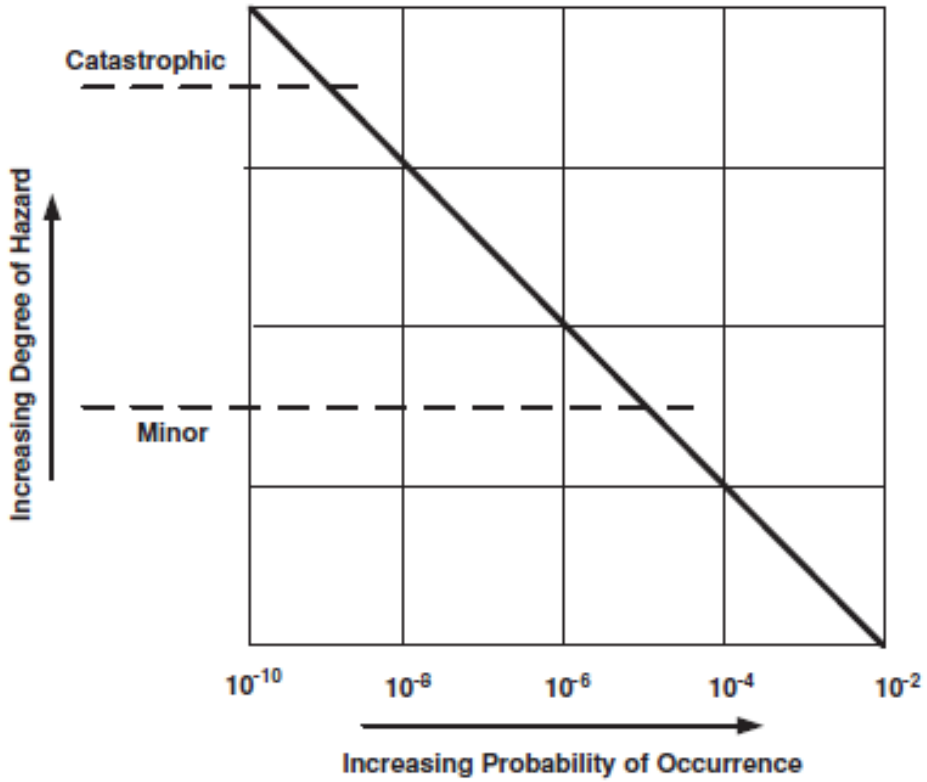
(f) EWIS must be assessed in accordance with the requirements of §25.1709.

[Amdt. 25-23, 35 FR 5679, Apr. 8, 1970, as amended by Amdt. 25-38, 41 FR 55467, Dec. 20, 1976; Amdt. 25-41, 42 FR 36970, July 18, 1977; Amdt. 25-123, 72 FR 63405, Nov. 8, 2007]

- **Classificação segundo órgãos certificadores**

Tipo	Efeito sobre a aeronave	Efeito sobre a tripulação	Efeito sobre os ocupantes
No safety effect	-	-	-
Minor (classe I)	Pequeno prejuízo na capacidade	Leve aumento da carga de trabalho	Efeitos físicos, mas sem ferimentos
Major (Classe II)	Pequena limitação	Redução da habilidade	Ferimentos leves
Hazardous (Classe III)	Grande limitação	Aumento da carga de trabalho a ponto de a tripulação não ser capaz de efetuar suas tarefas eficazmente	Ferimentos graves e/ou morte de pequena parcela dos ocupantes
Catastrophic (Classe IV)	Perda total		Morte de parcela considerável dos ocupantes

- **Classificação segundo órgãos certificadores**



- **Classificação segundo órgãos certificadores**

EFFECT ON AIRCRAFT AND OCCUPANTS	Normal	Nuisance	Operating limitations; emergency procedures	Significant reduction in safety margins: difficult for crew to cope with adverse conditions; passenger injuries	Large reduction in safety margins; crew extended because of workload or environmental conditions; serious injury or death of small number of occupants	Multiple deaths; usually with loss of aircraft	EFFECT ON AIRCRAFT AND OCCUPANTS
FAR 25 PROBABILITY	←	PROBABLE	→	IMPROBABLE	→	EXTREMELY IMPROBABLE	FAR 25 PROBABILITY
JAR 25/CS PROBABILITY	FREQUENT	→	REASONABLY FREQUENT	REMOTE	EXTREMELY REMOTE	EXTREMELY IMPROBABL E	JAR 25/CS PROBABILITY
FAILURE RATE (per flight hour)		10^{-3}		10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	
CATEGORY OF EFFECT	←	MINOR	→	MAJOR	HAZARDOUS	CATASTROPHIC	CATEGORY OF EFFECT

O acidente aeronáutico

- **Aspectos quantitativos**
- Para se quantificar o índice aceitável de acidentes, criaram-se métricas correspondentes
- Criou-se a “entidade” 10^{-9}
- Sua origem:
  - 1. Eventos catastróficos poderiam surgir a cada 1 milhão de horas de voo (10^{-6})
  - 2. Falhas em sistemas eram consideradas 1/10 das causas desses eventos em aeronaves
  - 3. Considerou-se que as aeronaves possuíam 10 sistemas
  - 4. Cada sistema era suscetível a 10 falhas diferentes

O acidente aeronáutico

- **Aspectos quantitativos**
- Na prática:
- Considere que uma aeronave voa 10h/dia; 300 dias/ano
  - 3000 horas/ano
- Considere que a vida de uma aeronave é de 20 anos
  - 60.000 horas em sua vida
- Uma frota de 200 aeronaves deve acumular 12.000.000 de horas
  - Ou seja: $1{,}2 \times 10^{7}$ horas
- Hoje em dia os sistemas já trabalham com a meta de probabilidade de falhas catastróficas em 10^{-12}