

3º Encontro de Confiabilidade na Aviação

Análise de Confiabilidade do Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95 da FAB

Jefferson Rodrigues de Sousa 1º Ten Eng

Instituto de Logística da Aeronáutica



Todas as fotos de aeronaves utilizadas nesta apresentação foram retiradas do Flickr oficial da Força Aérea Brasileira <www.flickr.com/photos/portalfab>

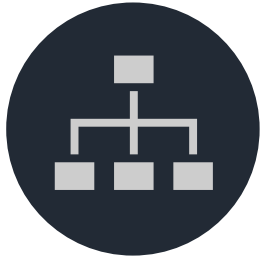
Objetivo



Apresentar à audiência o **estudo de confiabilidade** referente à avaliação do **programa de manutenção *hard time*** do trem de pouso auxiliar das **aeronaves C-95M** da Força Aérea Brasileira



Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



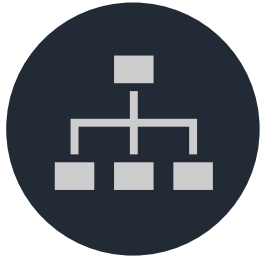
Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*



Considerações
Finais



Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*

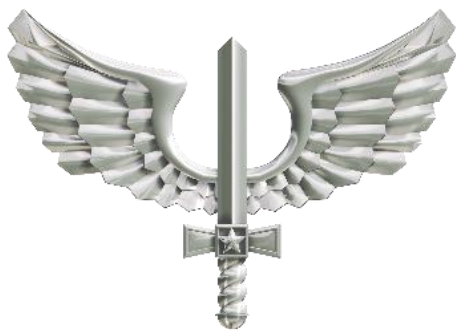


Considerações
Finais



SISCONF (ICA 400-21)

Sistema de Confiabilidade do SISMAB



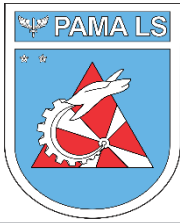
SISTEMA DE CONFIABILIDADE DO SISMA E DO SISMAB

Estrutura sistêmica, definida no âmbito do Sistema de Material Aeronáutico e Bélico (SISMAB), composta por diversos elos gerenciais e executivos com competências específicas, cuja finalidade é aumentar a disponibilidade e reduzir os custos de suporte logístico de sistemas, itens e componentes das Aeronaves, Armamentos, Simuladores e Equipamentos de Apoio de Solo (EAS) do COMAER, por meio da aplicação de processos de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).



SISCONF (ICA 400-21)

Sistema de Confiabilidade do SISMAB



ÓRGÃO CENTRAL

DIRMAB



SISCONF (ICA 400-21)

Sistema de Confiabilidade do SISMAB



ÓRGÃO CENTRAL

DIRMAB

ÓRGÃOS
EXECUTIVOS

**PAMA/B
TENG**

Assessoria de
Confiabilidade

Assessoria
Técnica do Projeto

SISCONF (ICA 400-21)

Sistema de Confiabilidade do SISMA B



ÓRGÃO CENTRAL

DIRMAB

**ÓRGÃOS
EXECUTIVOS**

**PAMA/B
TENG**

Assessoria de
Confiabilidade

Assessoria
Técnica do Projeto

**ÓRGÃOS DE
ASSESSORAMENTO**

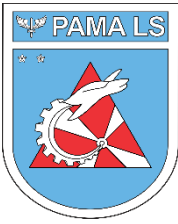
Oficinas e
Linhas PAMA/B

Oficinas Glog

Oficinas
Externas

SISCONF (ICA 400-21)

Estrutura da TENG no PAMALS



Subdivisão de Engenharia (TENG)



SISCONF (ICA 400-21)

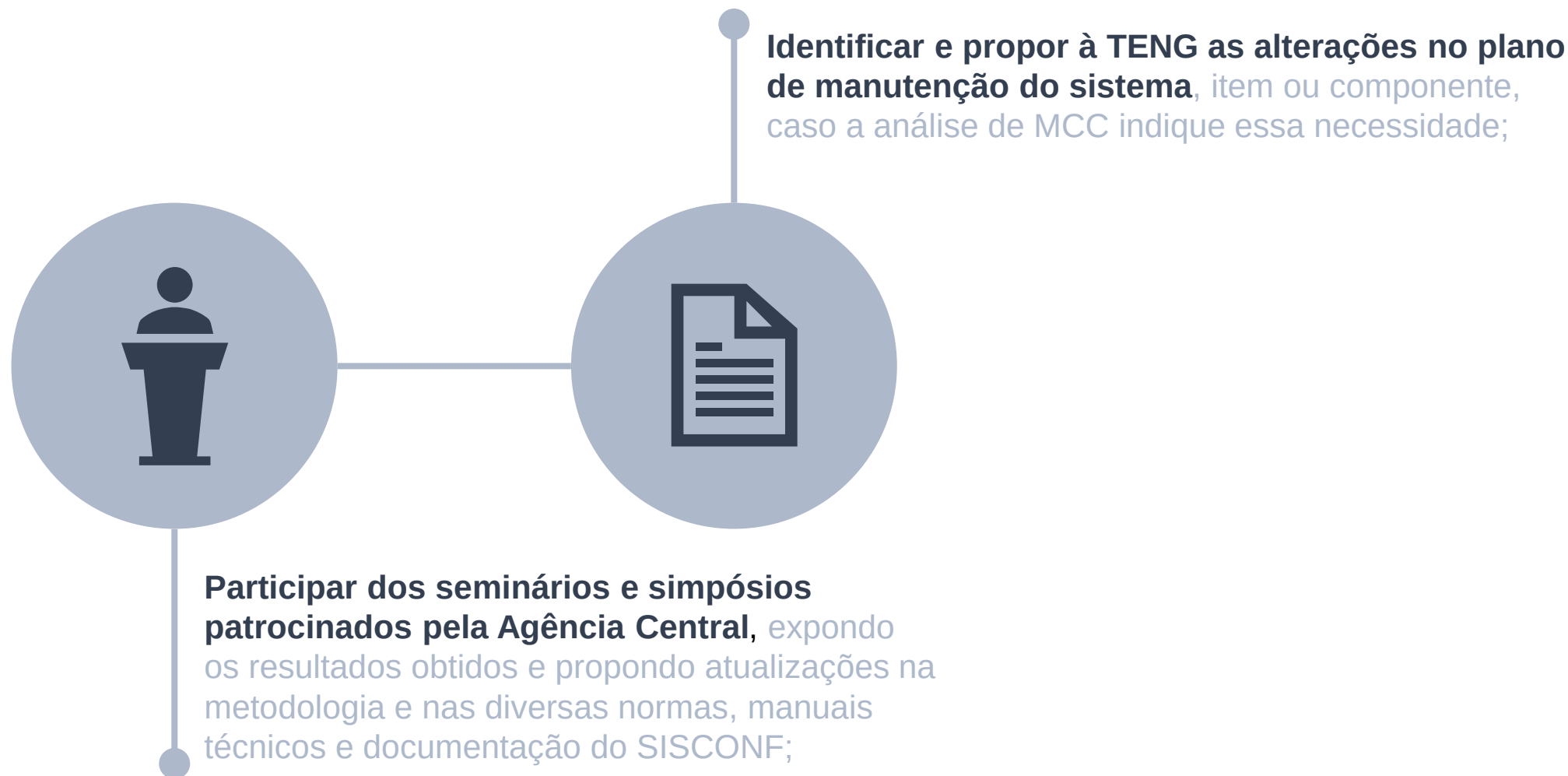
Algumas funções dos órgãos executivos



Participar dos seminários e simpósios patrocinados pela Agência Central, expondo os resultados obtidos e propondo atualizações na metodologia e nas diversas normas, manuais técnicos e documentação do SISCONF;

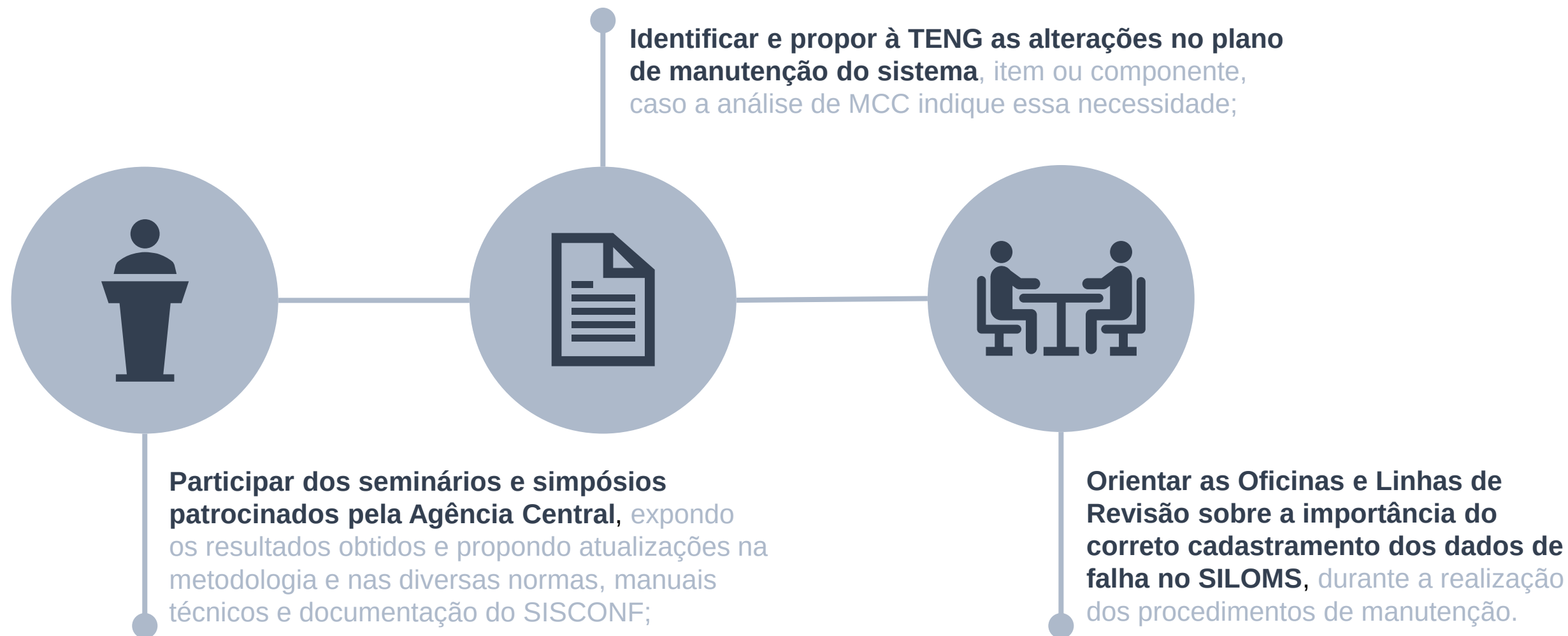
SISCONF (ICA 400-21)

Algumas funções dos órgãos executivos



SISCONF (ICA 400-21)

Algumas funções dos órgãos executivos



Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*



Considerações
Finais



Análise de confiabilidade do Trem de Pouso Auxiliar

Metodologia do Estudo



- Análise dos PN's da frota
- Aquisição de dados
- Testes de aderência
- Determinação da curva de confiabilidade
- Análise dos resultados
- Modelo Hard Time x On Condition

MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
PARQUE DE MATERIAL AERONÁUTICO DE LAGOA SANTA



RELATÓRIO TÉCNICO

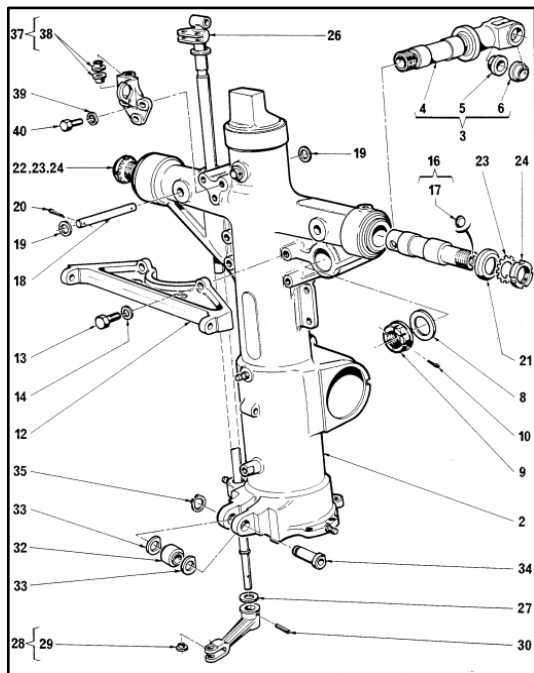
RT LS 20 TENG 001 C-95

SUMÁRIO

1. OBJETIVO	2
2. LOCAL	2
3. DATA	2
4. INTRODUÇÃO	2
5. PARTICIPANTES	3
6. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	3
7. REFERÊNCIAS UTILIZADAS	3
8. METODOLOGIA	4
8.1. ANÁLISE DOS PNS DO TREM DE POUSO AUXILIAR	4
8.2. AQUISIÇÃO DOS DADOS DE FALHAS PARA OS PNS ANALISADOS	5
8.3. ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS E PREMISSAS ESTATÍSTICAS ENVOLVIDAS	5
8.4. TESTES DE ADERÊNCIA	6
8.5. DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE PROBABILIDADE DE FALHA, CONFIABILIDADE E TAXA DE FALHA	7
8.6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	9
9. DISCUSSÃO SOBRE O MODELO HARD TIME ADOTADO NA FAB	11
10. CONCLUSÃO	11
11. DISTRIBUIÇÃO	12
12. ASSINATURAS	13

Item objeto de Estudo (MSI)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Referências utilizadas

BT AF 16-1179 C-95 179 - Boletim itens controlados das aeronaves C-95

BT AF 04 1056 C-95 156-REV1 - Plano de manutenção das aeronaves C-95

PT 110/939 – Plano de manutenção on condition dos Trens de Pouso principal de auxiliar das aeronaves EMB-110

OT 1C-95-4-4 – Lista de peças por grupo do sistema hidráulico

M480A – Reliability Centered Maintenance (RCM) – ReliaSoft Corporation

G400 – Fundamentos dos Modelos e Análises de Dados da Engenharia da Confiabilidade – ReliaSoft Corporation

by Systecon
opus
suite

ReliaSoft

W WEIBULL++

O item **Trem de Pouso Auxiliar** das aeronaves C-95 da Força Aérea Brasileira tem sido **objeto de observação constante** dos mantenedores dessas aeronaves, já que **não tem oferecido aquilo que se espera em termos de qualidade de sua operação**. Há tempos é considerado um item crítico na frota por seu elevado número de emergências nem sempre atendidas pelas cadências de produção das oficinas internas e externas (empresas contratadas).

Laudos Técnicos

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Bandeirante da FAB faz pouso “de barriga” em Parnamirim (RN)

Por **Aeroflap** - 22 de maio de 2020



Avião da FAB faz pouso forçado em Lagoa Santa

por **LUIZ PADILHA** - 28/07/2015 - 18:34 em **Aviação** 2



Dentre as 22 solicitações de Laudos Técnicos do projeto A7, 16 são referentes a algum incidente com o trem de pouso. Isso equivale a um percentual de **73%** de todas as solicitações dos últimos 5 anos.

Análise dos PN's de trem de pouso

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



PLJ1463R

(RELATÓRIO DE LOCALIZAÇÃO DE
NÚMEROS DE SÉRIE DE UM
MATERIAL)

PN	% acervo
110P2-410-20	84%
111A-410-13	8%
110P2-410-23	4%
110P2-410-24	4%

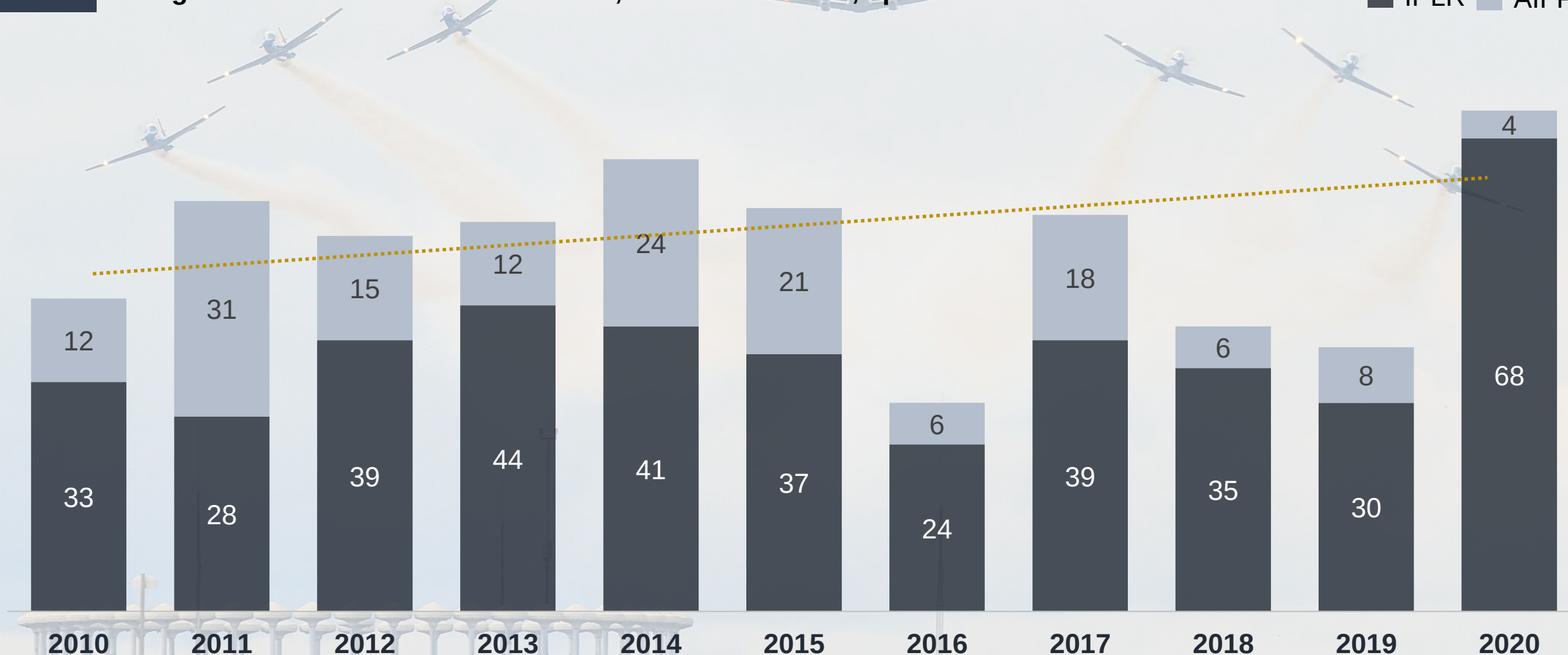
Relatório de Emergências (SUP0451R1)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



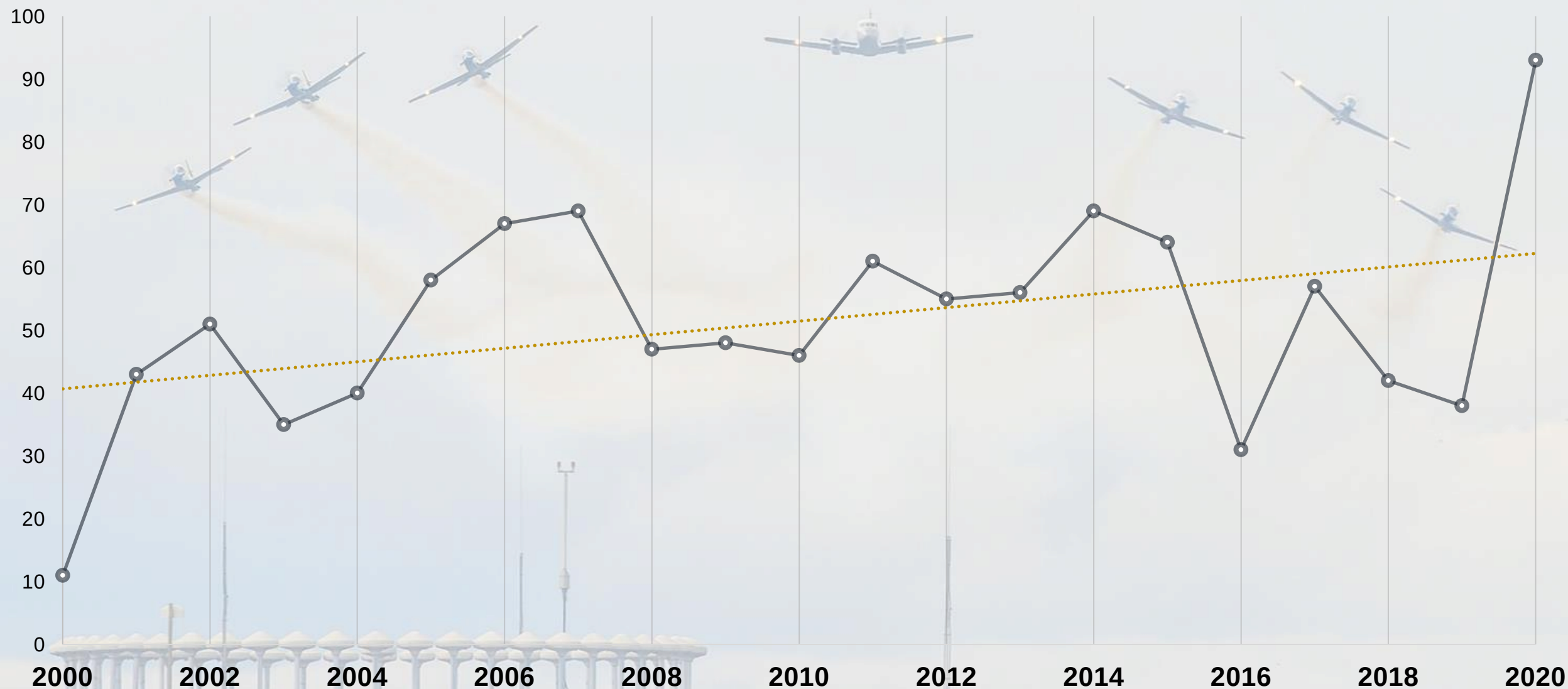
612 emergências abertas entre 2010 e 2020, uma média de 55,6 por ano.

■ IPLR ■ AIFP



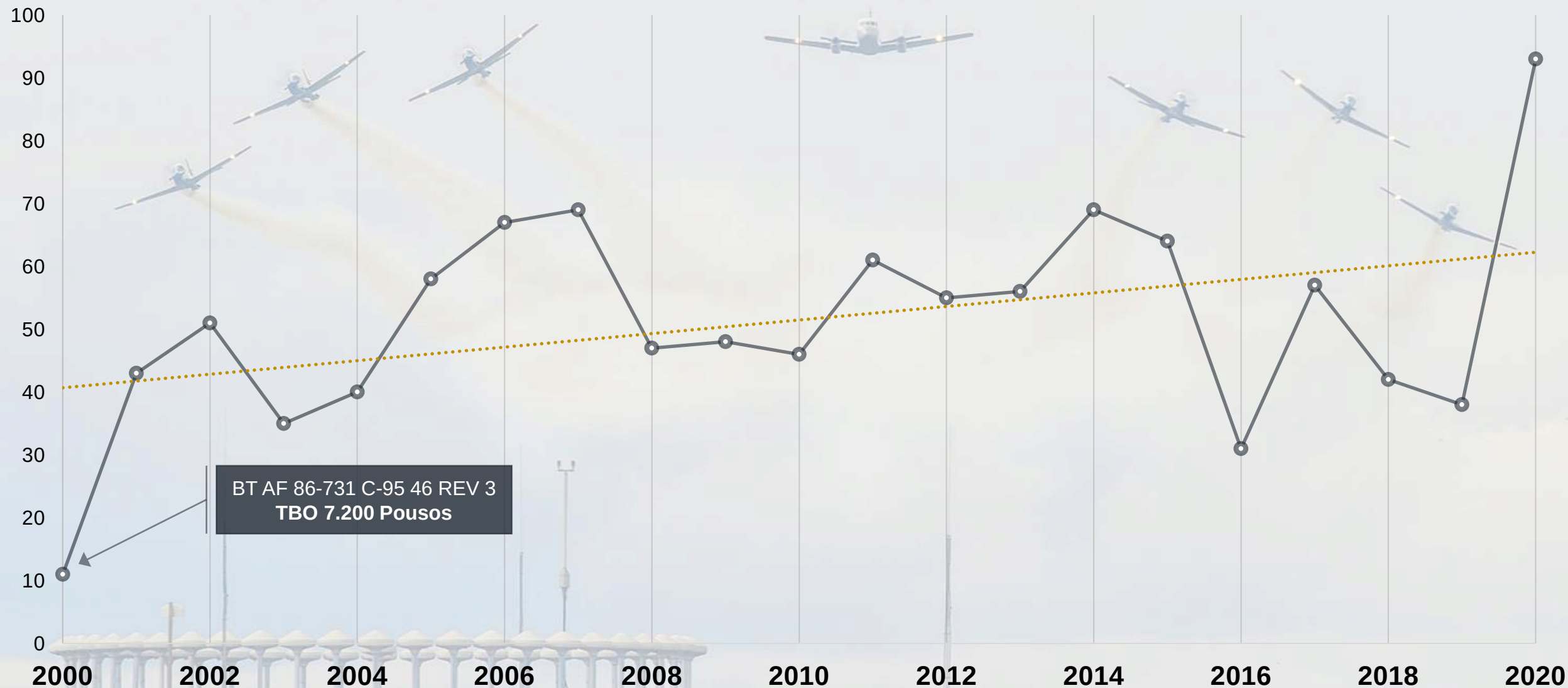
Relatório de Emergências (SUP0451R1)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



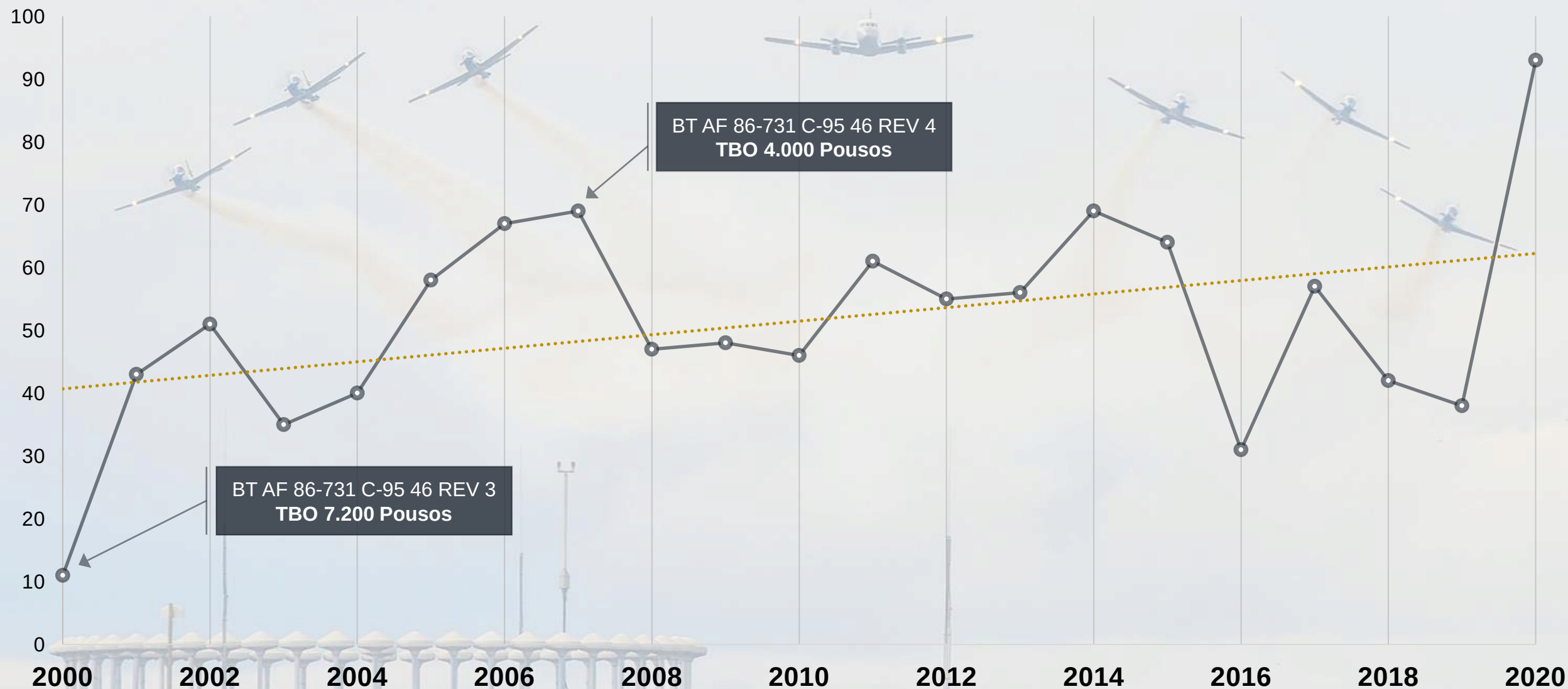
Relatório de Emergências (SUP0451R1)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Relatório de Emergências (SUP0451R1)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



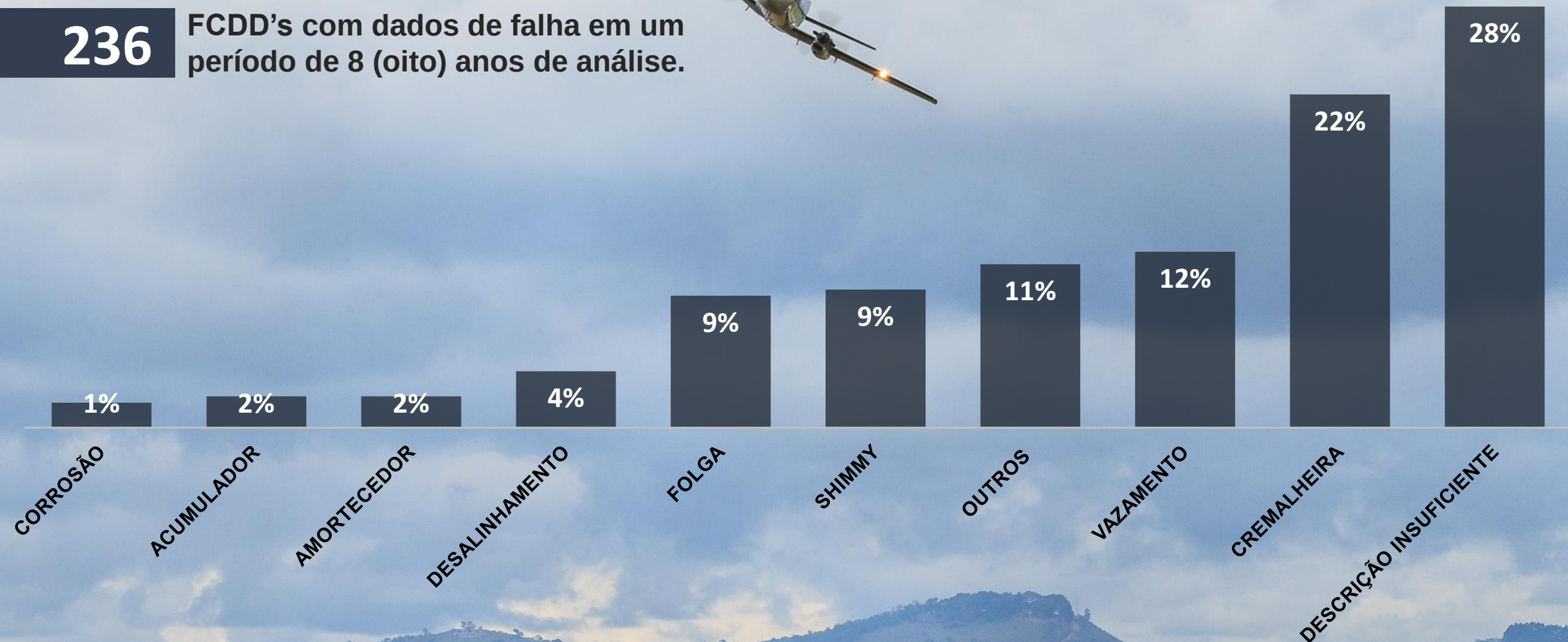
Aquisição de dados de falha (ENG0314P)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



236

FCDD's com dados de falha em um período de 8 (oito) anos de análise.



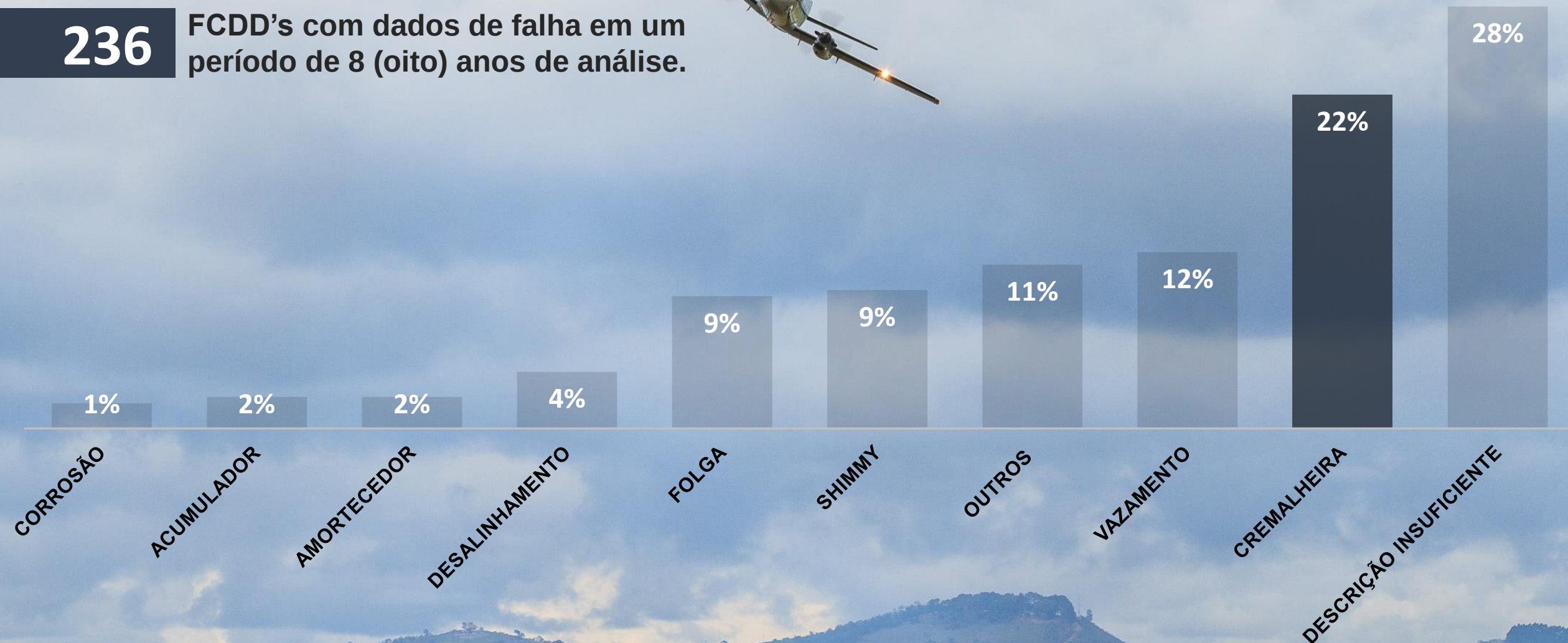
Aquisição de dados de falha (ENG0314P)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



236

FCDD's com dados de falha em um período de 8 (oito) anos de análise.

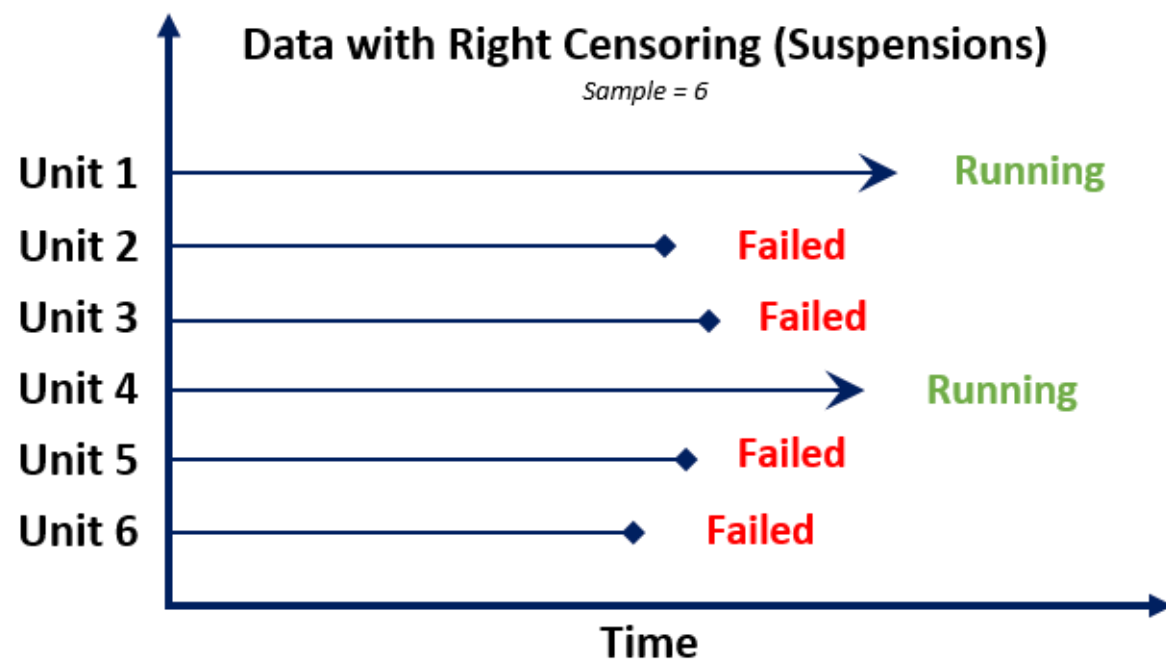


Aquisição de dados censurados (CTR62228P)

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Foram utilizados, após tratamento, **113** dados censurados que fazem referência a manutenções programadas



INSPEÇÕES



- **BS 110-32-0088**
(inspeção tubo giratório 12M)
- **IT AF 04 083 C-95 023**
(recuperação tubo giratório 36M)
- **TBO 4000P (PAMAAF)**

Teste de aderência

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



w Teste de Aderência					
Principal		Detalhes da Análise			
	Distribuição	RAVGOF	RAVPLOT	RLKV	DESV
1	Exponencial-1P	2	2	3	250
2	Exponencial-2P	3	3	2	250
3	Normal	6	7	7	660
4	Lognormal	5	6	5	510
5	Weibull-2P	1	1	1	100
6	Logística	7	4	6	620
7	Loglogística	4	5	4	410
8	Gumbel	8	8	8	800
9					
10					
11					

O método de interação utilizado foi o **MLE** (*Maximum Likelihood Estimation*) tendo em vista a presença considerável de dados censurados na análise.

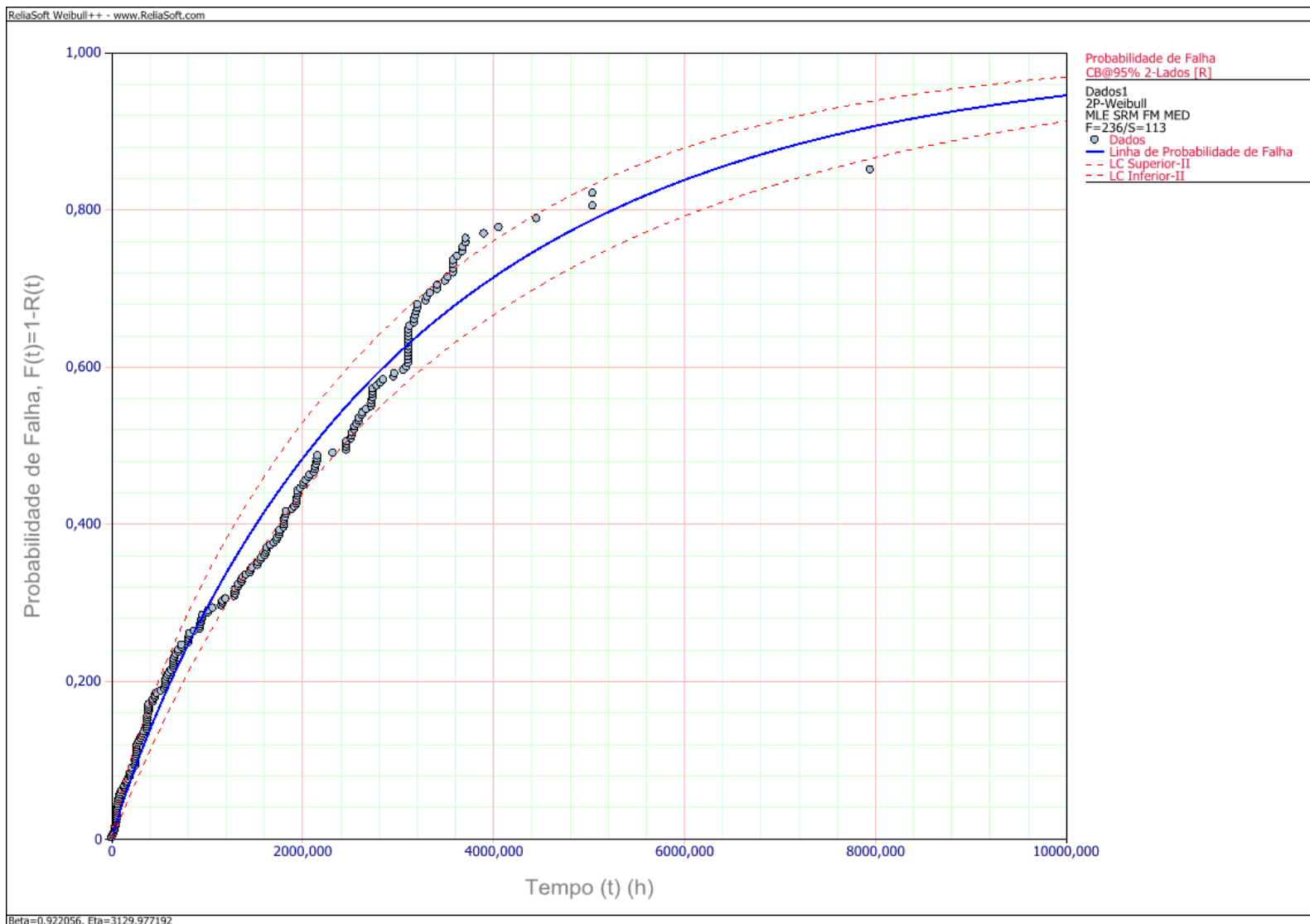
$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta}}$$

ReliaSoft



Probabilidade de falha

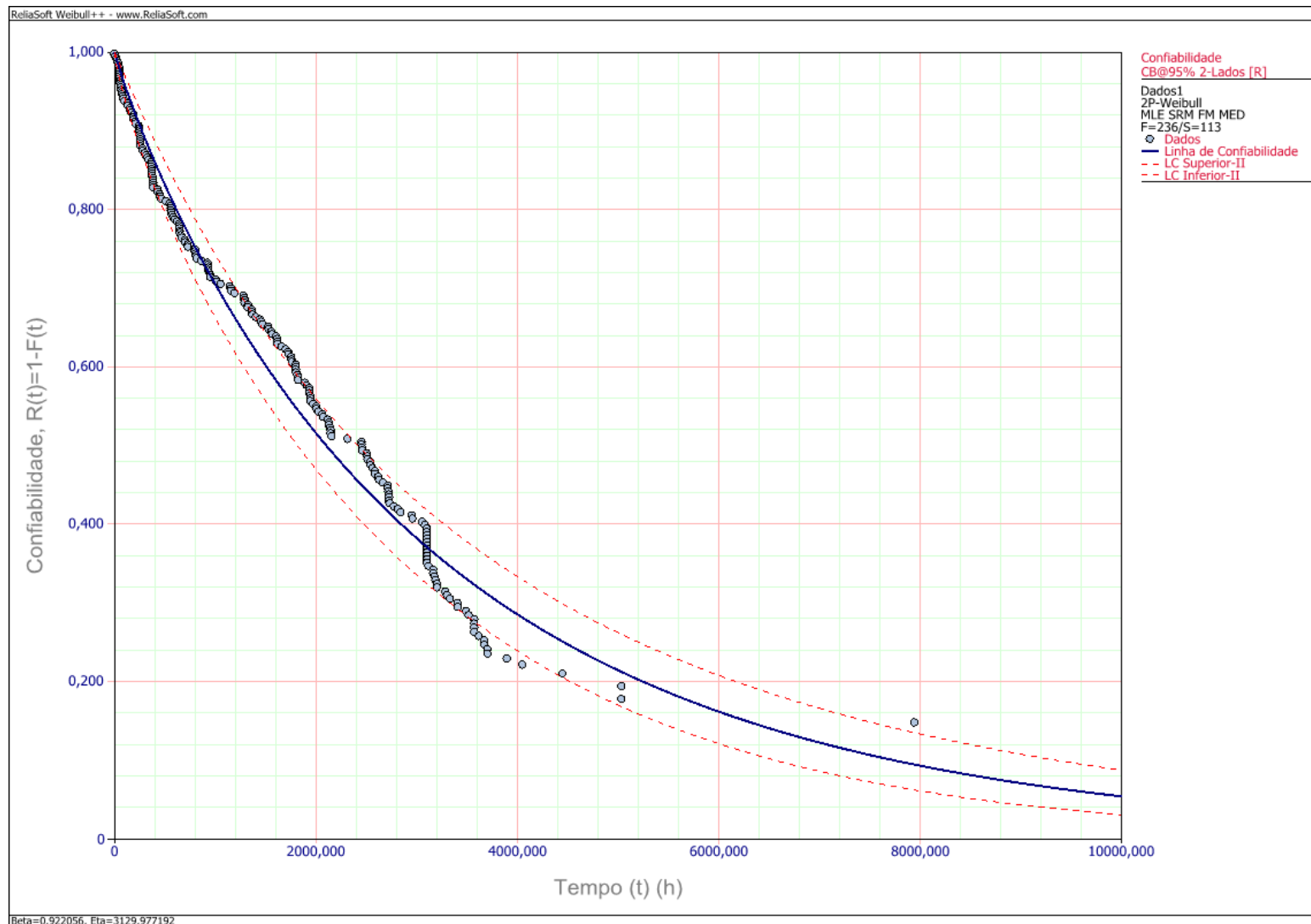
Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



ReliaSoft

Confiabilidade

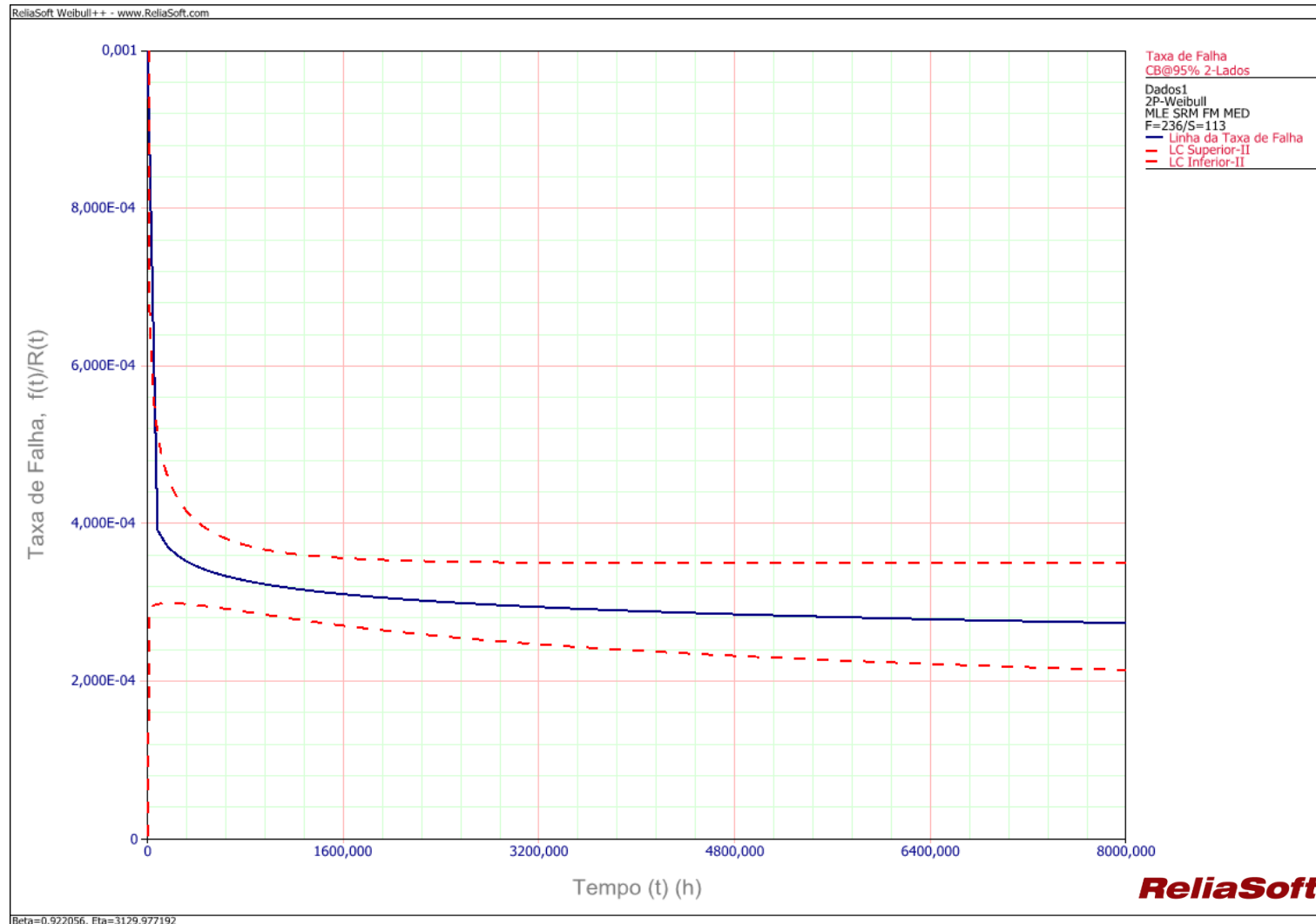
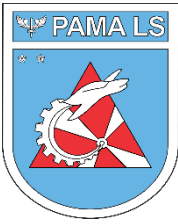
Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



ReliaSoft

Taxa de Falha

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95

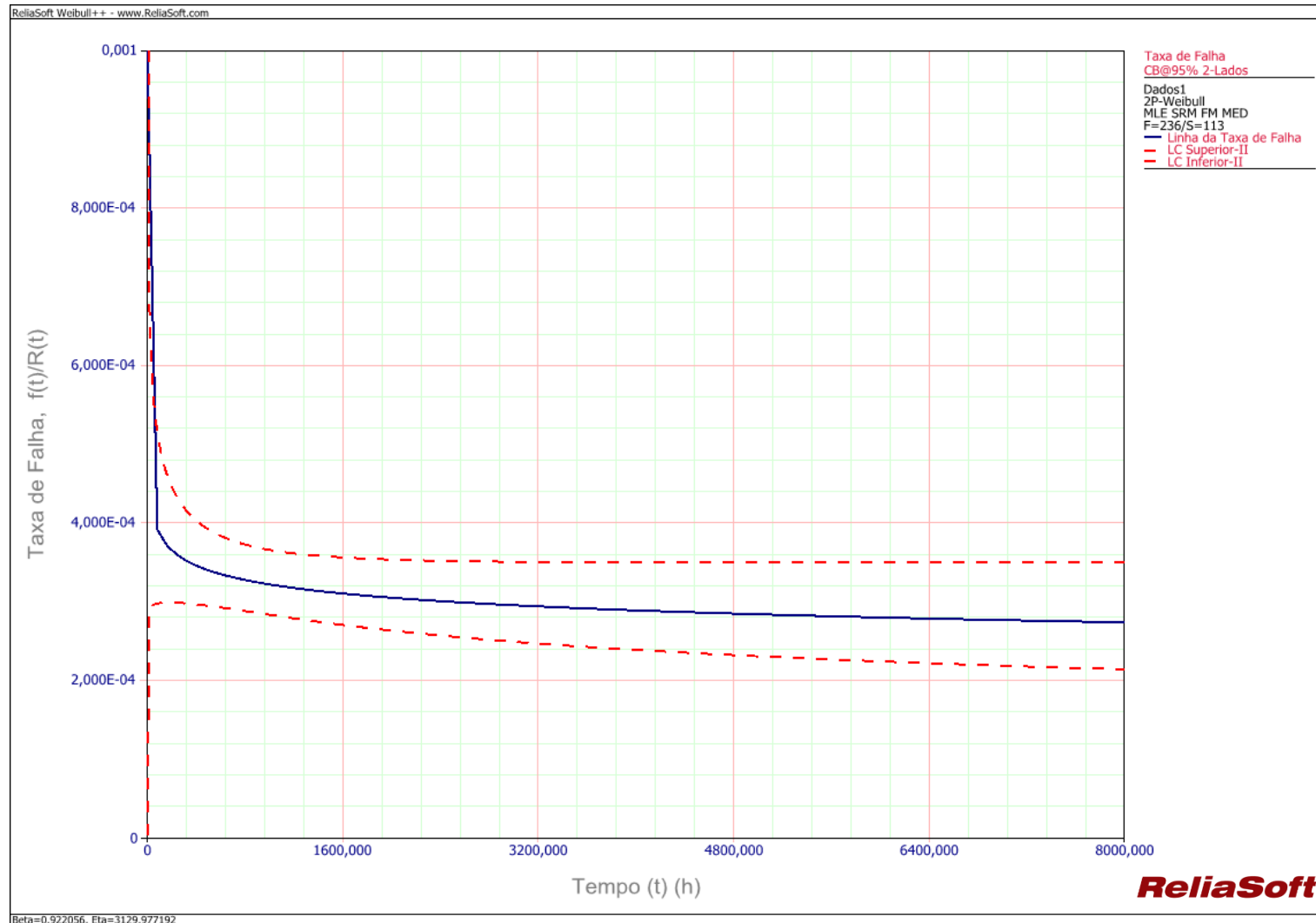
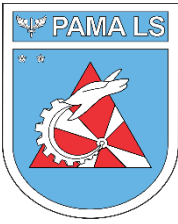


Alta mortalidade infantil



Taxa de Falha

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Alta mortalidade infantil

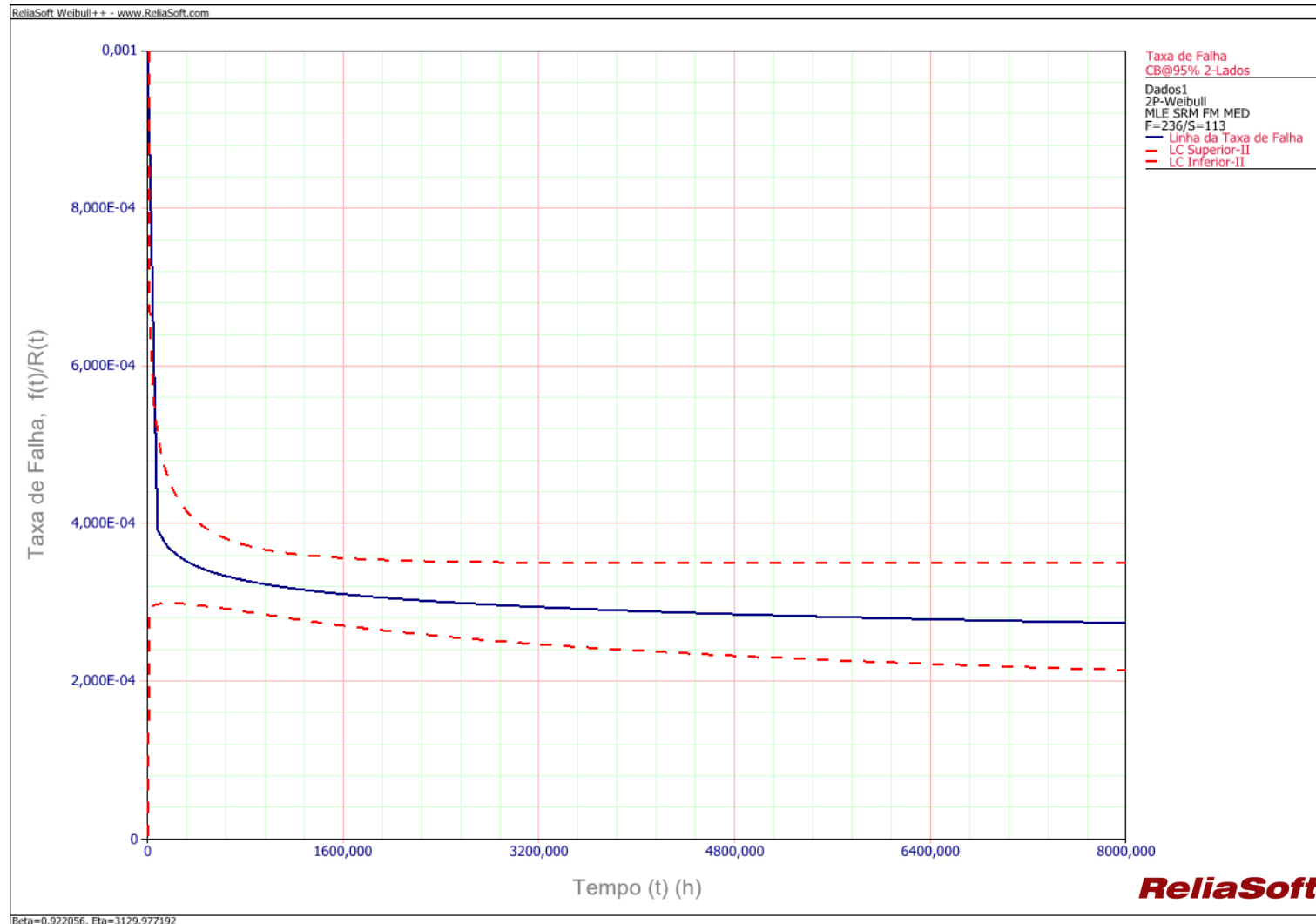
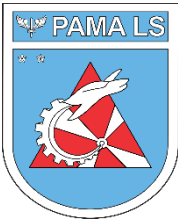


Aumento da demanda



Taxa de Falha

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Alta mortalidade infantil



Aumento da demanda

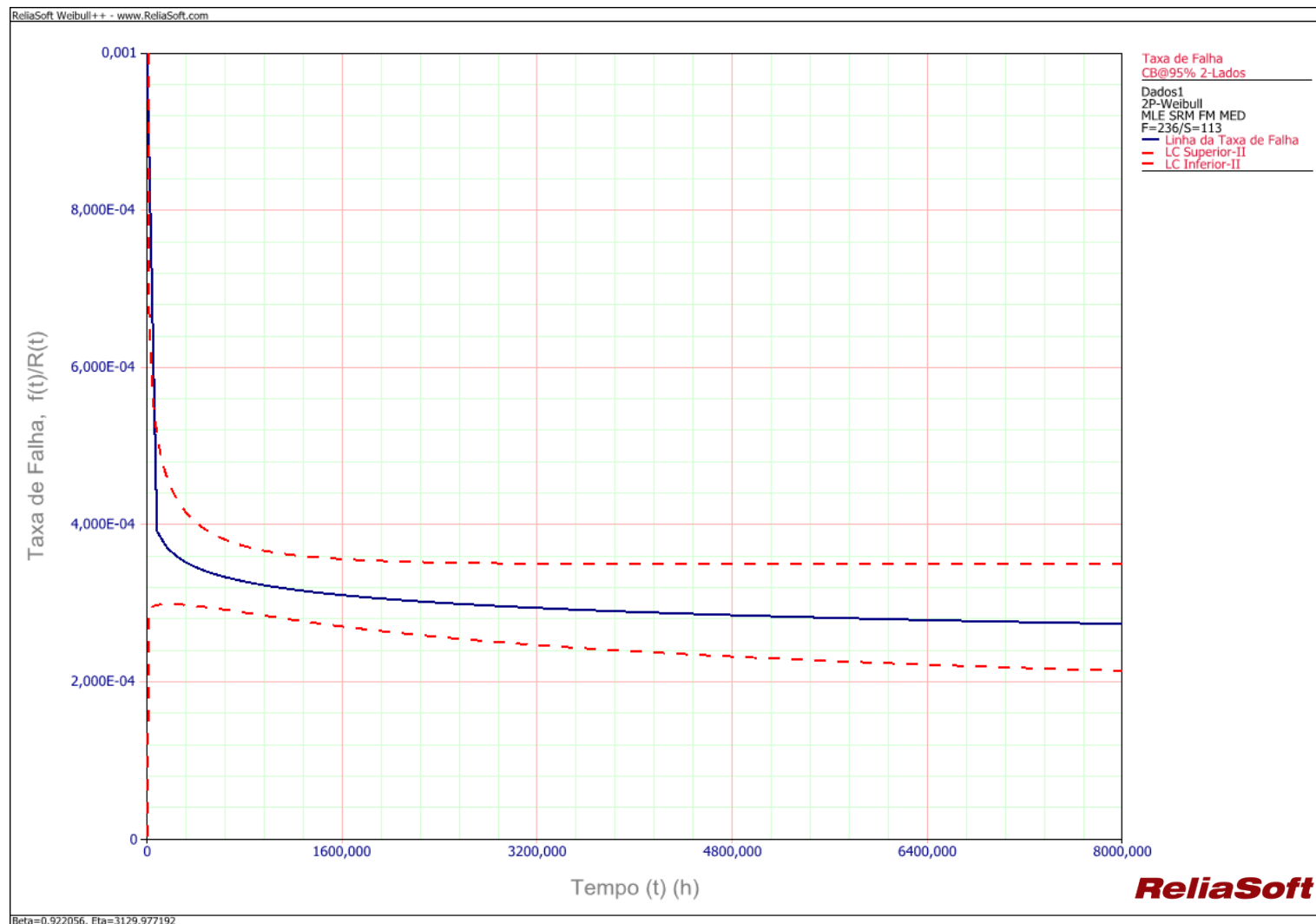


Queda na qualidade



Taxa de Falha

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Alta mortalidade infantil



Aumento da demanda



Queda na qualidade

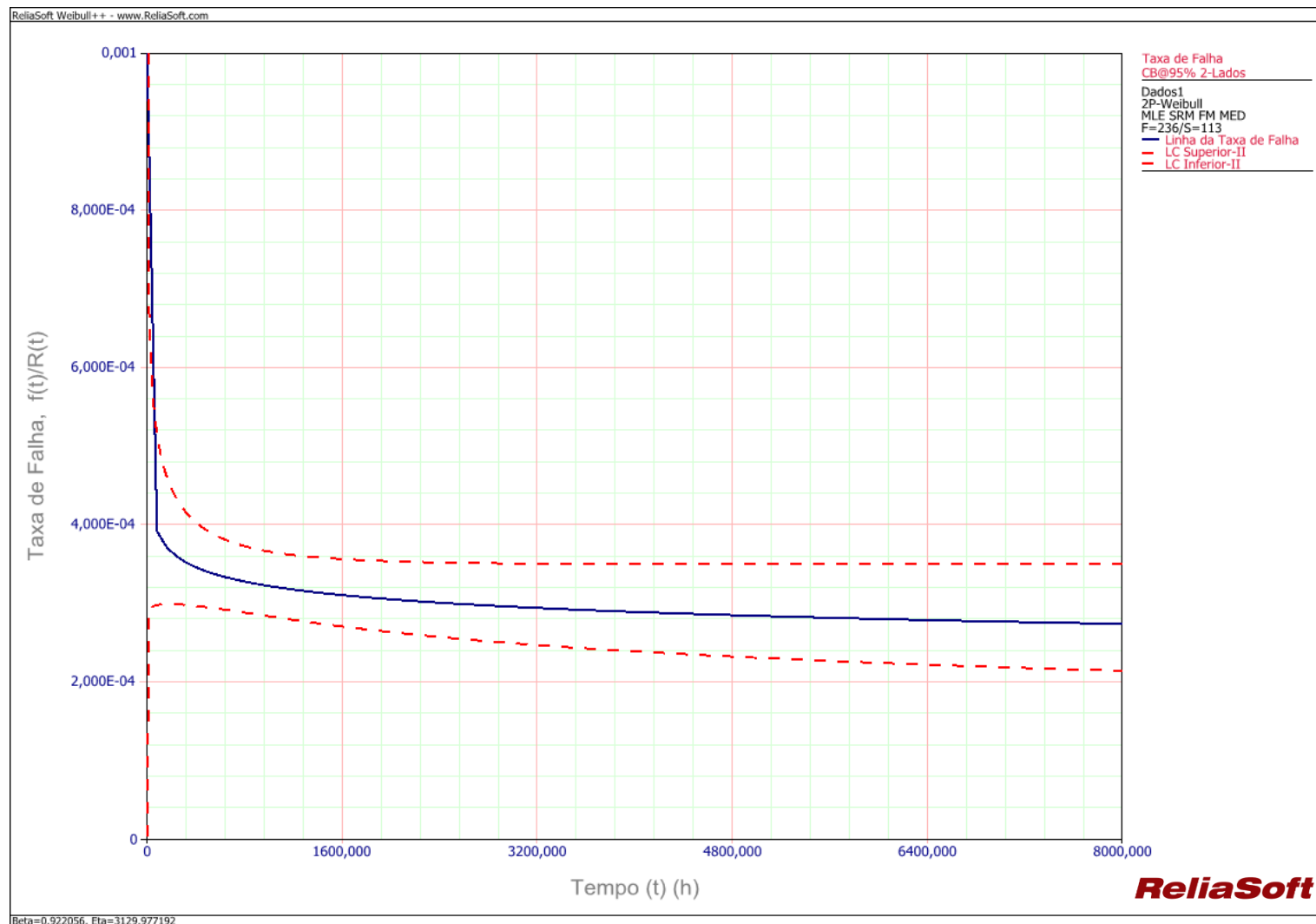


Aumento de custos



Taxa de Falha

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Alta mortalidade infantil



Aumento da demanda



Queda na qualidade



Aumento de custos



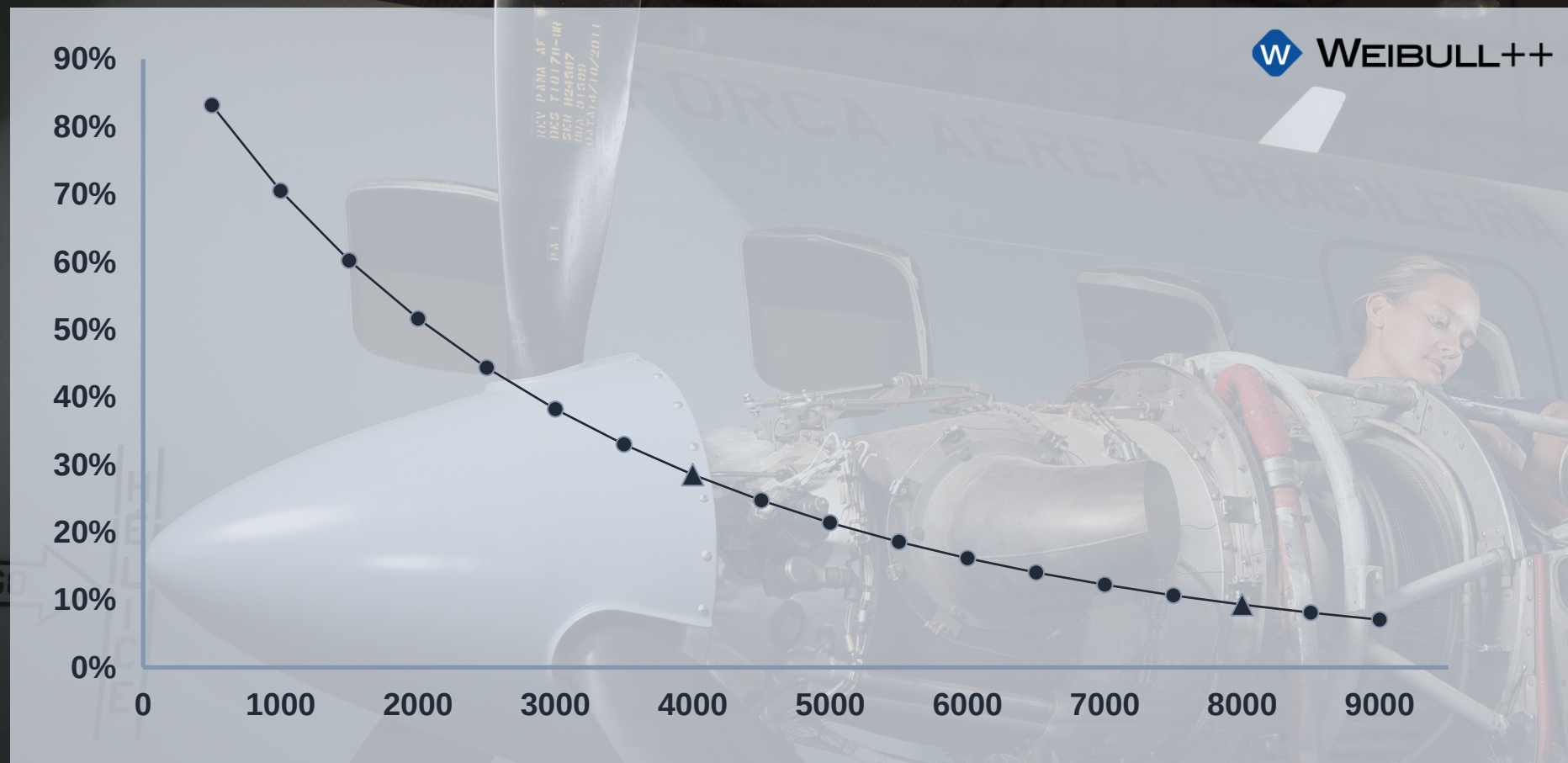
Transferência de oficina

Confiabilidade no TBO atual e do fabricante

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Confiabilidade entre 500 e 9000 pousos para o trem de pouso auxiliar

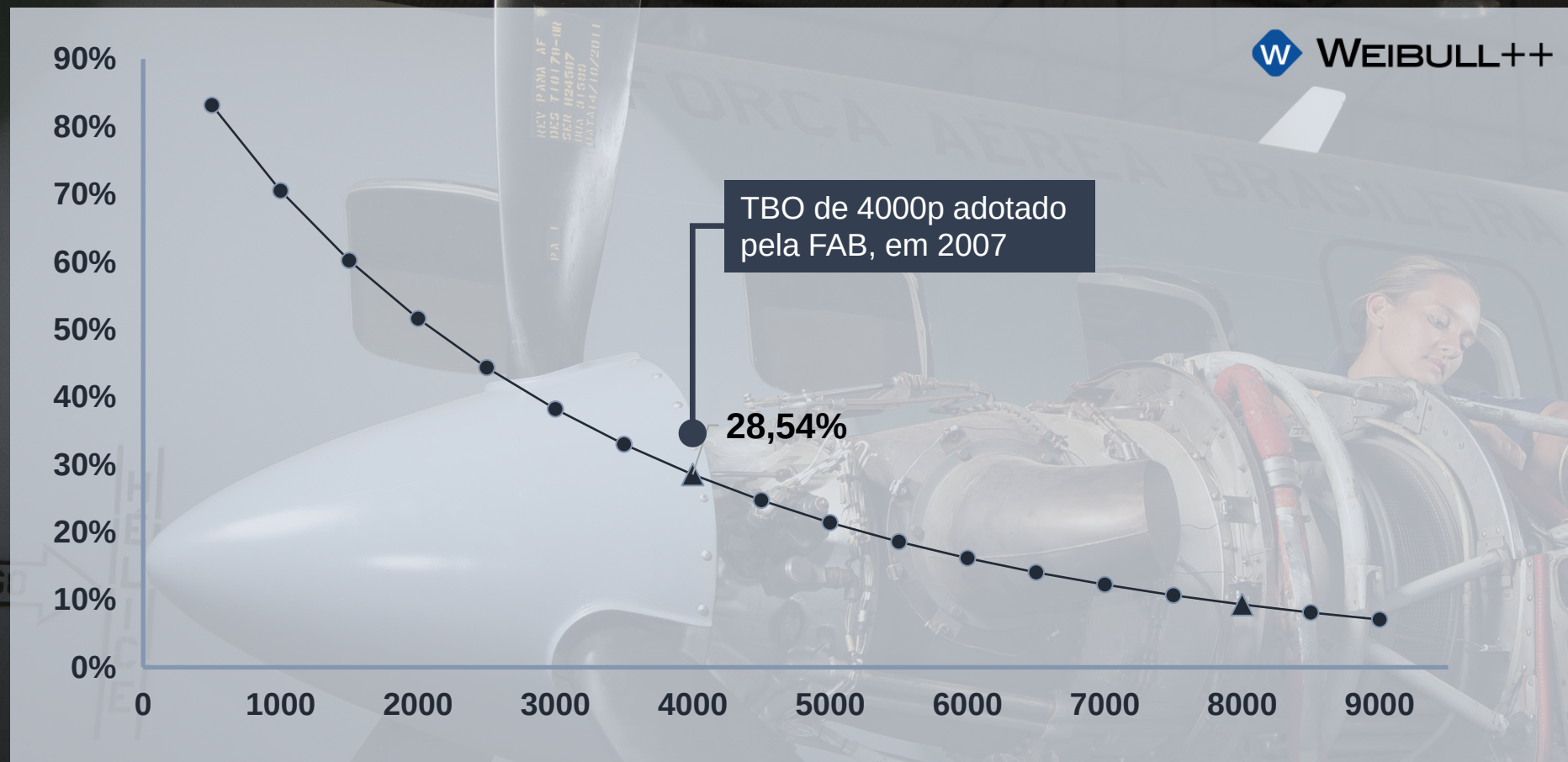


Confiabilidade no TBO atual e do fabricante

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Confiabilidade entre 500 e 9000 pousos para o trem de pouso auxiliar

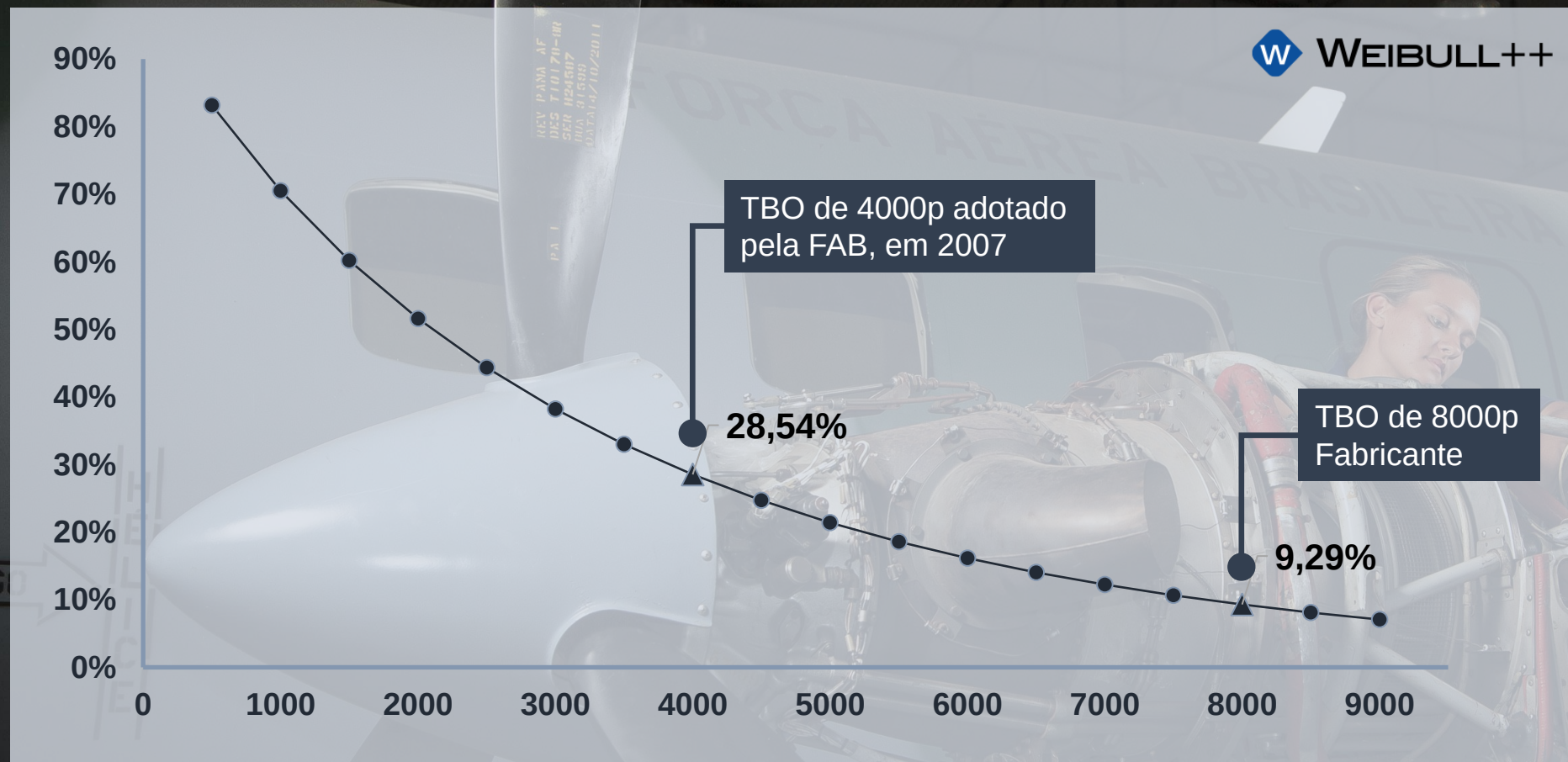


Confiabilidade no TBO atual e do fabricante

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Confiabilidade entre 500 e 9000 pousos para o trem de pouso auxiliar

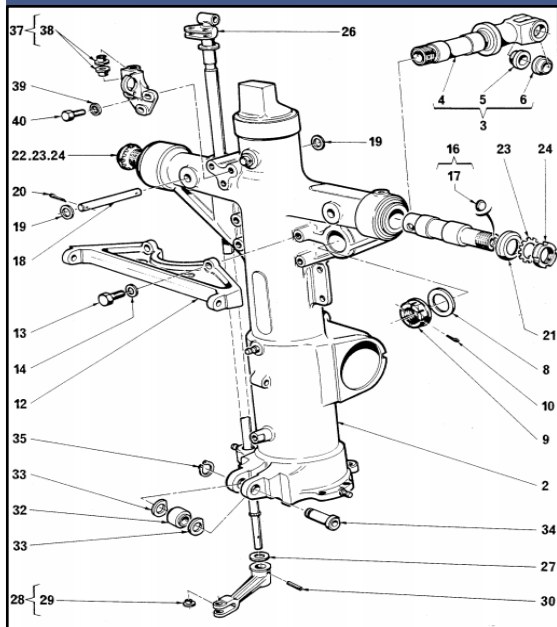


Metodologia MSG-3

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



MSI
IDENTIFICADO
(TREM DE POUSO
AUXILIAR)



FORMULÁRIOS MSG-3

FALHAS FUNCIONAIS
EFEITOS DE FALHAS
CAUSAS DE FALHAS
ANÁLISE NÍVEL 1
ANÁLISE NÍVEL 2

Metodologia MSG-3

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95

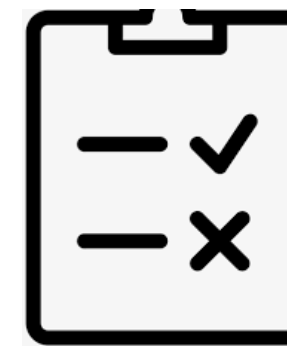


Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)

Function		Functional Failure	Failure Effect	Failure Cause
1	Permitir a correta operação de pouso e decolagem da aeronave C-95	Não permitir de forma correta a operação de pouso e/ou decolagem da aeronave C-95	Shimmy	Folga na Cremalheira
			Vazamento	Acumulador não segura pré-carga

Categorias de falha

- 5: evidente e afeta a segurança, tarefa ou reprojeto mandatório;
- 6: evidente e afeta a operação, tarefa ou reprojeto desejável;
- 7: evidente e tem efeito econômico, tarefa ou reprojeto desejável;
- 8: oculto e afeta a segurança, tarefa ou reprojeto mandatório;
- 9: oculto e tem efeito econômico, tarefa ou reprojeto desejável.



Metodologia MSG-3

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



MSI: TREM DE POUSO AUXILIAR (PN: 110P2-410-20)

1) A falha é evidente para a tripulação?	SIM	Vibrações excessivas no trem de pouso auxiliar são evidentes e podem ser detectadas pela tripulação no pouso ou decolagem.
2) A falha pode afetar a segurança (em voo ou solo)?	SIM	Shimmy pode guinar a aeronave para um dos lados e causar impactos da aeronave diretamente com o solo
3) A falha afeta a capacidade de operação?	SIM	Vibrações excessivas detectadas impedem o voo.
4) A falha pode ter impacto econômico significativo?	SIM	Acidentes envolvendo esse tipo de falha podem danificar seriamente a estrutura da aeronave.

Metodologia MSG-3

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



1

Uma tarefa de **lubrificação** é aplicável e efetiva?

SIM

lubrificação ou
reposição

NÃO

2

Um check para verificar a **operação** é aplicável e efetivo?

SIM

Check operacional

NÃO

3

Uma **inspeção ou check funcional** para detectar a degradação da função é aplicável e efetivo?

SIM

Check funcional

NÃO

4

Uma tarefa de **restauração** para reduzir a taxa de falha é aplicável e efetiva?

SIM

Restauração

NÃO

5

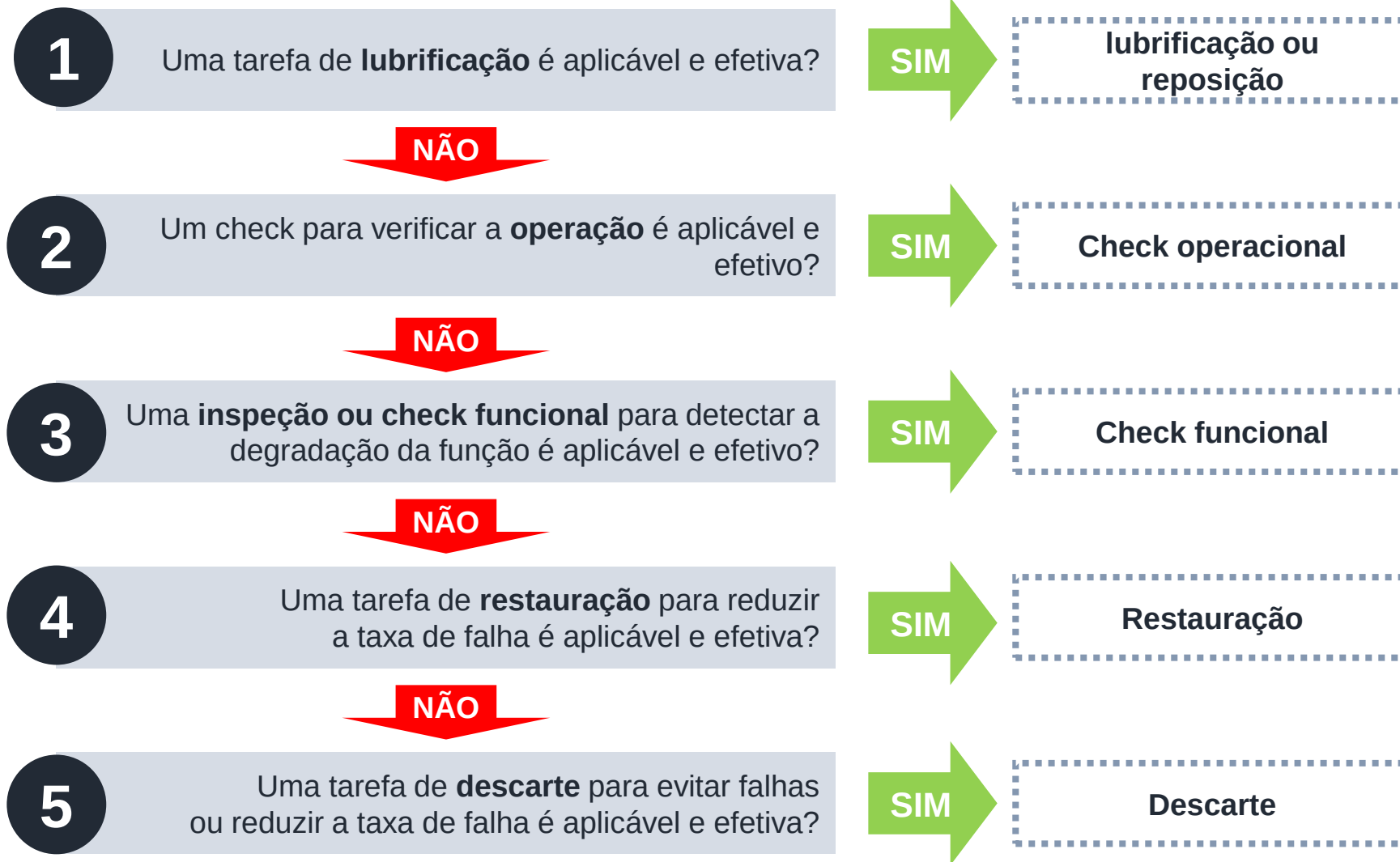
Uma tarefa de **descarte** para evitar falhas ou reduzir a taxa de falha é aplicável e efetiva?

SIM

Descarte

Metodologia MSG-3

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Programa de manutenção “ON CONDITION”

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



- PT 110/939
- Substituição do TBO por inspeções periódicas
- Inspeções em itens específicos (aumento de confiabilidade, ex. cremalheira)
- Impactos oficina/operador



P.T. 110/939	
MANUAL TÉCNICO	
PROGRAMA DE MANUTENÇÃO “ON CONDITION” DO TREM DE POUSO	
AVIÃO	
EMB-110 “BANDEIRANTE”	
REVISÃO	AS PÁGINAS DE REVISÃO MAIS RECENTE SUBSTITUEM AS PÁGINAS DE MESMO NÚMERO COM DATA ANTERIOR. Inclua as páginas revisadas na publicação básica. Destrua as páginas substituídas.
PUBLICADO PELA EMBRAER EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S.A.	
← EMBRAER	
01 NOVEMBRO 1988	
REVISÃO 3 – 20 MARÇO 1990	

Programa de manutenção “ON CONDITION”

Trem de Pouso Auxiliar das aeronaves C-95



Tarefa de manutenção	Intervalo (pousos)
Inspeção da cremalheira quanto a trincas, por LP ou partícula magnética.	2500
Inspeção do setor dentado quanto a trincas, por LP ou partícula magnética.	2500
Inspeção da folga entre o eixo e o orifício	5000 Folga dentro da faixa nominal 2500 Folga fora da faixa nominal
Inspeção do amortecedor e do eixo de acoplamento de direção quanto ao jogo lateral	5000
Inspeção da biela de acoplamento do sistema direcional e do eixo de acoplamento quanto ao jogo lateral	5000

Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*

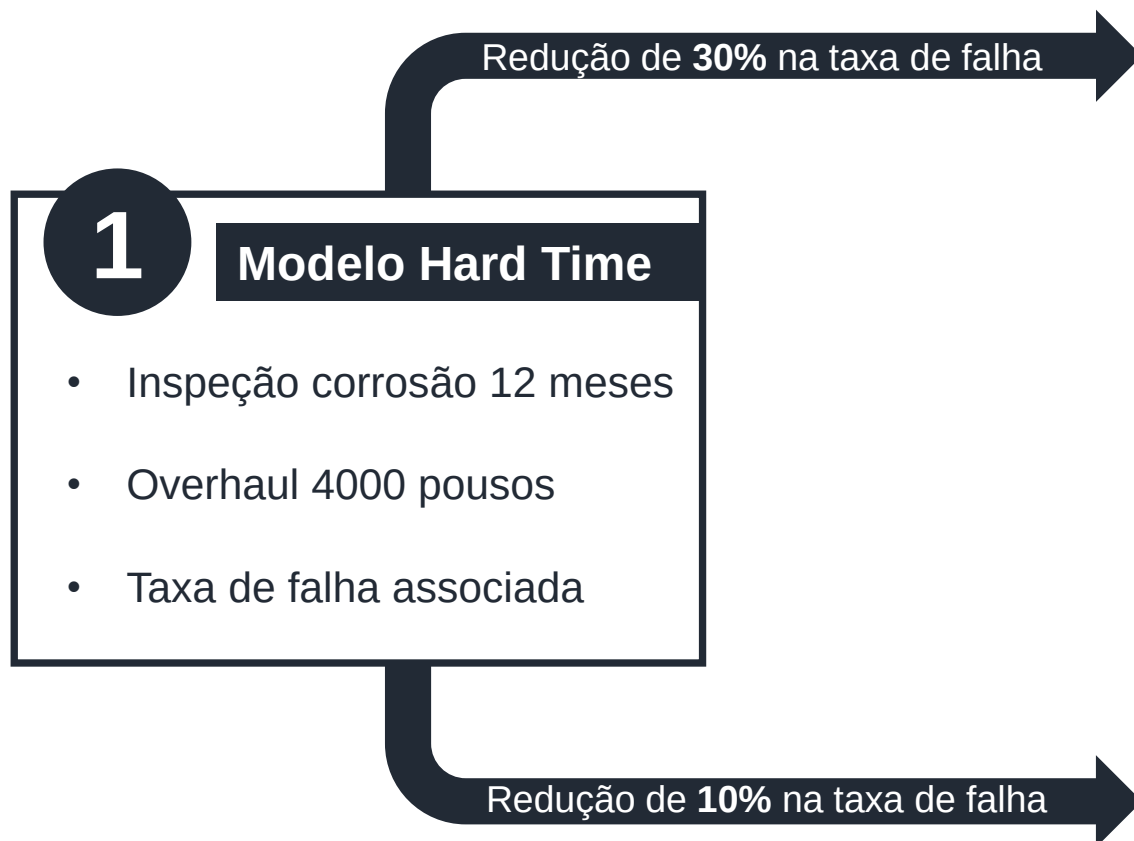


Considerações
Finais



Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Modelagem software OPUS 10



2

Modelo On Condition

- Inspeção corrosão 12 meses
- Check A – 1000 pousos
- Check 2A – 2000 pousos
- Check 5A – 5000 pousos

3

Modelo On Condition

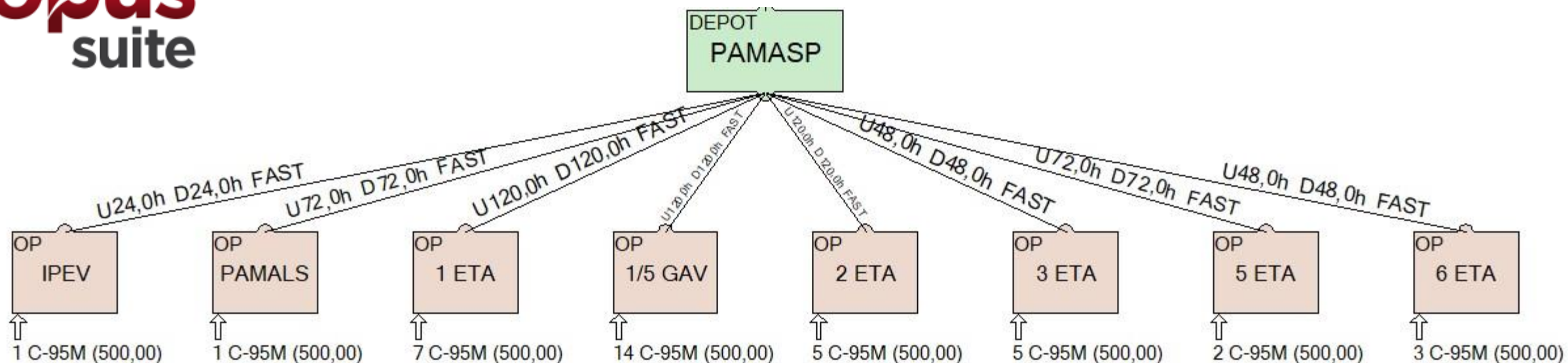
- Inspeção corrosão 12 meses
- Check A – 1000 pousos
- Check 2A – 2000 pousos
- Check 5A – 5000 pousos

Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Modelagem software OPUS 10



by Systecon
opus
suite



Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Modelagem software OPUS 10



Tipo de manutenção

Tempo médio gasto

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| • Inspeção corrosão | 7 dias |
| • Overhaul | 30 dias |
| • Reparo | 20 dias |
| • Check A, 2A e 5A | 15 dias, cada check * |

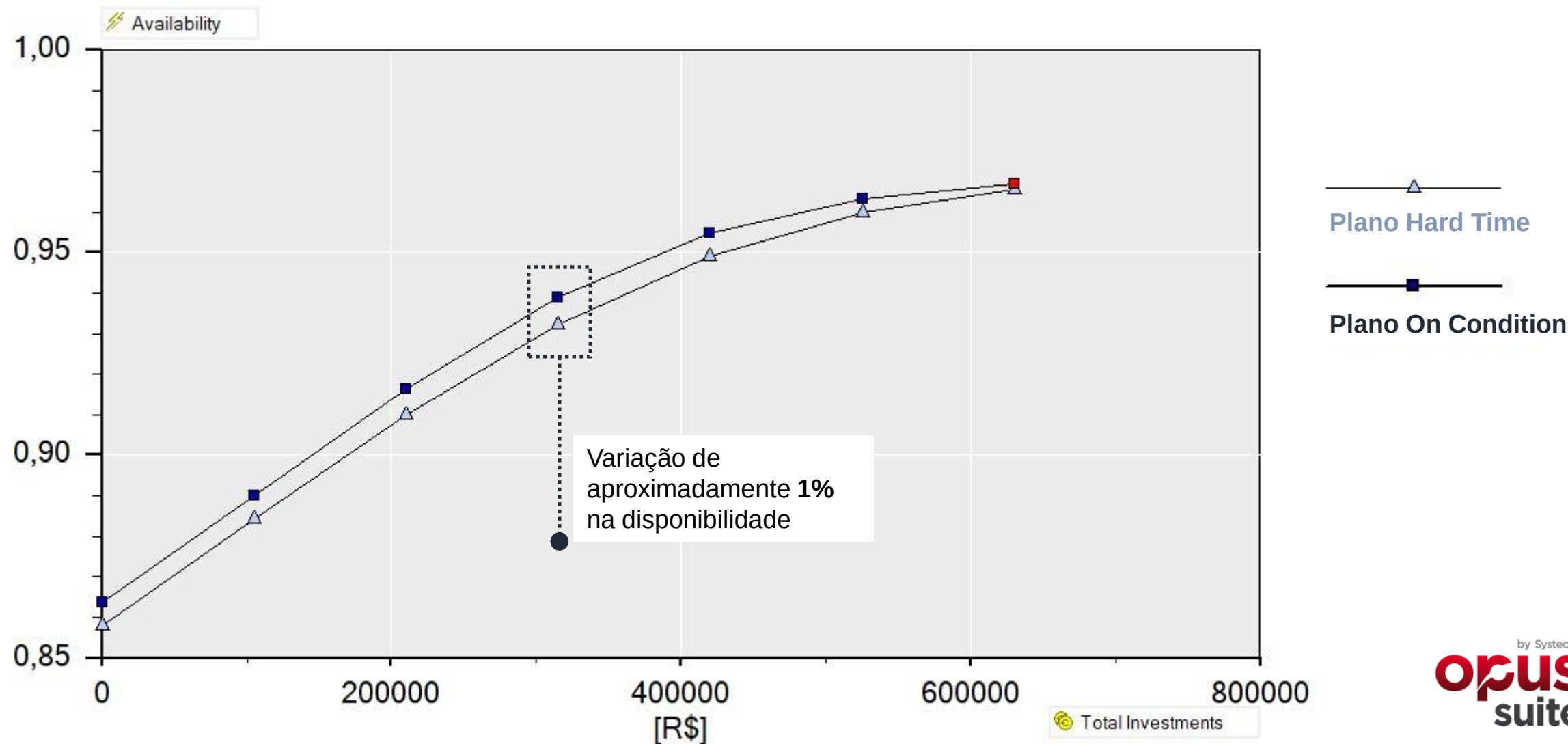
Dados aproximados considerando as
**ordens de serviço concluídas entre
2019 e 2021**

* Estimativa baseada em questionário
com os encarregados de oficina



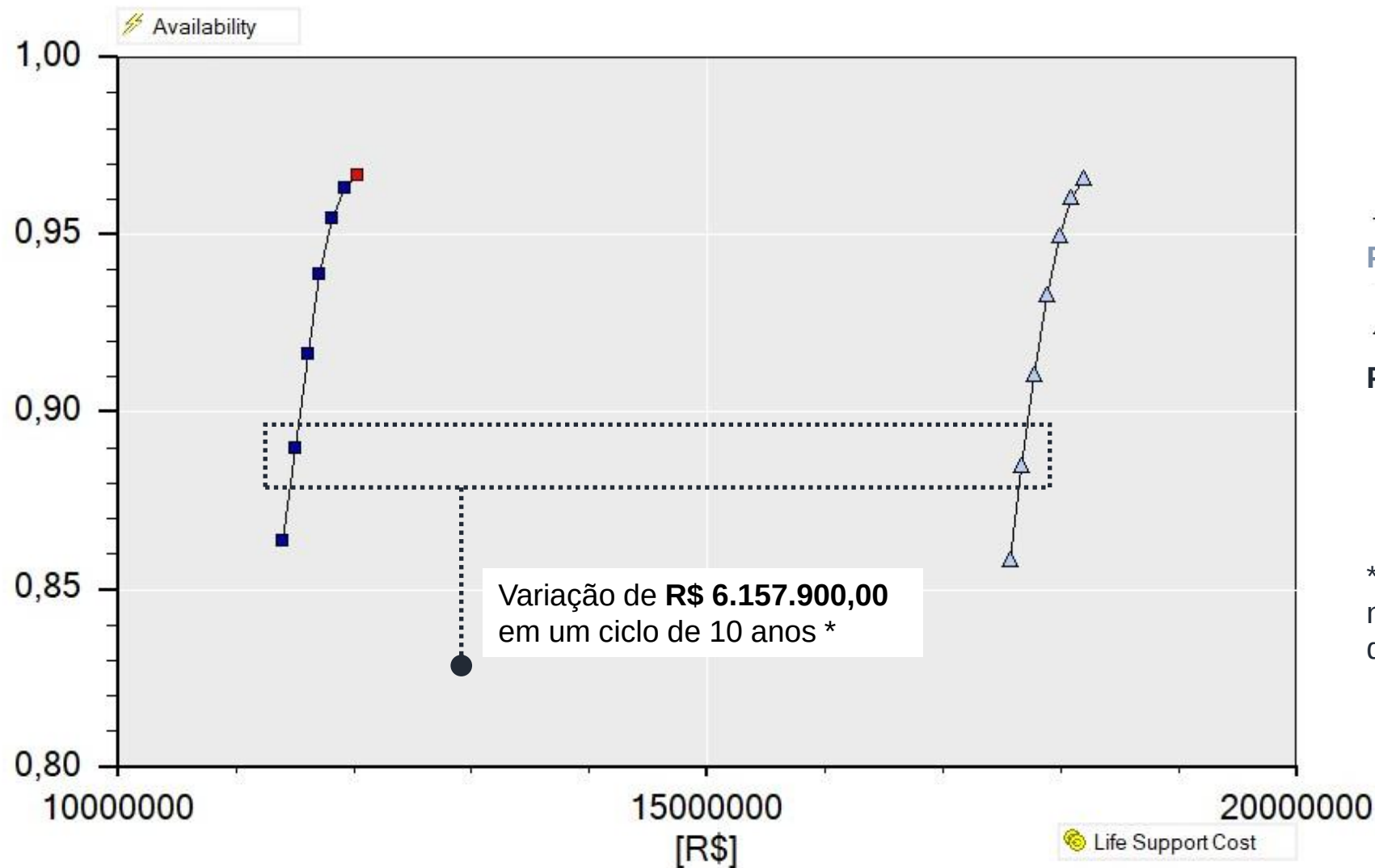
Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Redução de 30% na taxa de falha do item



Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Redução de 30% na taxa de falha do item



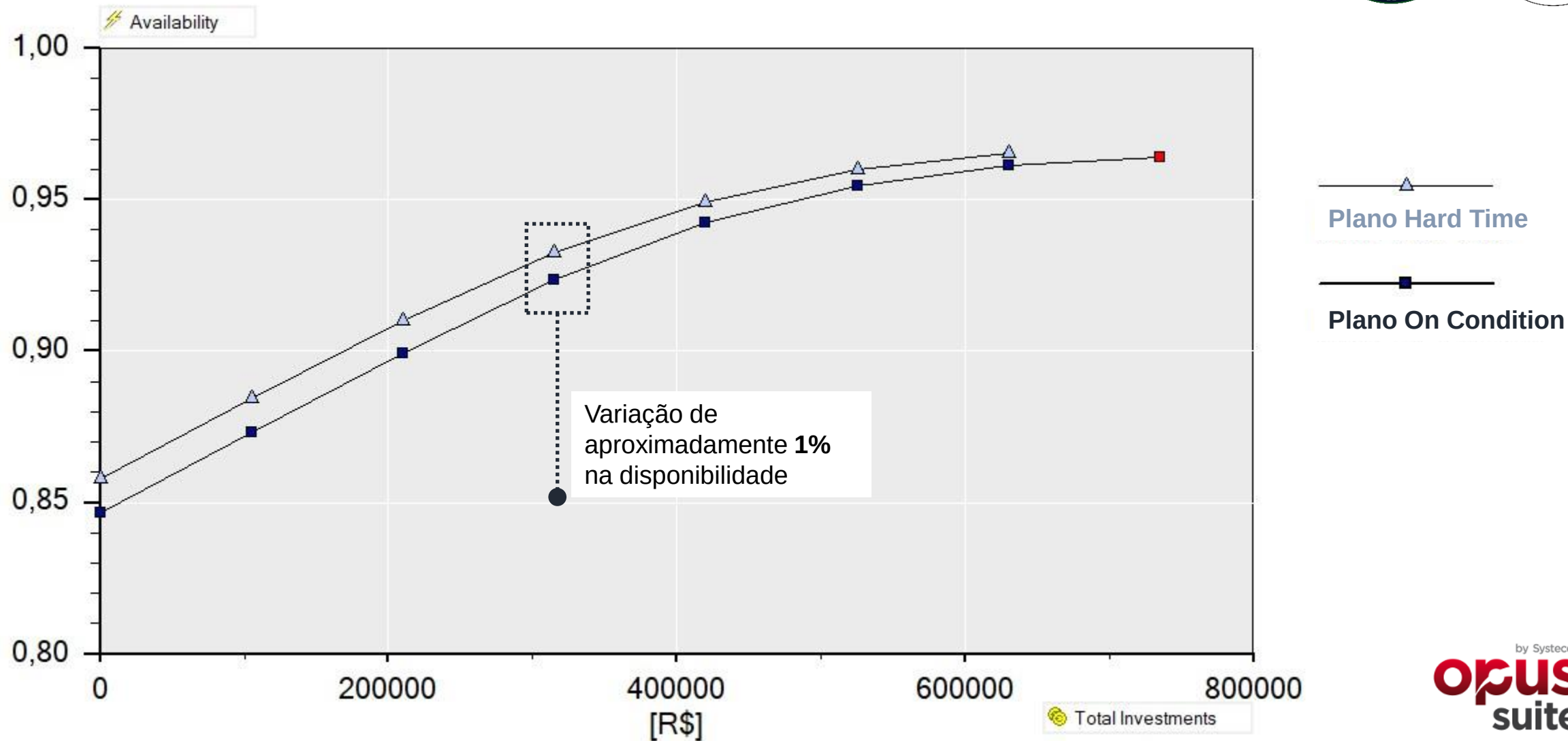
Plano Hard Time

Plano On Condition

* Estimativa de preços baseada nos últimos contratos de suporte do PAMALS

Comparação modelos *Hard Time* e *On Condition*

Redução de 10% na taxa de falha do item



Redução de 10% na taxa de falha do item



* Estimativa de preços baseada nos últimos contratos de suporte do PAMALS

Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*



Considerações
Finais



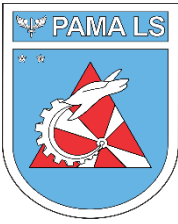
Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?

HARD TIME



ON CONDITION



Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?

HARD TIME

Linha de tendência de emergências
crescente;



ON CONDITION



Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?

HARD TIME



Linha de **tendência de emergências** crescente;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não** aumentou a **confiabilidade do item**;



ON CONDITION



Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?

HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente**;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item**;



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



ON CONDITION



Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?



HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente;**



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item;**



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



Alto índice de mortalidade infantil, resultado de problemas após retorno de oficina.



ON CONDITION

Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?



HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente**;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item**;



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



Alto índice de mortalidade infantil, resultado de problemas após retorno de oficina.



ON CONDITION



Modelo de manutenção construído com **metodologia top-down**;

Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?



HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente**;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item**;



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



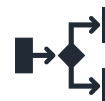
Alto índice de mortalidade infantil, resultado de problemas após retorno de oficina.



ON CONDITION



Modelo de manutenção construído com **metodologia *top-down***;



Semelhante aos programas **MSG-3 (considera os modos de falha)**;

Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?



HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente**;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item**;



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



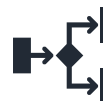
Alto índice de mortalidade infantil, resultado de problemas após retorno de oficina.



ON CONDITION



Modelo de manutenção construído com **metodologia top-down**;



Semelhante aos programas **MSG-3 (considera os modos de falha)**;



Mostrou-se com **menor custo** quanto comparado ao hard time;

Considerações finais

Qual modelo de manutenção é mais efetivo?



HARD TIME



Linha de **tendência de emergências crescente**;



Redução do TBO de 8000p para 4000p **não aumentou a confiabilidade do item**;



Os itens, em geral, **não chegam no TBO**, aumentando o número de reparos e impactando na eficácia da oficina reparadora;



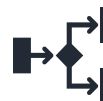
Alto índice de mortalidade infantil, resultado de problemas após retorno de oficina.



ON CONDITION



Modelo de manutenção construído com **metodologia top-down**;



Semelhante aos programas **MSG-3 (considera os modos de falha)**;

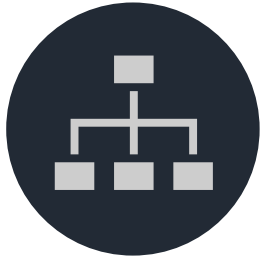


Mostrou-se com **menor custo** quanto comparado ao hard time;



Necessário **ajuste dos intervalos**, após análise de confiabilidade.

Roteiro



SISCONF (ICA
400-21)



Análise de
confiabilidade do Trem
de Pouso Auxiliar



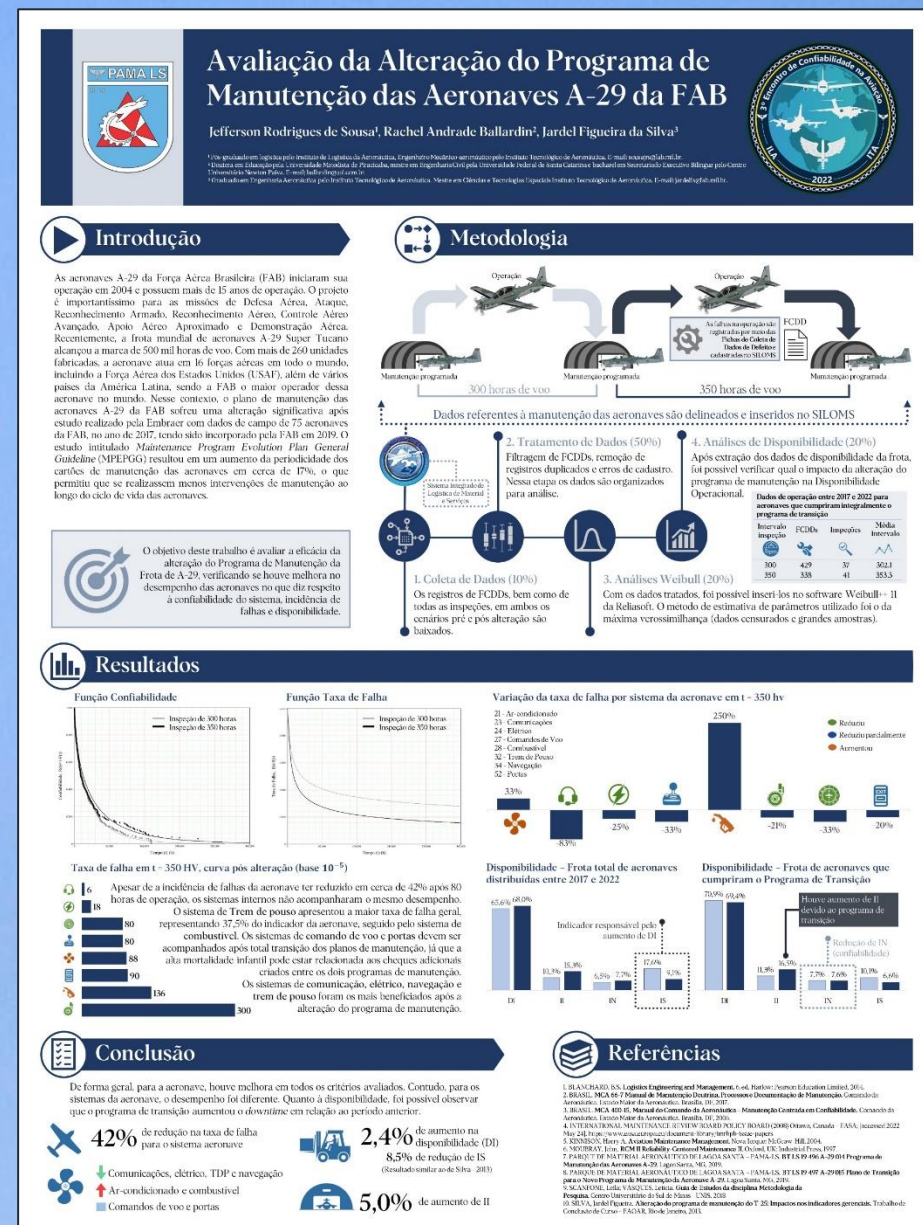
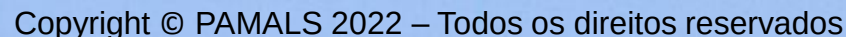
Comparação
modelos *Hard Time*
e *On Condition*



Considerações
Finais



Avaliação da Alteração do Programa de Manutenção das Aeronaves A-29 da FAB





In God we trust;
all others bring data.

W. Edwards Deming