

ESTUDO DE CONFIABILIDADE

GERADOR DE PARTIDA DA AERONAVE C-98

CARAVAN

Tiago Dutra de Araujo,
Chefe da Assessoria Técnica de Motores à Reação no PAMASP



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

INTRODUÇÃO

A AERONAVE CARAVAN É UM IMPORTANTE VETOR DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS E CARGAS DIVERSAS NA FORÇA AÉREA BRASILEIRA,

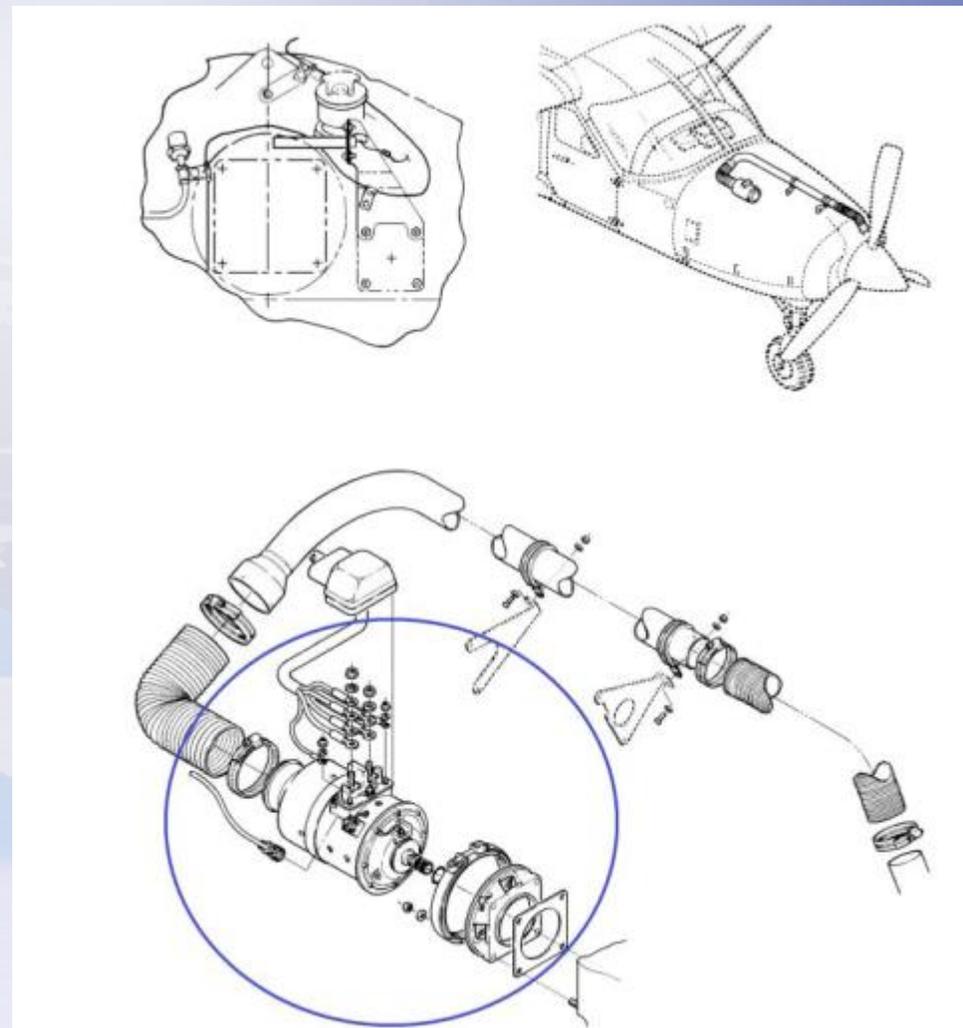
ELA FOI MUITO IMPORTANTE DURANTE O PERÍODO DA OPERAÇÃO YANOMAMI (2023), E COM O AUMENTO DA UTILIZAÇÃO DAS AERONAVES, FOI POSSÍVEL OBSERVAR QUE O STARTER GENERATOR FOI UM DOS ITENS QUE MAIS AFETOU A DISPONIBILIDADE DO PROJETO.



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

INTRODUÇÃO

O MSI (*MAINTENANCE SIGNIFICANT ITEM*) PARTE DO SISTEMA ELÉTRICO DO C-98 CARAVAN, RESPONSÁVEL PELO TORQUE INICIAL DE PARTIDA DOS MOTORES E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA OS SISTEMAS E EQUIPAMENTOS A BORDO.



INTRODUÇÃO

A ANÁLISE FOI REALIZADA QUANTO ÀS DUAS PRINCIPAIS FUNÇÕES DO MSI.

		Análise MSG-3 para Sistemas e Grupo Motopropulsor					
		Análise de Falhas Funcionais					
FORMULÁRIO:	MSI #	Nomenclatura do MSI					
RIO: 3	80-10-1	STARTER GENERATOR - (Arranque Gerador)					
Função #	Descrição da Função	Falha #	Falha Funcional	Efeito #	Efeito da Falha	Causa #	Causa da falha
1	Fornecer o arranque necessário para a partida do Motor.	1A	Não fornecer o arranque necessário para o início da partida do Motor.	1A1	Ciclo da partida do motor não inicia	1A1a	Escova danificada
		1B	Partida dos motor interrompida após o início	1B1	Ciclo da partida do motor não completa	1A1b 1B1a	Eixo quebrado Sistema de ventilação obstruído, causando aquecimento e fumaça
						1B1b	Escova danificada
2	Funcionar como fonte de energia elétrica após a partida dos motores	2A	Não fornece energia elétrica adequadamente ao avião	2A1	Alguns equipamentos elétricos não vão funcionar, pois o alternador passa a fornecer energia com um limite menor ao avião	2A1a	Tensão fora da regulagem prevista
						2A1b	Terminal com corrosão
						2A1c	Terminal com folga

Analista: Grupo Alpha (Cap Tiago, Ten Rocha e Ten Romani)
22 de Março de 2024



OBJETIVO

1. IDENTIFICAR POSSIBILIDADE DE MELHORIAS NO PLANO DE MANUTENÇÃO DO ITEM A FIM DE REDUZIR A QUANTIDADE DE PARADAS NÃO-PROGRAMADAS;
2. COMPARAR OS TEMPOS DE FALHAS DE COMPONENTES NOVOS E COMPONENTES ORIUNDOS DE REPARO E/OU REVISÃO GERAL.



METODOLOGIA

1. **COLETA DE DADOS SOBRE RECOLHIMENTOS NÃO-PROGRAMADOS DO GERADOR DE PARTIDA;**
2. **CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS EM DIFERENTES CATEGORIAS; E**
3. **ANÁLISE DOS DADOS UTILIZANDO WEIBULL ++.**



COLETA DE DADOS

A PRINCIPAL FONTE DE DADOS FOI O SISTEMA INTEGRADO DE LOGÍSTICA DE MATERIAL E DE SERVIÇOS (SILOMS) DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA.



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

COLETA DE DADOS

O PERÍODO DE COLETA DE DADOS DE FALHAS COMPREENDEU O INTERVALO DE 01/01/2013 A 31/12/2023 (11 ANOS).

FORAM OBTIDOS 96 DADOS DE RECOLHIMENTOS DO ITEM, DOS QUAIS 29 FORAM DE REMOÇÕES PROGRAMADAS (TBO) E 67 NÃO PROGRAMADAS (FALHAS)



SILOMS



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

QUANTO AO EFEITO DA FALHA, AS
FALHAS FORAM CLASSIFICADAS
COMO:

- **SUPERAQUECIMENTO;**
- **DESGASTE DAS ESCOVAS;**
- **OUTROS.**

Modo de Falha	Quantidade de dados de falhas	Quantidade de dados em suspensão
Superaquecimento	8	83
Desgaste das escovas	17	74
Outros*	37	54



CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

**AS FALHAS FORAM CONSIDERADAS
DADOS COMPLETOS DE FALHA E
DEMAIS RECOLHIMENTOS FORAM
CLASSIFICADOS COMO DADOS EM
SUSPENSÃO (“CENSURA À DIREITA”)
PARA O EFEITO EM ANÁLISE.**

Modo de Falha	Quantidade de dados de falhas	Quantidade de dados em suspensão
Superaquecimento	8	83
Desgaste das escovas	17	74
Outros*	37	54



CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

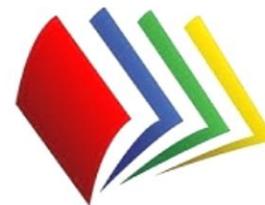
**QUANTO AO ESTADO DO ITEM
PREGRESSO À FALHA, SEPAROU-SE AS
FALHAS OCORRIDAS APÓS A
PRIMEIRA ENTRADA EM OPERAÇÃO
DO ITEM (ITEM NOVO - NV) DAS
FALHAS OCORRIDAS APÓS A REVISÃO
GERAL (RG) E/OU REPAROS (RP).**

Condição	QNT de dados de Falha	QNT de dados em Suspensão
Item Novo	17	13
Item Revisado	41	14
Item Reparado	9	2



ANÁLISE DOS DADOS

A ANÁLISE DOS DADOS FOI
REALIZADA UTILIZANDO O SOFTWARE
WEIBULL++



ReliaSoft®

 **WEIBULL++®**

Example Three
Analyzing Sudden Death Data

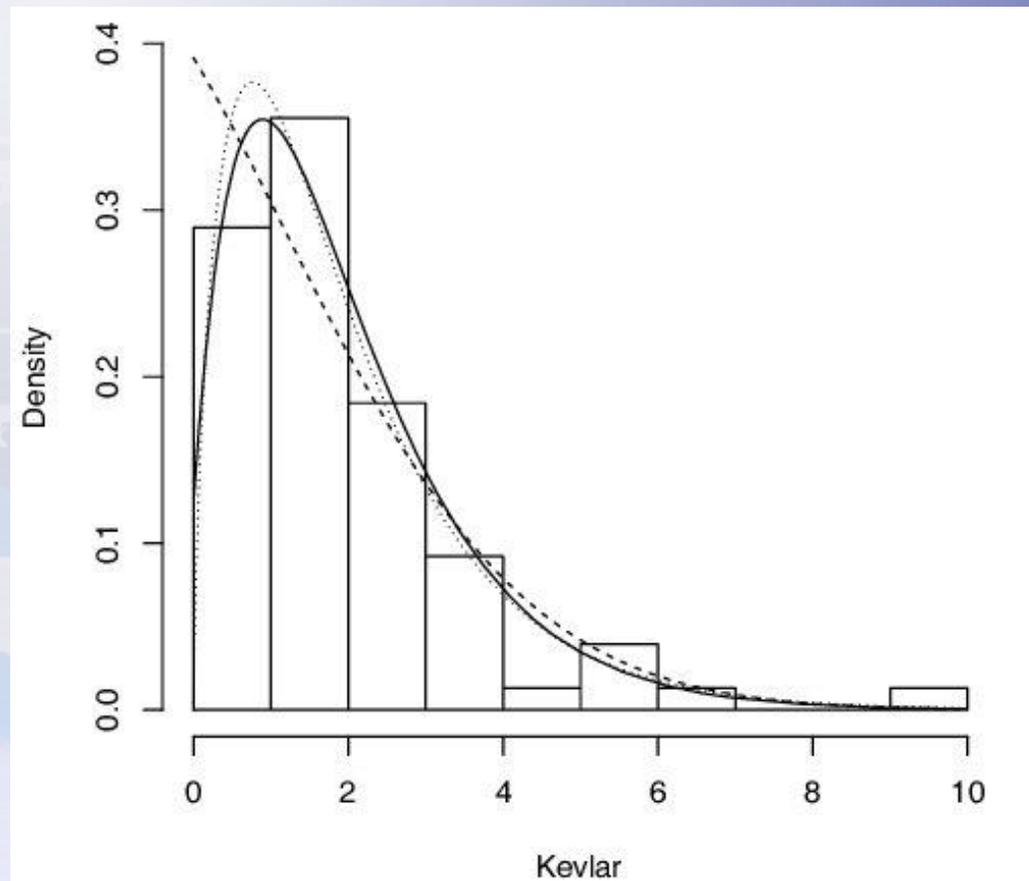


4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

ANÁLISE DOS DADOS

COM O AUXÍLIO DA FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD* DISPONÍVEL NO SOFTWARE, FOI POSSÍVEL OBTER A CURVA MAIS AJUSTADA AOS DADOS,

A PARTIR DOS MÉTODOS MATEMÁTICOS *MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION - MLE*, *RANK REGRESSION ON X - RRX* OU *RANKING REGRESSION ON Y - RRY*, CONFORME MELHOR AJUSTE



RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

Condição	QNT de dados de Falha	QNT de dados em Suspensão
Item Novo	17	13
Item Revisado	41	14
Item Reparado	9	2



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

- **DADOS DE FALHAS AGRUPADOS**

- **EXPONENCIAL 1P**

- $\lambda_1 = 7,02 \cdot 10^{-4} h^{-1}$



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

- **DADOS DE FALHAS AGRUPADOS**

- **EXPONENCIAL 1P**

- $\lambda_1 = 7,02 \cdot 10^{-4} h^{-1}$

- **DADOS DE FALHAS – ITENS NOVOS**

- ***WEIBULL 2P***

- $\beta_2 = 1,37$

- $\eta_2 = 2280,54 h$



RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

• DADOS DE FALHAS AGRUPADOS

- EXPONENCIAL 1P
- $\lambda_1 = 7,02 \cdot 10^{-4} h^{-1}$

• DADOS DE FALHAS – ITENS NOVOS

- *WEIBULL* 2P
- $\beta_2 = 1,37$
- $\eta_2 = 2280,54 h$

• DADOS DE FALHAS – REVISÃO GERAL

- EXPONENCIAL 1P
- $\lambda_3 = 8,66 \cdot 10^{-4} h^{-1}$



RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

• DADOS DE FALHAS AGRUPADOS

- **EXPONENCIAL 1P**

- $\lambda_1 = 7,02 \cdot 10^{-4} h^{-1}$

• DADOS DE FALHAS – ITENS NOVOS

- **WEIBULL 2P**

- $\beta_2 = 1,37$

- $\eta_2 = 2280,54 h$

• DADOS DE FALHAS – REVISÃO GERAL

- **EXPONENCIAL 1P**

- $\lambda_3 = 8,66 \cdot 10^{-4} h^{-1}$

• DADOS DE FALHAS – REPARO

- **EXPONENCIAL 3P**

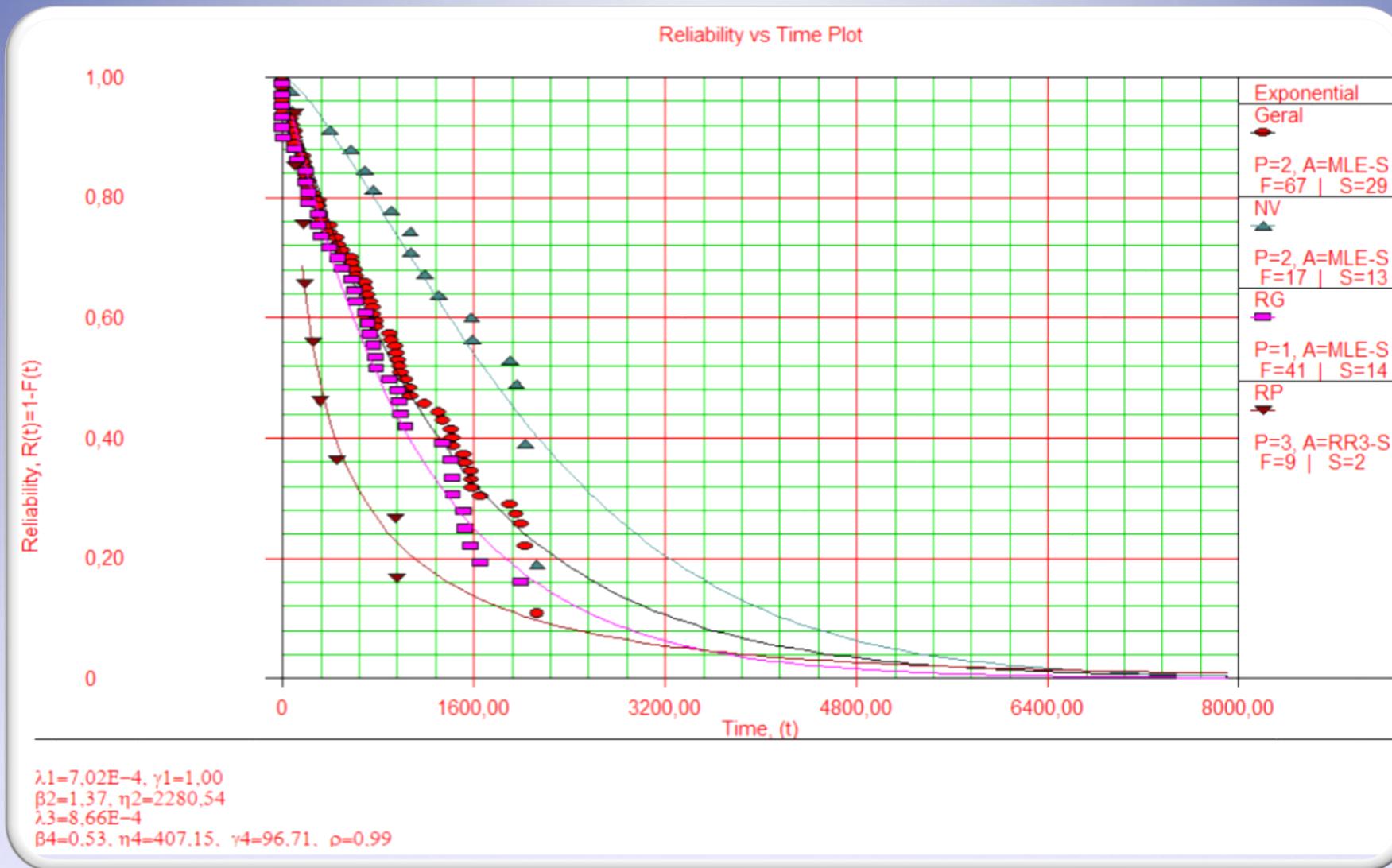
- $\beta_4 = 0,53$

- $\eta_4 = 407,15 h$

- $\gamma_4 = 96,71 h$

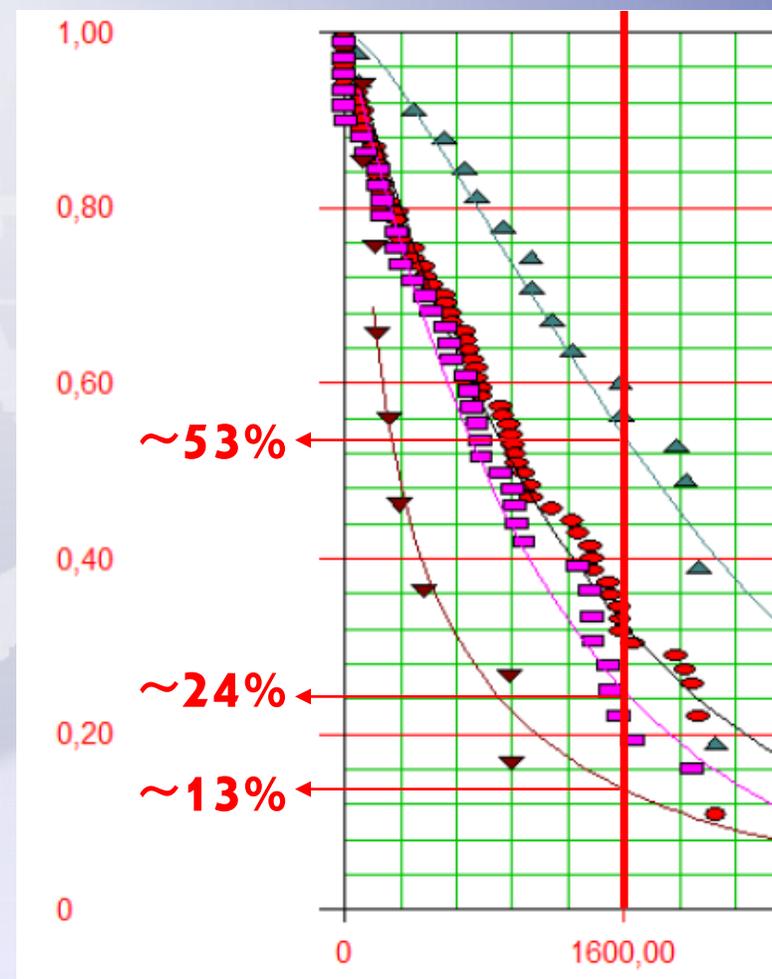


RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO ESTADO DO ITEM



RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(T)$ QUANTO AO ESTADO DO ITEM

- ITENS NOVOS TÊM UMA CONFIABILIDADE MAIOR QUE OS ORIUNDOS DE REVISÃO GERAL (RG) OU REPARO. PARA UM TSO DE 1600 HORAS DE VOO, A CONFIABILIDADE DOS ITENS NOVOS É CERCA DE 4 VEZES MAIOR QUE A DOS ITENS REPARADOS E 2,2 VEZES MAIOR QUE A DOS ITENS DE RG.



RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO ESTADO DO ITEM

MEAN LIFE (MTTF - TEMPO MÉDIO ATÉ A FALHA)

- **ITEM NOVO:** 2085,90 HV
- **PÓS RG:** 1154,73 HV
- **PÓS REPARO:** 832,12 HV



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO ESTADO DO ITEM

MEAN LIFE (MTTF - TEMPO MÉDIO ATÉ A FALHA)

- **ITEM NOVO:** 2085,90 HV
- **PÓS RG:** 1154,73 HV
- **PÓS REPARO:** 832,12 HV

REDUÇÃO DE ~ 60,11% NO TEMPO ESPERADO



RESULTADO DA ANÁLISE DE $R_{(T)}$ QUANTO AO ESTADO DO ITEM

$$R_{(T = TBO)}$$

- **ITEM NOVO:** 56,63% JÁ TERÃO FALHADO
- **PÓS RG:** 82,31% JÁ TERÃO FALHADO
- **PÓS REPARO:** 89,61% JÁ TERÃO FALHADO



RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO EFEITO DA FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

Modo de Falha	Quantidade de dados de falhas	Quantidade de dados em suspensão
Superaquecimento	8	83
Desgaste das escovas	17	74
Outros*	37	54



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO EFEITO DA FALHA



RESULTADOS – FALHAS AGRUPADAS QUANTO AO EFEITO DA FALHA

FERRAMENTA *DISTRIBUTION WIZARD*

• SUPERAQUECIMENTO

- WEIBULL 2P
- $\beta_1 = 1,56$
- $\eta_1 = 5516,96 h$

• DESGASTE DAS ESCOVAS

- LOGNORMAL 2P
- $\mu_2 = 7,75$
- $\sigma_2 = 0,64 h$

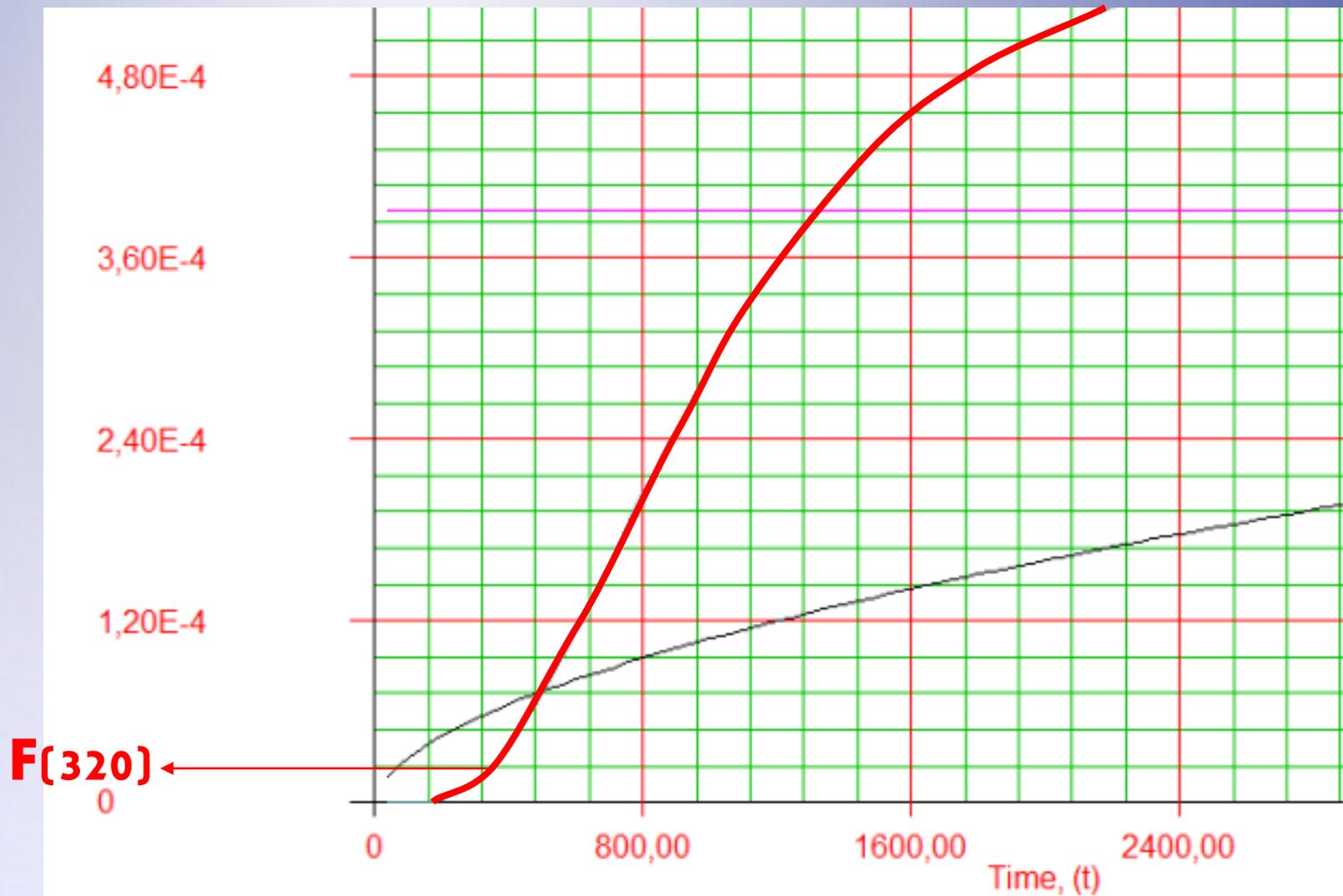
• DEMAIS EFEITOS

- EXPONENCIAL 2P
- $\lambda_3 = 3,91 \cdot 10^{-4}$
- $\gamma_3 = 9,67 h$



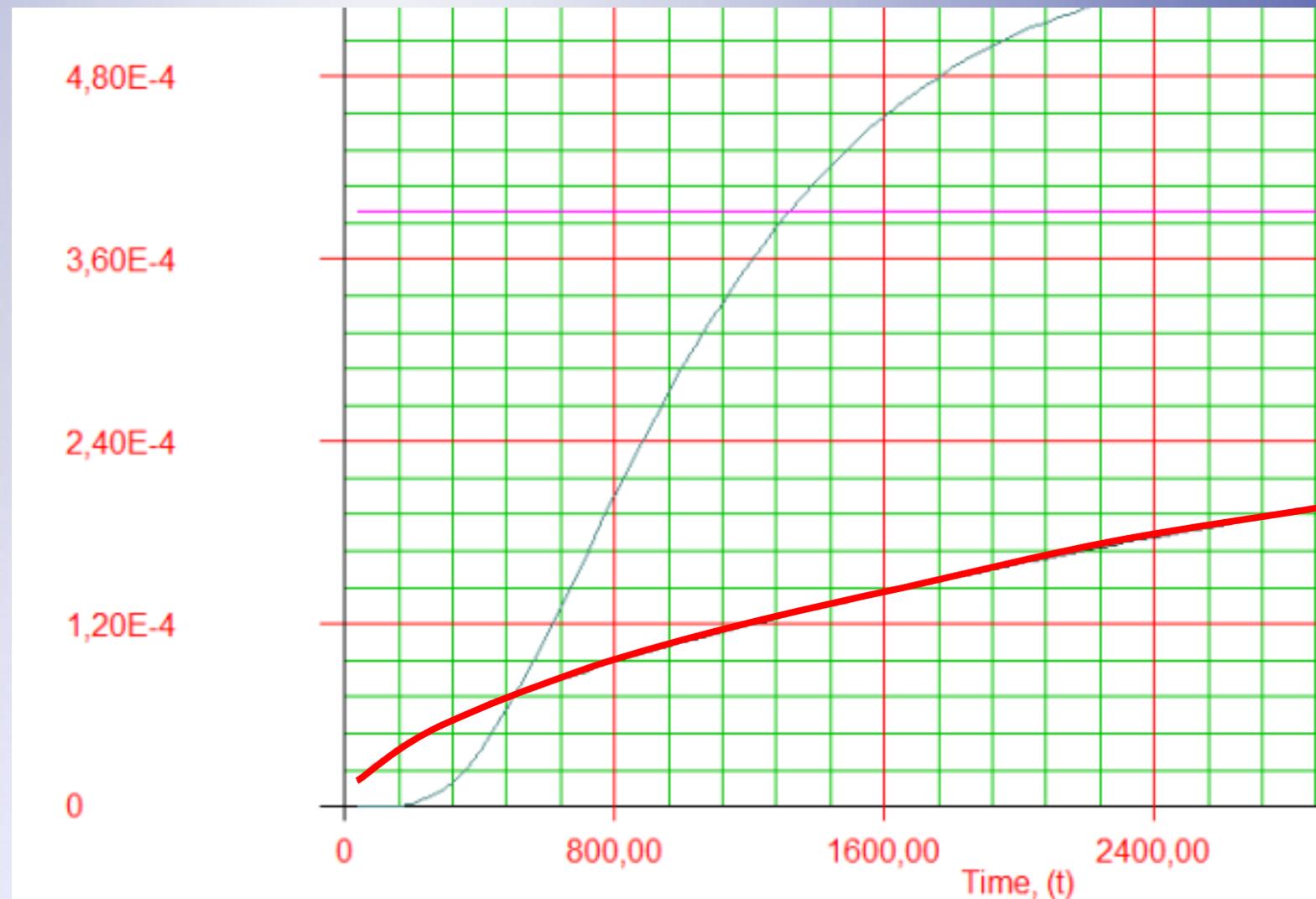
RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO EFEITO DA FALHA

- O MODO DE FALHA 'DESGASTE DAS ESCOVAS' INICIA UM COMPORTAMENTO ACENTUADO DE CRESCIMENTO DE TAXA DE FALHAS POR VOLTA DE 320 HV.



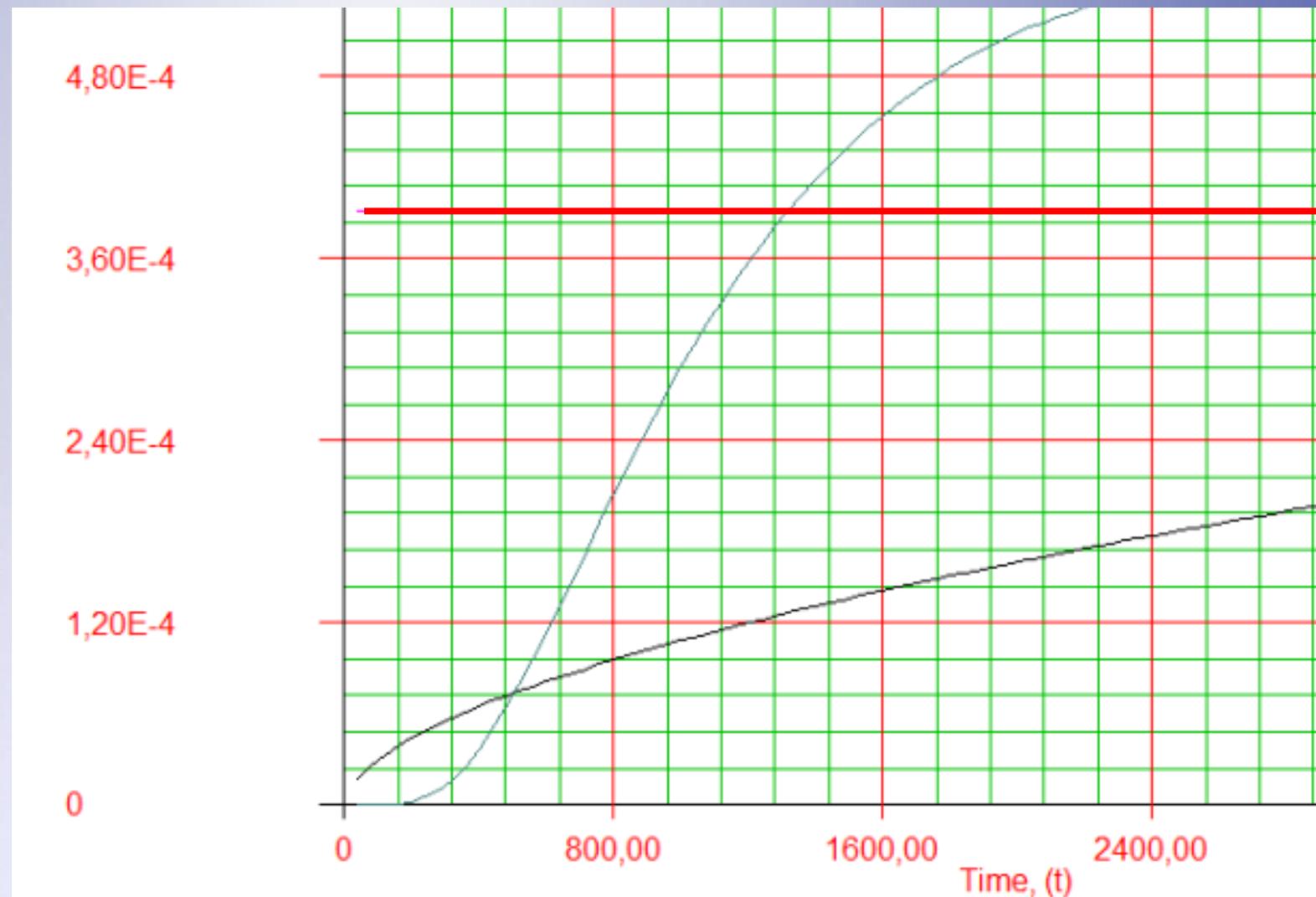
RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO EFEITO DA FALHA

- O MODO DE FALHA 'AQUECIMENTO' APRESENTA UMA TAXA DE CRESCIMENTO DA TAXA DE FALHA A INCREMENTOS CÔNCAVOS.



RESULTADO DA ANÁLISE DE $R(t)$ QUANTO AO EFEITO DA FALHA

- **DEMAIS EFEITOS DE FALHAS, QUANDO AGRUPADOS, APRESENTAM COMPORTAMENTO DE TAXA DE FALHA CONSTANTE, INDICANDO COMPORTAMENTO ALEATÓRIO DAS FALHAS.**



CONCLUSÃO



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação

CONCLUSÃO

1. DA ANÁLISE EM RELAÇÃO AO ESTADO PREGRESSO À FALHA:

- A CONFIABILIDADE DE ITENS NOVOS, PARA UM MESMO TEMPO DE OPERAÇÃO DO ITEM, É CONSIDERAVELMENTE MAIOR PARA ITENS NOVOS, CHEGANDO A MAIS DE 40% A DEPENDER DO TEMPO DE OPERAÇÃO.
- AO ATINGIR O TBO, É ESPERADO QUE 57% DOS ITENS NOVOS JÁ TENHAM FALHADO AO PASSO QUE, PARA ITENS ORIUNDOS DE REPARO, ESTÁ PORCENTAGEM É DE CERCA DE 90%.
- A CURVA DE CONFIABILIDADE DE ITENS DE RG É MUITO PRÓXIMA DA CURVA GERAL, O QUE É ESPERADO, POIS ESTE GRUPO REPRESENTA A MAIORIA DOS DADOS DE FALHAS.



CONCLUSÃO

2. DA ANÁLISE EM RELAÇÃO AO EFEITO DA FALHA:

- A DERIVADA DA FUNÇÃO TAXA DE FALHA APRESENTA UMA ELEVAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE POR VOLTA DE 300 HORAS DE VOO, SUGERINDO QUE UMA INSPEÇÃO OU INTERVENÇÃO PREVENTIVA NESSA JANELA DE TEMPO PODE AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DO ITEM.
- APESAR DO COMPORTAMENTO CRESCENTE DA TAXA DE FALHA, NÃO É POSSÍVEL ESTABELEECER UMA JANELA DE TEMPO ADEQUADA PARA INTERVENÇÃO PREVENTIVA, JÁ QUE A DERIVADA É MAIOR NAS PRIMEIRAS HORAS DE OPERAÇÃO DO ITEM.



CONCLUSÃO

2. DA ANÁLISE EM RELAÇÃO AO EFEITO DA FALHA:

- A DERIVADA DA FUNÇÃO TAXA DE FALHA APRESENTA UMA ELEVAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE POR VOLTA DE 300 HORAS DE VOO, SUGERINDO QUE UMA INSPEÇÃO OU INTERVENÇÃO PREVENTIVA NESSA JANELA DE TEMPO PODE AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DO ITEM. (MANUTENÇÃO PREVENTIVA)
- APESAR DO COMPORTAMENTO CRESCENTE DA TAXA DE FALHA, NÃO É POSSÍVEL ESTABELEECER UMA JANELA DE TEMPO ADEQUADA PARA INTERVENÇÃO PREVENTIVA, JÁ QUE A DERIVADA É MAIOR NAS PRIMEIRAS HORAS DE OPERAÇÃO DO ITEM.



CONCLUSÃO

2. DA ANÁLISE EM RELAÇÃO AO EFEITO DA FALHA:

- A DERIVADA DA FUNÇÃO TAXA DE FALHA APRESENTA UMA ELEVAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE POR VOLTA DE 300 HORAS DE VOO, SUGERINDO QUE UMA INSPEÇÃO OU INTERVENÇÃO PREVENTIVA NESSA JANELA DE TEMPO PODE AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DO ITEM. (MANUTENÇÃO PREVENTIVA)
- APESAR DO COMPORTAMENTO CRESCENTE DA TAXA DE FALHA, NÃO É POSSÍVEL ESTABELEECER UMA JANELA DE TEMPO ADEQUADA PARA INTERVENÇÃO PREVENTIVA, JÁ QUE A DERIVADA É MAIOR NAS PRIMEIRAS HORAS DE OPERAÇÃO DO ITEM. (MANUTENÇÃO PREDITIVA, ANÁLISE DE CAUSA RAIZ...)



MUITO OBRIGADO!



**TIAGO DUTRA DE ARAUJO,
PARQUE DE MATERIAL AERONÁUTICO DE SÃO PAULO - PAMASP
tiagotda@fab.mil.br / (31) 99388-9476.**



4º Encontro de Confiabilidade na Aviação