

# 3º ENCONTRO DE CONFIABILIDADE NA AVIAÇÃO



22 e 23 de novembro de 2022  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Instituto de Logística da Aeronáutica  
Inscrições Abertas

**Realização:**



**Apoio:**



Realização:



Apoio:



Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Defesa Nacional - PRÓ-DEFESA IV

# LORA e LSA no desenvolvimento de sistemas aeroespaciais complexos

**Autores:**

Daniel Buch - ITA

Prof. Dr. Fernando T. M. Abrahão - ITA

2012 - 2021

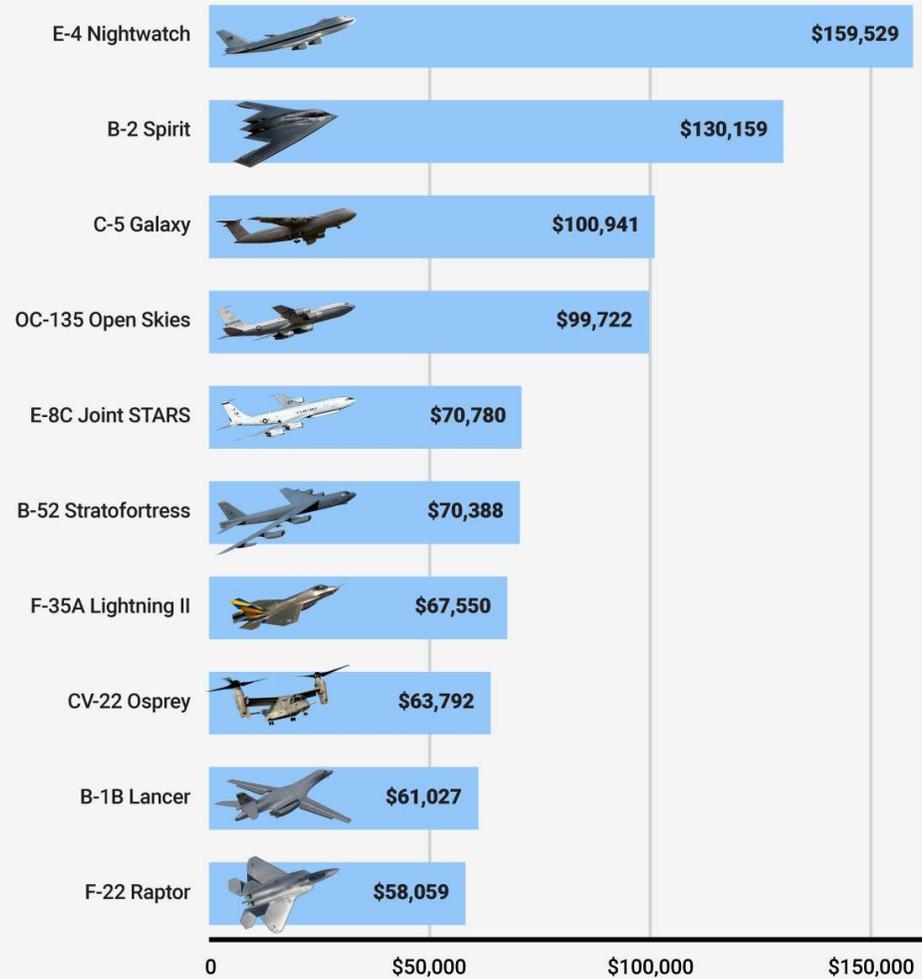


2021 - Atual



# THE AIR FORCE'S 10 MOST EXPENSIVE PLANES TO OPERATE

Sorted by cost per hour of flight.



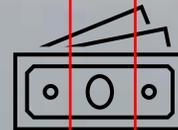
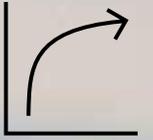
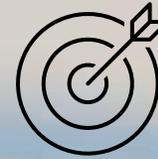
**B-52 Stratofortress**  
(1955)

**B-1 Lancer**  
(1986)

SOURCE: US Air Force

(Fonte: [www.businessinsider.com](http://www.businessinsider.com), 2016)

BUSINESS INSIDER



# OBJETIVO



- Apresentar as ferramentas de Análise de Suporte Logístico (LSA) e de Análise de Nível de Reparo (LORA) e o emprego destas no desenvolvimento de sistemas complexos (Cn).
- Ilustrar, por meio da apresentação de um estudo de caso, o emprego destas ferramentas para apoiar decisões de projeto (Cp).

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

- INTRODUÇÃO** ←
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

# INTRODUÇÃO

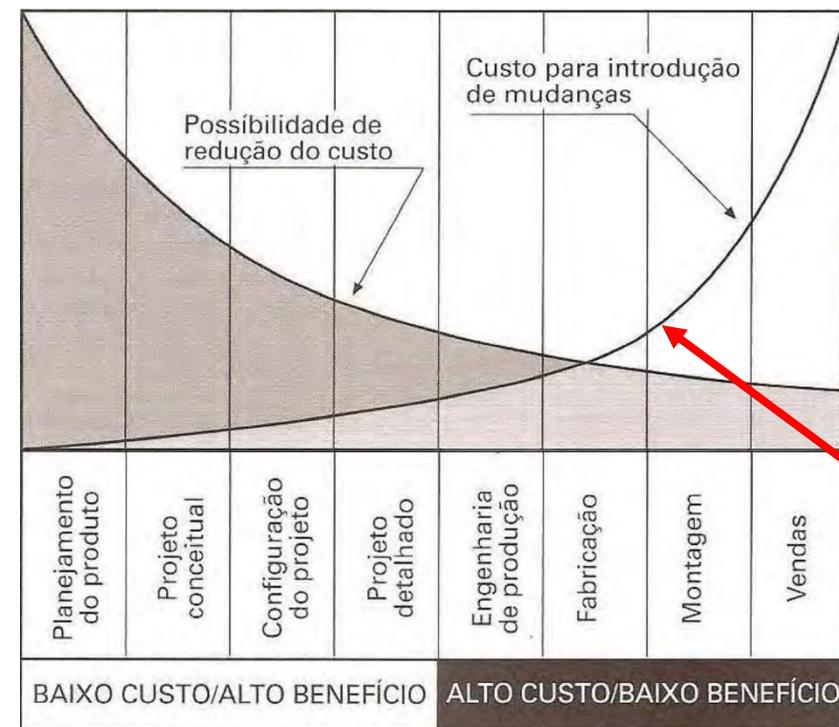
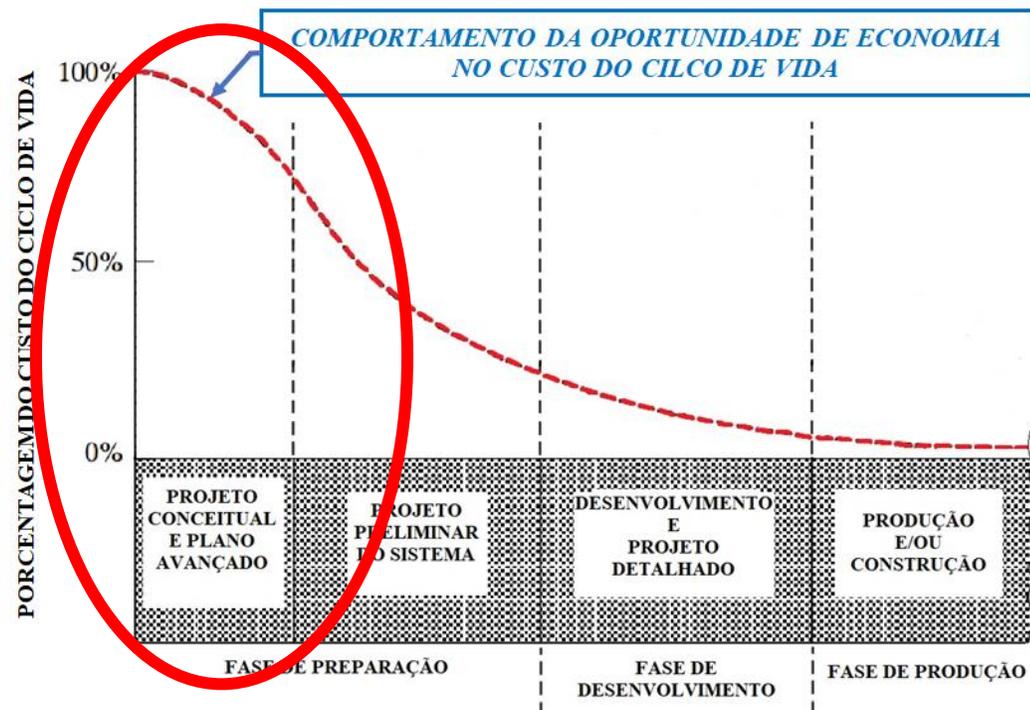
CILCO DE VIDA: MODELO PROPOSTO POR ASD/AIA (2021)

Tempo →

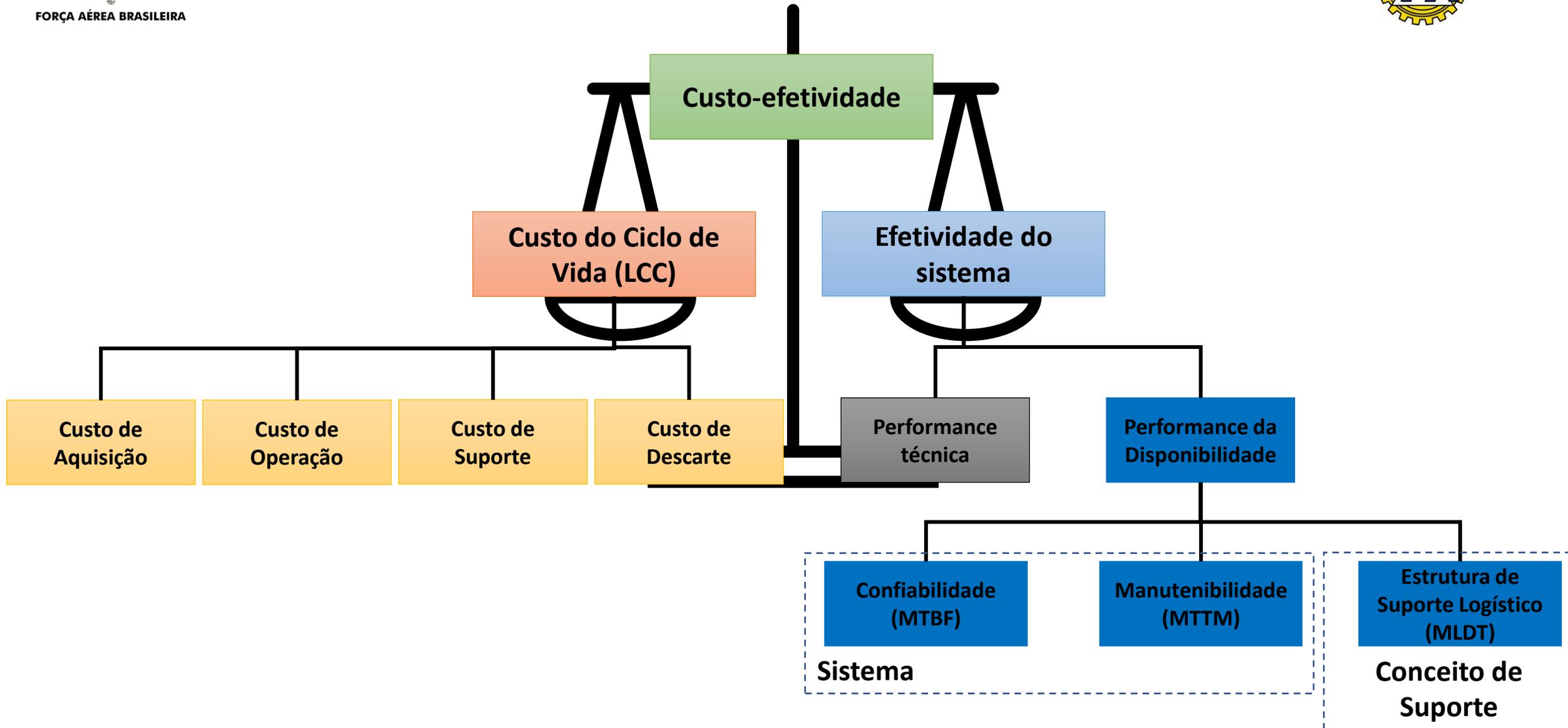


DECISÕES

\$\$\$ (LSC)



# INTRODUÇÃO



- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO 
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

# O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO

## R – Reliability (Confiabilidade)

Probabilidade de que um sistema ou produto desempenhe de um modo satisfatório, por um determinado período de tempo, quando utilizado sob condições operacionais específicas.

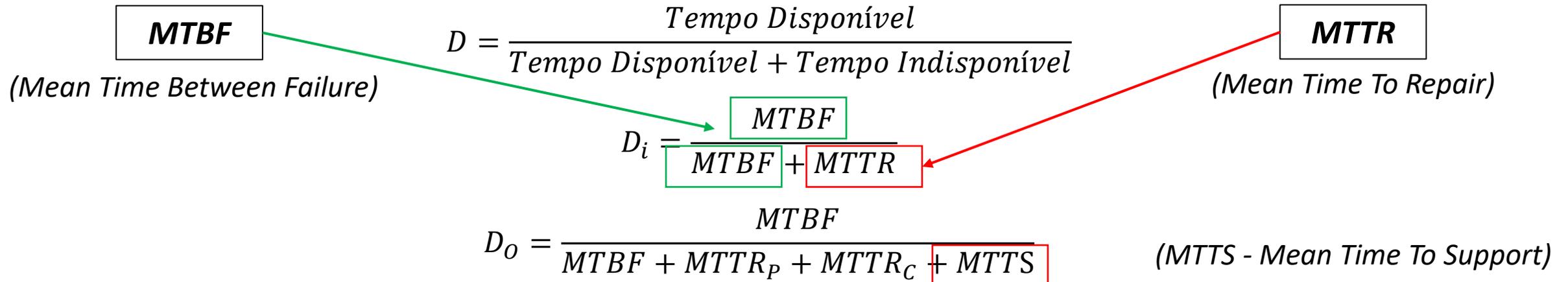
*Está associado aos fatores RAM*

## A – Availability (Disponibilidade)

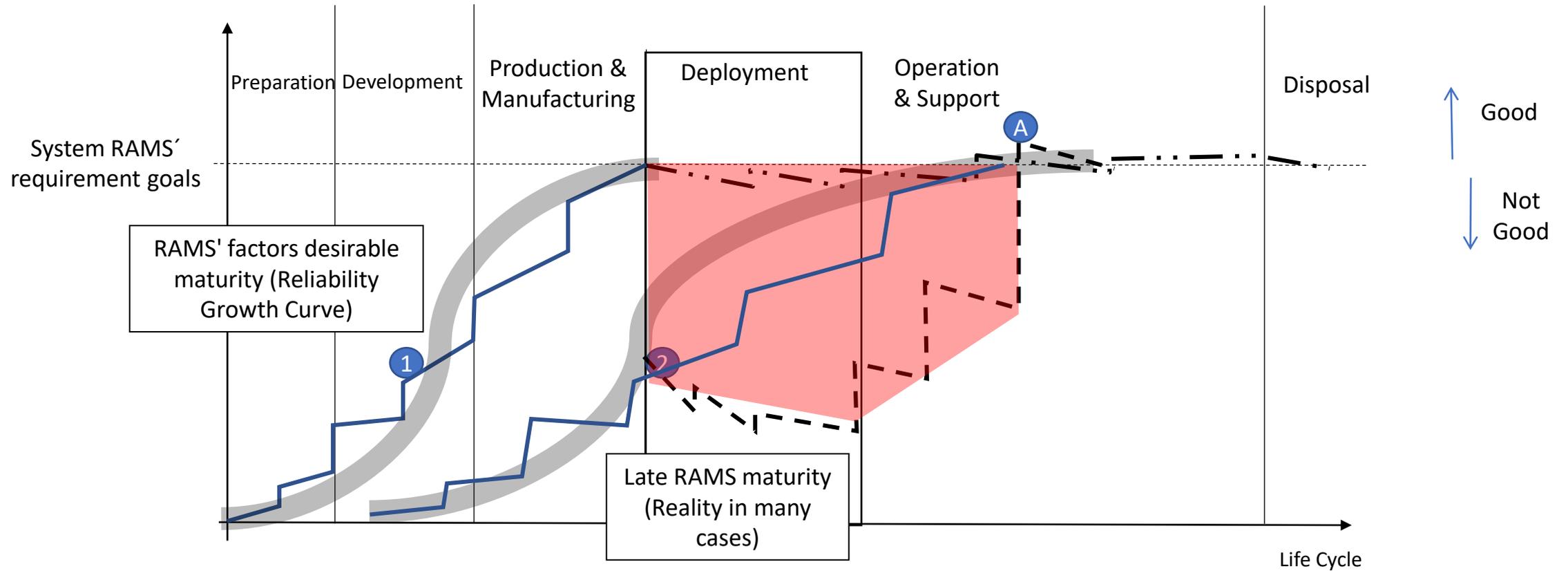
Probabilidade de que um item, quando operado nas condições, previstas, desempenhe sua função operacional de forma satisfatória, em um dado momento aleatório no tempo.

## M – Maintainability (Manutenibilidade)

Manutenibilidade se refere à facilidade e velocidade na qual qualquer atividade de manutenção pode ser executada em um equipamento.



# O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO



(Fonte: ABRAHÃO, 2022)

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS) 
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS



FORÇA AÉREA BRASILEIRA

# SUPOORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)



- Abordagem na qual as atividades de suporte e seus elementos são planejados, adquiridos, implementados, testados e entregues no momento certo e de uma forma custo-efetiva. (ASD/AIA, 2021b)

- Objetivo: desenvolver soluções de suporte que otimizem a suportabilidade e o LCC do sistema complexo, enquanto este atende aos seus requisitos operacionais. (ASD/AIA, 2021b)

- IPS = ILS (Trata-se da mesma abordagem).



(Fonte: adaptado de DAU, 2011)



# SUPOORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)



- As atividades dos elemento do IPS possuem natureza iterativa, de forma que uma determinada atividade pode requer o resultado uma segunda atividade e esta pode requerer o resultado da primeira, evidenciando uma relação iterativa e dinâmica. (ASD/AIA, 2021b)

ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
Contrato	Análise de nível de reparo (LORA)	Relatório da LORA
Dados de engenharia de projeto		
Plano de IPS		
Relatório da MTA		
Relatórios da engenharia de suporte		
Conceito de suporte	Análise de tarefas de manutenção (MTA)	Relatório da MTA
Contrato		
Dados de engenharia de projeto		
Plano de IPS		
Relatório da LORA		
Relatórios da engenharia de suporte		
Conceito de suporte		

(Fonte: ASD/AIA, 2021b)

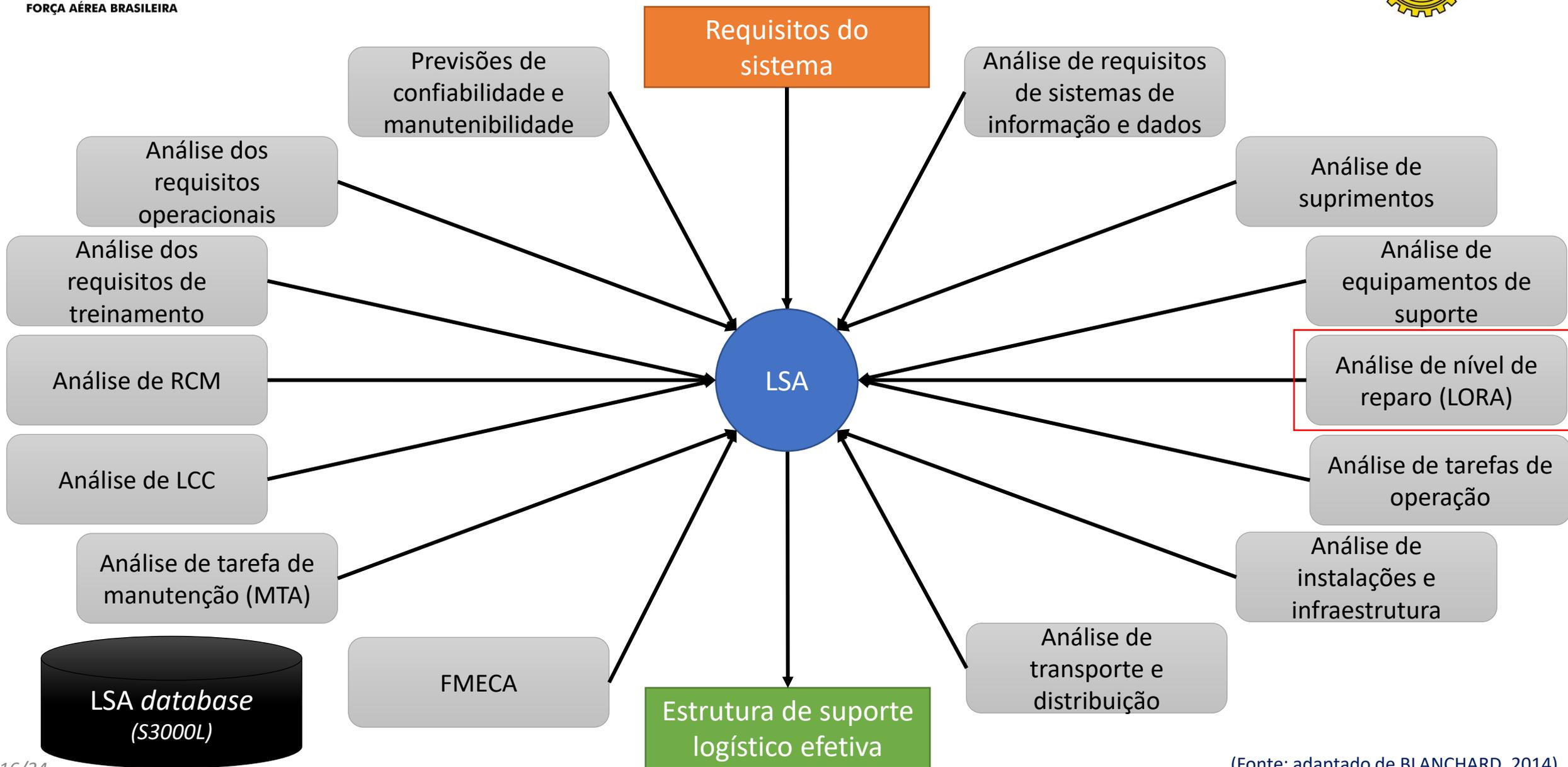
Elemento	Atividade	Preparação	Desenvolvimento	Produção	O&S	Descarte
Influência no Projeto	Análises RAM					
	Análise de LCC (LLCA)					
Manutenção	Conceito de Manut.					
	LORA					
	Plano de Manut.					
	MTA					
Gerenciamento do Suporte ao Produto	Gerenciamento de obsolescência					

(Fonte: ASD/AIA, 2021b)

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA) ←
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS



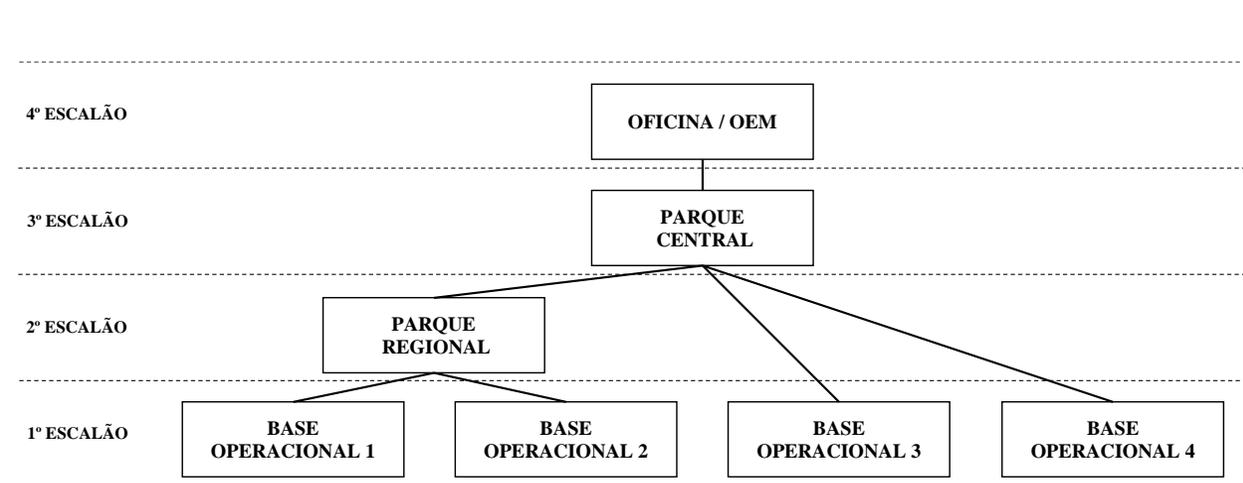
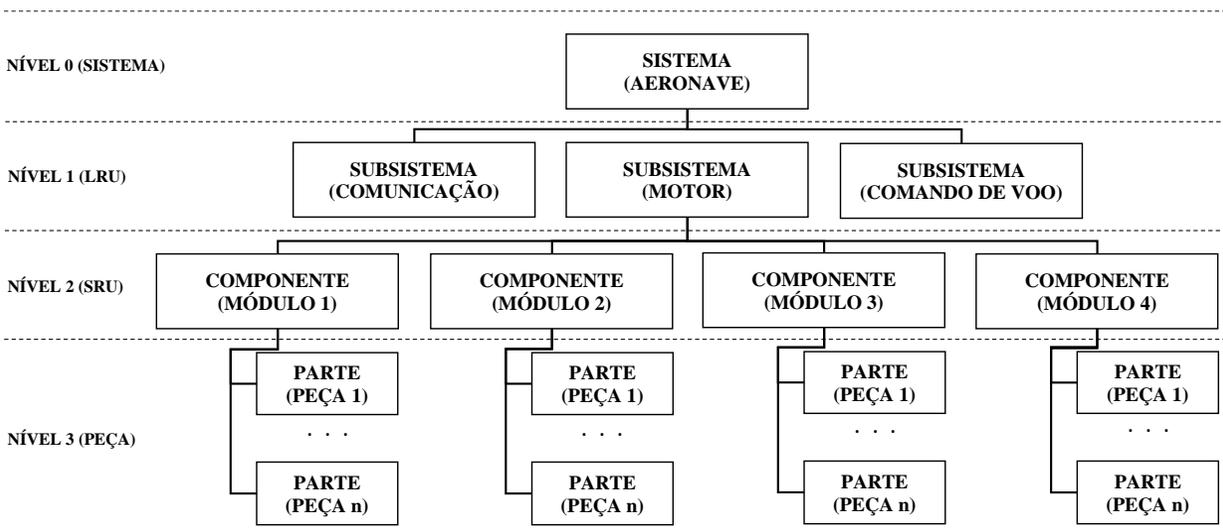
# ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)



- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA) 
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

## ESTRUTURA MODULAR EM NÍVEIS

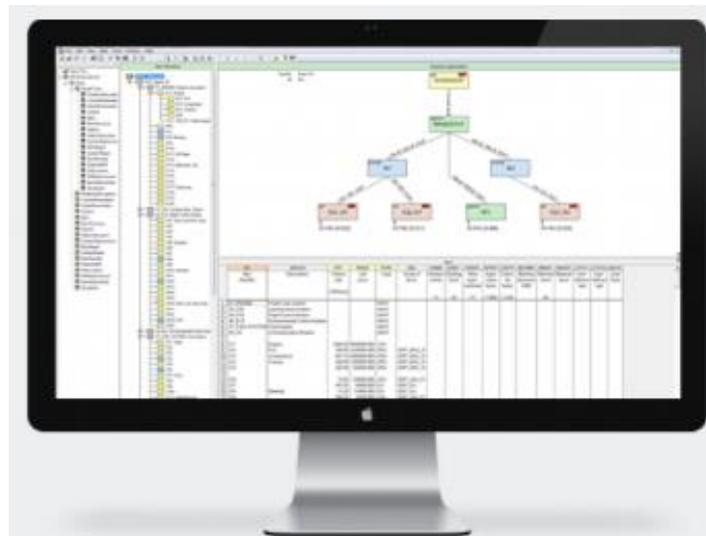
## ESTRUTURA DE SUPORTE MULTI-ESCALÃO



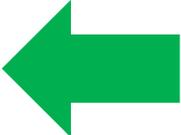
- **A LORA (*Level of Repair Analysis*) é uma metodologia analítica que define onde cada componente será removido, substituído, inspecionado, reparado, revisado, testado ou descartado.** (ASD/AIA, 2021a)

# ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)

- A ELORA (*Economic LORA*) é normalmente realizada por pacotes de *software* baseados em modelos matemáticos com diferentes níveis de complexidade e acurácia. (ASD/AIA, 2021a)
- Exemplos de pacotes de softwares para LORA são o OPUS 10 (*Systecon*) e o EDCAS (*Tools for Decision Group*, 2007) de acordo com Brick e Uchoa (2009).



- Na prática, nem todos os componentes da estrutura de produto de um sistema complexo são considerados na LORA e, tipicamente, uma análise não econômica é realizada previamente. (BASTEN, 2009)
- Motivos pelos quais alguns componentes não são incluídos na análise econômica (ELORA):
  - Restrições impostas pelo OEM
  - Restrições de instalações, infraestrutura e fatores ambientais
  - Restrições de mobilidade e transporte
  - Viabilidade técnica
  - Componentes de baixo custo (candidatos LSA)
  - Questões envolvendo políticas governamentais e de certificação
  - Questões relacionadas à segurança e fatores humanos

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO 
- CONSIDERAÇÕES FINAIS



FORÇA AÉREA BRASILEIRA

# ESTUDO DE CASO



FORÇA AÉREA BRASILEIRA  
Asas que protegem o País



## SIGE 2022

SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA

### Método de Apoio à Decisões de Projeto Baseado no Custo do Ciclo de Vida e na Estrutura de Suporte

**Autores:**  
Daniel Buch  
Dr. Fernando T. M. Abrahão



ISSN: 1983 7402

ITA, 27 a 29 SET 2022

### Método de Apoio à Decisões de Projeto Baseado no Custo do Ciclo de Vida e na Estrutura de Suporte

Daniel Buch<sup>1</sup> e Fernando Teixeira Mendes Abrahão<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

**Resumo** – Este trabalho modela uma estratégia para seleção de soluções de projeto, na fase de desenvolvimento, com base no reflexo destas no custo do ciclo de vida. Para tanto, adotou-se uma modelagem dos aspectos de suportabilidade e empregou-se otimização simultânea da estratégia de suporte, da alocação de recursos, da localização de estoques e de seus níveis, permitindo comparações de custo detalhadas. Um estudo de caso comparou a integração do conceito de manutenção modular e do não modular a um motor aeronáutico, apontando que o conceito modular traz uma redução global no custo de suporte, mas pode ter um desempenho inferior aos custos com manutenção preventiva, além de gerar concentração de esforços no segundo escalão de manutenção. O estudo aponta que a otimização da estratégia de suporte resulta em ganhos consideráveis no desempenho do suporte logístico, mostrando ser relevante seu emprego na avaliação de soluções de projeto.

Neste contexto surge a Engenharia Logística, que é responsável pela integração de considerações de suporte em todas as fases do ciclo de vida, definindo e influenciando a infraestrutura de suporte [5]. Um dos desafios de desenvolvedores de sistemas complexos, tratado pela Engenharia Logística, é a previsão do custo da fase de operação e suporte, dada a relevante influência deste no custo total do ciclo de vida.

O problema de pesquisa deste trabalho é a previsão do impacto sobre os custos de operação e suporte de distintas soluções de projeto. Será proposto um método, a ser aplicado no desenvolvimento de um produto, baseado na modelagem dos aspectos de suportabilidade de distintas soluções de projeto, com o objetivo de comparar custos de suporte em vida, dado o requisito de nível de serviço, apoiando as análises comparativas e estudos de trade-off recomendados por [4] para as fases iniciais do desenvolvimento de um sistema, bem como apoiando as análises de viabilidade econômica propostas por [2]. Para obtenção desta previsão, será adotada uma abordagem de otimização que leva em consideração a estratégia de suporte, a localização e os níveis de estoque e a alocação dos recursos.

**Palavras-Chave** – Suportabilidade de Sistemas Complexos, Engenharia Logística, Estratégia de Suporte.

#### I. INTRODUÇÃO

A suportabilidade pode ser definida como o grau em que o sistema de suporte do produto atende aos requisitos operacionais [1], conceito que se refere às características inerentes do produto que permitem que seu suporte contínuo, ao longo do ciclo de vida, ocorra de forma eficaz e eficiente [2]. Este conceito torna-se especialmente importante para o caso de sistemas complexos, que envolvem elevados custos de aquisição e suporte, este potencializado pela longa expectativa de vida em serviço [3].

O ciclo de vida de um produto é dividido em cinco fases: preparação, desenvolvimento, produção, serviço e descarte [1]. A fase de serviço também recebe o nome de operação e suporte [2] e, em geral, é a fase mais longa e onerosa do ciclo de vida. No entanto, são nas fases iniciais do desenvolvimento que se concentram as oportunidades de economia no custo do ciclo de vida, conforme representa a curva da Fig. 1.

#### II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica foi resumida nos tópicos a seguir.

##### A. Previsão do custo do ciclo de vida de sistemas complexos

Um dos atuais desafios de pesquisa é a previsão do custo do ciclo de vida de sistemas complexos, visto que os processos logísticos a serem mapeados são permeados por incertezas, que são agravadas pelas projeções para longos horizontes de tempo [3]. Este custo abrange todas as fases do ciclo de vida, incluindo custos de pesquisa, desenvolvimento, produção, aquisição, operação, suporte e descarte [1]. Como o objetivo deste trabalho é avaliar custos decorrentes do suporte à operação, as análises ocorrerão sobre o custo de suporte em vida, conhecido pela sigla LSC (*Life Support Cost*), que compõe parte significativa do custo do ciclo de vida [4].

Devido ao impacto sobre o LSC das decisões tomadas nas fases iniciais do desenvolvimento de um sistema, estudos de trade-off para apoiar a escolha de soluções de projeto devem permear estas fases [1]-[6]. Para desenvolver um método de apoio aos estudos de trade-off, que se propõe a obter

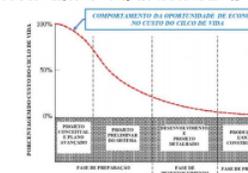


Fig. 1. Oportunidade de economia no ciclo de vida. Adaptado de [4].

Daniel Buch, buch@ita.br; F. T. M. Abrahão, abrahao@ita.br.

REALIZAÇÃO



APOIO



PARCEIROS



PATROCÍNIO



<https://www.sige.ita.br/homeconteudo2022/>

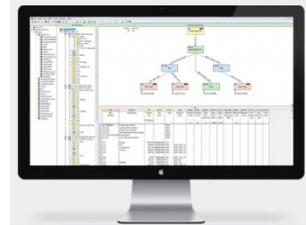
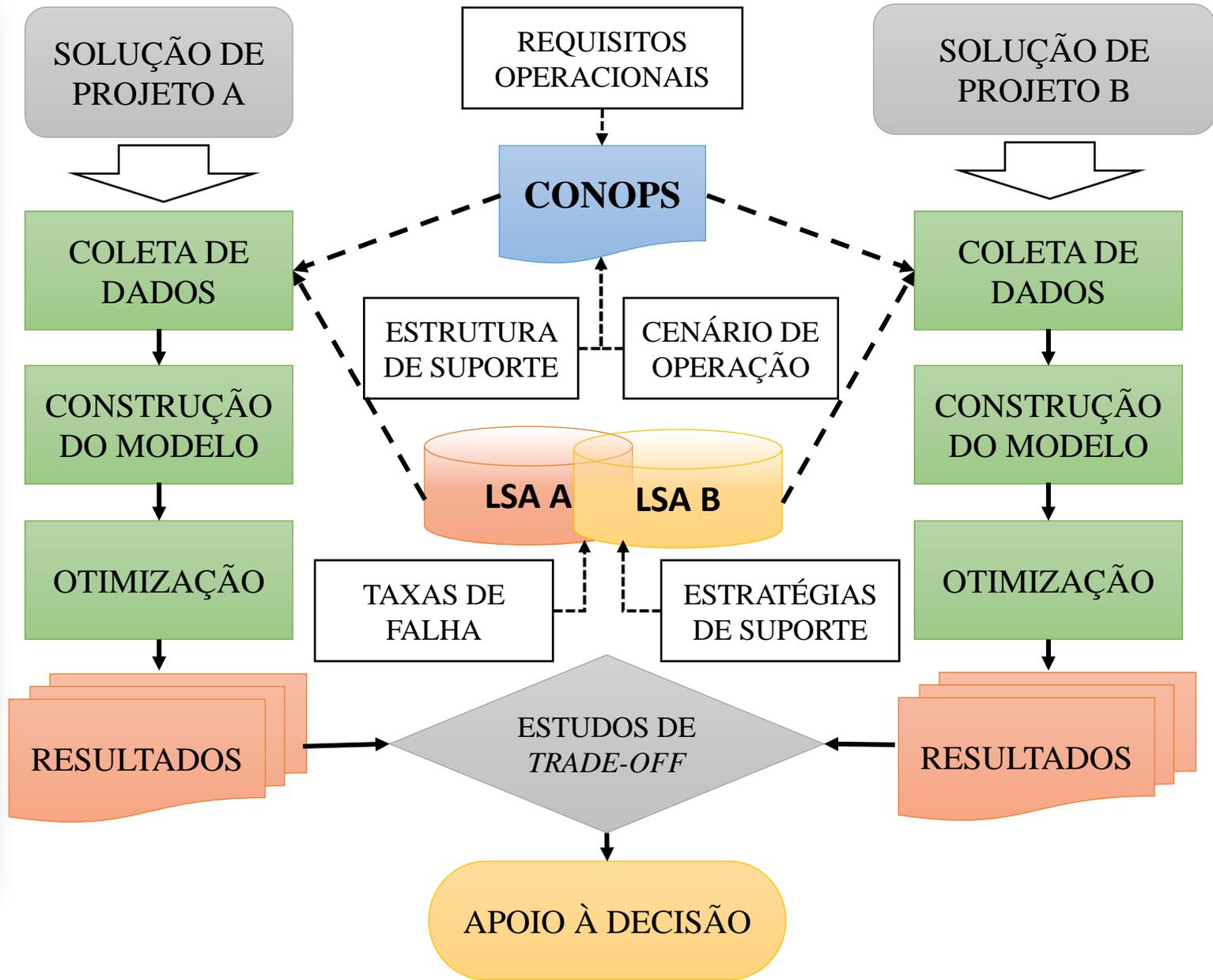


FORÇA AÉREA BRASILEIRA



# ESTUDO DE CASO

MÉTODO APLICADO



**OPUS10@**

(Fonte: BUCH; ABRAHÃO, 2022)

## *Motor em desenvolvimento*



(Fonte: <https://iae.dcta.mil.br>)



## *UAV militar*



(Fonte: Northrop Grumman)



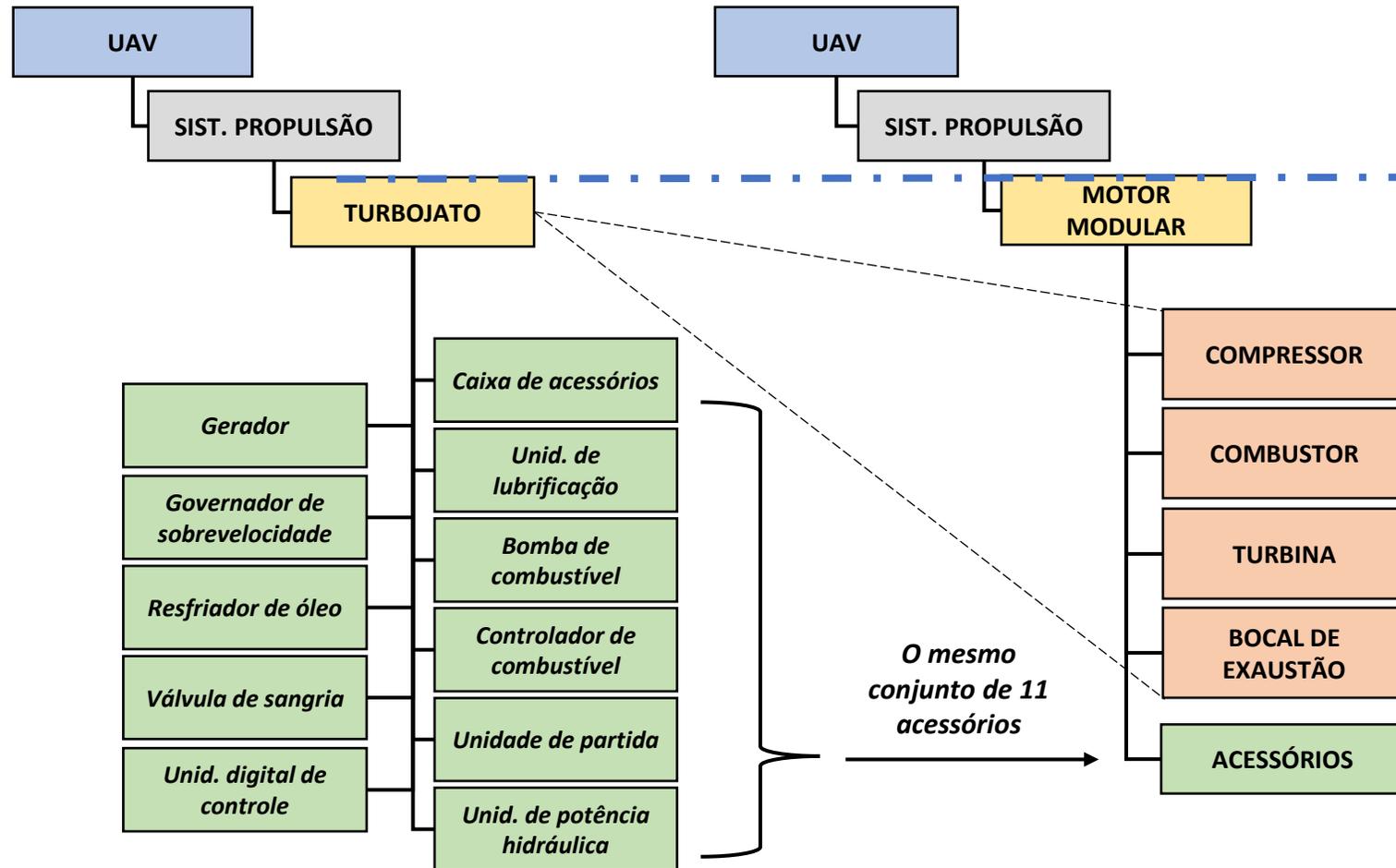
## *Conceito de manutenção modular*



(Fonte: <https://www.sps-aviation.com>)

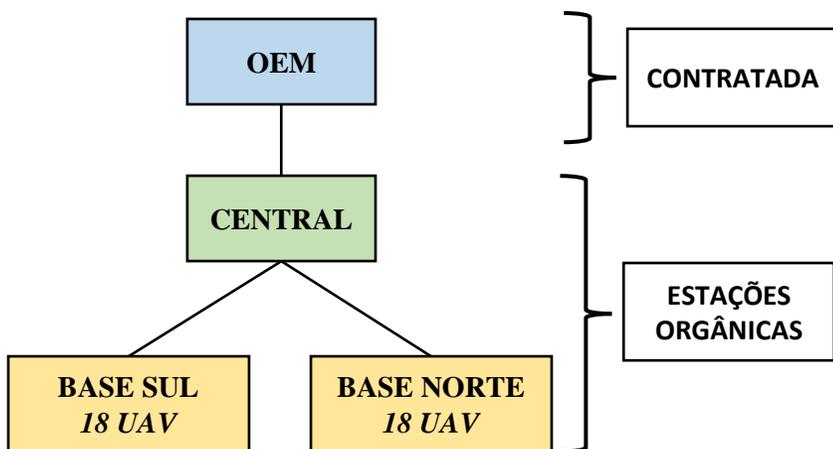
***Observações oriundas da  
prática do suporte logístico de  
aeronaves operadas pelo Força  
Aérea Brasileira (FAB).***

## Breakdown Structure – Estrutura hierárquica de produto das soluções de projeto



**A soma das taxas de falha dos módulos é igual a taxa de falha do turbojato.**

## Estrutura de Suporte



Taxa de utilização: 25%

## Níveis de Manutenção

Nível	Descrição das atividades/tarefas de manutenção
1	Remoção e troca do sistema de propulsão do UAV.
2	Remoção e troca de um acessório/componente/módulo do motor.
3	Reparo e revisão geral do motor/acessório/módulo do motor.

Os recursos considerados para cada nível de manutenção foram:

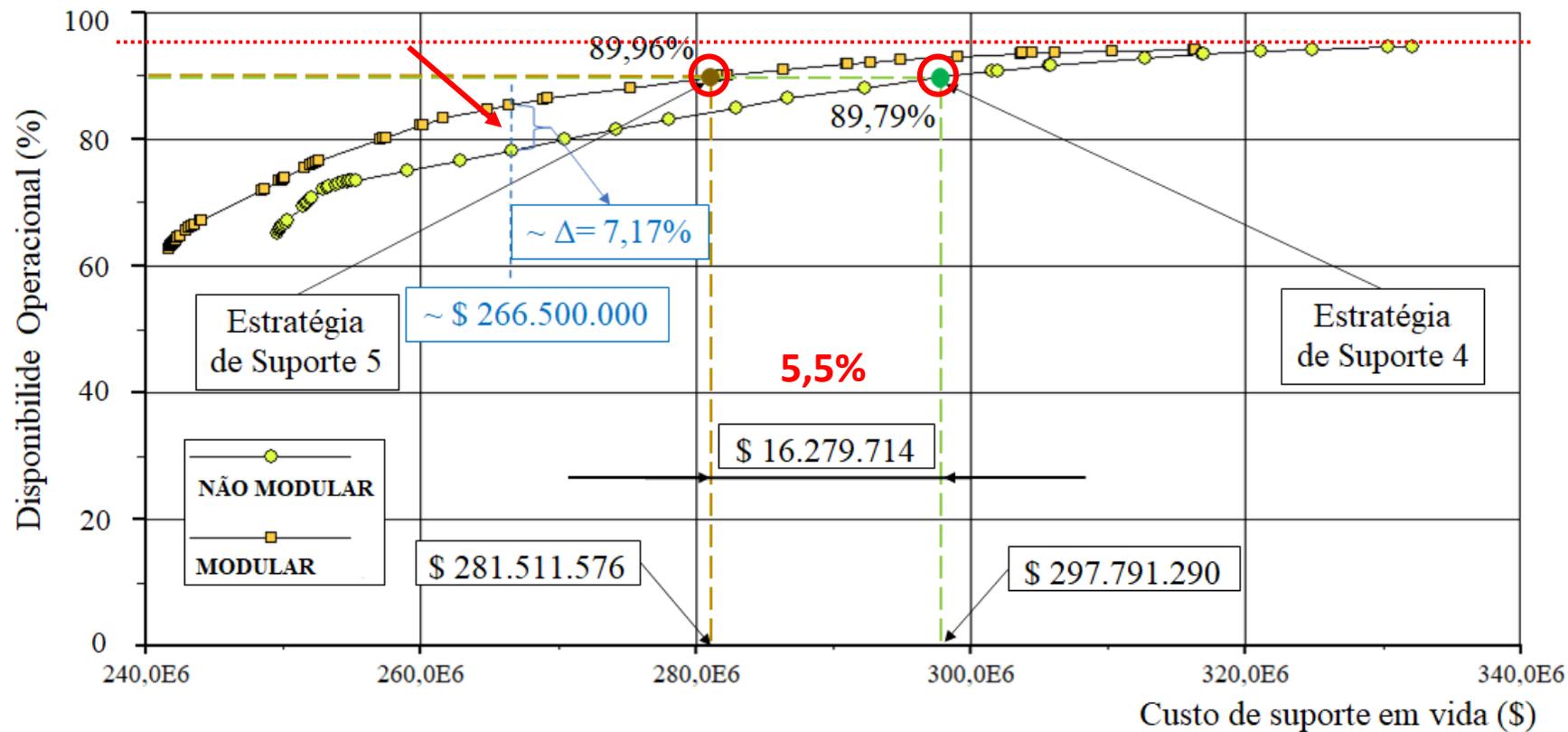
- Equipamentos de suporte e manutenção
- Treinamento e atualizações
- Custos de alocação de RH
- Certificação e recertificação
- Publicações técnicas atualizações

## Estratégias de Suporte

Estações	Estratégia de Suporte (ES)				
	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5
OEM	2, 3	3			3
Central		2	2, 3	3	
Bases	1	1	1	1, 2	1, 2

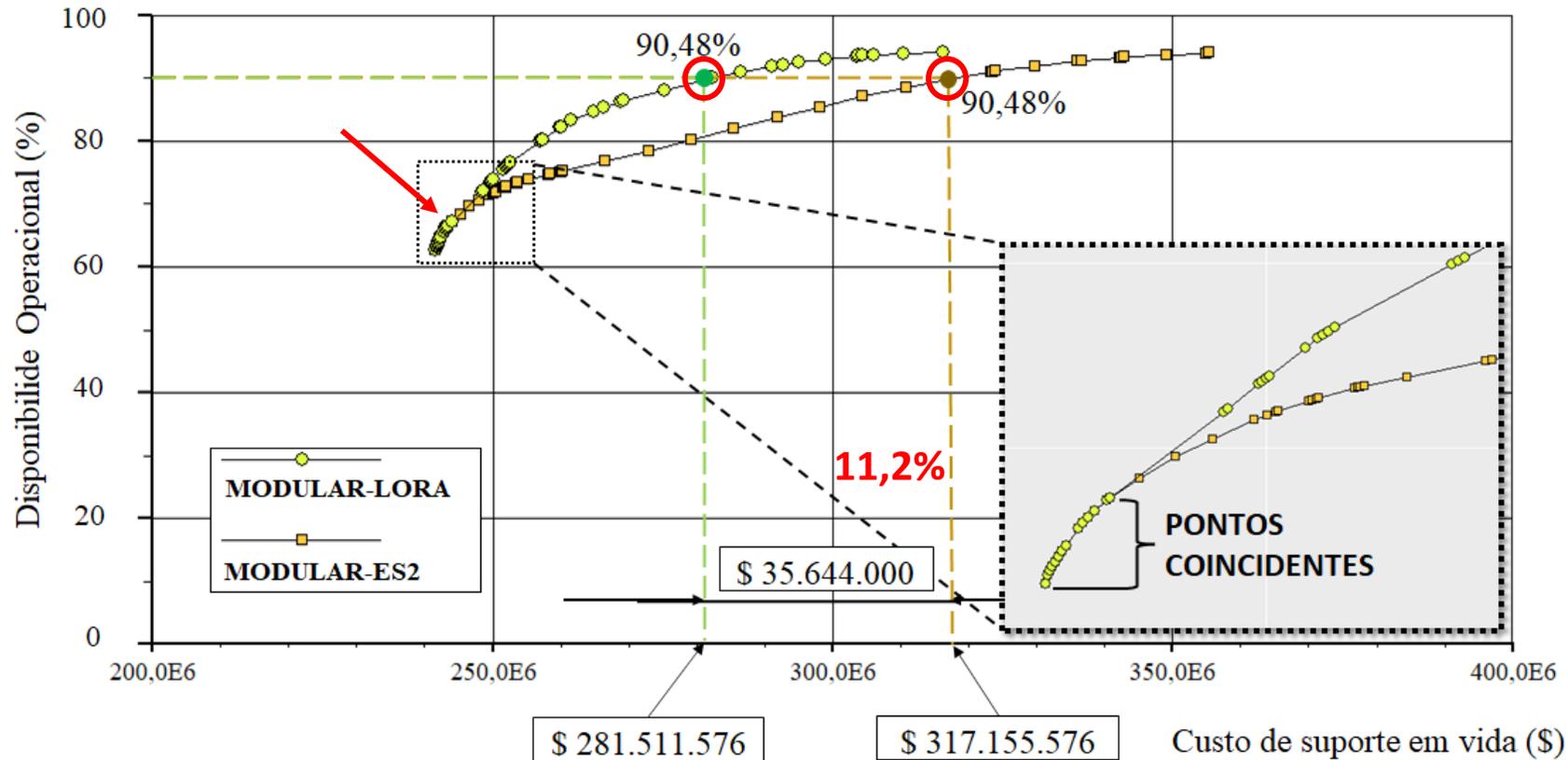
# ESTUDO DE CASO

## COMPARAÇÃO DO LSC PARA AS SOLUÇÕES DE PROJETO MODELADAS (20 ANOS DE OPERAÇÃO)



Estações	Estratégia de Suporte (ES)				
	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5
OEM	2, 3	3			3
Central		2	2, 3	3	
Bases	1	1	1	1, 2	1, 2

## IMPACTO DA OTIMIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE SUPORTE (20 ANOS DE OPERAÇÃO)



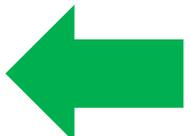
Estações	Estratégia de Suporte (ES)				
	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5
OEM	2, 3	3			3
Central		2	2, 3	3	
Bases	1	1	1	1, 2	1, 2

## ANÁLISE COMPARATIVA DOS GRUPOS DE CUSTO DE SUPORTE

<i>DESCRIÇÃO DOS GRUPO E SUBGRUPOS DE CUSTO</i>	<i>MODULAR EM RELAÇÃO AO NÃO MODULAR</i>	<i>NÃO MODULAR Proporção dos Grupos e Subgrupos</i>	<i>MODULAR Proporção dos Grupos e Subgrupos</i>
<b>CUSTO DE SUPORTE EM VIDA</b>	<b>94,5%</b>		
<b>Investimento total</b>	<b>55,6%</b>	<b>25,4%</b>	<b>15,0%</b>
<i>Aquisição de estoque de giro</i>	<b>78,1%</b>	16,0%	13,2%
<i>Aquisição de recursos</i>	<b>17,8%</b>	9,5%	1,8%
<b>Custos recorrentes totais</b>	<b>107,8%</b>	<b>74,6%</b>	<b>85,0%</b>
<i>Transporte</i>	<b>145,7%</b>	11,1%	17,2%
<i>Manutenção corretiva</i>	<b>95,9%</b>	52,7%	53,4%
<i>Manutenção preventiva</i>	<b>232,1%</b>	5,3%	13,1%
<i>Manutenção/atualização de recursos</i>	<b>22,8%</b>	5,4%	1,3%

<https://www.sige.ita.br/homeconteudo2022/>

**Método de Apoio à Decisões de Projeto Baseado no Custo do Ciclo de Vida e na Estrutura de Suporte**

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS 

- **Apesar das potencialidades da ferramenta OPUS10©, ressalta-se que os resultados são baseados em modelos estáticos, cujos eventos são uniformemente distribuídos.**
- **A inserção de variáveis com dependência temporal e a simulação de cenários operacionais podem aprimorar consideravelmente às análises, sendo objetivos da pesquisa em andamento.**
- **A modelagem da estrutura de suporte logístico, nas fases iniciais do desenvolvimento de um sistema complexo, fornece meios para o aprimoramento da Análise de Suporte Logístico (LSA), revestindo as tomadas de decisão de precisão, consciência situacional e capacidade de controle.** (ABRAHÃO, 2021)

“Nada é mais difícil e, portanto, tão precioso, do que ser capaz de decidir.” (Napoleão Bonaparte)

- INTRODUÇÃO
- O PROBLEMA DO SUPORTE LOGÍSTICO
- SUPORTE INTEGRADO AO PRODUTO (IPS)
- ANÁLISE DE SUPORTE LOGÍSTICO (LSA)
- ANÁLISE DE NÍVEL DE REPARO (LORA)
- ESTUDO DE CASO
- CONSIDERAÇÕES FINAIS

# OBJETIVO

- Apresentar as ferramentas de Análise de Suporte Logístico (LSA) e de Análise de Nível de Reparo (LORA) e o emprego destas no desenvolvimento de sistemas complexos (Cn).
- Ilustrar, por meio da apresentação de um estudo de caso, o emprego destas ferramentas para apoiar decisões de projeto (Cp).



# LORA e LSA no desenvolvimento de sistemas aeroespaciais complexos

## Autores:

Daniel Buch – ITA (buch@ita.br)

Dr. Fernando T. M. Abrahão – ITA (abrahao@ita.br)



AeroLogLab **ITA**

<https://www.aerologlab.ita.br/>

“Planejar é trazer o futuro para o presente de modo que você possa fazer alguma coisa a respeito dele agora.” (Alan Lakein)

***Obrigado pela atenção!***

**Agradecimentos:** Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**), ao Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Defesa Nacional (**PRÓ-DEFESA IV**) e à empresa **Systecon Group AB** pelo suporte fornecido aos estudos e pesquisas do Laboratório de Engenharia Logística do ITA (**AeroLogLab ITA**).



Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior



**PRÓ-DEFESA**

PROGRAMA DE APOIO AO ENSINO E À PESQUISA  
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM DEFESA NACIONAL



**Systecon**