



# Conceituação de Sistemas-de-Sistemas no Domínio da Defesa: Um Relato de Experiência no Cenário Brasileiro

**Carlos Eduardo de Barros Paes**  
**Departamento de Computação**  
**Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**

# Agenda

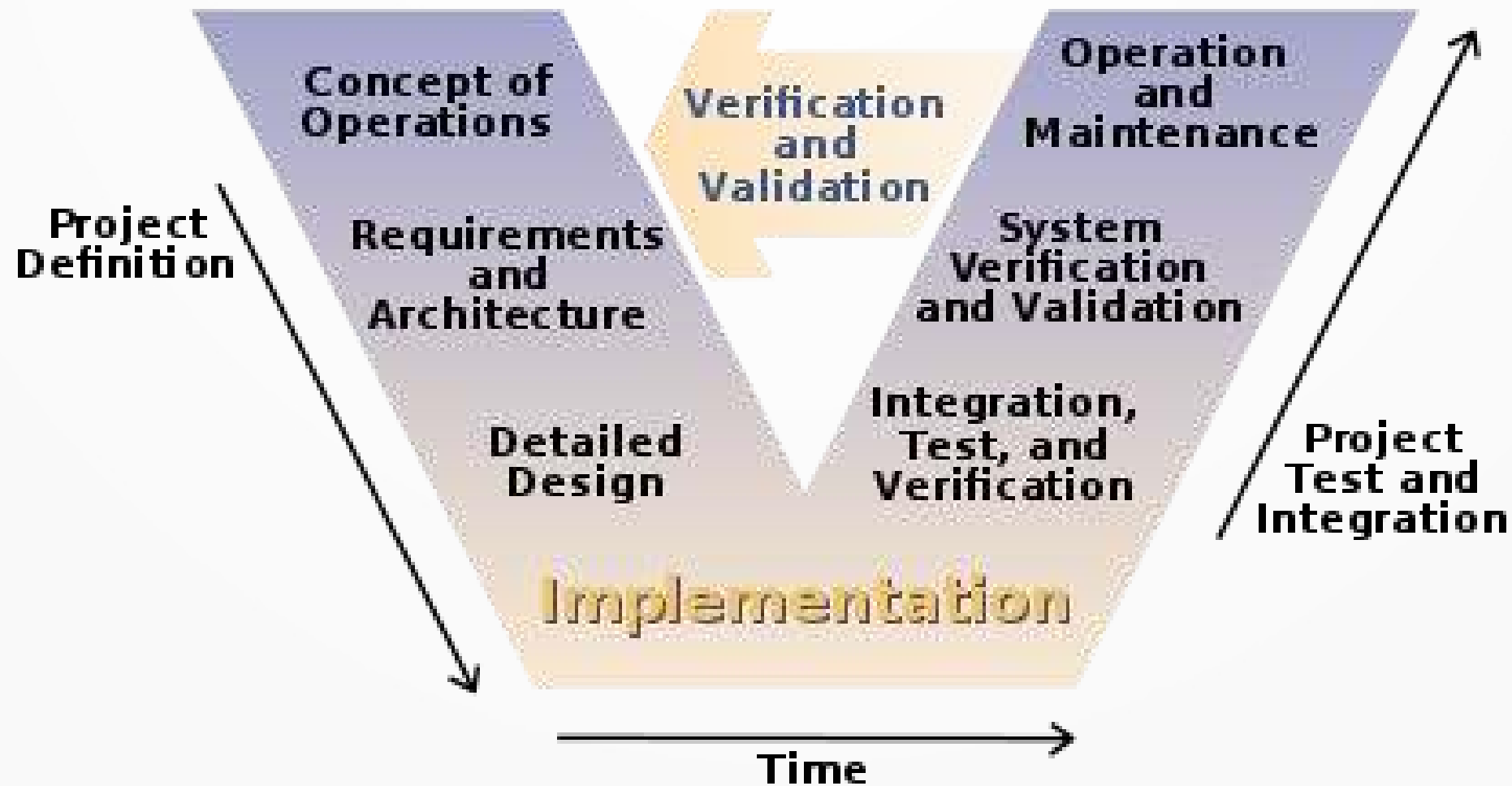
- Contextualização (SE e SoS)
- O Programa SisGAAz
- Lições Aprendidas
- Desafios e Avanços
- Considerações Finais
- Referências Importantes

# Engenharia de Sistemas

- Segundo o **INCOSE** (*International Council of Systems Engineering*) e o **SEBoK** (*Systems Engineering Body of Knowledge*):
  - **Engenharia de Sistemas** → é uma **abordagem interdisciplinar** que torna possível a **concretização** de 'Sistemas' de **elevada complexidade**.
  - **Foco** está em **definir**, de maneira precoce no ciclo de desenvolvimento de um sistema, as **necessidades do usuário**, bem como as **funcionalidades requeridas**, realizando a **documentação sistemática dos requisitos**, e abordando a **síntese de projeto** e a etapa de **validação** de forma a considerar o **problema completo**.

# Engenharia de Sistemas

Modelo de Ciclo de Vida – V



# Sistemas-de-Sistemas (SoS)

- Um conjunto de **sistemas operacional e gerencialmente independentes** (conhecidos como **constituintes**) que trabalham **conjuntamente** para obter **funcionalidades complexas** (Maier, 1998)
- Funcionalidades complexas → **Missões Globais**
- Cada **constituente** realiza sua **missão individual** contribuindo para o sucesso das **missões globais**

# Características dos SoS

- **Independência Operacional:** constituintes têm suas próprias operações mesmo que trabalhem dentro do escopo do SoS
- **Independência Gerencial:** constituintes podem ser gerenciados independentemente por organizações e partes interessadas distintas
- **Desenvolvimento Evolucionário:** a evolução dos constituintes impulsiona toda uma evolução do SoS
- **Distribuição:** interoperabilidade dos constituintes depende de alguma tecnologia de comunicação;
- **Comportamento Emergente:** SoS fornece novas funcionalidades a partir de interações entre os constituintes. Essas funcionalidades não são fornecidas isoladamente pelos constituintes.

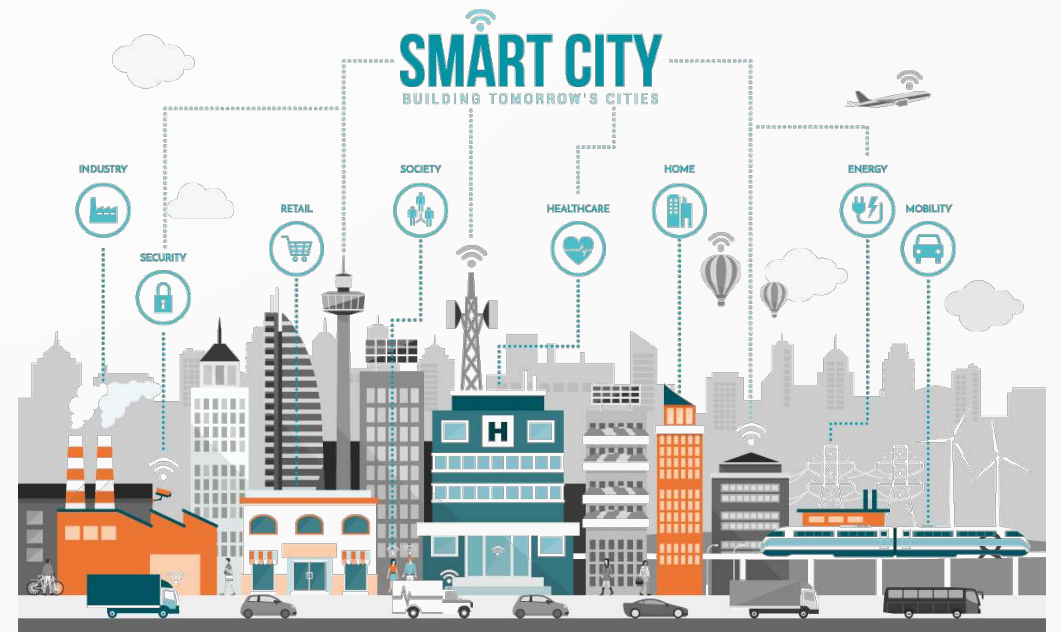
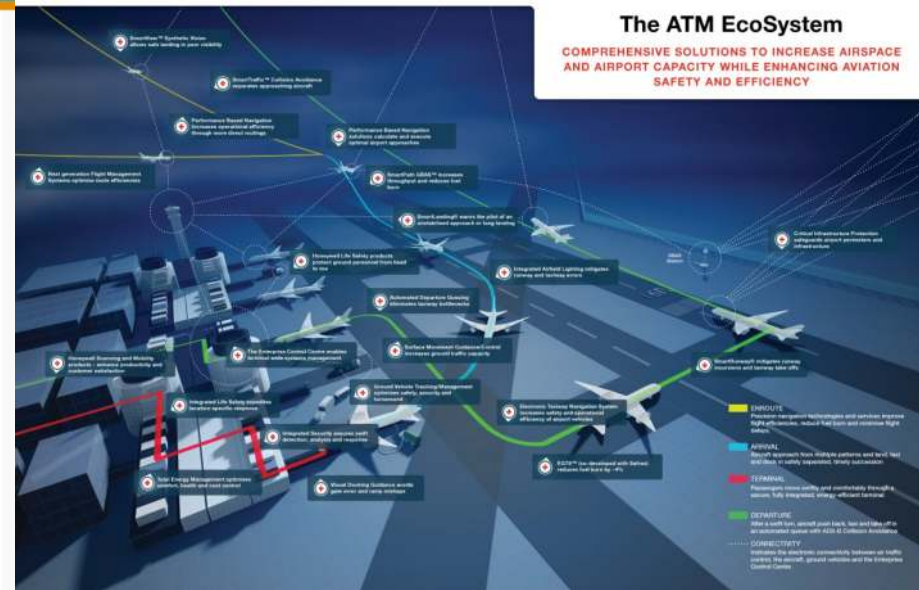
# Taxonomia dos SoS

- **Dirigido:** São controlados por uma entidade central e/ou parte interessada e projetados e operados para fins específicos.
- **Reconhecido:** Objetivos, recursos e controle central do SoS são todos reconhecidos, mas os constituintes mantêm sua independência gerencial e seu comportamento não está subordinado ao propósito gerenciado centralmente
- **Colaborativo:** Constituintes colaboram voluntariamente em maior ou menor grau para satisfazer interesses comuns ou compartilhados.
- **Virtual:** Não há controle central e propósitos universais. Tais propósitos não são projetados nem esperados em muitos casos, de modo que os constituintes operam em um ambiente distribuído e descoordenado onde os mecanismos para manter o SoS não são evidentes

# Exemplos de SoS

## The ATM EcoSystem

COMPREHENSIVE SOLUTIONS TO INCREASE AIRSPACE AND AIRPORT CAPACITY WHILE ENHANCING AVIATION SAFETY AND EFFICIENCY



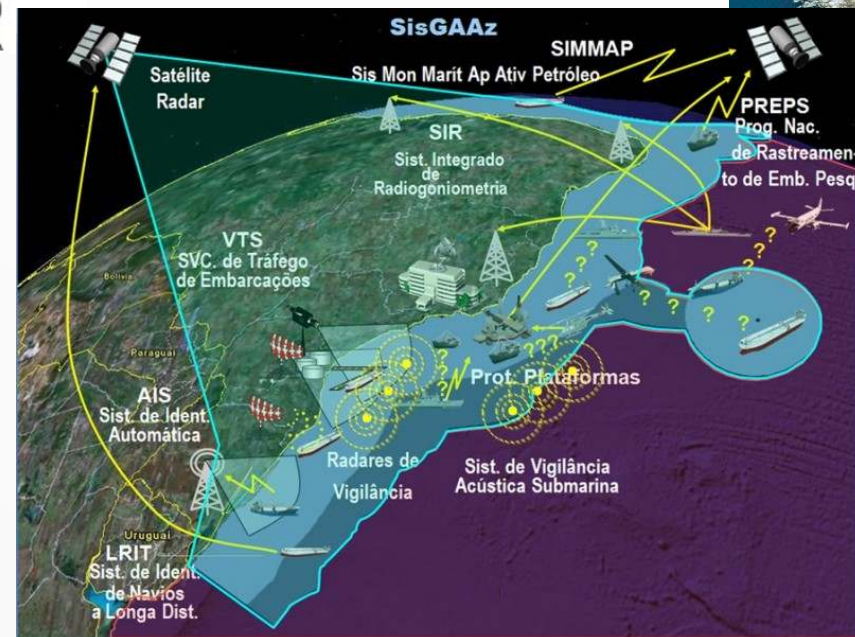
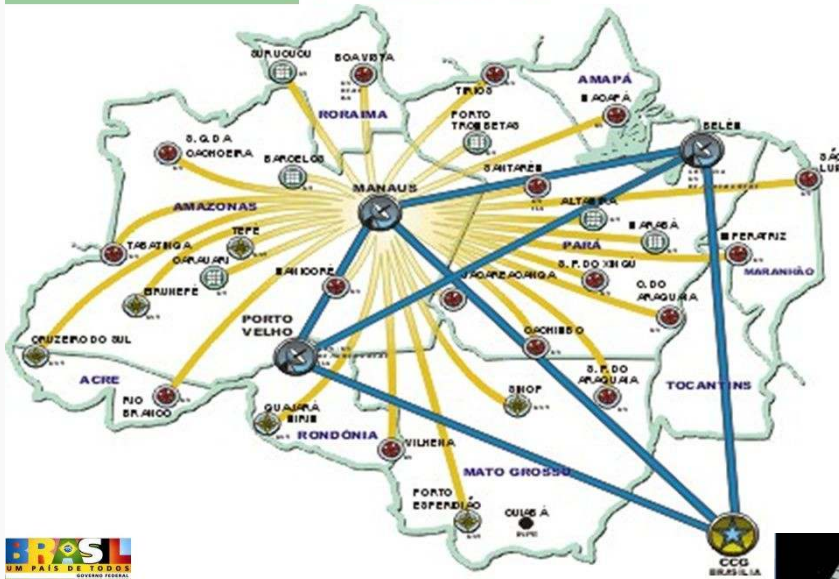


# SoS e Defesa

- Conceito de SoS surgiu no contexto de sistemas militares (DoD - Departamento de Defesa dos Estados Unidos)
- SoS de Defesa → Os sistemas constituintes (CSs) são combinados para suportar operações confiáveis realizadas pelo exército, marinha e aeronáutica, fornecendo funcionalidades complexas
- Sistemas interoperáveis na área de defesa foram amplamente utilizados como instâncias do SoS

# Principais SoS de Defesa Brasileiros

## SIPAM/SIVAM



***SisGAAZ***



- Programa SisGAAz (**Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul**), Marinha do Brasil
- **Estratégia Nacional de Defesa** (2008) → estimula a Política de Defesa que estabelece a direção nacional em termos de questões de defesa
- Projeto iniciado em 2011/2012
- Planejamento de 12 anos (concepção, desenvolvimento e integração/implantação)

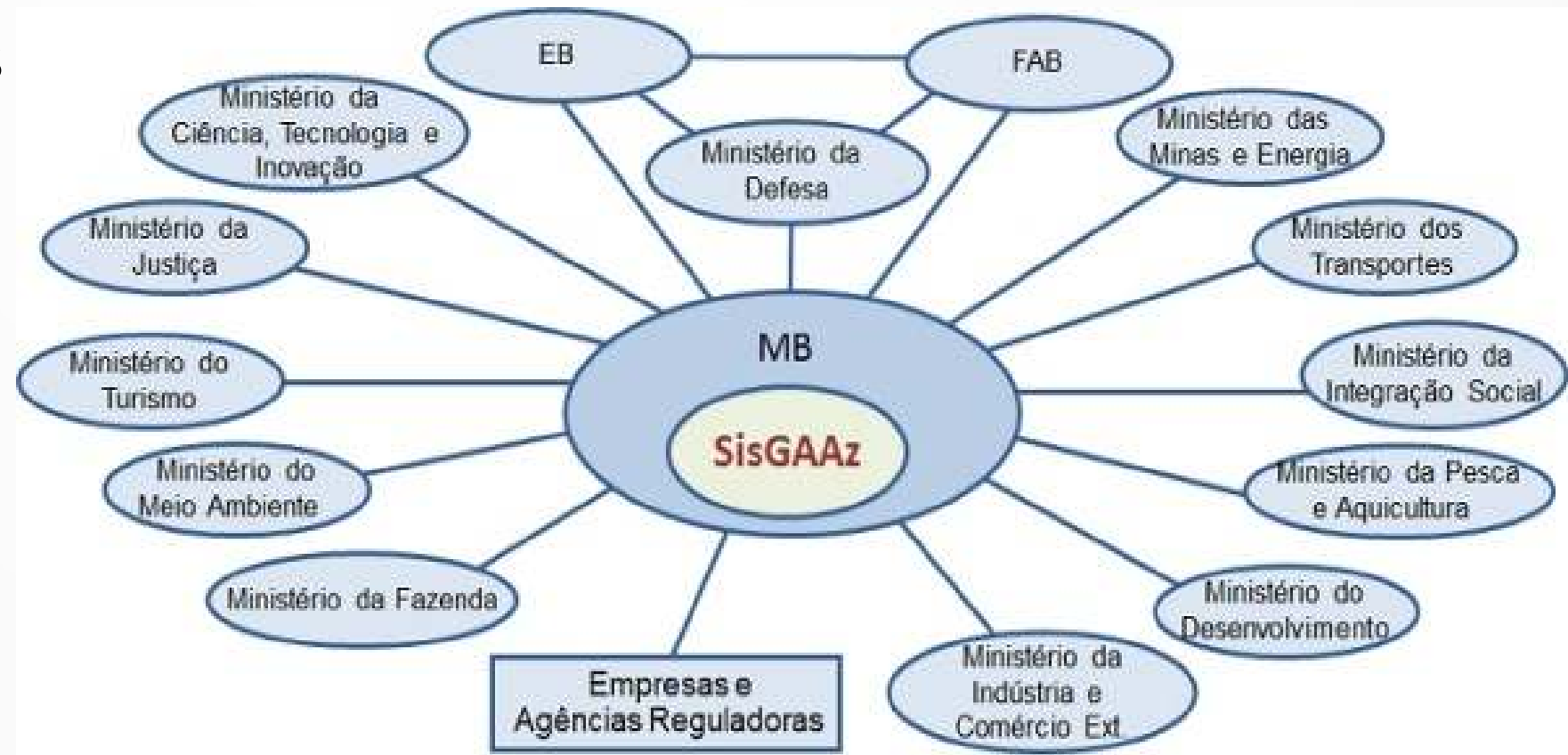
# SisGAAz - Missão



- ***“monitorar e controlar, de forma interoperável, a área marítima nacional (águas sob jurisdição brasileira), áreas internacionais de responsabilidade das operações de busca e salvamento e áreas de interesse específico que vão além das anteriores, a fim de contribuir para a mobilidade estratégica, representada pela capacidade de responder prontamente a qualquer ameaça, emergência, agressão ou ilegalidade”***



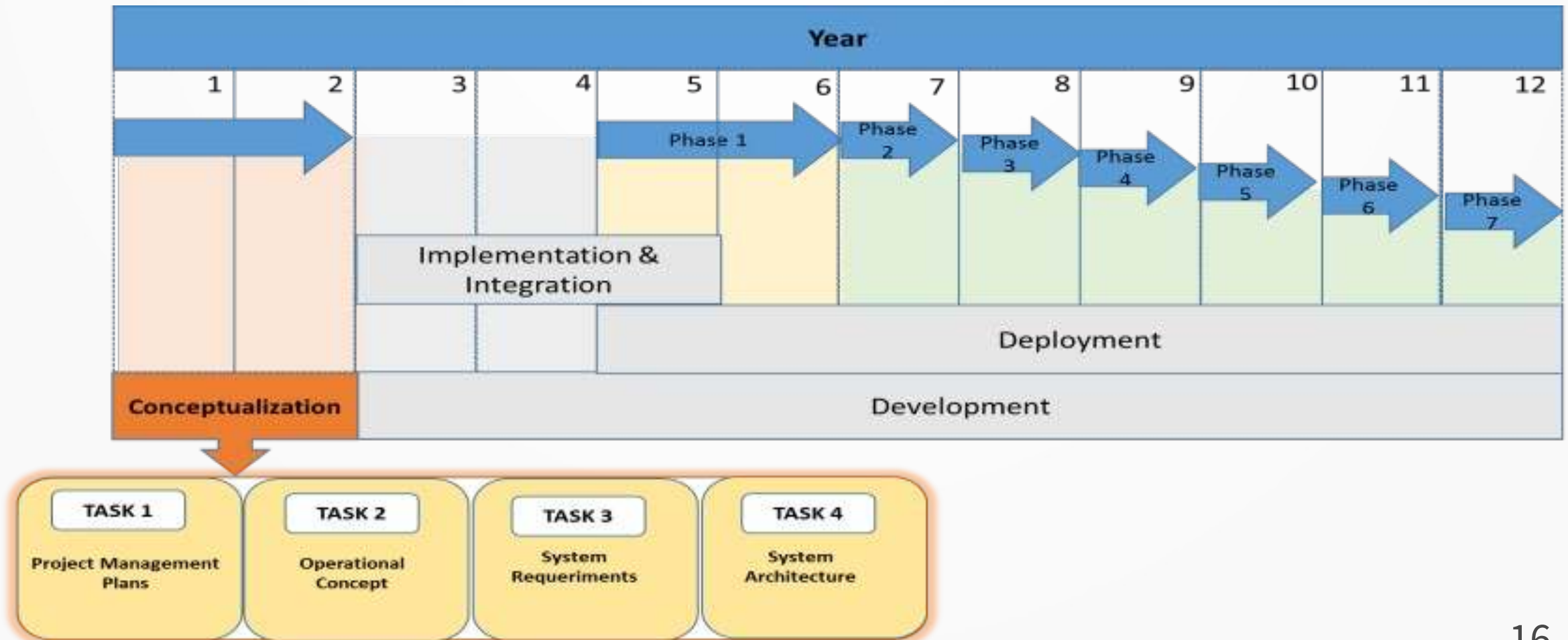
- Entidades externas e partes interessadas
- SoS Dual (Militar e Civil)



# SisGAAz



- Ciclo de vida do projeto

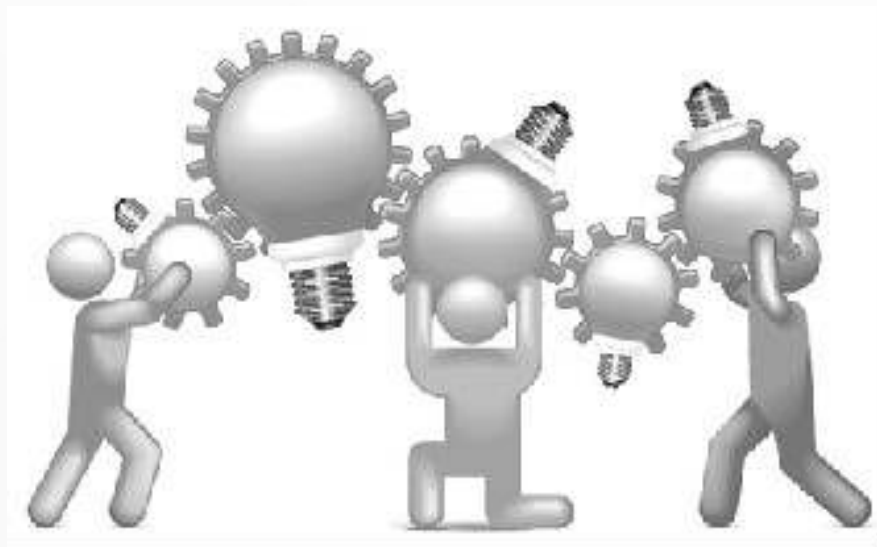




- **Primeira Fase do Projeto**

- **Fundação Ezute** (nova denominação da Fundação Atech) → empresa contratada para o desenvolvimento da Arquitetura de Alto Nivel e produtos de trabalho associados
- Principais produtos de trabalho desenvolvidos
  - Diretrizes Gerenciais e Técnicas para a Etapa de Desenvolvimento
  - **ConOps** e Plano de Validação
  - Especificação dos Requisitos (SSS) e Plano de Validação
  - Arquitetura, Especificação de Interfaces e Plano de Testes e Validação de Interfaces do SisGAAz.

- **Equipe do SisGAAz** (50 pessoas envolvidas, civil e militar): Engenheiros de Telecomunicação, Engenheiros de Sistema, Engenheiros de Software, Especialistas do Domínio, Gerentes de Projetos, Gerentes de Qualidade, Gerentes de Informações, Técnicos de Infraestrutura e etc.



# Atividades do Projeto SisGAAz



- **Definição dos Planos de Gerenciamento do Projeto** (Fase Desenvolvimento)
  - **Planos Técnicos e Gerenciais** que (16 técnicos e 9 gerenciais) definem como todo o esforço de SE para a fase de desenvolvimento e implantação do SoS.
  - Foram elaborados usando o processo de SE proposto pelo **INCOSE** e a Base de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (**PMBOK**)

# Atividades do Projeto SisGAAz



- **Elaboração do Conceito Operacional do SoS**

- **ConOps**: documento que captura os **cenários operacionais**, as **partes interessadas**, os **sistemas existentes**, as **características** do sistema e as **necessidades** do usuário
- Muitas das informações necessárias para a elaboração do ConOps foram identificadas por meio de um **Método para Identificação e Priorização de Cenários Operacionais** (Paes, 2019)
  - Workshops realizados nos distritos navais (DNs) da marinha do Brasil.
  - Identificação das necessidades e partes interessadas de cada DN e características do SoS
  - Levantamento da infraestrutura dos DNs

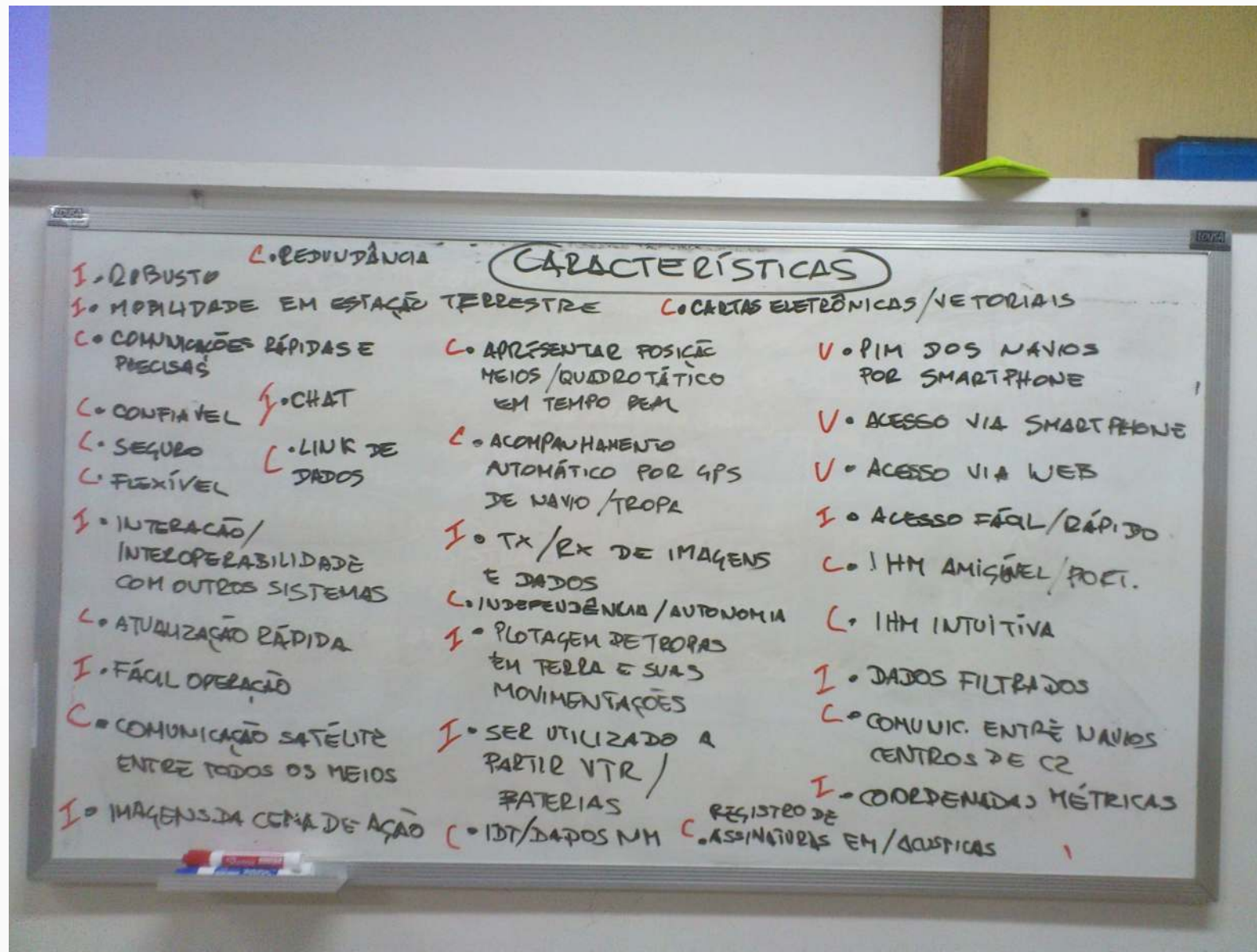
# Distritos Navais da Marinha



# Workshop Cenários Operacionais



# Workshop Cenários Operacionais



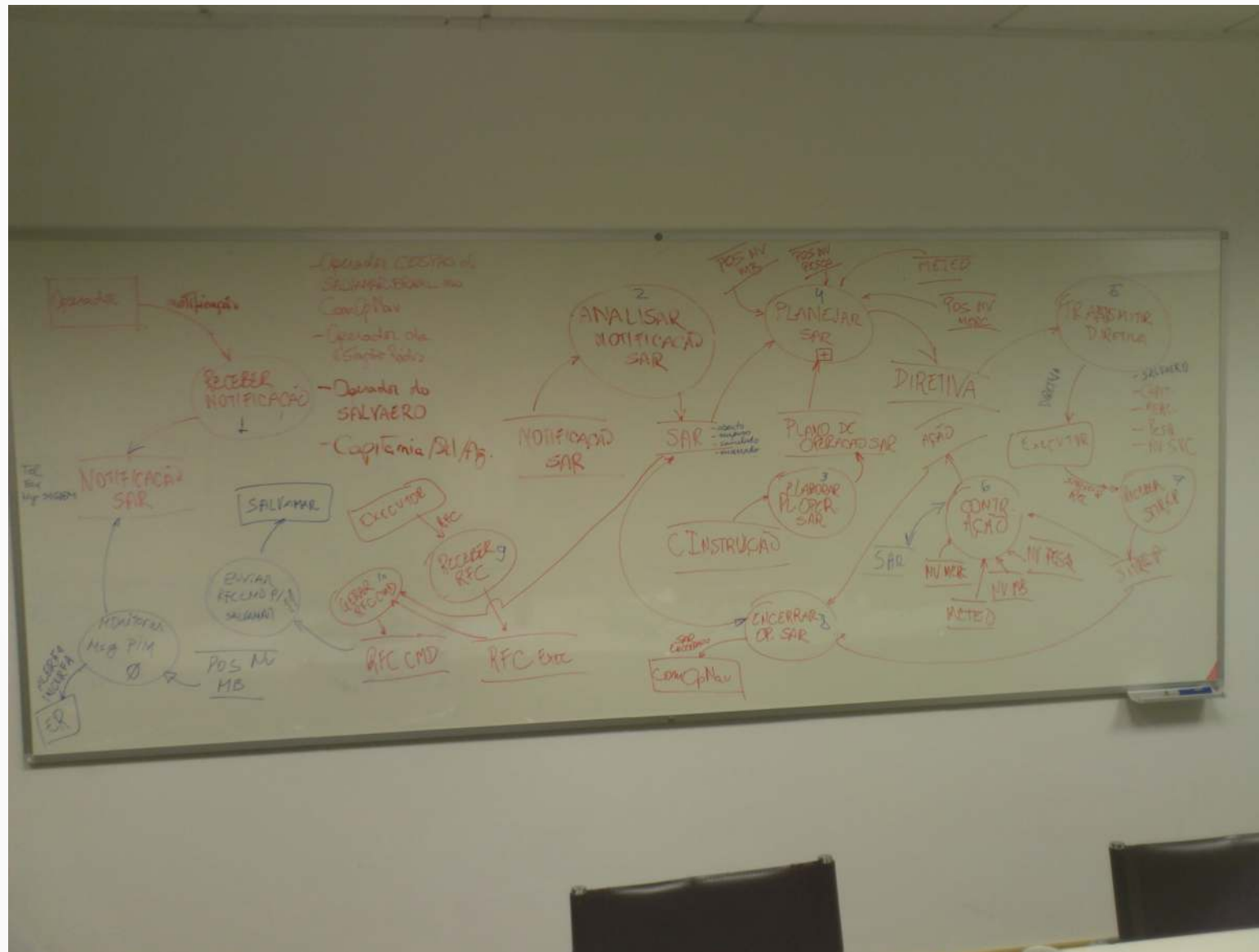


- **Elicitação, Análise e Especificação dos Requisitos de Sistema**

- Cada processo operacional da Marinha foi modelado em BPMN e Diagrama de Fluxo de Dados (DFD)
- Características e Necessidades identificadas nos workshops do ConOps
- Documento de Requisitos de Sistema (SSS)
- Plano de Validação dos Requisitos



# Modelagem dos Processos (DFD)



# Atividades do Projeto SisGAAz



- **Definição da Arquitetura do SoS**

- Documento com a descrição da Arquitetura do SoS conforme a **ISO/IEC/IEEE 42010** e Handbook FE
- Documento com a especificação das interfaces (Handbook FE)
- Alguns diagramas UML e SysML foram construídos para complementar o documento com a descrição da arquitetura

# Arquitetura do SisGAAz



- Tipos de constituintes:  
Suporte Logístico, Segurança Cibernética, Inteligência, Comando e Controle (C2), Comunicações e Sensoriamento Remoto





LESSONS

LEARNED

# Lições Aprendidas

- **Caracterização de SoS**

- A maioria dos sistemas militares atuais faz parte de um SoS
- **SisGAAz**: desenvolvimento e aquisição de sistemas independentes, muitos desses sistemas foram e serão criados e integrados **sem consideração explícita do tipo SoS** (Dirigido, Reconhecido, Colaborativo ou Virtual)
- Isso causa impacto diretamente na **dinâmica do gerenciamento de projetos, engenharia de sistemas** e decisões de **arquitetura** no sistema

# Lições Aprendidas

- **Processo de Engenharia de Sistemas**
  - Processo tradicional de engenharia de sistemas **centrado em documentos** (MIL-STD-498 e Handbook FE)
  - Tal abordagem apresenta importantes limitações que tornam o **processo de desenvolvimento de SoS dispendioso, burocrático e pesado.**
  - Informação espalhada por vários documentos
  - Arquitetura descrita em um documento → problemas de **falta de completude e ambiguidade** na representação das visões arquiteturais

# Lições Aprendidas

- **Gerenciamento do ciclo de vida de engenharia de sistema**
  - **Vários profissionais** de diferentes áreas do conhecimento **distribuídos** em dois estados (São Paulo e Rio de Janeiro).
  - **Comunicação limitada:** e-mails, telefone e arquivos trocados por meio de um repositório de controle de versão (SVN)
  - A **comunicação deficiente** e ineficaz trouxe um impacto negativo no andamento do projeto e principalmente para a especificação arquitetural do SoS, particularmente neste caso real, em que o projeto é amplo, complexo e multidisciplinar.
  - O ciclo de vida da engenharia do sistema foi realizado **sem um ambiente de engenharia de sistemas integrado** e colaborativo (ALM e CLM)

# Lições Aprendidas

- **Modelos de Engenharia de Sistemas**
  - **Poucos modelos de engenharia de sistema** foram desenvolvidos durante o projeto da arquitetura SoS
  - Modelagem de processos operacionais: **BPMN e DFD** (?)
  - Descrição do Design do Sistema e do Subsistema (SSDD): **UML e SysML**
  - Muitos modelos criados durante o projeto usaram **elementos incompatíveis da linguagem UML/SysML** para representar a descrição arquitetural do SiSGAAz.
  - Essa combinação produziu **modelos incompletos e inconsistentes**





**CHALLENGES  
AHEAD**

# Desafios da SoSE

- Algumas limitações na maneira como o SoS é atualmente projetado no Brasil
- A prática da SoSE no Brasil tem sido divergente do estado da arte e da prática em outros países (EUA e Europa)
- Temos alguns desafios para a prática atual do SoSE em nosso país
- Propostas de intervenção que possam auxiliar no avanço das práticas atuais da SoSE no Brasil.

# Desafios da SoSE

- **Concepção de processos SoSE que estão alinhados com a taxonomia de Maier:** A prática atual da SoSE no Brasil não leva em conta a taxonomia Maier
- **Substituição de Processos Antigos:** A prática atual no Brasil ainda adota abordagens centradas em documentos
- **Ausência de Padronização e Automação de Processos:** Mesmo com a adoção de alguns padrões industriais, há uma falta de padronização nos processos
- **Modelos e Automação:** É necessário mudar a prática da SoSE no Brasil das abordagens desatualizadas centradas no documento para as tecnologias e processos de ponta para o SoSE, em particular o MBSE (***Model Based System Engineering***)



Future

# Futuro da SoSE

- **Processo SoS:** Novos processos especialmente adaptados para SoS
- **Ambientes de Desenvolvimento de Software Colaborativo e Distribuído para a concepção de SoS:** ferramentas devem apoiar o trabalho colaborativo com uma dimensão adicional de desenvolvimento distribuído global
- **Utilização de modelos, metamodelos e abordagens de MBSE em SoSE:** uso de linguagens de descrição arquitetural (ADL) para documentação de arquiteturas de SoS, como a recentemente proposta SoSADL (formal para SoS intensivos em software)
- **Simulação de SoS:** visualização da operação de SoS antes de ser implementada adequadamente

# Considerações Finais

- Os projetos de **SoS para áreas de defesa** precisam incorporar **novas práticas e abordagens** à engenharia de sistemas e ao projeto de arquitetura
- Adoção de práticas consolidadas da engenharia de software moderna para o SoSE (ex: **modelagem visual e agilidade**)
- Apresentamos os desafios e algumas direções para apoiar um caminho sustentável para realizar essas melhorias que estão em alinhamento com outras direções de pesquisa recentemente propostas

# Referências Importantes

- M. W. Maier, “**Architecting Principles for Systems-of-Systems,**” Systems Engineering, vol. 1, no. 4, pp. 267–284, 1998.
- D. Walden and G. Roedler, **INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities**, 4th Edition. 2015.
- International Organization for Standardization, “**ISO/IEC 15288:2008 - Systems and software engineering - System life cycle processes.**” 2008.
- C. Nielsen, P. Larsen, J. Fitzgerald, J. Woodcock, and J. Peleska, “**Systems of Systems Engineering: Basic Concepts, Model-Based Techniques, and Research Directions.**” ACM Computing Survey, vol. 48, no. 2, 2015.

# Referências Importantes

- F. Oquendo, “Formally describing the software architecture of **Systems-of-Systems with SosADL.**” in SoSE, 2016, pp. 1–6.
- V. Graciano Neto et al., “**Stimuli-SoS: a model-based approach to derive stimuli generators for simulations of systems-of-systems software architectures.**” Journal of the Brazilian Computer Society, vol. 23, no. 1, p. 13, 2017.
- M. W. Maier, “**Architecting principles for systems-of-systems**”, In INCOSE 6th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering. INCOSE, 1996



# Referências Importantes

- C. E. B. Paes, V. V. Graciano Neto, F. Oquendo, and E. Y. Nakagawa, “**Experience Report and Challenges for Systems-of-Systems Engineering: A Real Case in the Brazilian Defense Domain**,” in Proceedings of Workshop on Distributed Development, Software Ecosystems and Systems of Systems, 2016, pp. 41–50.
- C. E. de Barros Paes, V. V. G. Neto, T. Moreira, and E. Y. Nakagawa, “**Conceptualization of a System-of-Systems in the Defense Domain: An Experience Report in the Brazilian Scenario**,” IEEE System Journal, pp. 1–10, 2018.
- PAES, C. E. B.; GRACIANO NETO, V. V. . “**Operational Scenarios Identification and Prioritization in Systems-of-Systems: A Method and An Experience Report in the Defense Domain**”. In: The 2019 Multidisciplinary International Conference of Research Applied to Defense and Security, 2019, Rio de Janeiro. Proceedings of MICRADS. Berlin: Springer, 2019. p. 1-10.

A green rectangular sign with rounded corners and a white border, mounted on a wooden post. The sign features the words "Thank You" in a large, white, sans-serif font. The background is a bright blue sky with scattered, fluffy white clouds. The sign is tilted slightly to the right.

**Thank You**