

# A Simulação Construtiva na Análise de Cenários e Desenvolvimento de Tecnologias Aeroespaciais

Cap Eng João Paulo de Andrade Dantas

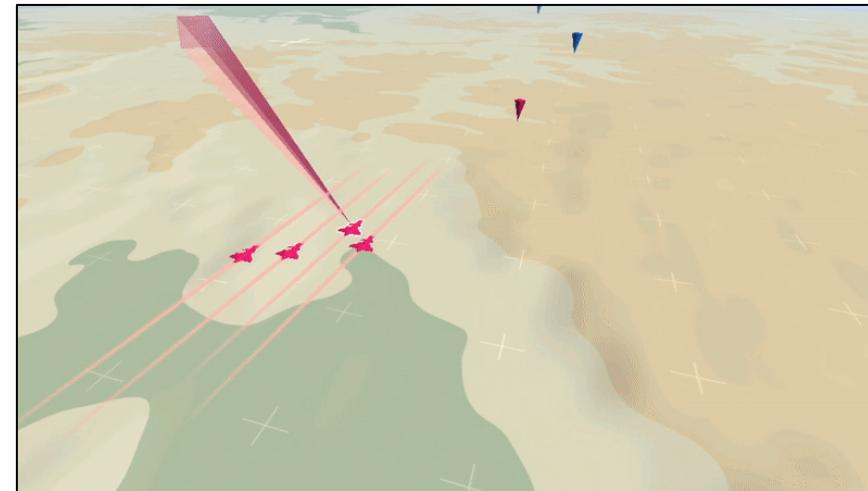
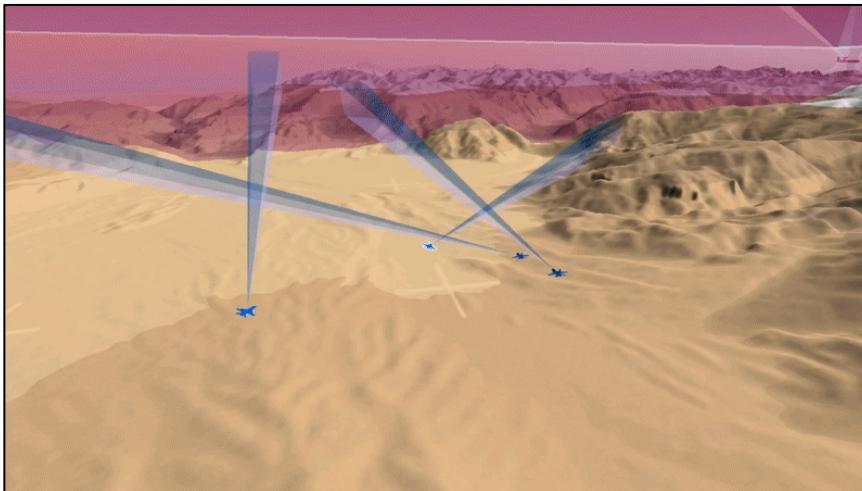
Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

28 JUN 2023



# Objetivo

- Conhecer as principais soluções de simulação construtiva na FAB
- Perspectivas do uso de simulação para pesquisa e desenvolvimento
- Listar os principais trabalhos de pesquisa em simulação construtiva



# Simulação: taxonomia LVC

## Viva (Live)

Agentes humanos  
Equipamentos reais



## Virtual

Agentes humanos  
Equipamentos simulados



## Construtiva

Agentes computacionais  
Equipamentos simulados



# Simulação: o que precisamos?

Adestramento  
de tripulações  
(AFA/COMPREP)



Avaliação  
de cenários  
(COMAE)



Seleção de  
Cursos de Ação  
(COMAE)

Desenvolvimento  
de modelos/IA  
(ITA/IEAv)

Jogos de Guerra  
(ECEMAR)

Dimensionamento  
da Força  
(EMAER)

Avaliação de  
doutrinas/táticas  
(COMPREP)

# Simulação: como resolver?

## Solução direta

Adquirir soluções comerciais para atender demandas pontuais

- *Prós:* rapidez, suporte, benchmark
- *Contras:* dependência, interoperabilidade, flexibilidade

## Solução adotada pelo IEAv

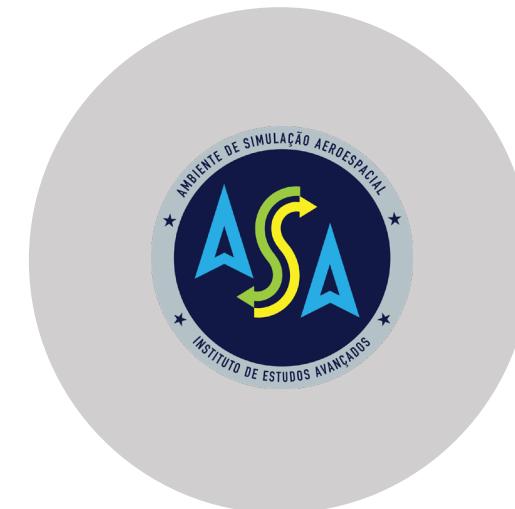
Desenvolver uma ferramenta única de simulação para atender o maior número possível de demandas

- *Prós:* independência, customização, visão sistêmica
- *Contras:* investimento, risco, manutenção, tempo de desenvolvimento

# Simulação: opções do mercado



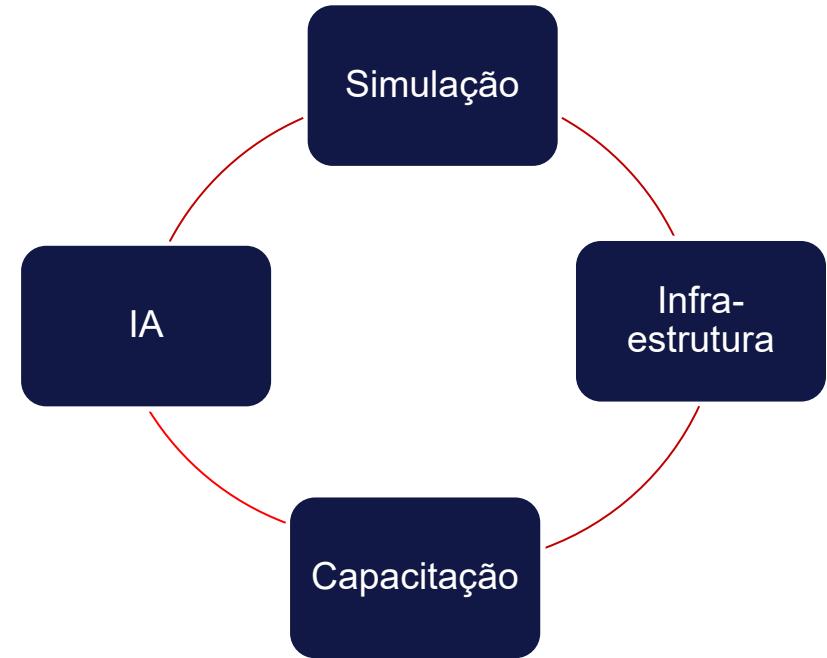
# Simulação: opções do mercado





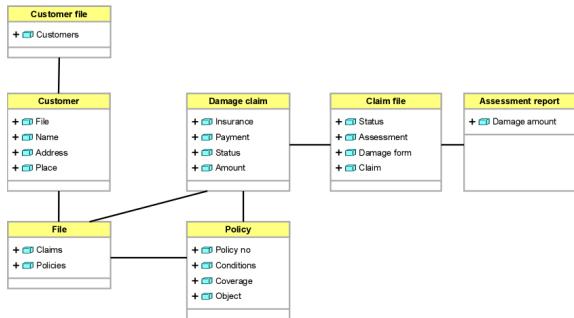
# Objetivos do projeto

- **Simulação** de cenários operacionais para apoio à decisão
- **Capacitação** de pessoal em simulação de alta fidelidade e análise de dados.
- Pesquisa em **inteligência artificial** para agentes da simulação
- **Infraestrutura** laboratorial (predial, computacional e pessoal)
- Facilidade de integração com **Indústria e Academia**



# Solução em Simulação

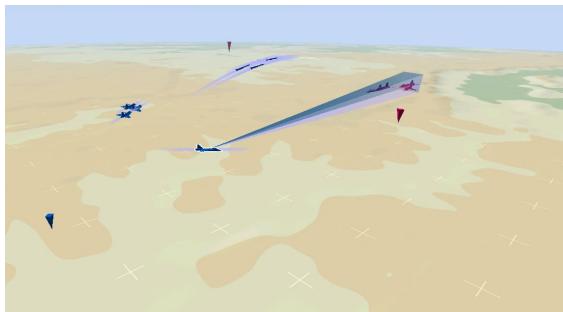
## 1. Concepção de modelos



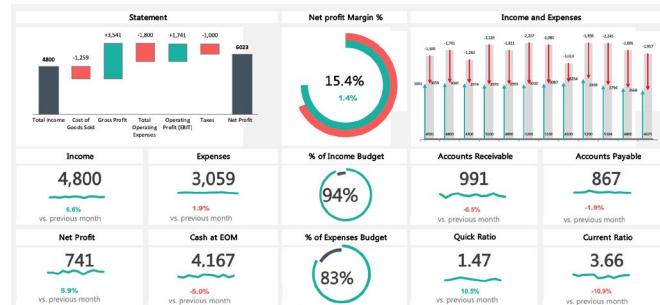
## 2. Implementação dos códigos

```
for i in people.data.users:
    response = client.api.statuses.user_timeline.get(screen_name=i.screen_name)
    print 'Got', len(response.data), 'tweets from', i.screen_name
    if len(response.data) >= 8:
        ldate = response.data[0]['created_at']
        ldate2 = datetime.strptime(ldate, '%a %b %d %H:%M:%S +0000 %Y')
        today = datetime.now()
        howlong = (today - ldate2).days
        if howlong < daywindow:
            print i.screen_name, 'has tweeted in the past', daywindow
            totaltweets += len(response.data)
            for j in response.data:
                if j.entities.urls:
                    for k in j.entities.urls:
                        newurl = k['expanded_url']
                        urlset.add((newurl, j.user.screen_name))
        else:
            print i.screen_name, 'has not tweeted in the past', daywind
```

## 3. Execução do programa

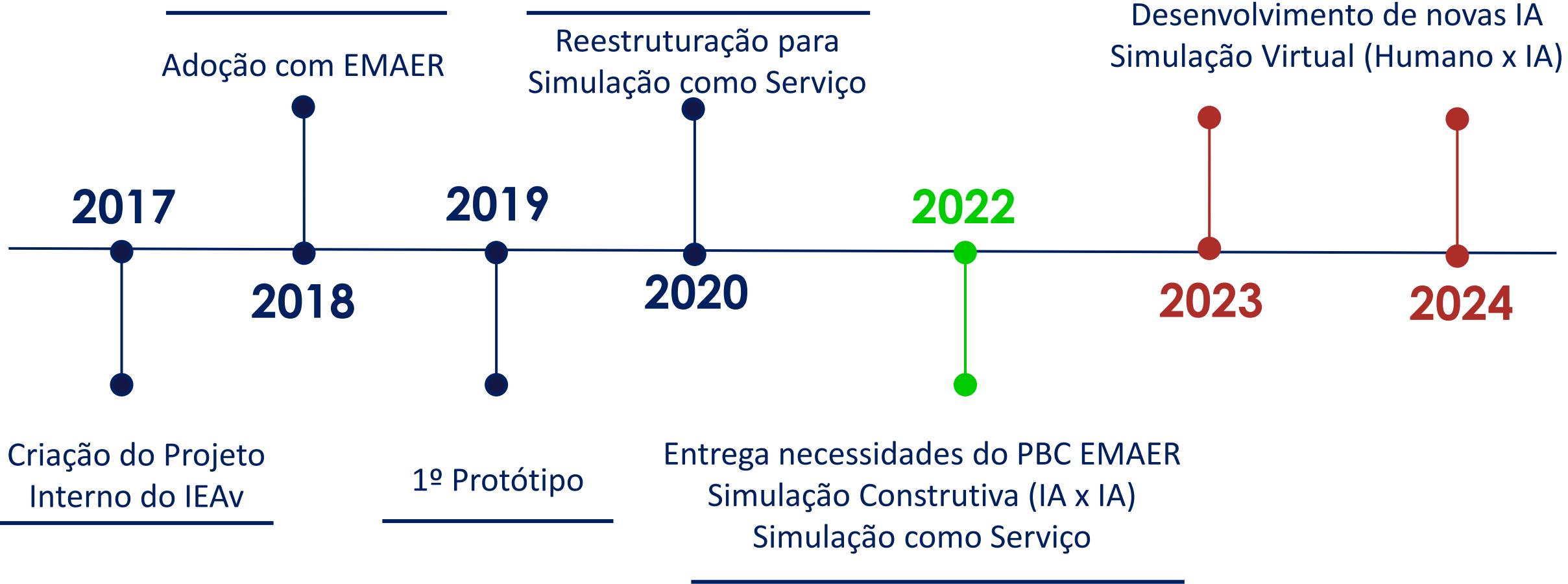


## 4. Análise dos resultados



# Planejamento

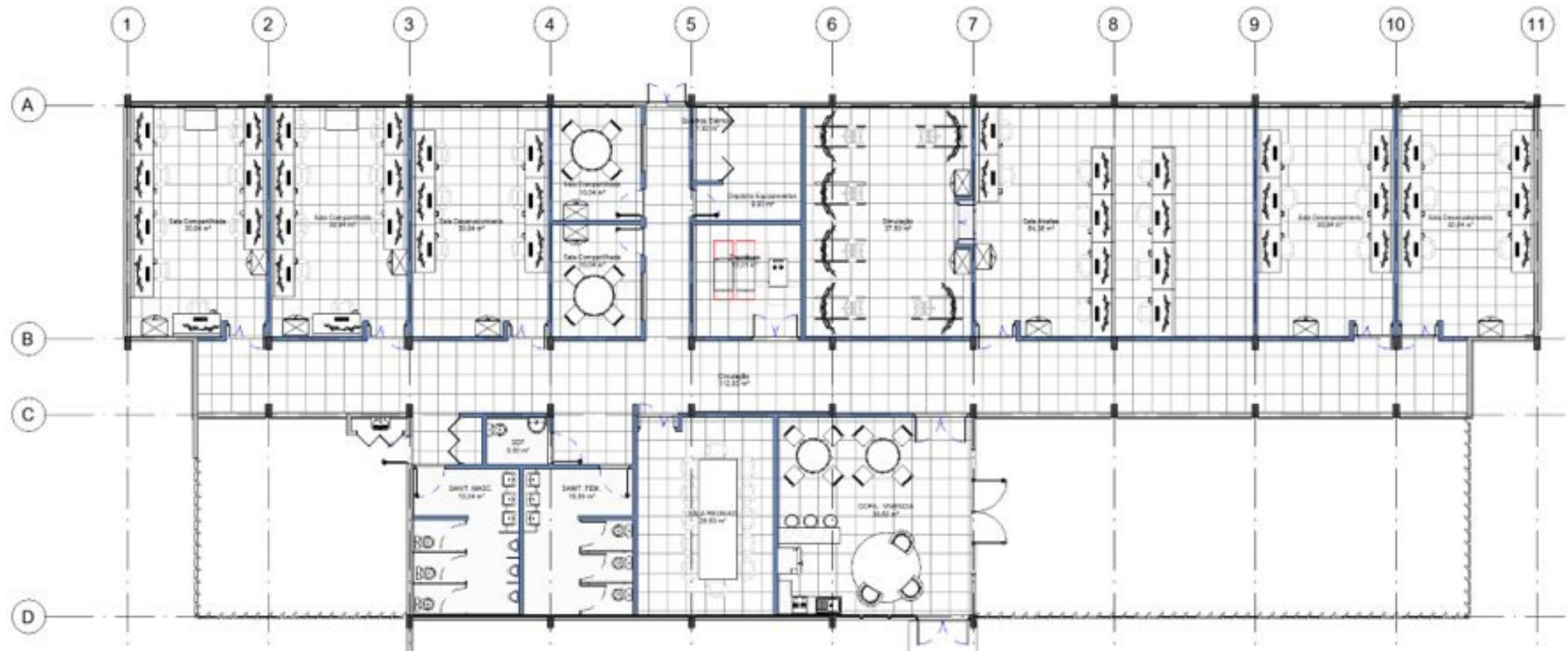
---



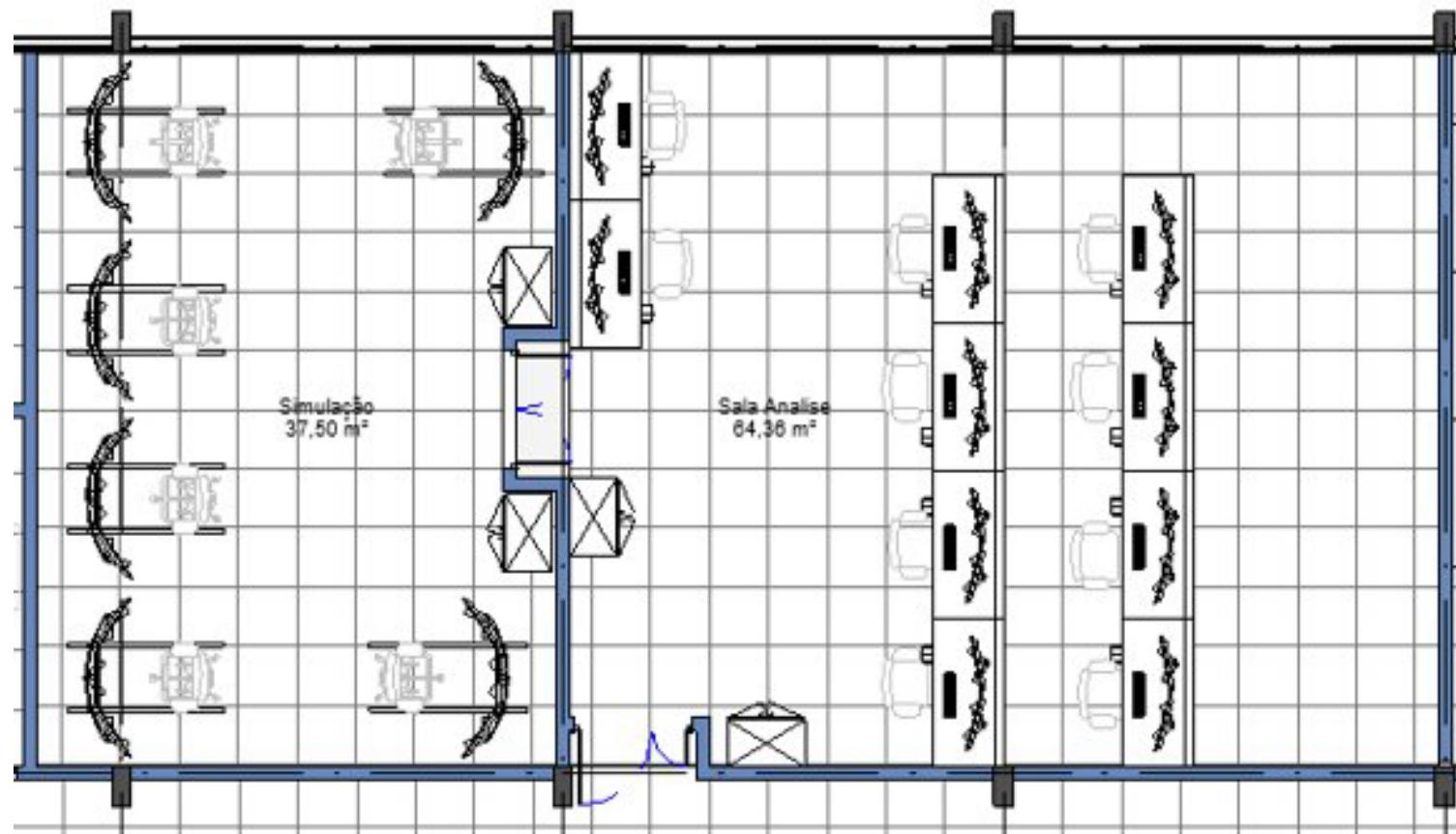
# Novo laboratório de M&S



# Novo laboratório de M&S

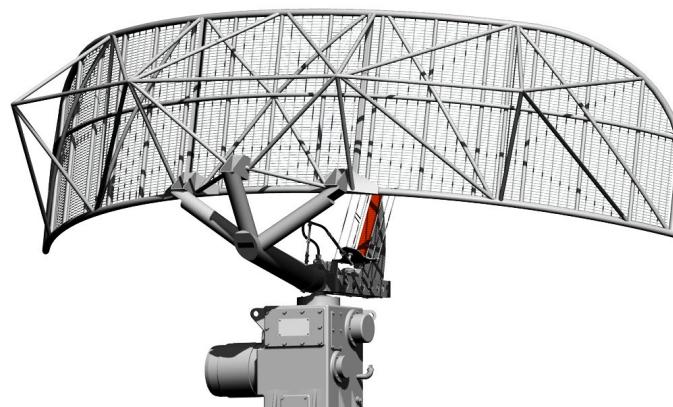


# Novo laboratório de M&S



# Modelos

- Base aérea
  - Datalink
  - Inventário (armamentos e aeronaves)
- Datalink remote station (DRS)
  - Datalink
- Centro de Comando e Controle (C2C)
  - Air Task Orders (ATO)
  - Datalink
  - Gerenciador de tracks
- Radar de solo
  - Radar
    - Antena
    - Gerenciador de tracks
  - Datalink
- Modelo de mundo
  - Elevação de terreno
  - Atmosfera
  - Elementos táticos
    - Zonas aéreas
    - Pontos de interesse
  - Métricas por time
- Alvo terrestre
  - Modelo de dano



# Modelos

- Fighter
  - Aerodinâmica
  - Radar
    - Antena
    - Gerenciador de tracks
  - Radar Warning Receiver (RWR)
    - Biblioteca de emissores
    - Antena
    - Gerenciador de tracks
  - Rádio V/UHF
    - Antena
  - Datalink
  - Armamento
    - Míssil radar-ativo
    - Weapon Engagement Zone (WEZ)
- Piloto
  - Piloto básico
    - Manobras defensivas
    - Navegação em rota
    - Voo de ala
    - Voo em órbita
  - Piloto de combate
    - Manobras de engajamento
    - Emprego de armamento
    - Nível de agressividade



# Ciência de dados

- Design of experiments (DOE)
  - Latin Hypercube Sampling
  - Factorial experiment
  - Random experiment
- Data analysis
  - Hypothesis test / confidence intervals
  - Feature importance
  - Correlation
  - Probability distribution fitting
- Data-based model building
  - Regression
  - Random Forest
  - Neural networks

# Inteligência artificial

**AIR FORCE**  
MAKING AIR POWER WORK

NEWS DAILY REPORT MAGAZINE DOCUMENTS ABOUT US COVID-19 UPDATE VAWs 2021 [Subscribe](#)

An F-16 Viper flies over Holloman Air Force Base, N.M., on Aug. 13, 2020. Air Force photo by Staff Sgt. Christine Groening.



SHARE ARTICLE

DARPA's AI Dogfighting Tournament Sets Stage for Future Autonomy

Aug. 17, 2020 | By Rachel S. Cohen

Latest News

New GBSD Will Fly in 2023; No Margin Left for...

<https://www.airforcemag.com/darpas-ai-dogfighting-tournament-sets-stage-for-future-autonomy/>

CHINA / MILITARY

## PLA deploys AI in mock warplane battles, 'trains both pilots and AIs'

By Liu Xuanzun  
Published: Jun 14, 2021 10:07 PM

f t g+ r



A J-16 fighter jet attached to an aviation brigade of the air force under the PLA Western Theater Command gets ready to take off from the runway during an aerial combat training exercise under complex electromagnetic conditions in early April, 2021. (Photo: eng.chinamil.com.cn)

China Military

<https://www.globaltimes.cn/page/202106/1226131.shtml>

# Projeto x Serviço



Encomenda de Defesa Finep  
Âmbito DCTA-IEAv  
Responsabilidade IEAv



Simulation as a Service  
Âmbito FAB  
Gestão Sistêmica

# Simulation as a Service (SimaaS)



Multiple  
Users



Cloud  
Infrastructure



Simulation  
Tools



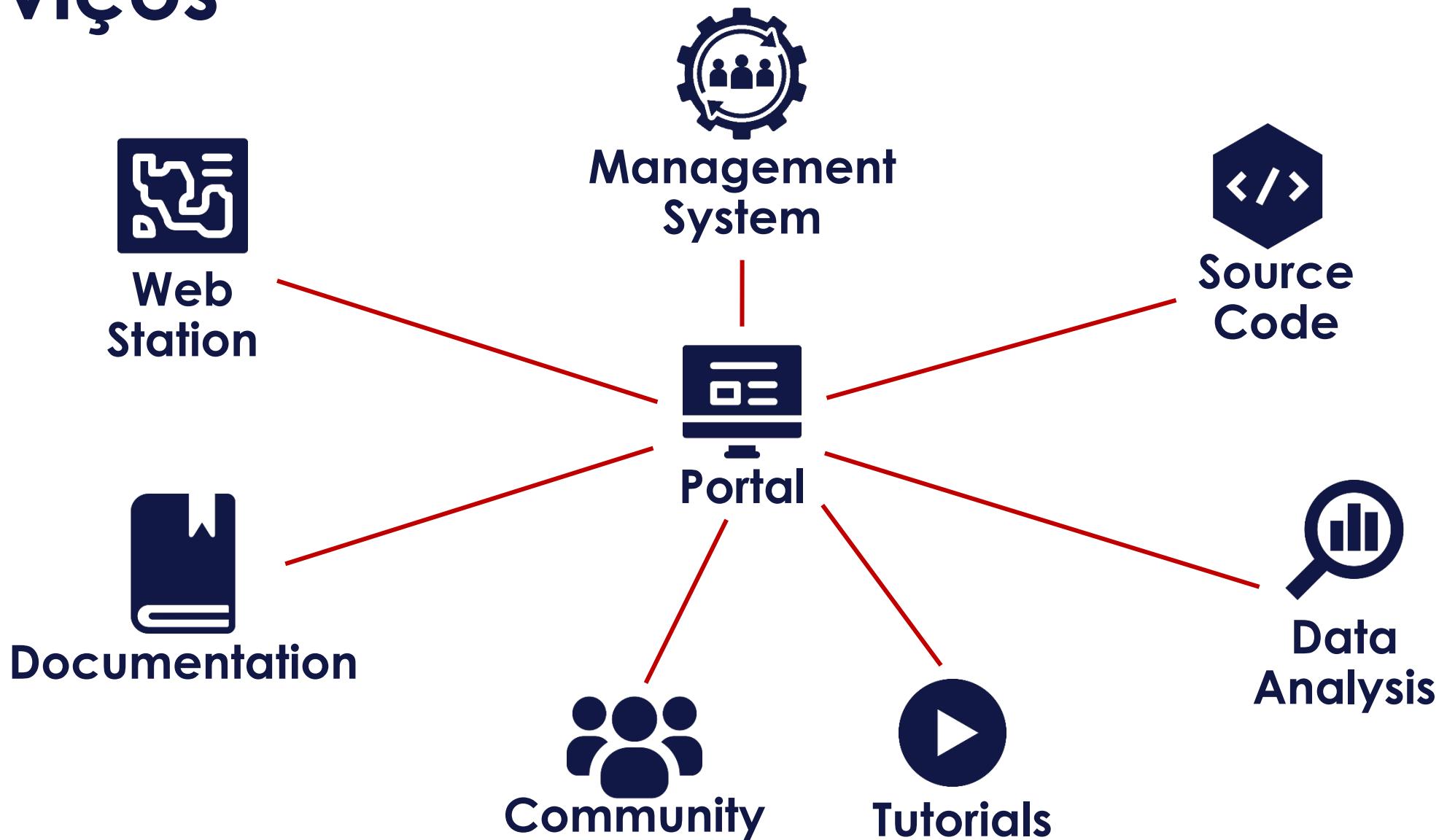
Management  
Tools

# Simulation as a Service (SimaaS)

- Hospedagem de Servidores de Desenvolvimento
- Simulação Remota sob demanda
- Capacidade de Processamento Escalável
- Recursos Computacionais Compartilhados
- Padronização, Centralização e Coleta de Dados contínua

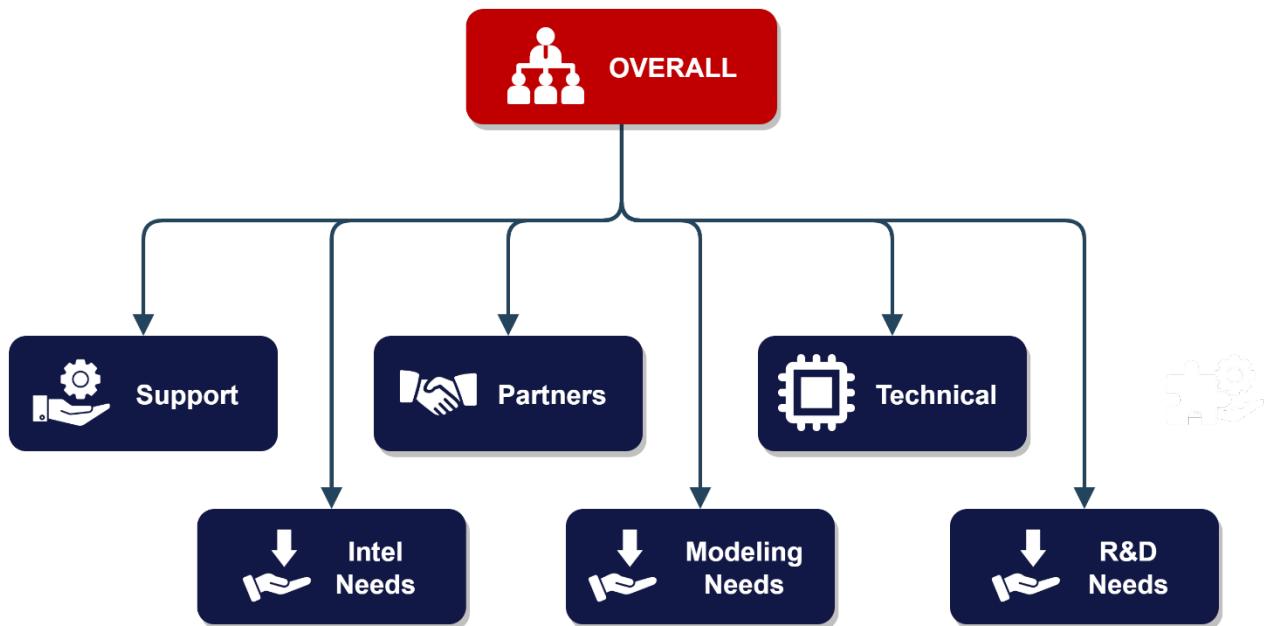


# Serviços

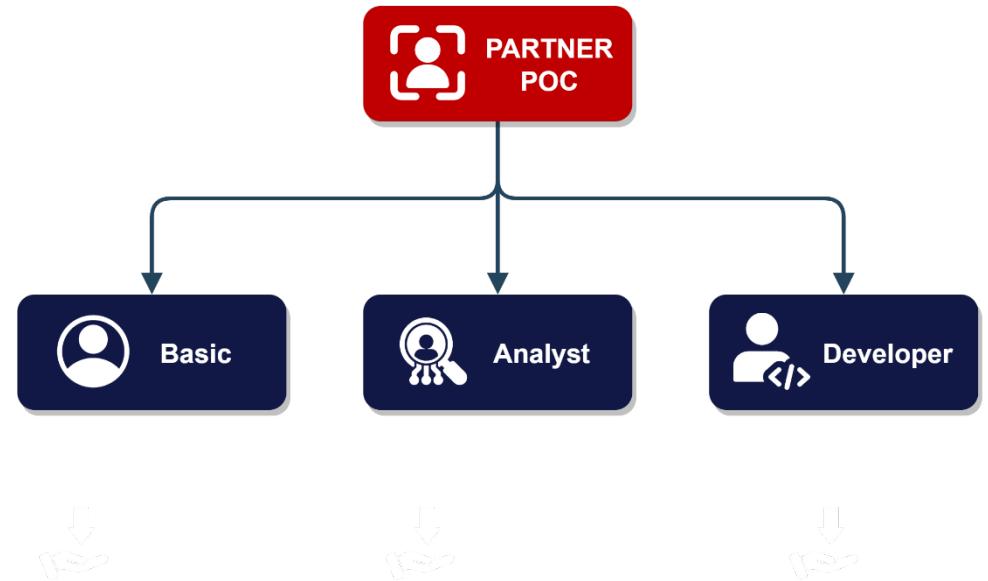


# Usuários

## Managers



## Partners



## User types



Basic



Analyst



Developer

## Features

Scenario  
building

Trials  
execution

Design of experiments

Batch executions

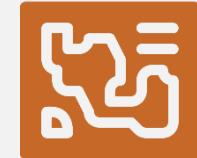
Prediction

Kernel development

Models development

Behavioral  
Logical & Physical

## Tools



Web Station



Data Analysis  
Platform



Source  
Code Repo



The screenshot shows a flight simulation environment. In the center, a white aircraft is flying over a desert terrain with yellow and brown hues. To the left of the aircraft, a green rectangular box displays "TAS 423". To the right, another green box displays "25498". The bottom left of the screen shows flight parameters: "α 0.0" and "M 0.70". The top of the screen features the ASA logo, the text "AMBIENTE DE SIMULAÇÃO AEROESPACIAL", and a navigation menu with links to "SOBRE", "SOLUÇÕES", "PARCERIAS", "PUBLICAÇÕES", "CONTATO", and a green "LOGIN" button.

## AMBIENTE DE SIMULAÇÃO AEROESPACIAL

O ASA é uma solução de software, desenvolvida pela Força Aérea Brasileira, que permite a criação, configuração e execução de simulações de cenários de Defesa.

### Cenários Aeroespaciais

Com o foco inicial no contexto aeroespacial, a biblioteca básica de modelos do ASA inclui elementos de cenário como aeronaves, mísseis, bombas, radares, defesas antiaéreas e alvos terrestres.

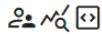
### Modularidade

A arquitetura modular do ASA permite a extensão de sua base de modelos visando à inclusão de novos sistemas e subsistemas de interesse, quer sejam do domínio terrestre, marítimo, aéreo ou espacial.

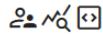
### Tripla Hélice



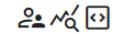
**Community**



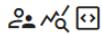
**Credentials**



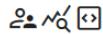
**Data Analysis**



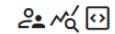
**Documentation**



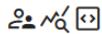
**Management**



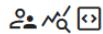
**Tutorials**



**Source Code**



**Webstation**





## Do [ cenário, experimento, desenvolvimento ] à decisão



### Governo

A simulação de **cenários** operacionais auxilia tanto na tomada de decisão quanto no treinamento de operadores. O ASA congrega modelos de múltiplos meios de interesse da Defesa, bem como modelos de inteligência artificial capazes de simular o comportamento humano.



### Academia

Com o ASA é possível realizar **experimentos** de diferentes escalas e variados níveis de fidelidade. Sua biblioteca de análise de dados, AsaPy, oferece diversos tipos de designs de experimentos e métodos estatísticos de avaliação de resultados, incluindo ferramentas para análise de grandes volumes de dados.



### Indústria

Durante o **desenvolvimento** de produtos, empresas usam simulação na prototipagem e avaliação de soluções em diferentes cenários. Para a Base Industrial de Defesa, o ASA oferece um framework de código aberto com diversos modelos nativos, que podem ser usados desde as etapas iniciais de concepção.

## O estabelecimento de uma base comum em simulação no Brasil, prevendo meios para a interoperabilidade, cooperação e competitividade.

O ASA foi desenvolvido pelo Instituto de Estudos Avançados com recursos fornecidos pela Finep, por meio de uma Encomenda de Defesa. Os entregáveis do projeto são disponibilizados para o Governo, a Academia e a Indústria, na forma de um serviço de simulação - *Simulation as a Service*.



# ASA AMBIENTE DE SIMULAÇÃO AEROSPACE

←

portal\_andre

+ -

Blue

- B01
- B02
- B03
- B04
- Blue\_Airbase
- Blue\_HQ
- Blue\_Land
- fighter**

Red

Add component

Filter

- AEW
- Air Base
- C2 Center
- DLRS
- Fighter
- GBAD Control
- GBAD Launcher
- GBAD Radar
- Ground Radar
- Ground Target
- Point of interest

30 km

Station

Time critical frame rate (Hz)  
50

Background frame rate (Hz)  
10

Enable Datalog

Enable DB Recorder

Enable Network Recorder  
Disable

Simulation

Central lat. (deg)  
-33.35

Central long. (deg)  
-70

Max. range (nm)  
150

CPU cores  
1

Sim. start time (s)  
61200

0.25 0.5 1 10 +

2023 – Força Aérea Brasileira

# Ferramentas

## Modelos



Visual Studio Code



Sourcetree



## Framework



PostgreSQL



Linux



## Web Station



## Sistema de Gestão



KEYCLOAK



## Ciência de Dados



## Suporte

## VPN

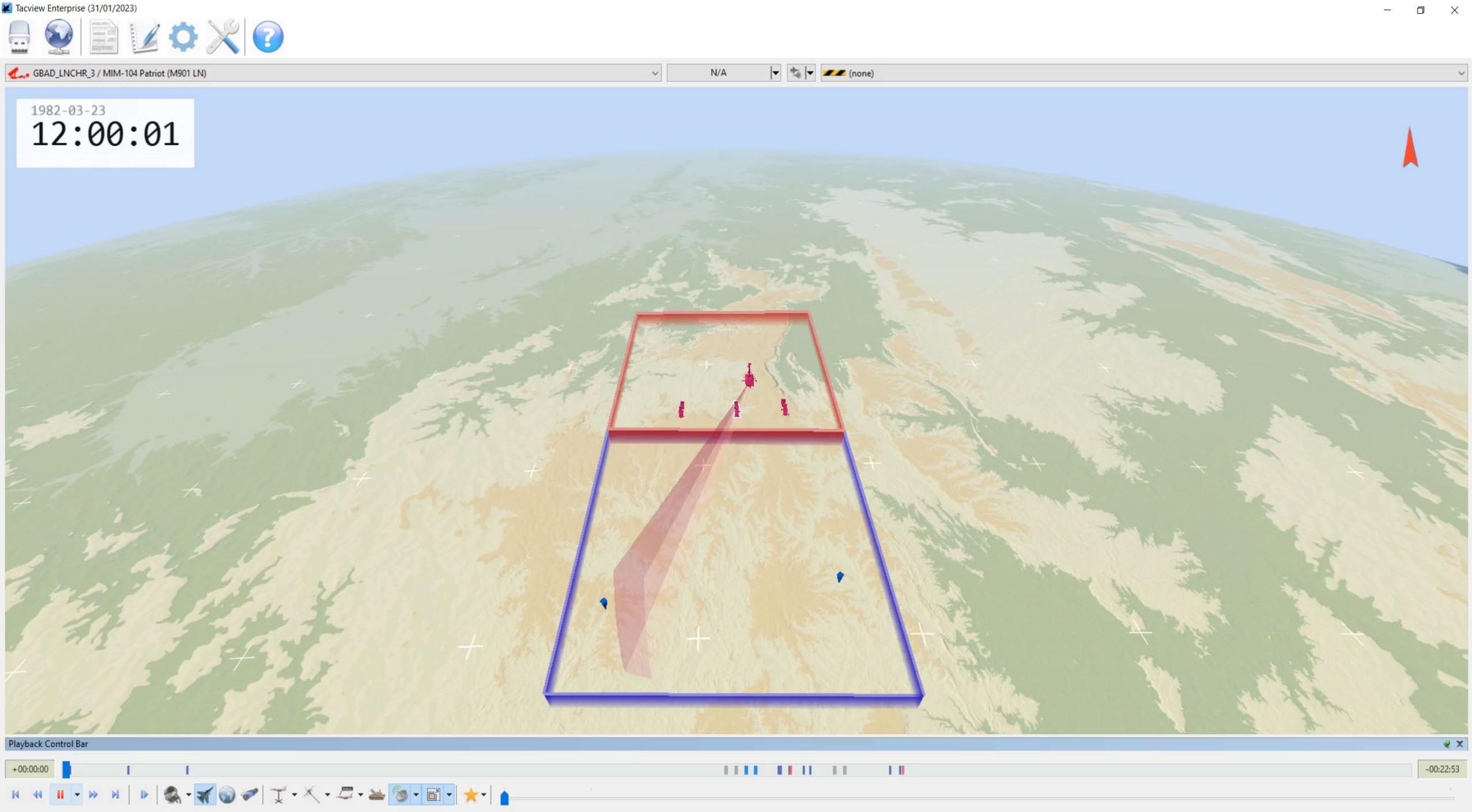


## Documentação



## Tutoriais e Comunidade



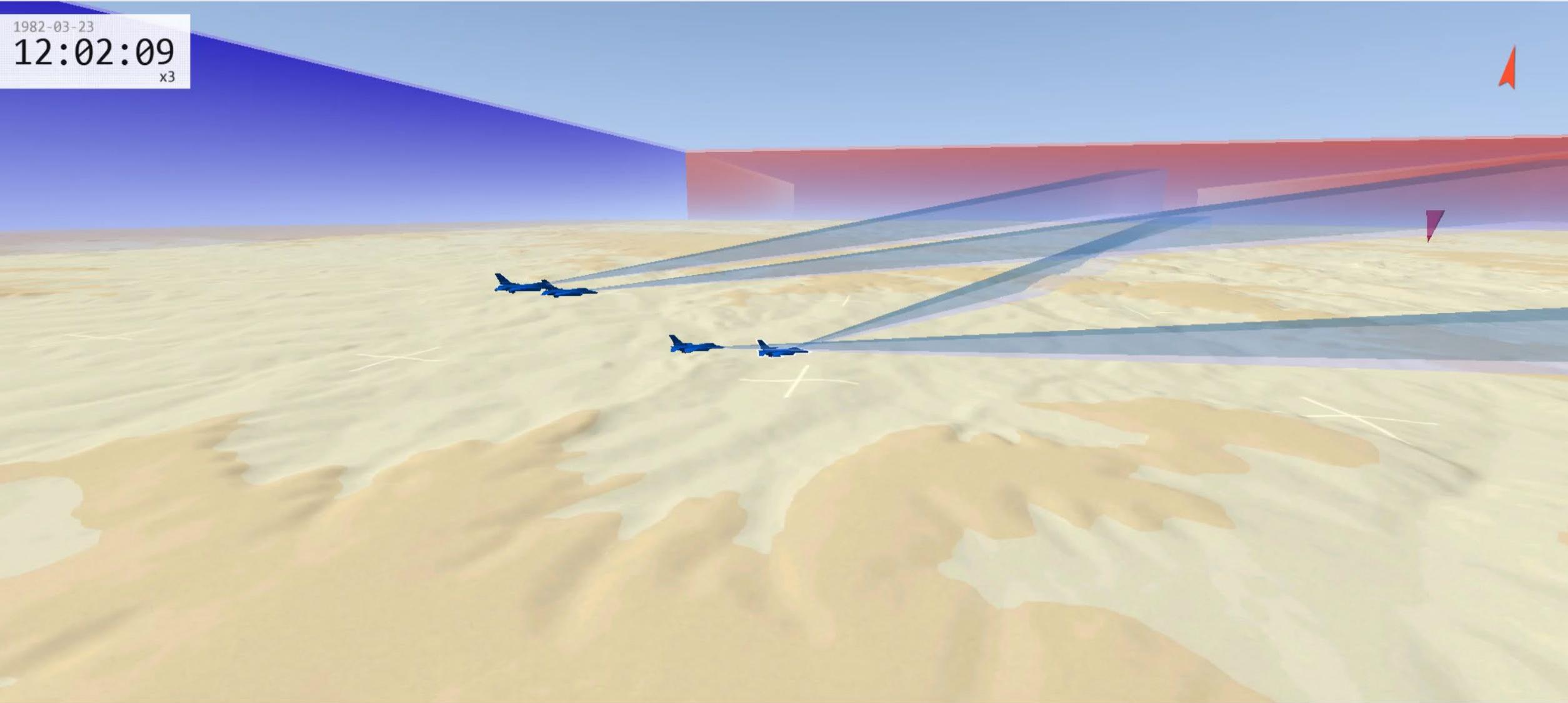




B01 / F-16C Fighting Falcon

N/A

(none)

1982-03-23  
12:02:09  
x3

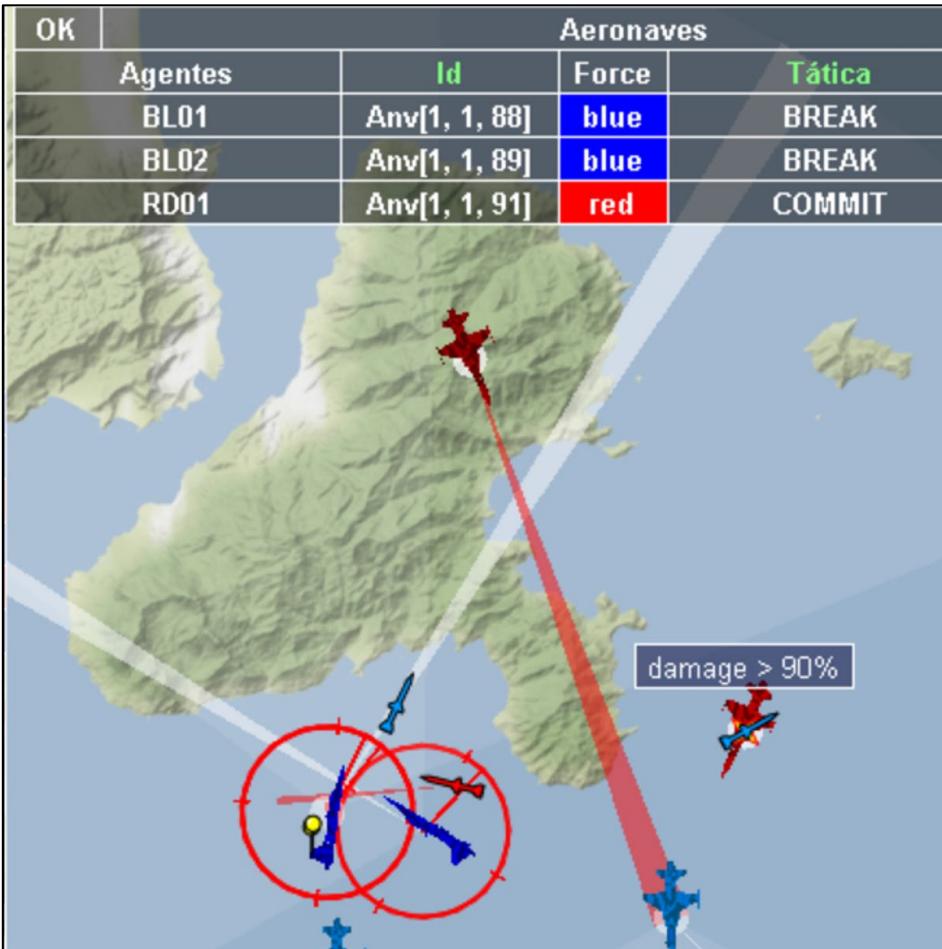
Playback Control Bar

+00:02:08

-00:07:23



# Publicações

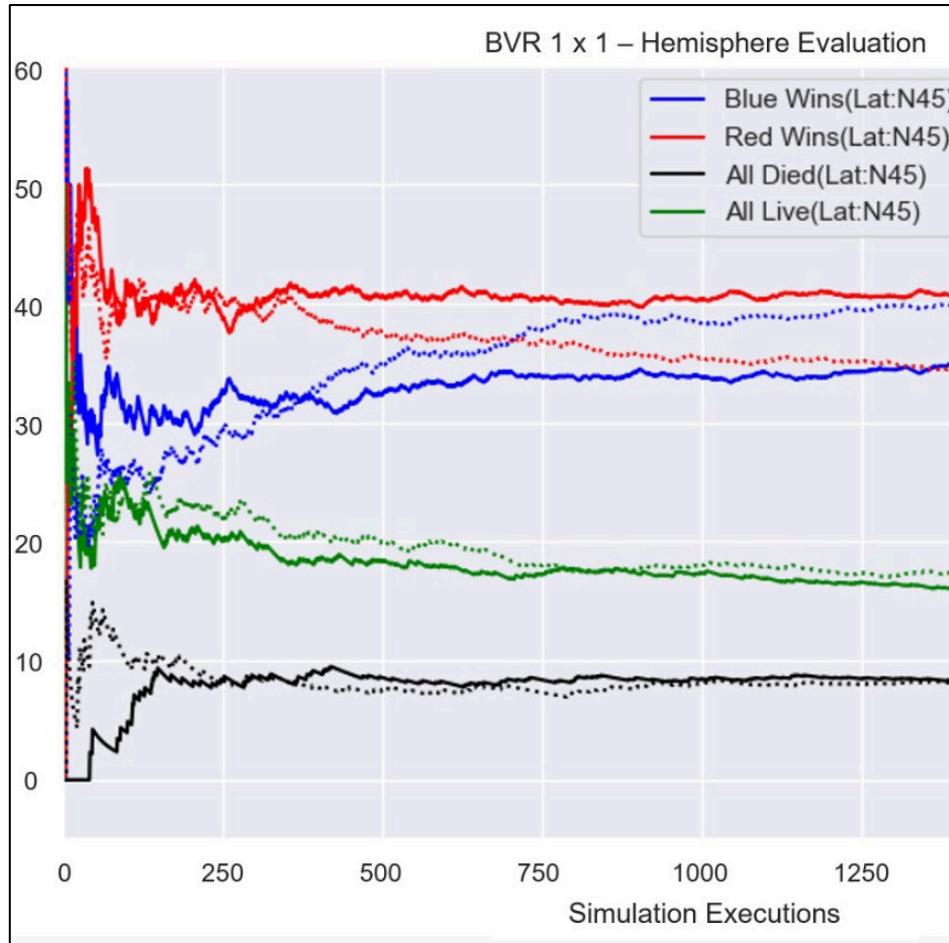


[Dantas et al., 2022] ASA: A Simulation Environment for Evaluating Military Operational Scenarios

*World Congress in Computer Science, Computer Engineering, & Applied Computing (CSCE)*

Proposta de um framework de simulação permite a modelagem e **simulação de cenários operacionais militares** para apoiar o desenvolvimento de táticas e procedimentos no contexto aeroespacial para a Força Aérea Brasileira.

# Publicações

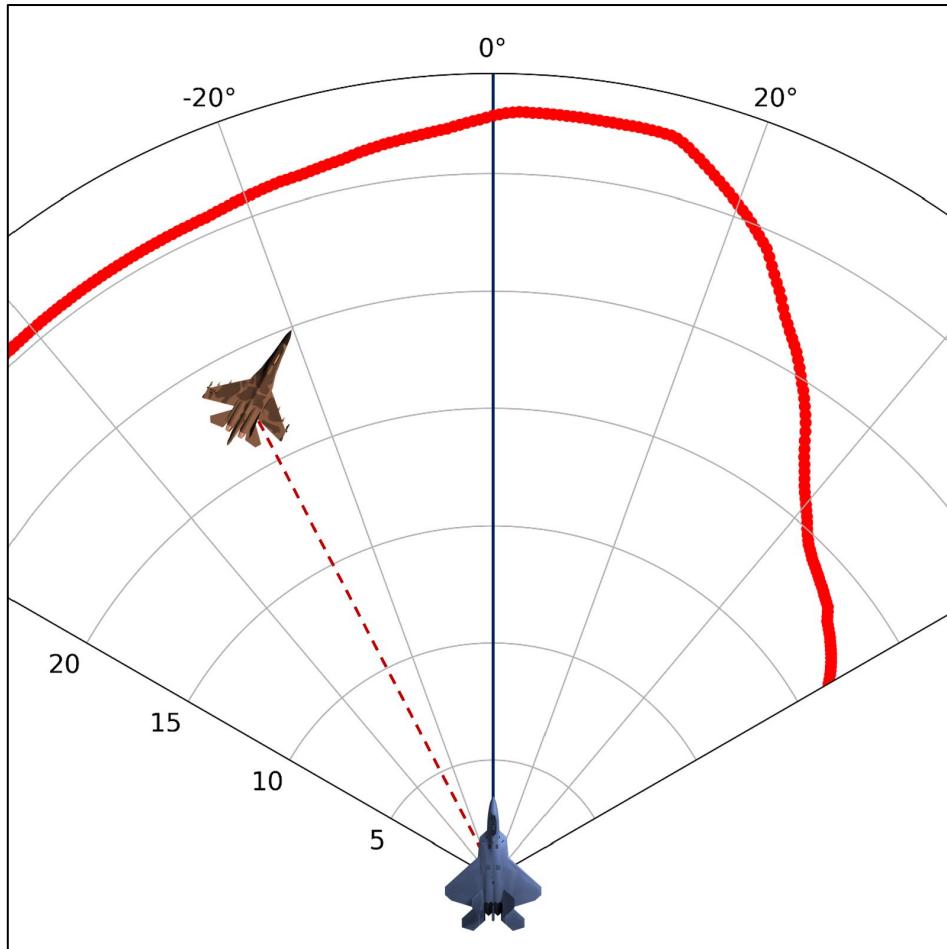


## [Kuroswiski, 2020] Agent-Based Modeling and Simulation as a Support Tool for Air Defense Capabilities Assessment

*Master's Thesis -- Aeronautics Institute of Technology (ITA)*

Análise da viabilidade do uso de **Agent-based Modeling and Simulation (ABMS)** para avaliar as capacidades de defesa aérea no contexto do Planejamento Baseado em Capacidades (PBC).

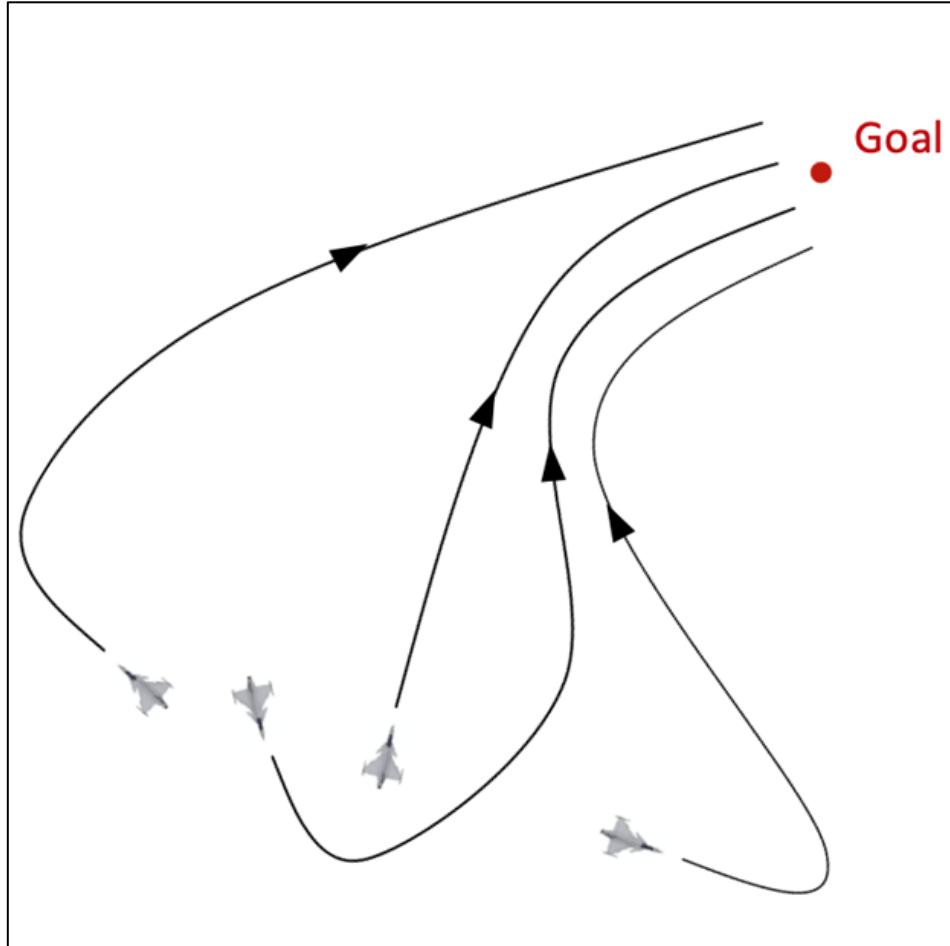
# Publicações



**[Dantas et al., 2021] Weapon Engagement Zone Maximum Launch Range Estimation Using a Deep Neural Network**  
*Brazilian Conference on Intelligent Systems*

Uma **Rede Neural Profunda** estima o alcance máximo de lançamento da Zona de Engajamento de Armas, permitindo que os pilotos identifiquem o espaço aéreo no qual o míssil tem maior probabilidade de sucesso ao atingir um alvo.

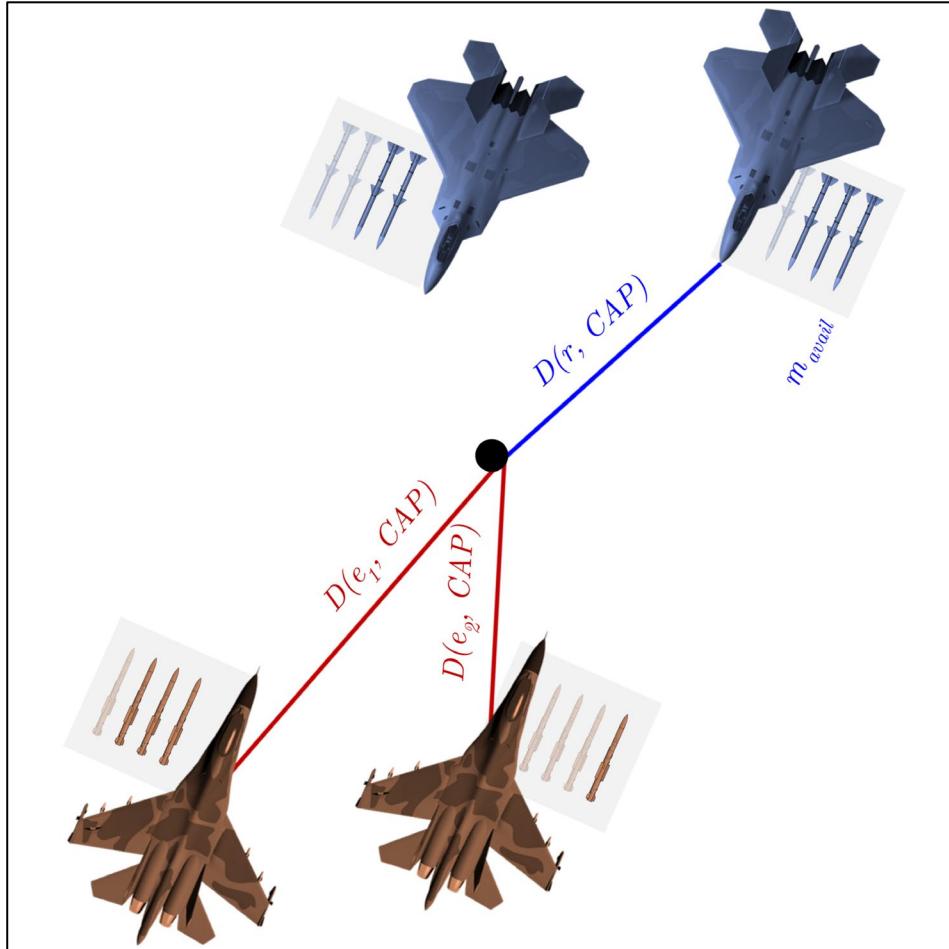
# Publicações



[Costa et al., 2021] Formation control method based on artificial potential fields for aircraft flight simulation  
*SIMULATION SAGE*

Uso de **campos potenciais artificiais e otimização** de simulação para obter resultados mais robustos para aeronaves militares simuladas para **voar em formação**, usando um grande conjunto de cenários para o processo de otimização, que avalia sua função objetivo por meio das simulações.

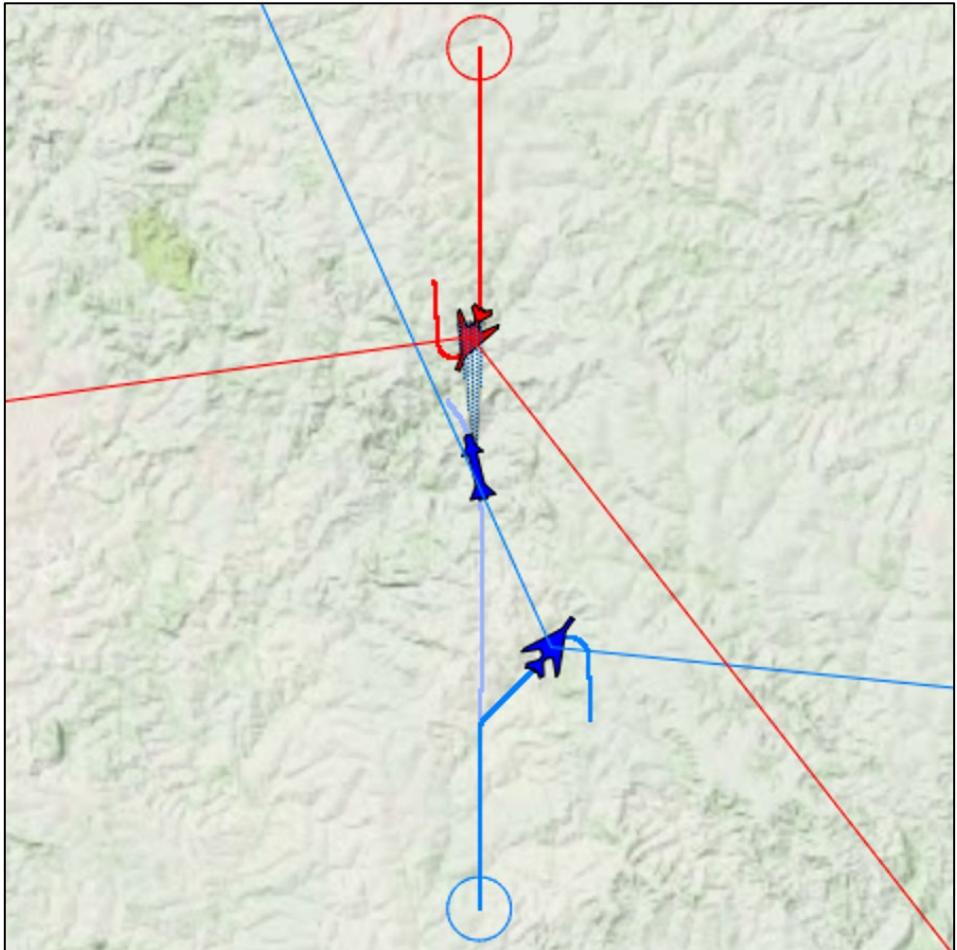
# Publicações



[Dantas et al., 2021] Engagement Decision Support for Beyond Visual Range Air Combat  
*Latin American Robotics Symposium*

Proposta de uma **ferramenta de suporte à decisão de engajamento para combate aéreo além do alcance visual**, usando um modelo de aprendizado supervisionado baseado em **árvores de decisão** para medir a qualidade de um novo engajamento.

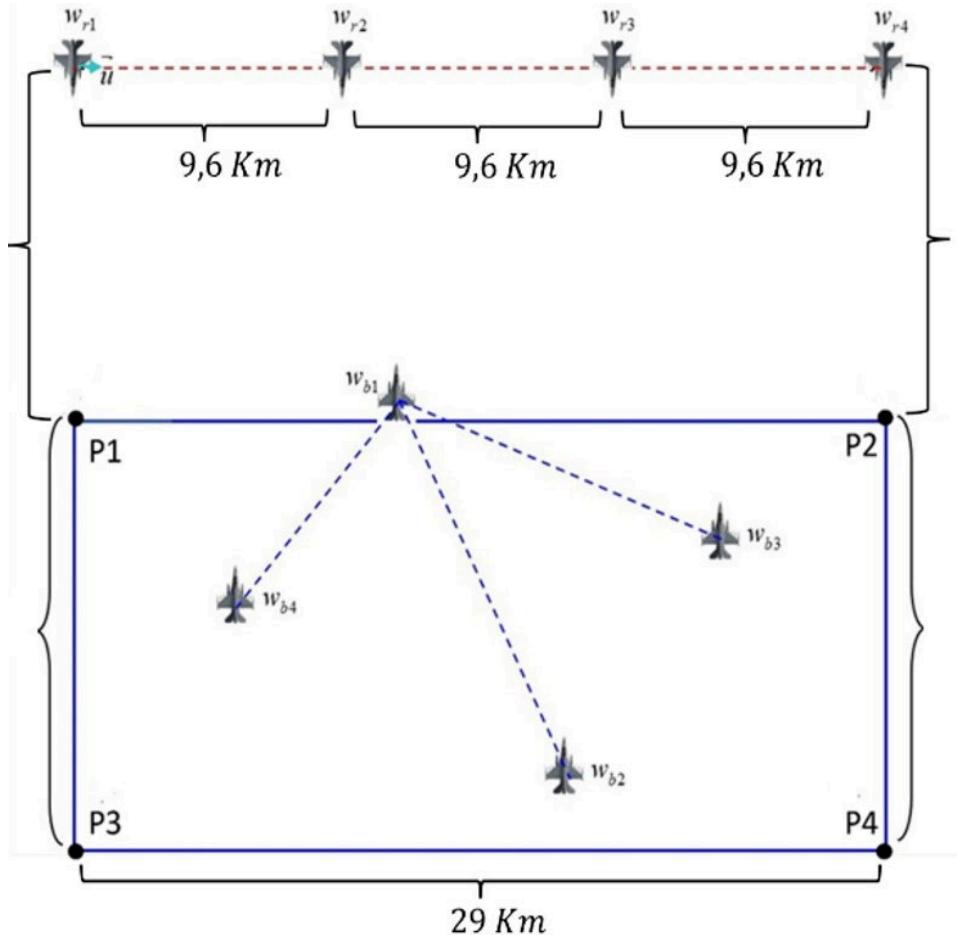
# Publicações



[Dantas et al., 2022] Machine Learning to Improve Situational Awareness in Beyond Visual Range Air Combat  
*IEEE Latin America Transactions*

Os autores projetaram uma rede neural multcamada usando dados de simulações construtivas para serem empregadas em um dispositivo embarcado para **aprimorar a consciência situacional do piloto** no processo de tomada de decisão em voo.

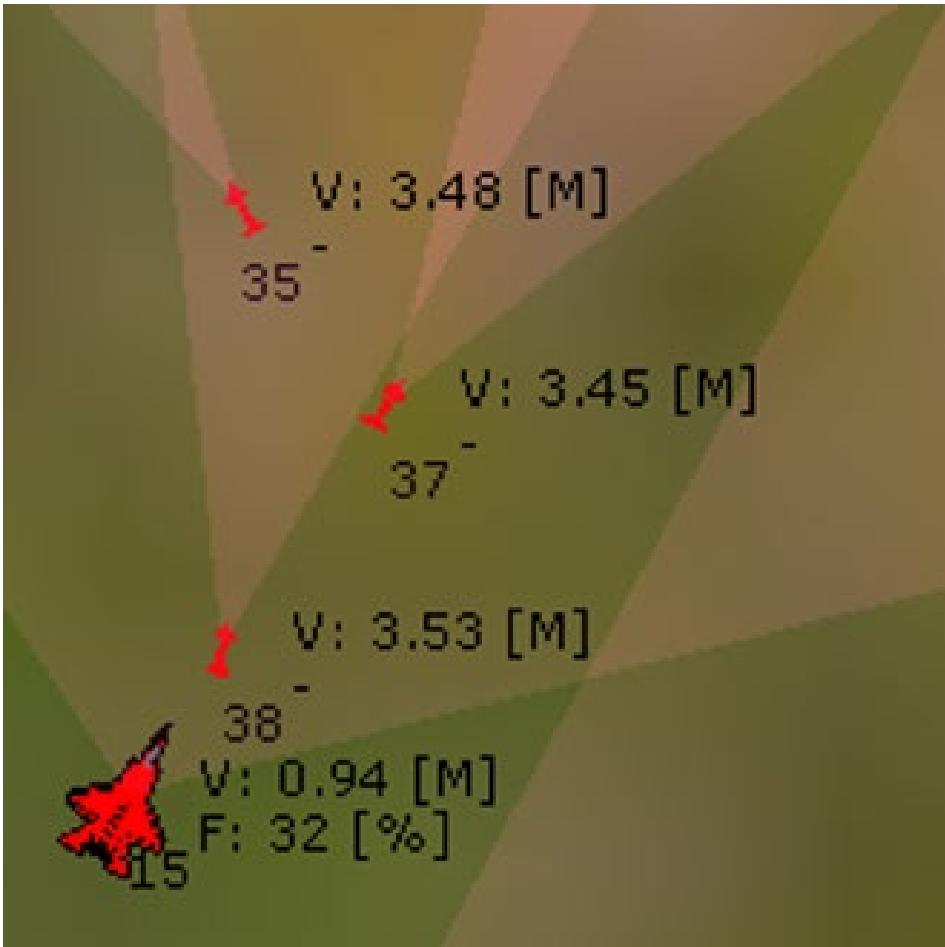
# Publicações



[De Lima Filho et al., 2022] Optimization of Unmanned Air Vehicle Tactical Formation in War Games  
IEEE Access

Integração da infraestrutura ASA em uma estrutura de **otimização** externa para aplicar **seis meta-heurísticas** diferentes para otimizar as **formações táticas de veículos aéreos não tripulados**, considerando variáveis inimigas em um cenário de combate aéreo além do alcance visual.

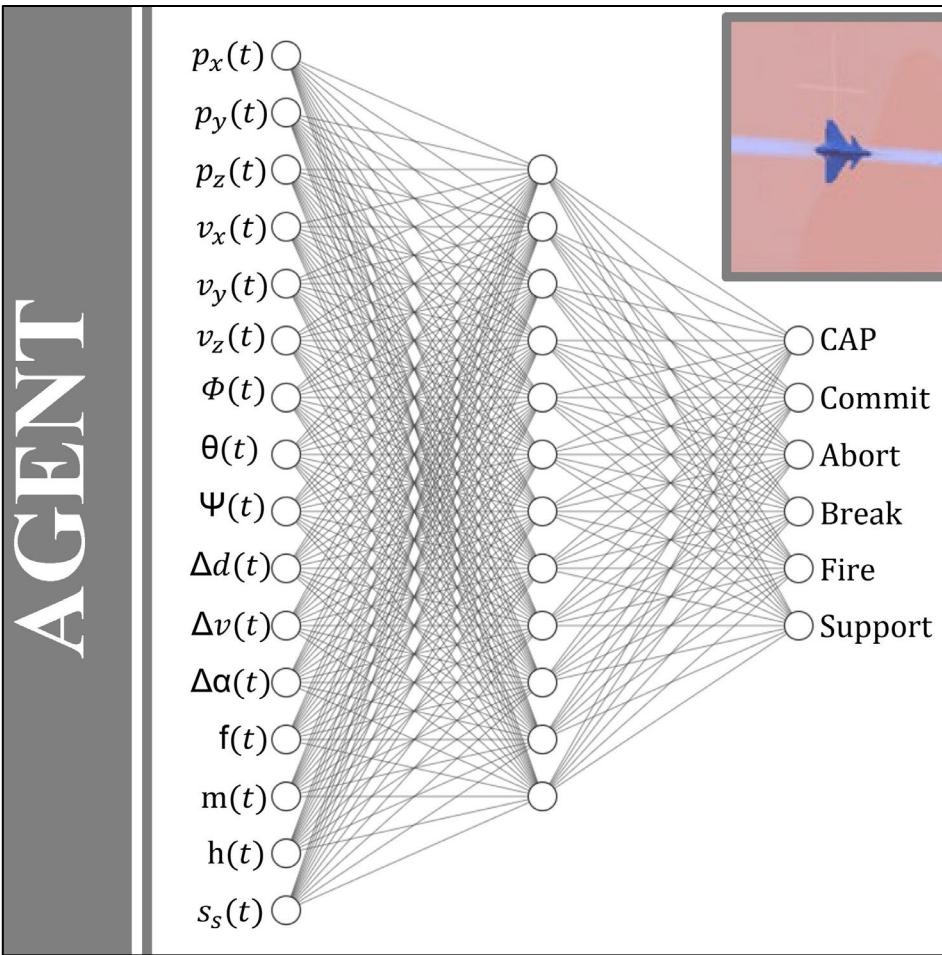
# Publicações



[Dantas et al., 2022] Supervised Machine Learning for Effective Missile Launch Based on Beyond Visual Range Air Combat Simulations  
*Winter Simulation Conference 2022*

**Comparação de métodos de aprendizado de máquina supervisionado** usando dados confiáveis de simulações construtivas para estimar o momento mais eficaz para o lançamento de mísseis durante o combate aéreo, usando **técnicas de reamostragem** para melhorar o modelo preditivo.

# Publicações

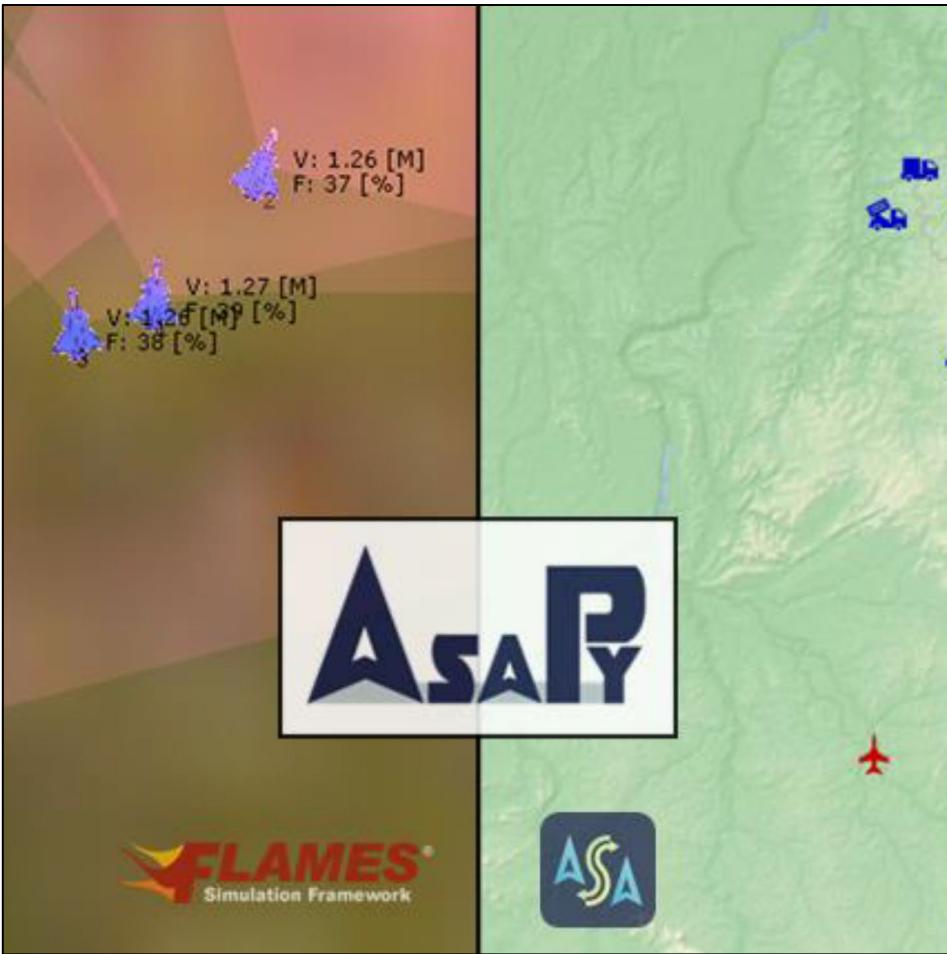


[Dantas et al., 2023] Autonomous Agent for Beyond Visual Range Air Combat: A Deep Reinforcement Learning Approach

*ACM Federated Computing Research Conference (FCRC) [Best PhD Paper Award]*

Proposta de desenvolvimento de um agente baseado em aprendizado por reforço profundo capaz de atuar em ambiente de simulação de combate aéreo além do alcance visual (BVR).

# Publicações

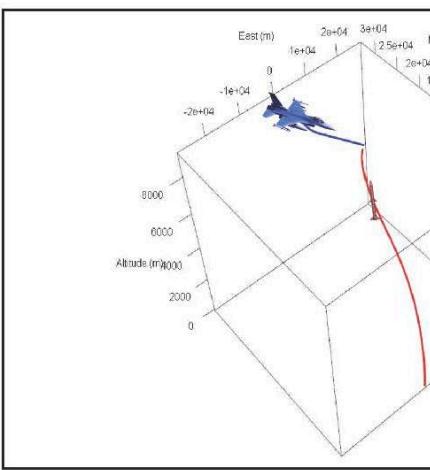
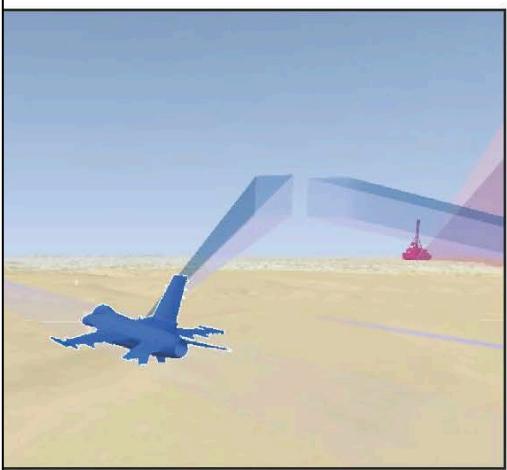
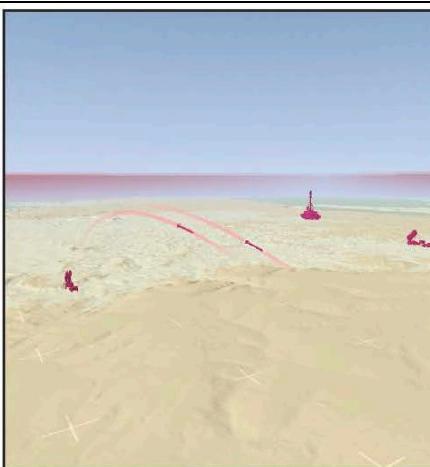
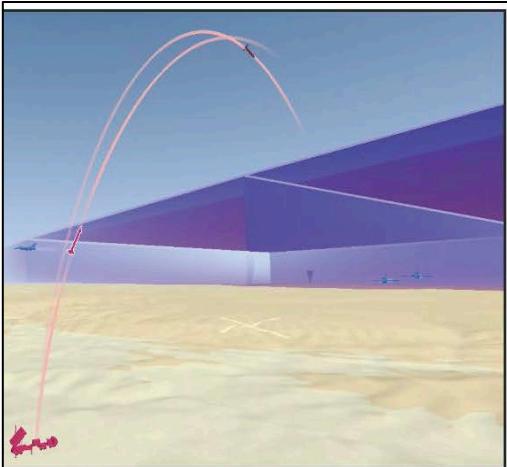


## [Dantas et al., 2023] AsaPy: A Python Library for Aerospace Simulation Analysis

*Winter Simulation Conference 2023* **[Submitted]**

AsaPy é uma biblioteca Python personalizada projetada para simplificar e otimizar a análise de dados de simulação. Ele oferece uma variedade de recursos, incluindo o design de métodos experimentais, técnicas de análise estatística, algoritmos de aprendizado de máquina e ferramentas de visualização de dados.

# Publicações



[Dantas et al., 2023] Real-Time Surface-to-Air Missile Engagement Zone Prediction Using Simulation and Machine Learning  
2023 *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)* [Submitted]

Uso de simulação e aprendizado de máquina para acelerar o cálculo do *Engagement Zone* (EZ) de artilharia antiaérea. Os modelos são comparados em relação a performance e tempo de processamento.

# Disciplina na Pós-Graduação do ITA

- *TE-276 Introdução à Modelagem e Simulação de Defesa*
- Docente Responsável: Angelo Passaro
- Programa: Ciências e Tecnologia Aeroespaciais (CTE)
- Carga horária semanal: 3-0-0-6

## Ementa

Conceitos básicos em modelagem e simulação. Desenvolvimento de modelos: modelagem conceitual e implementação de códigos executáveis. Verificação, Validação e Acreditação (VV&A) de modelos e simulações. Protocolos de interoperabilidade em simulação: *Distributed Interactive Simulation* (DIS) e *High Level Architecture* (HLA). Ferramentas de simulação de defesa: *Mixed Reality Simulation Platform* (MIXR) e Ambiente de Simulação Aeroespacial (ASA). Modelos de sistemas de defesa do domínio aéreo: aeronaves, radares e armamentos. Modelos de tomada de decisão para agentes da simulação: árvores de comportamento. Métricas para avaliação de resultados. Simulações em lote: delineamento de experimentos computacionais. Métodos de análise de resultados de simulações.

# Cap Eng João Paulo de Andrade Dantas

Instituto de Estudos Avançados

dantasjpad@fab.mil.br

www.joaopadantas.com

