

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

Cap Eng João Paulo de Andrade Dantas

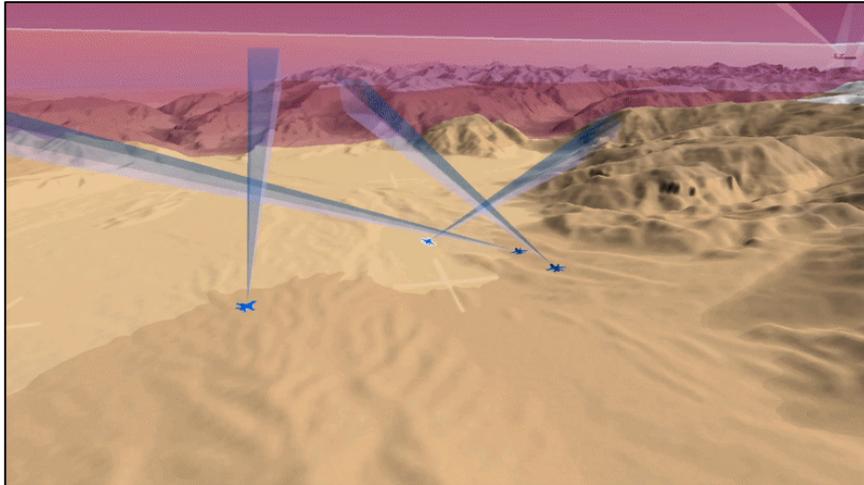
Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

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)

Jogos de Guerra
(ECEMAR)



Desenvolvimento
de modelos/IA
(ITA/IEAv)

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



Comando da
Aeronáutica
(COMAER)



Departamento de
Ciência e Tecnologia
Aeroespacial (DCTA)



Instituto de Estudos
Avançados (IEAv)



Estado-Maior
da Aeronáutica
(EMAER)

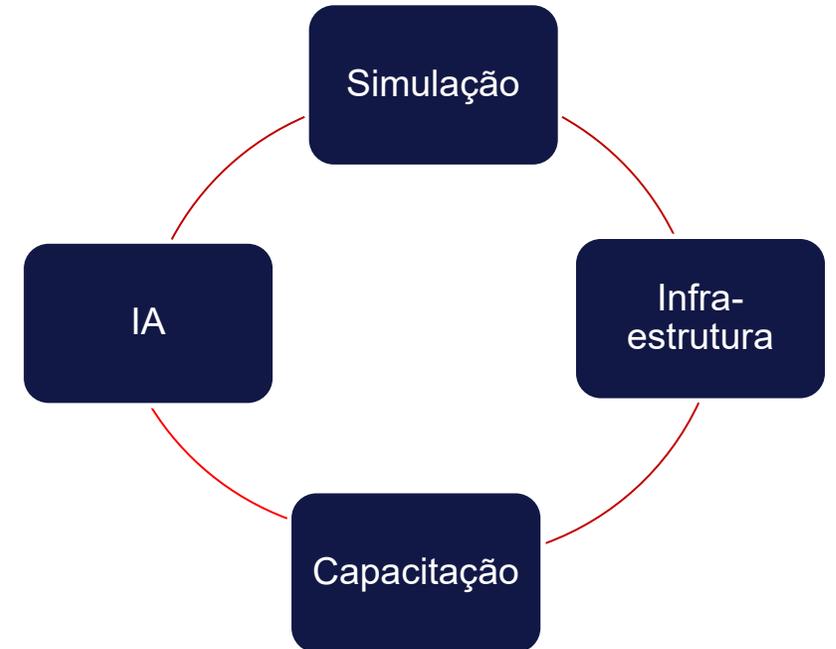


Ambiente
de Simulação
Aeroespacial (ASA)



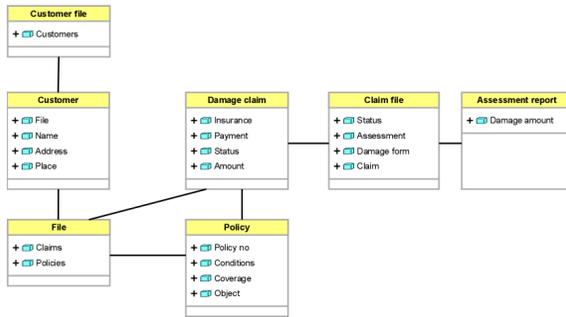
Objetivos do projeto

- **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**

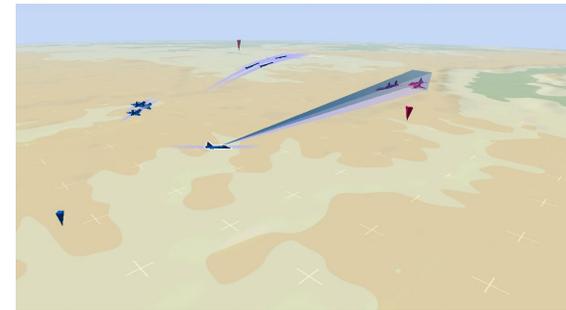


Solução em Simulação

1. Concepção de modelos



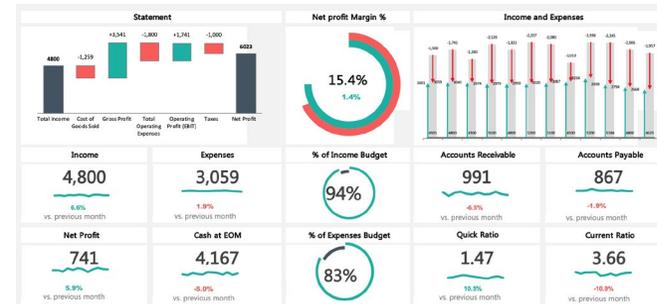
3. Execução do programa



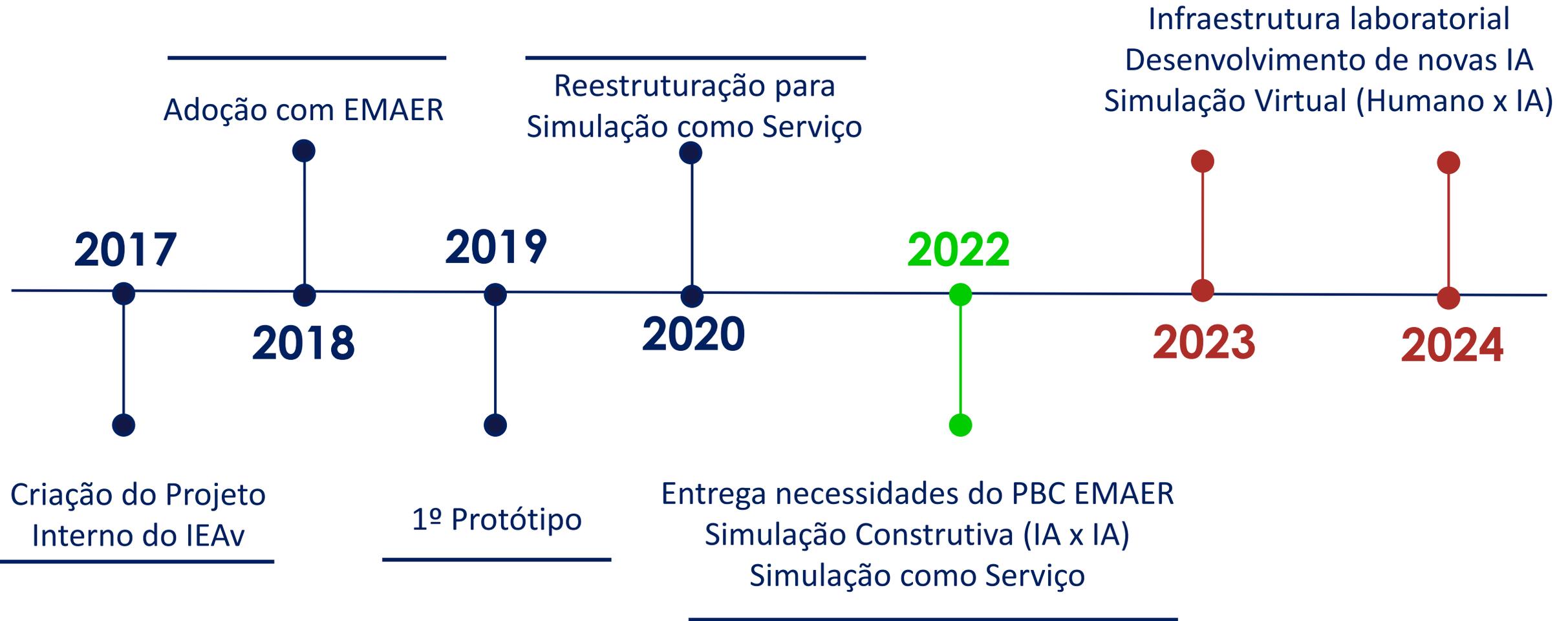
2. Implementação dos códigos

```
for i in people.data.users:
    response = client.api.statuses.user_timeline.get(screen_name=i.scr
    print 'Got', len(response.data), 'tweets from', i.screen_name
    if len(response.data) != 0:
        ltdate = response.data[0]['created_at']
        ltdate2 = datetime.strptime(ltdate, '%a %b %d %H:%M:%S +0000 %Y
        today = datetime.now()
        howLong = (today - ltdate2).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', daywin
```

4. Análise dos resultados



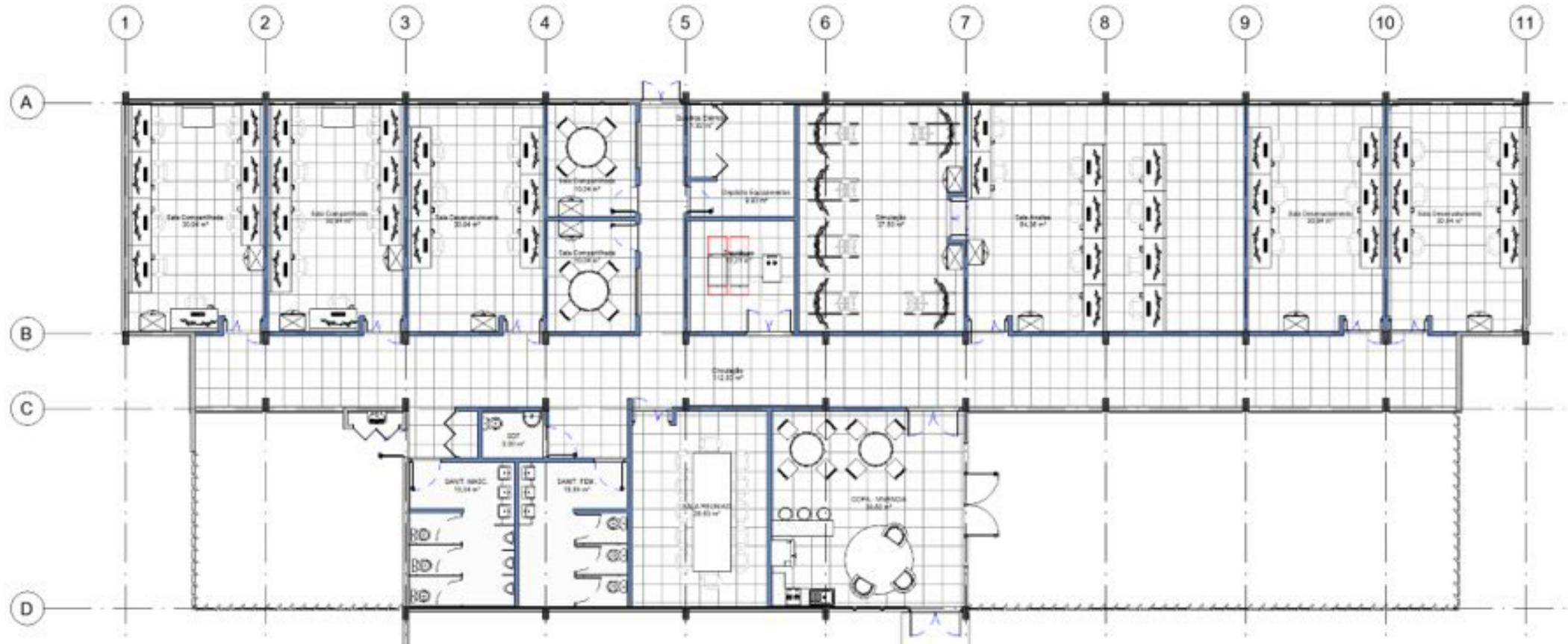
Planejamento



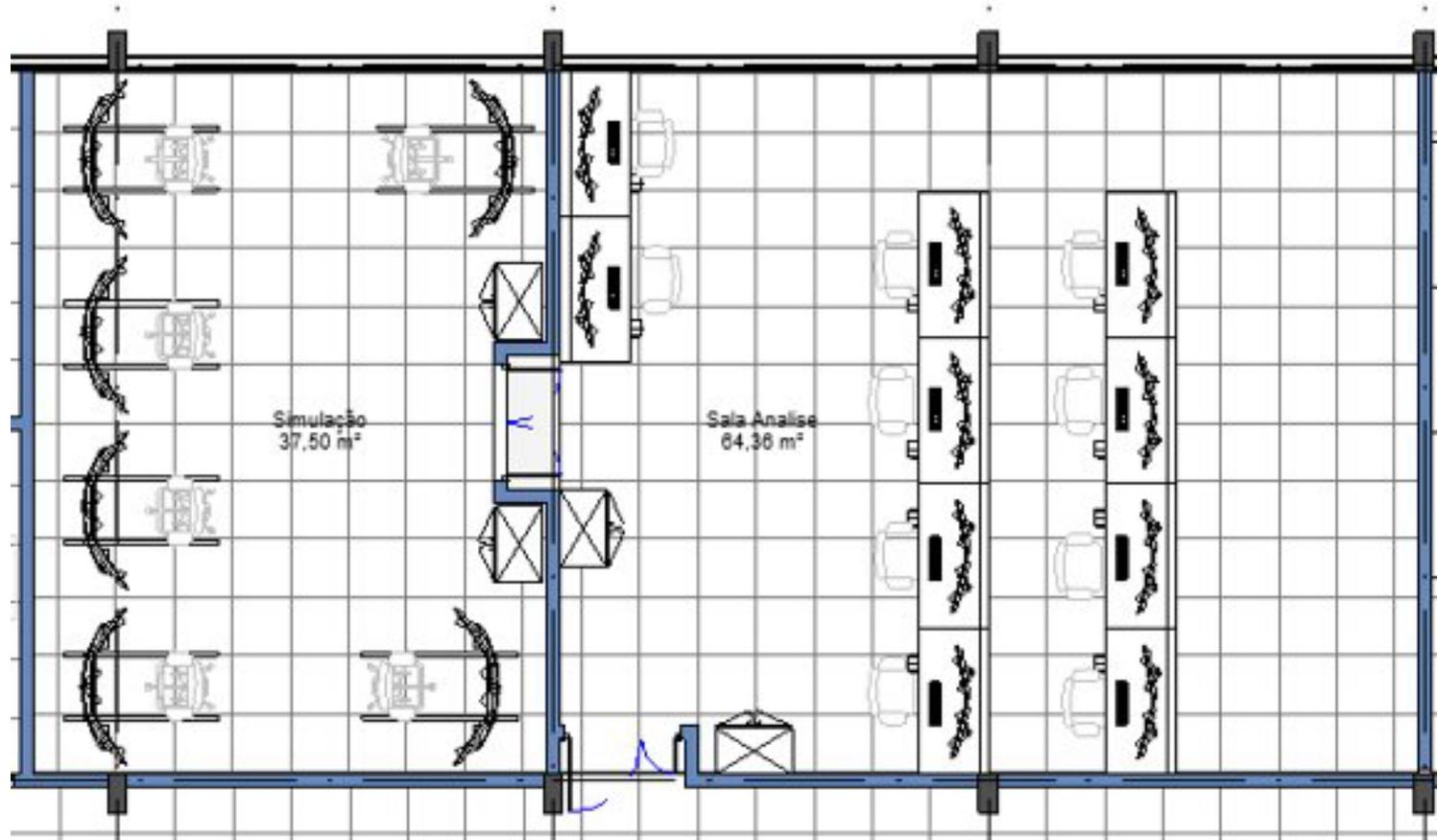
Novo laboratório de M&S



Novo laboratório de M&S

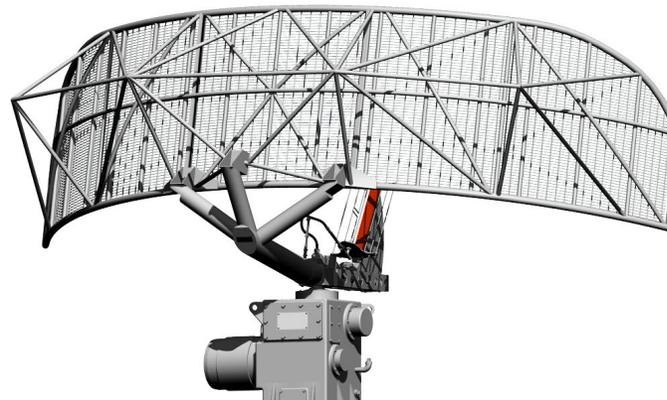


Novo laboratório de M&S



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)

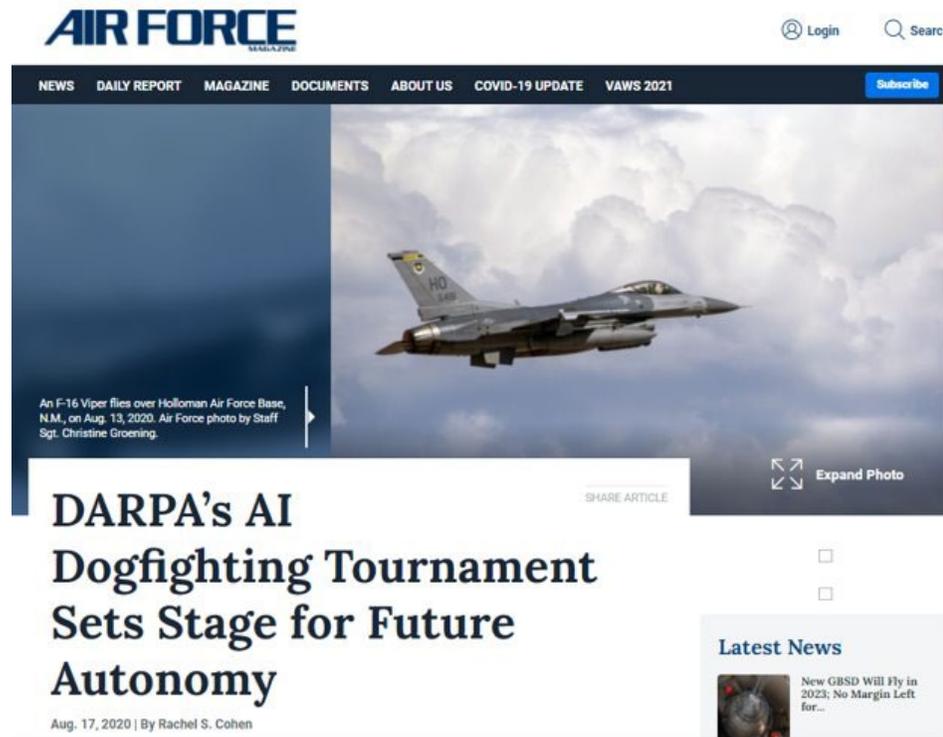
- Piloto
 - Piloto básico
 - Manobras defensivas
 - Navegação em rota
 - Voo de ala
 - Voo em órbita
 - Piloto de combate
 - Manobras de engajamento
 - Emprego de armamento
 - Nível de agressividade



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



The screenshot shows the Air Force Magazine website. At the top, there is a navigation bar with links for NEWS, DAILY REPORT, MAGAZINE, DOCUMENTS, ABOUT US, COVID-19 UPDATE, and VAWS 2021. A search bar and a login button are also present. The main content area features a large image of an F-16 Viper fighter jet in flight. Below the image, the article title is "DARPA's AI Dogfighting Tournament Sets Stage for Future Autonomy" by Rachel S. Cohen, dated August 17, 2020. A "SHARE ARTICLE" button and an "Expand Photo" option are visible. A "Latest News" section is partially visible at the bottom right.

<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



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)

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

Projeto x Serviço



Encomenda de Defesa Finep
Âmbito DCTA-IEAv
Responsabilidade IEAv

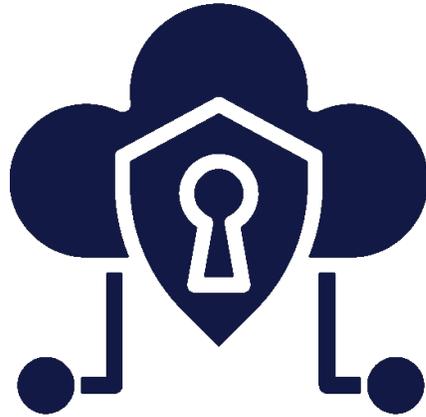


Simulation as a Service
Âmbito FAB
Gestão Sistêmica

Simulation as a Service (SimaaS)



**Multiple
Users**



**Cloud
Infrastructure**



**Simulation
Tools**



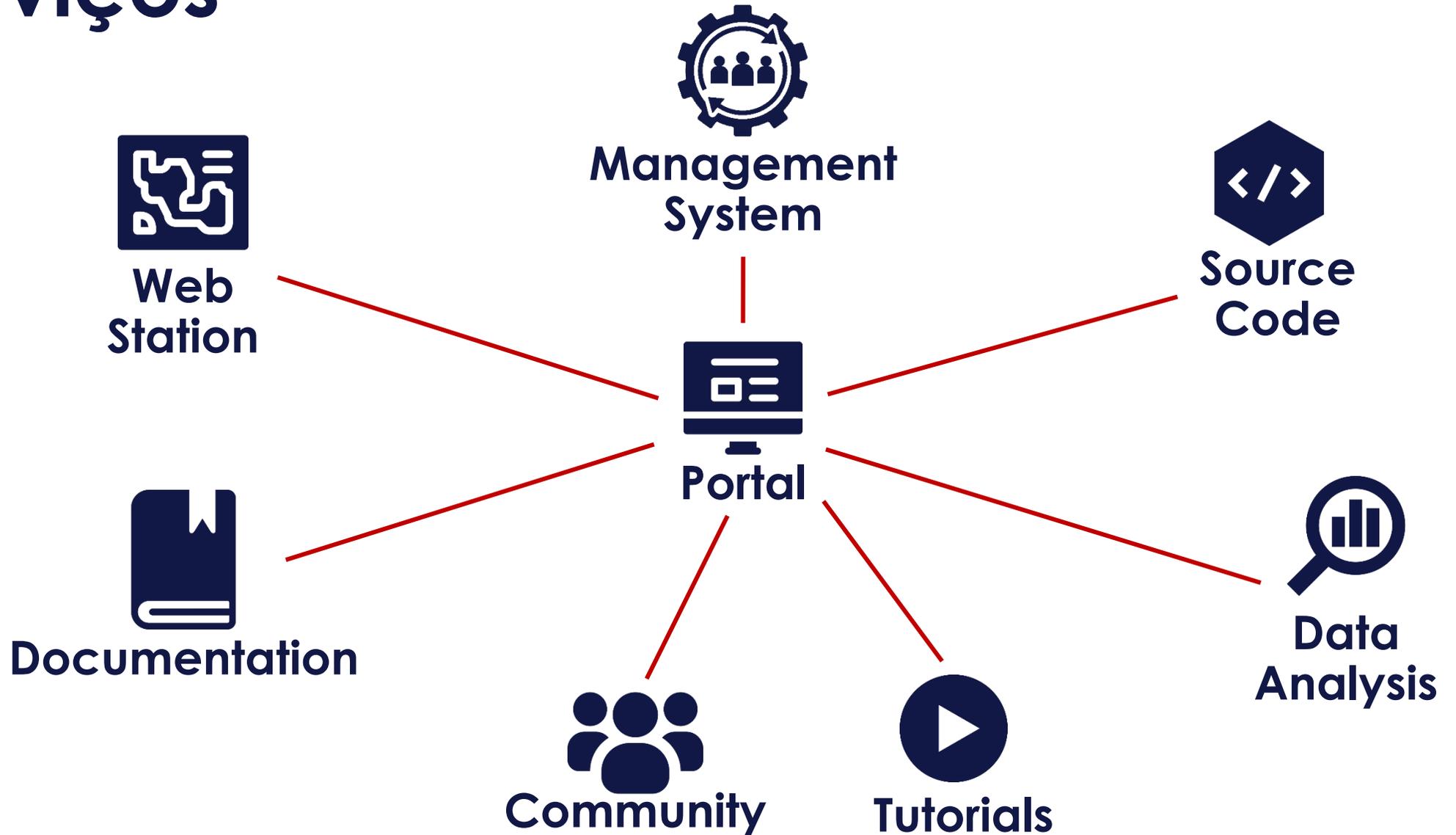
**Management
Tools**

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

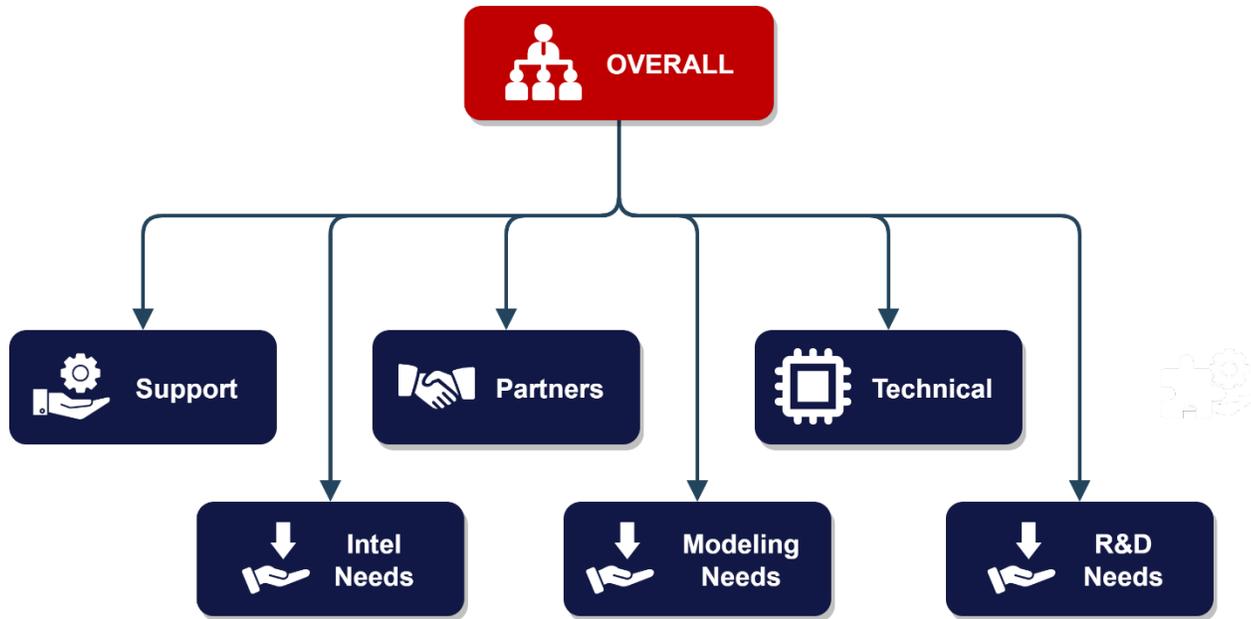


Serviços

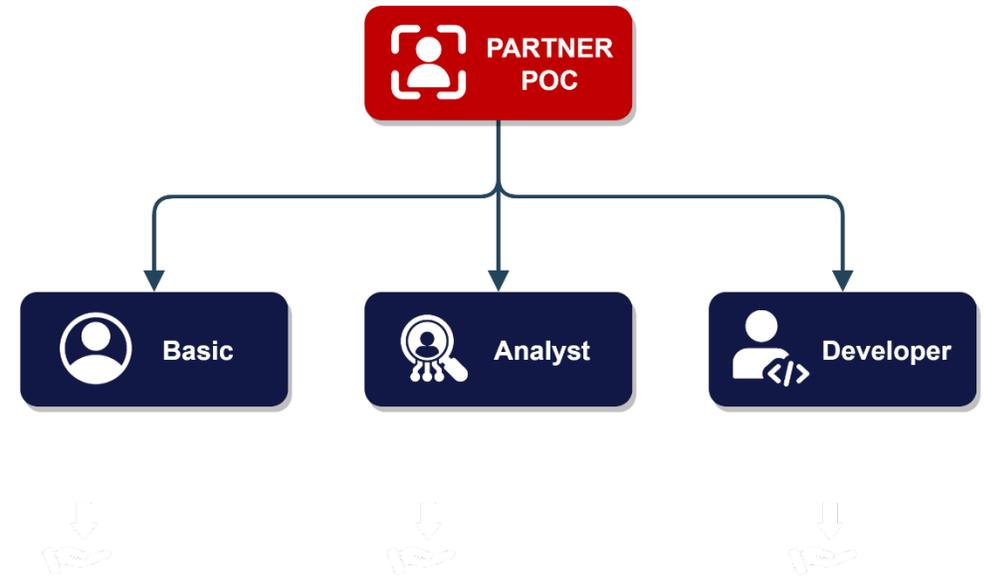


Usuários

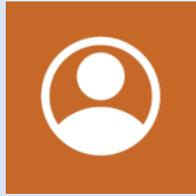
Managers



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



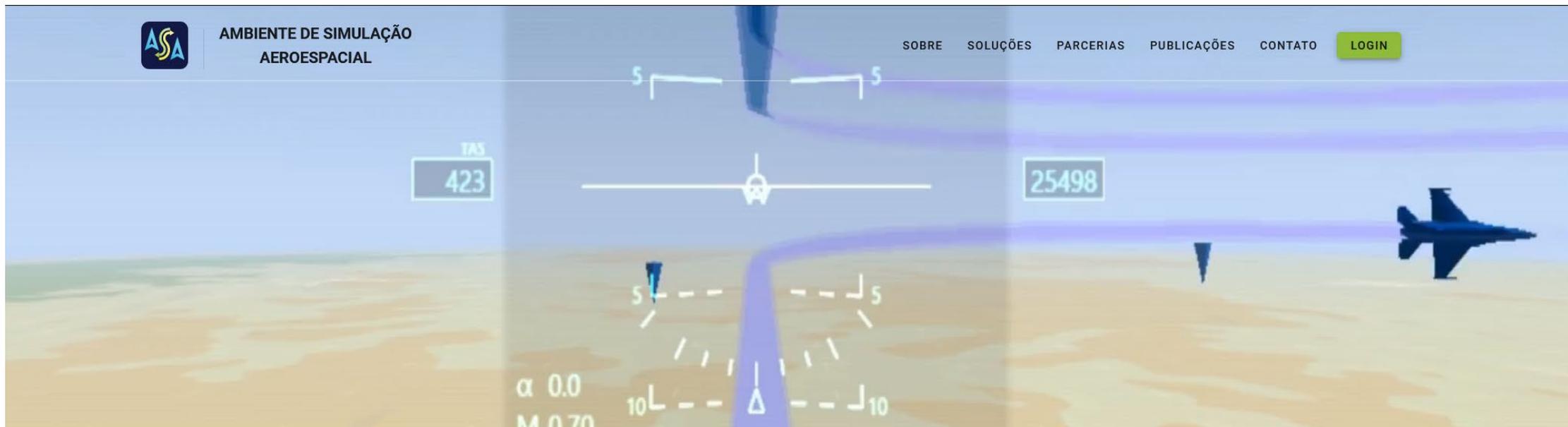
Web Station



Data Analysis Platform



Source Code Repo



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.

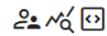
Modularidade

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.

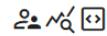
Tripla Hélice



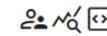
Community



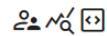
Credentials



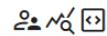
Data Analysis



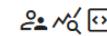
Documentation



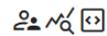
Management



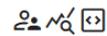
Tutorials



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

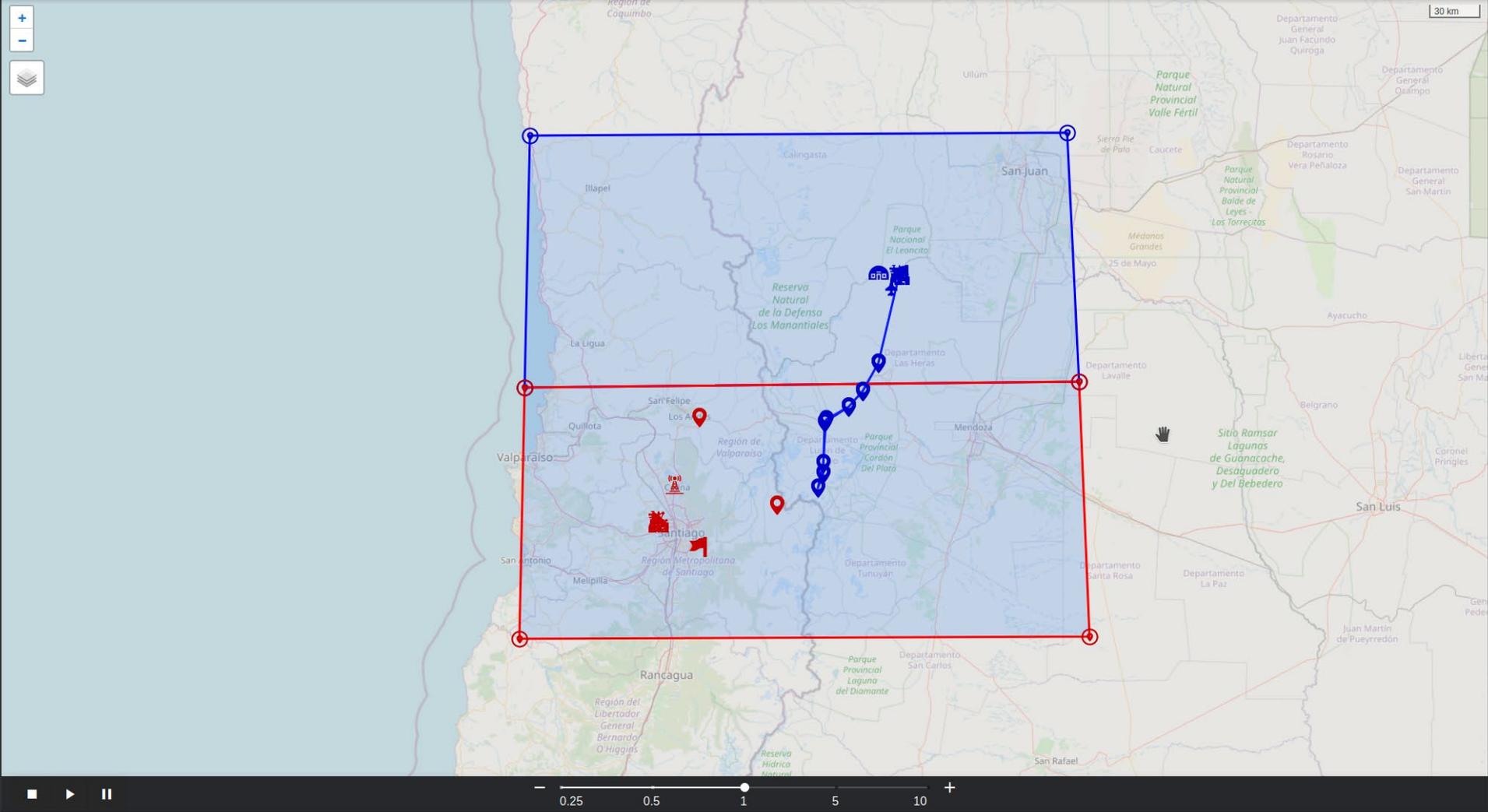
Durante o **desenvolvimento** de produtos, empresas usam simulação na prototipagem e avaliação de soluções em diferentes cenários. Para a Base Industrial de Defesa, o ASA oferece um framework de código aberto com diversos modelos nativos, que podem ser usados desde as etapas iniciais de concepção.

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*.



- 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



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

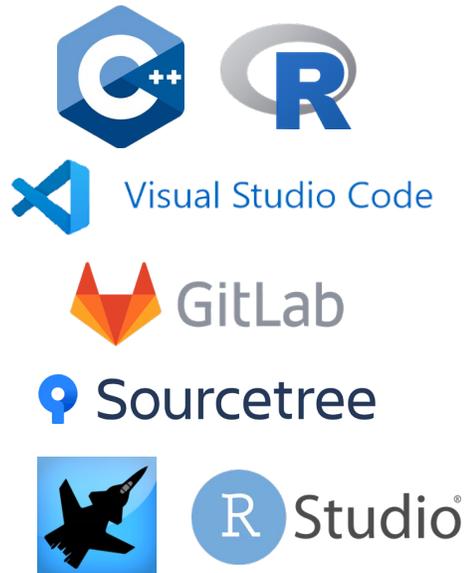
Max. range (nm)
150

CPU cores
1

Sim. start time (s)
61200

Ferramentas

Modelos



Framework



Web Station



Sistema de Gestão



Ciência de Dados



Suporte

VPN



Documentação

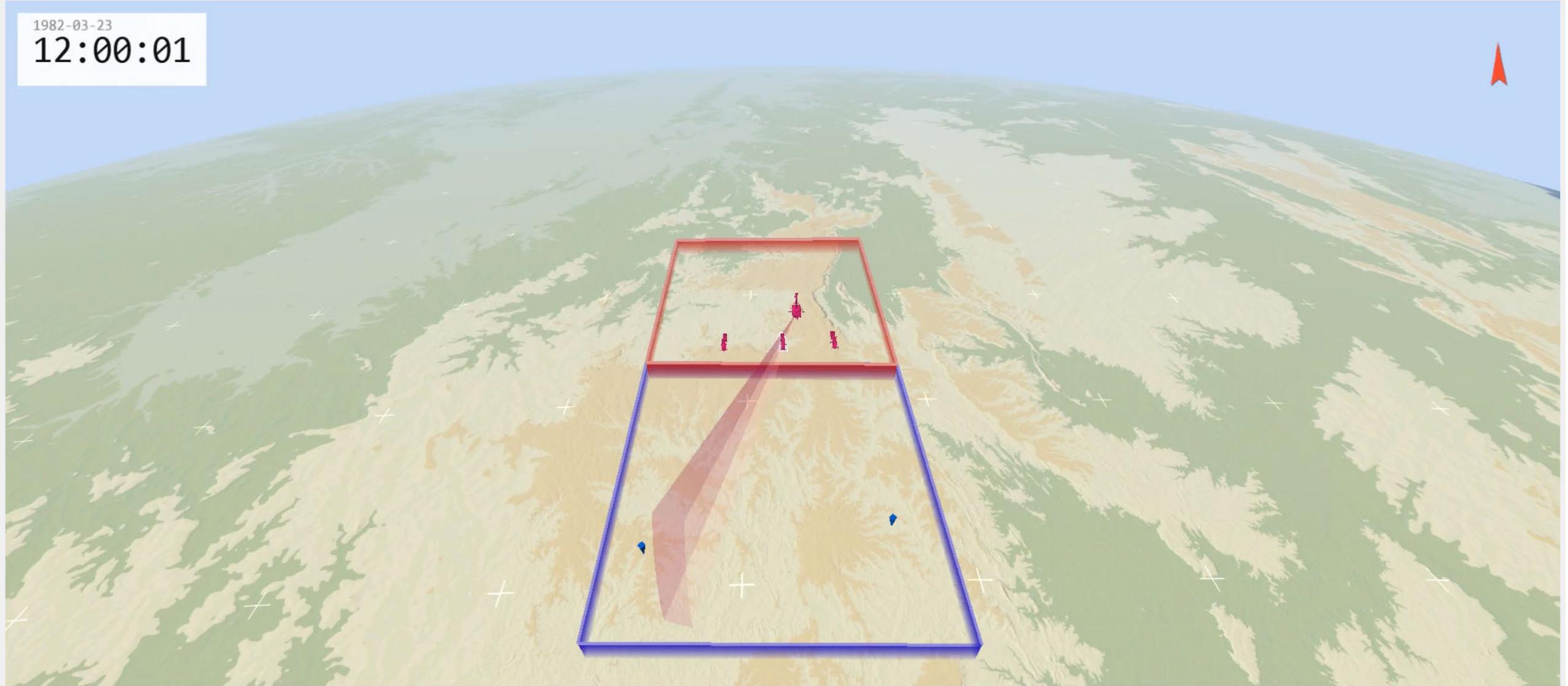


Tutoriais e Comunidade



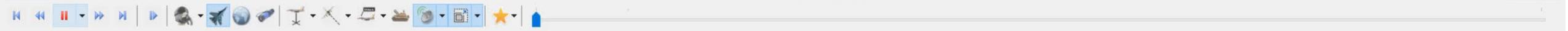


1982-03-23
12:00:01



Playback Control Bar

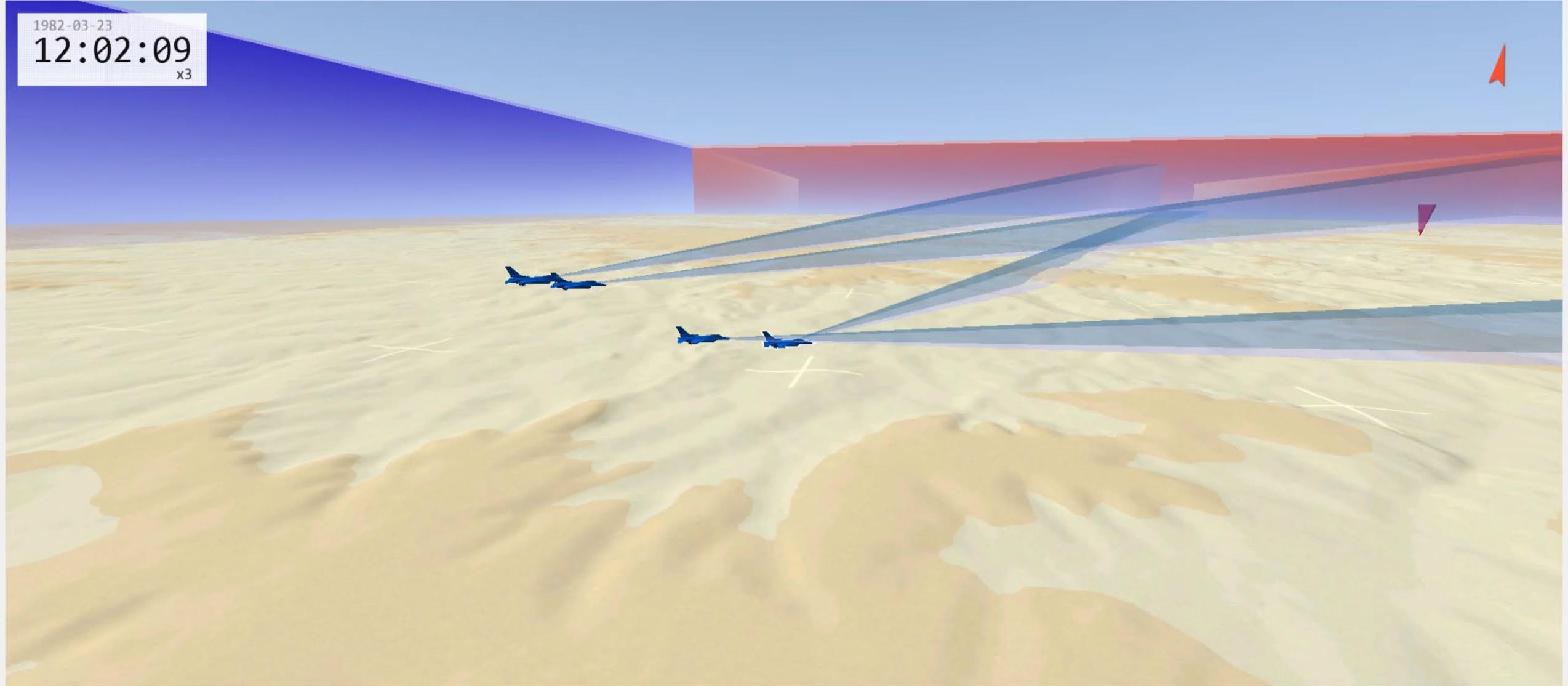
+00:00:00 -00:22:53





B01 / F-16C Fighting Falcon N/A (none)

1982-03-23
12:02:09
x3

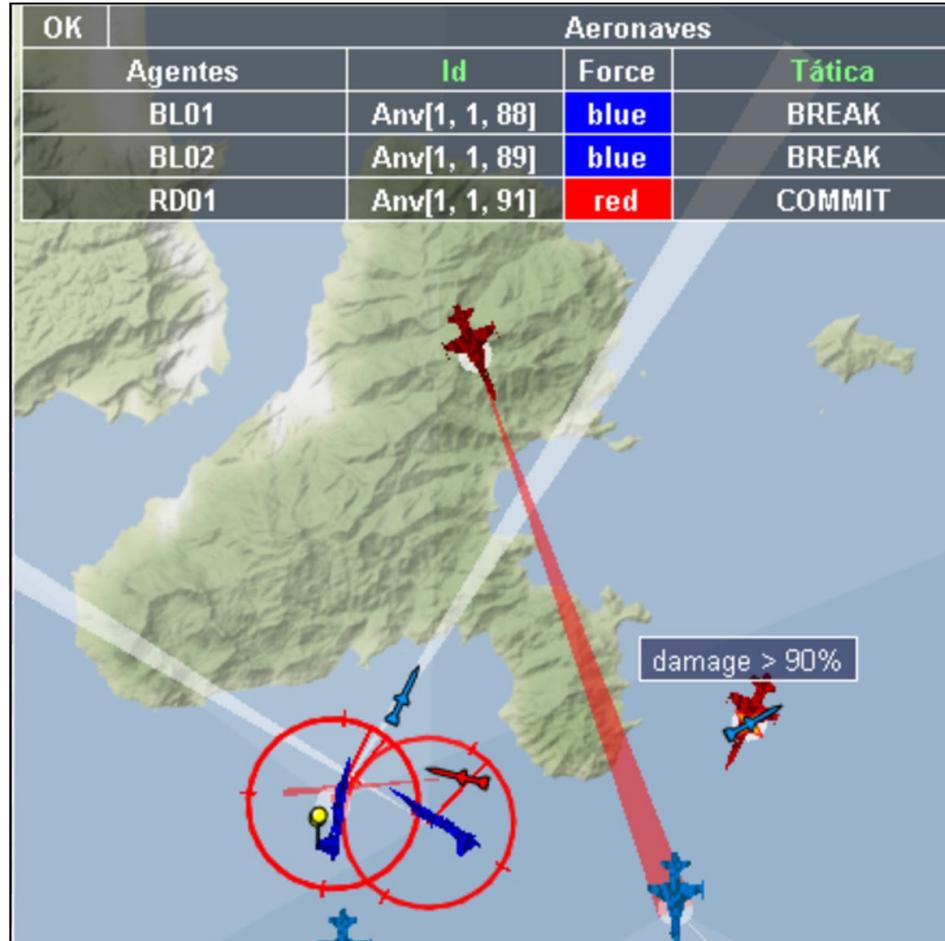


Playback Control Bar

+00:02:08 -00:07:23



Publicações

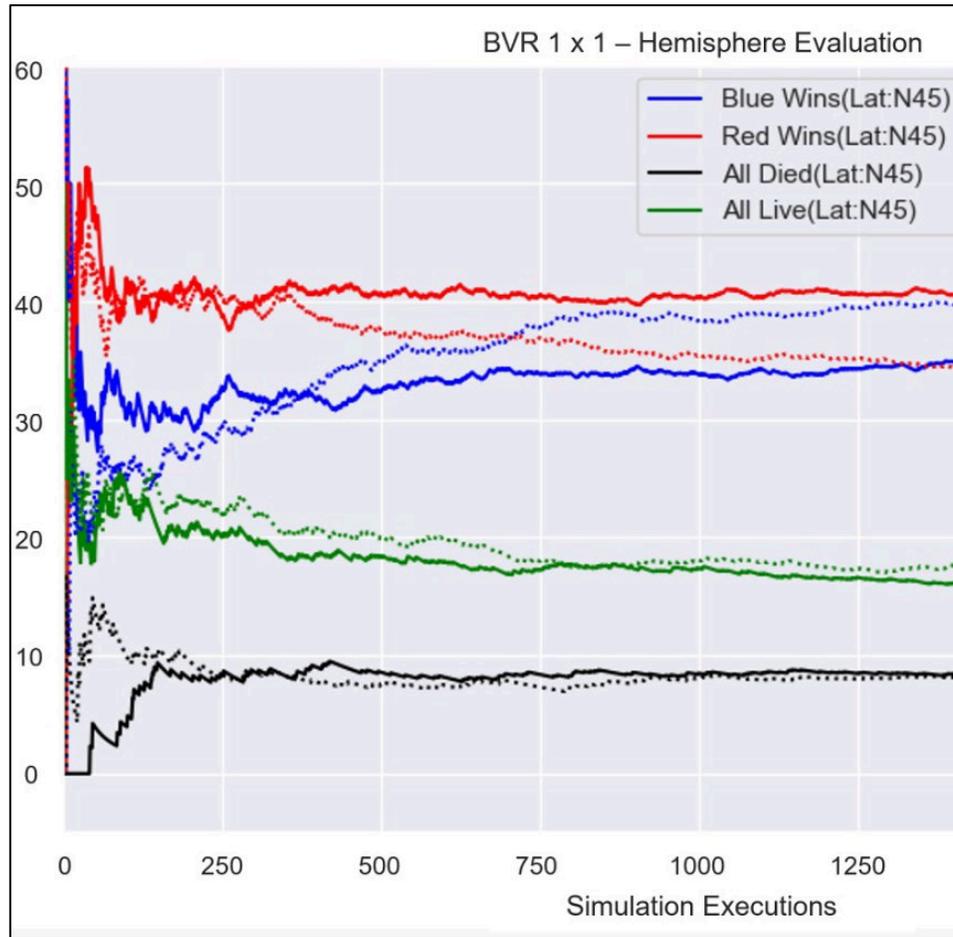


[Dantas et al., 2022] ASA: A Simulation Environment for Evaluating Military Operational Scenarios

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

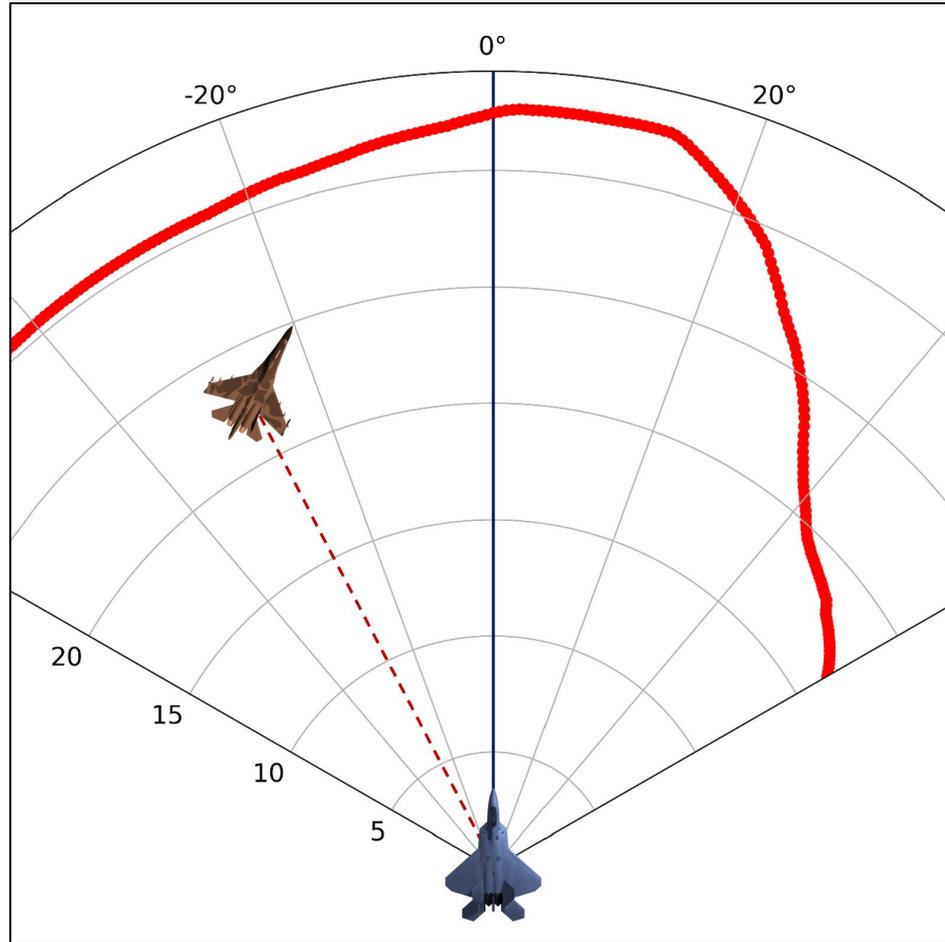


[Kuroswiski, 2020] Agent-Based Modeling and Simulation as a Support Tool for Air Defense Capabilities Assessment

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

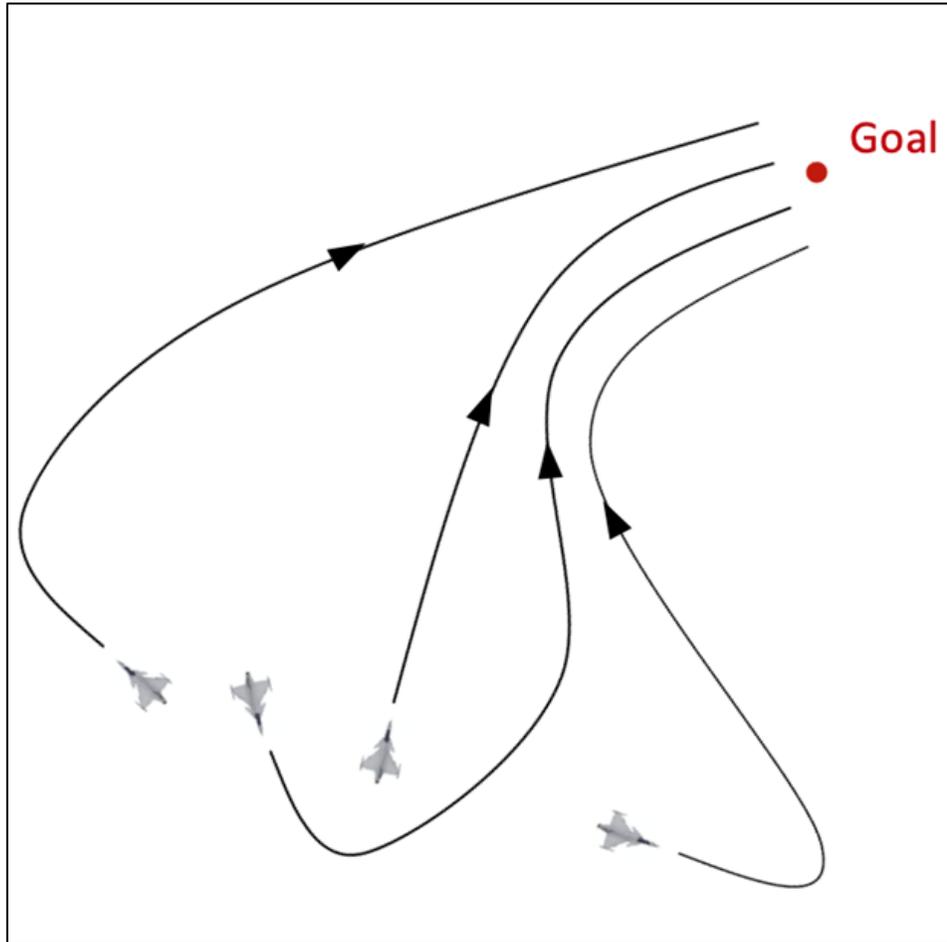


[Dantas et al., 2021] Weapon Engagement Zone Maximum Launch Range Estimation Using a Deep Neural Network

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

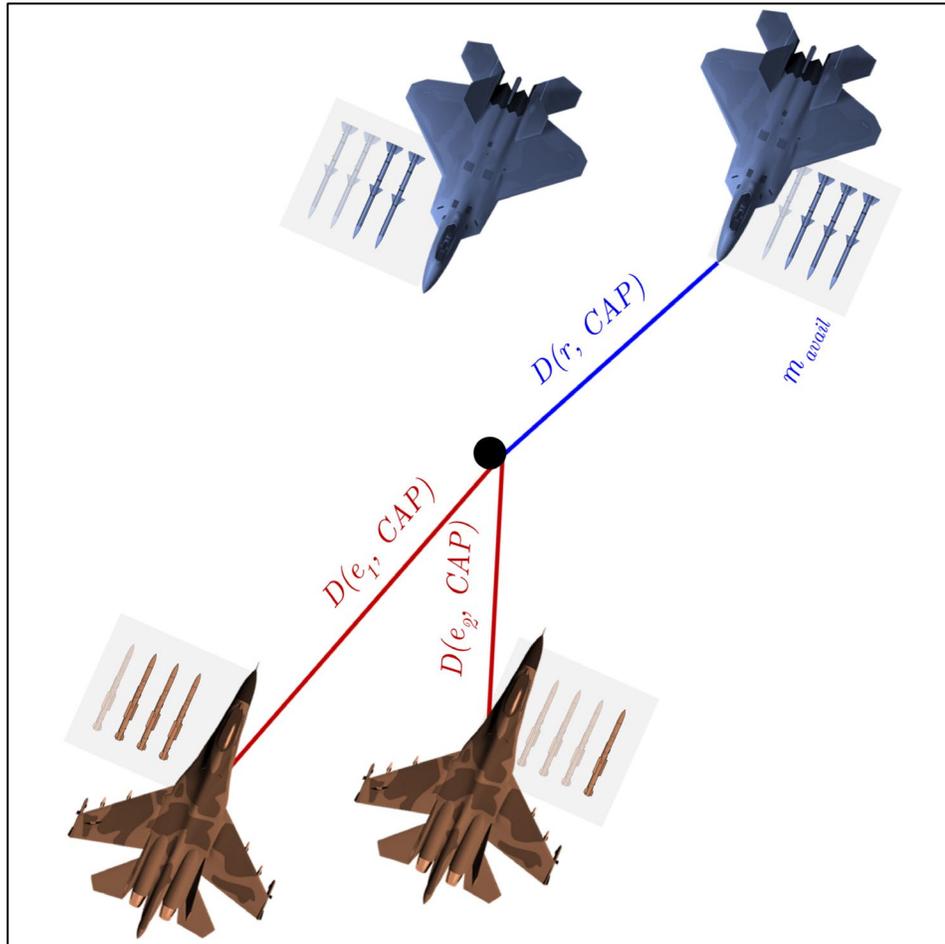


[Costa et al., 2021] Formation control method based on artificial potential fields for aircraft flight simulation

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.

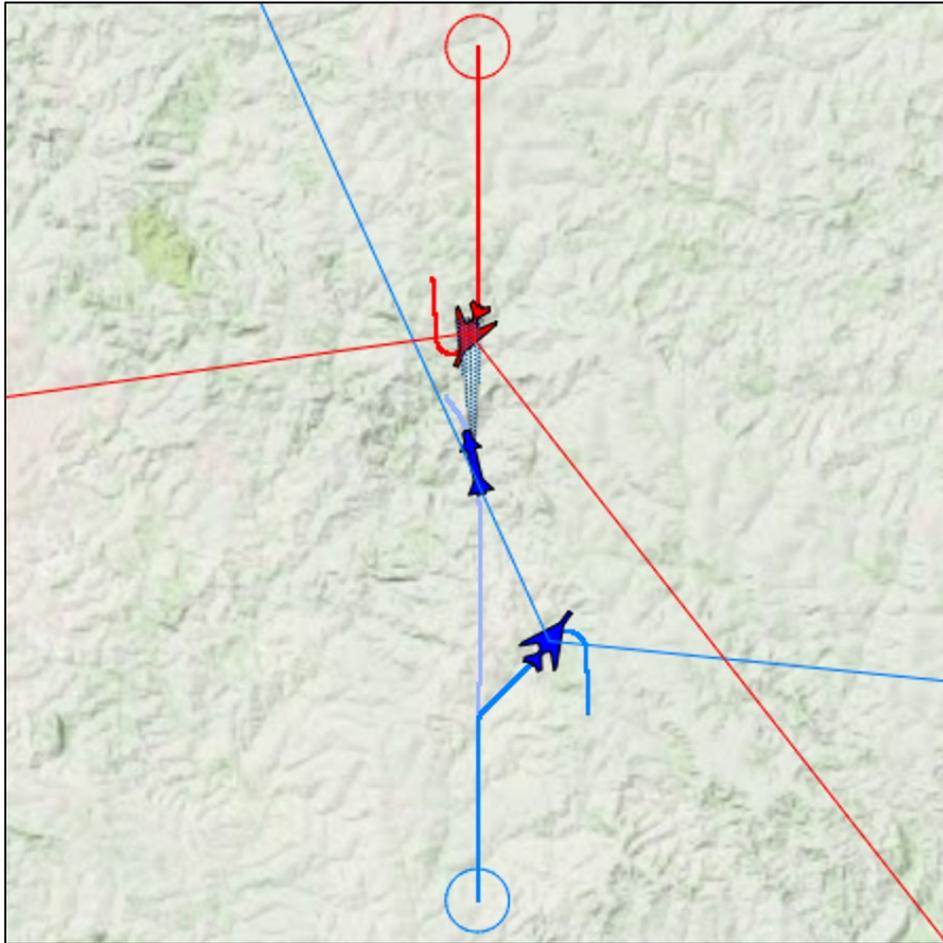
Publicações



[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

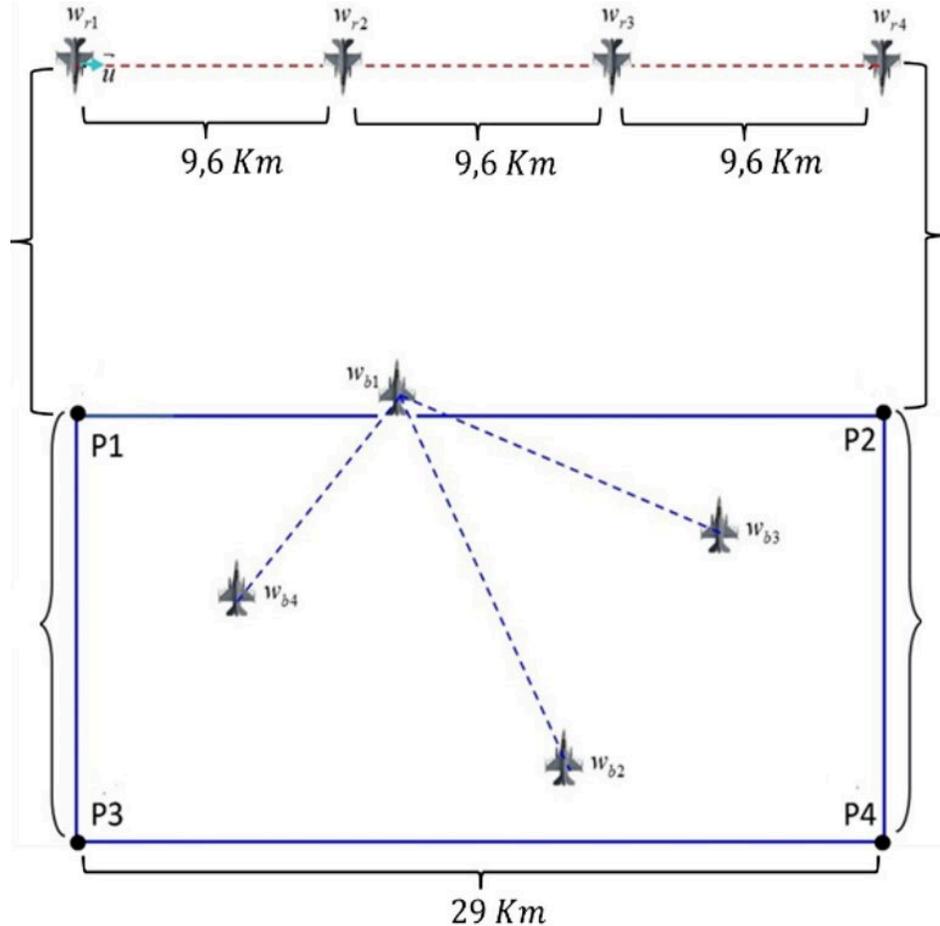


[Dantas et al., 2022] Machine Learning to Improve Situational Awareness in Beyond Visual Range Air Combat

IEEE Latin America Transactions

Os autores projetaram uma **rede neural multicamada** 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

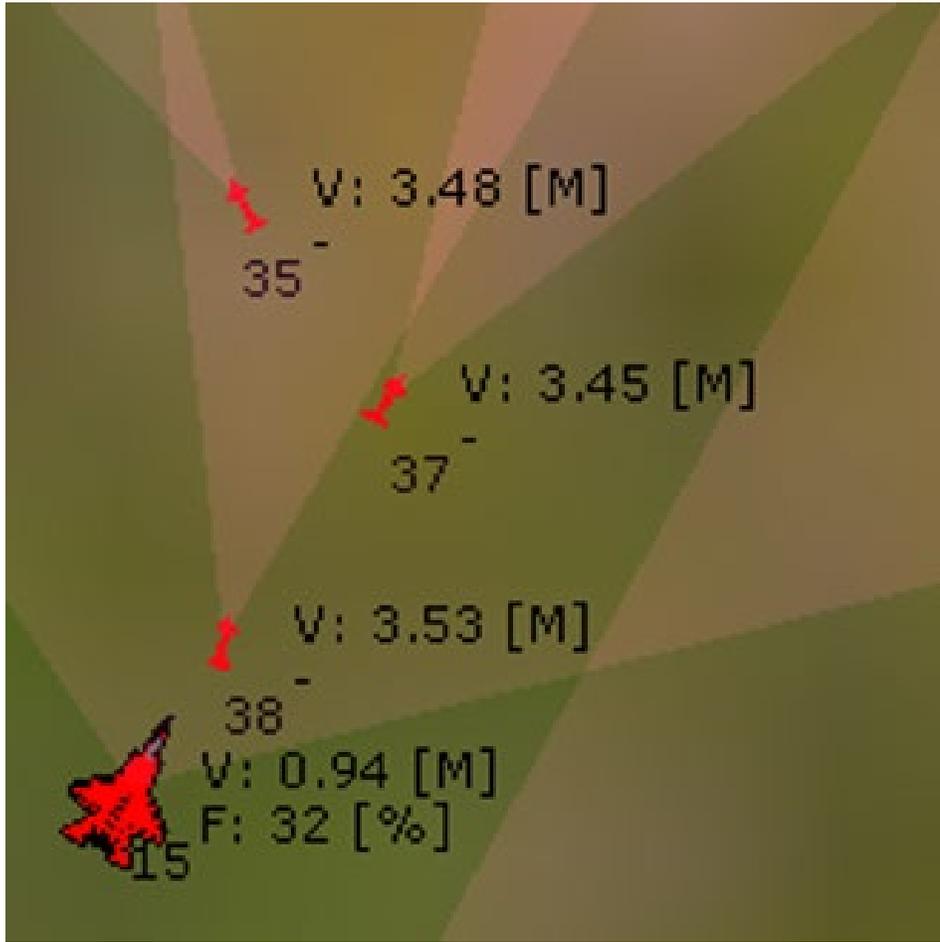


[De Lima Filho et al., 2022] Optimization of Unmanned Air Vehicle Tactical Formation in War Games

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.

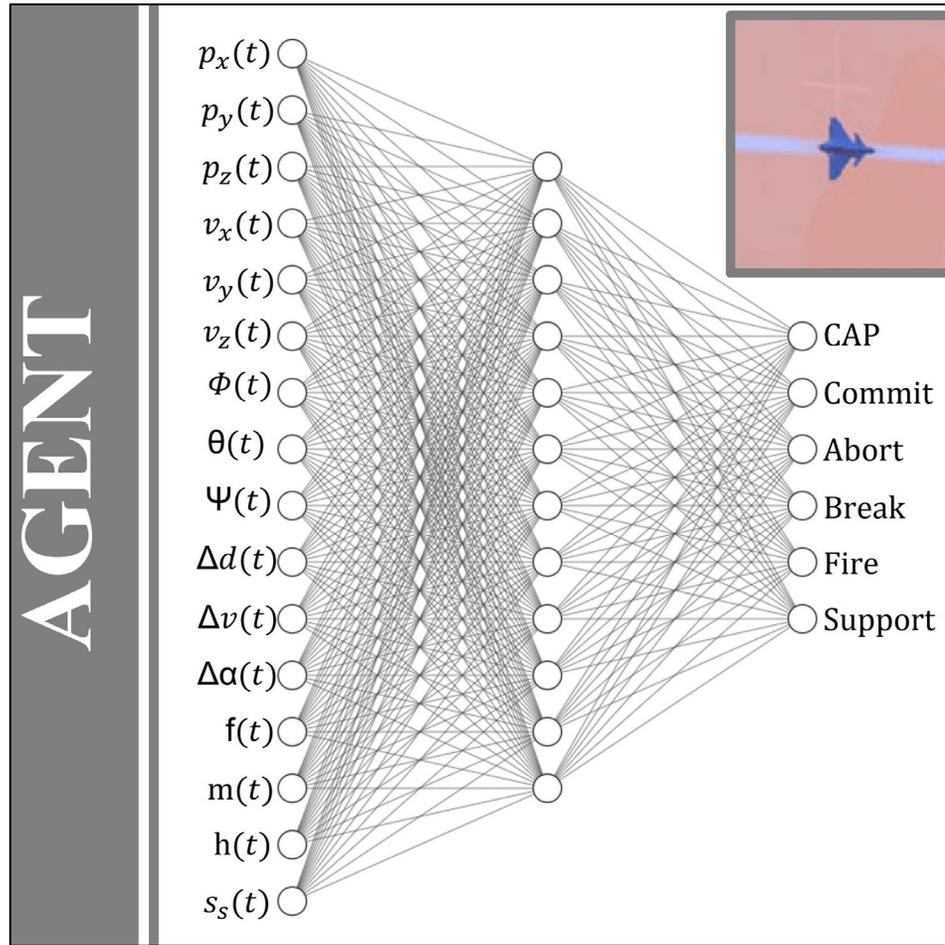
Publicações



[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

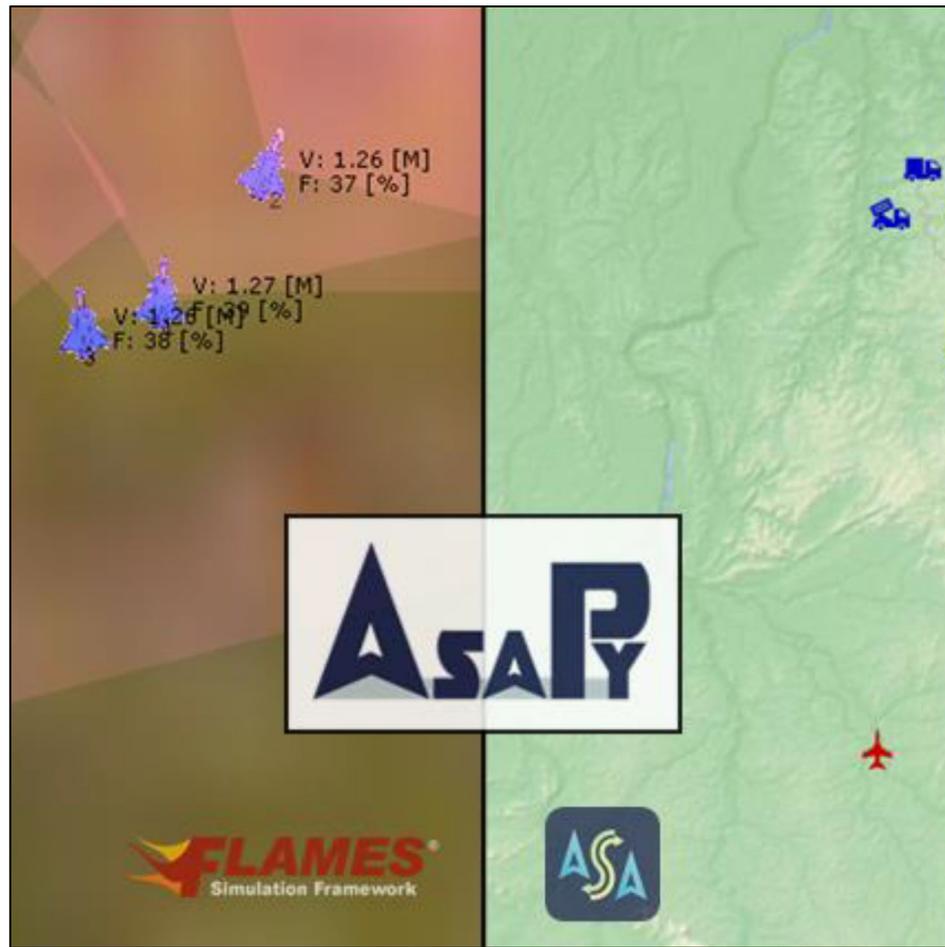


[Dantas et al., 2023] Autonomous Agent for Beyond Visual Range Air Combat: A Deep Reinforcement Learning Approach

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

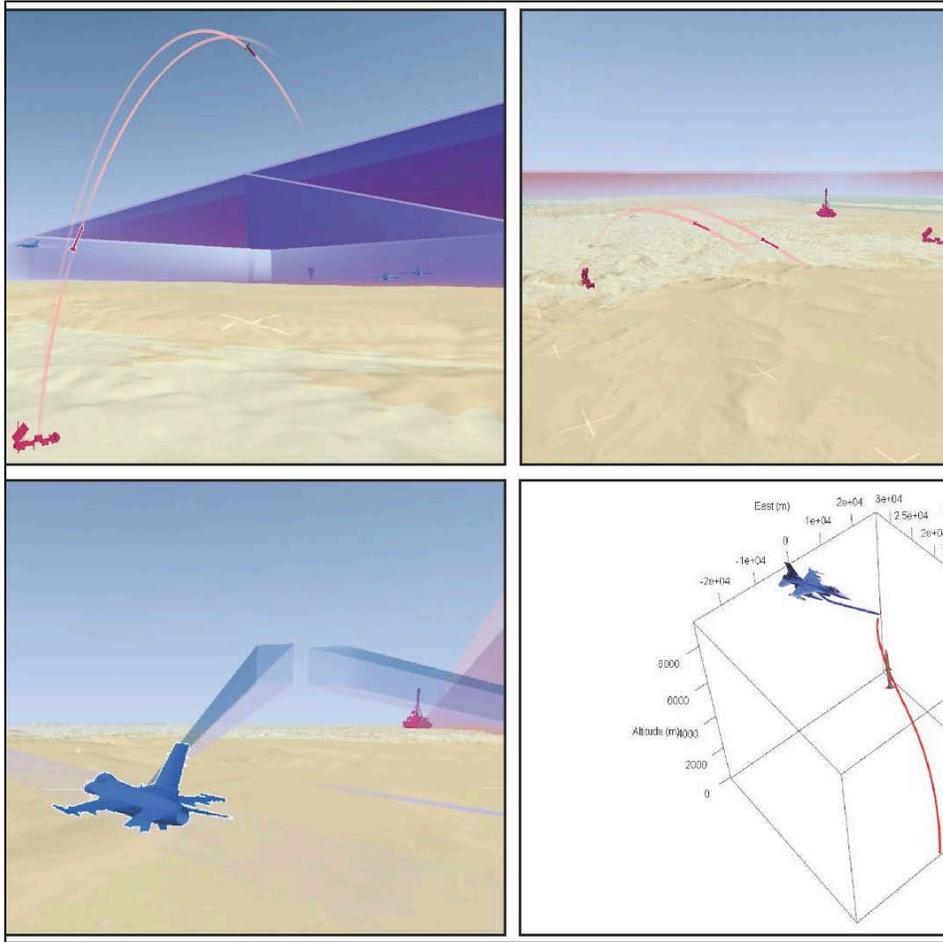


[Dantas et al., 2023] AsaPy: A Python Library for Aerospace Simulation Analysis

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

