



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

VITOR CORRADI SANTANA, Cap Av

**Integração de dados e simulação aplicadas à logística: o potencial do Anylogic na frota do
KC-390**

Rio de Janeiro
2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

VITOR CORRADI SANTANA, Cap Av

Integração de dados e simulação aplicadas à logística: o potencial do Anylogic na frota do
KC-390

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica como requisito parcial para
aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato
Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no
COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e
Inovação

Orientador: Bruno Bitencourt Carvalho de
Oliveira, Maj Int

Rio de Janeiro

2025

VITOR CORRADI SANTANA, Cap Av

Integração de dados e simulação aplicadas à logística: o potencial do Anylogic na frota do KC-390

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Bruno Bitencourt Carvalho de Oliveira, Maj Int - EAOAR

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Far - DIRSA

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

O gerenciamento eficiente de frotas de aeronaves é um desafio significativo para as forças aéreas ao redor do mundo, devido à complexidade e à interdependência dos processos envolvidos. Decisões baseadas apenas na experiência dos gestores tendem a ser limitadas frente à dinamicidade do ambiente operacional e logístico. Nesse cenário, a modelagem e simulação de sistemas complexos se apresentam como ferramentas eficazes para apoiar a tomada de decisão. Diante disso, propõe-se neste ensaio que a modelagem de um sistema de gerenciamento de frota de aeronaves KC-390 no software Anylogic aumenta a eficiência logística. Isso se dá em função do software permitir ao gerente de frota a tomada de decisão baseada em dados, por proporcionar a integração de uma ampla variedade de informações logísticas e operacionais das aeronaves. Por conseguinte, possibilita otimizar o uso de recursos disponíveis, gerando economia e contribuindo para a sustentabilidade logística. Conseqüentemente, o modelo proposto também favorece uma visão sistêmica da cadeia logística, viabilizando decisões mais precisas, informadas e eficazes. Ademais, o modelo pode ser adaptado e expandido por outros Esquadrões e Grupamentos Logísticos, inclusive podendo ser alimentado com informações em tempo real, promovendo padronização inteligente da gestão logística ao nível institucional, representando um avanço estratégico para a FAB ao promover eficiência, interoperabilidade e capacidade preditiva em suas operações.

Palavras-chave: frota de aeronaves; logística; modelagem de sistemas; simulação de sistemas.

1 INTRODUÇÃO

A complexidade das operações logísticas, com o passar dos anos, tem aumentado significativamente, uma vez que são impactadas por diversos fatores como as mudanças tecnológicas, a globalização dos negócios, a natureza da força de trabalho, fatores políticos e ambientais (Ingraham; Solomon; Lowe, 2005). Com isso, o gerenciamento eficiente de frotas de aeronaves se torna um desafio significativo para as forças aéreas ao redor do mundo.

Para esse gerenciamento, análises logísticas, que historicamente têm sido calculadas por algoritmos independentes e planilhas, costumam ser limitadas e focadas em um pequeno conjunto de variáveis e técnicas. Por não serem baseadas em simulação, não levam em consideração os impactos e a interdependência de todos os processos da estrutura logística (Ingraham; Solomon; Lowe, 2005).

Ainda neste sentido, algumas decisões tomadas por gerentes de frota, pessoas responsáveis por gerenciar o ambiente operacional e logístico de uma frota, acabam tendo como base apenas a experiência e conhecimento do gestor.

Esses mesmos tipos de dificuldades fazem parte da realidade dos gestores da FAB ao tomarem decisões com base em informações limitadas ou por métodos manuais e empíricos.

Em consonância com esses desafios, o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER) prevê em suas diretrizes para os macroprocessos de suporte que se deve “aprimorar a sustentabilidade logística do COMAER, por meio da melhoria da gestão de estoques e fluxo da cadeia de suprimentos, propiciando uma maior disponibilidade de meios e economia de recursos” (Brasil, 2024, p. 39).

Em um mundo complexo e de mudanças aceleradas, algumas decisões podem provocar reações que não foram previstas (Sterman, 2023). Como forma de solucionar esses problemas presentes no mundo real, surge a modelagem e simulação como resposta. Ao se construir um modelo, assume-se um processo de abstração, no qual são explorados os detalhes que são considerados relevantes para a resolução de determinado problema. Inicia-se explorando e entendendo a estrutura e o comportamento do sistema original, testando como ele se comporta em várias condições, analisando-o em diferentes cenários para buscar a solução esperada e trazê-la ao mundo real (Borschev, 2018).

Tendo em vista que a FAB está em processo de implantação da aeronave KC-390, uma aeronave moderna, com ampla variedade de recursos e sistemas, que produzem diversos dados e que supre numerosas ações de força aérea, a exploração dessas informações para tomada de decisões adequadas para sua operação trará vantagens logísticas para FAB.

Neste contexto, o software AnyLogic surge como uma opção para simulação da operação dessa frota de aeronaves, uma vez que é amplamente reconhecido por ser um programa de simulação robusto e flexível, que suporta e permite que sejam desenvolvidos modelos com metodologias de simulação modernas.

Desta forma, este ensaio defende que a modelagem de um sistema de gerenciamento de frota de aeronaves KC-390 no software Anylogic aumenta a eficiência logística.

Esta ideia encontra amparo no fato de que o uso deste software permite ao gerente a tomada de decisão baseada em dados ao integrar informações logísticas e operacionais. Além disso, a tese é suportada pelo fato de que essa modelagem possibilita otimizar o uso de recursos disponíveis, gerando economia e contribuindo para a sustentabilidade logística.

2 DESENVOLVIMENTO

A modelagem e simulação de sistemas complexos no AnyLogic podem ser realizadas utilizando três métodos de forma isolada ou conjunta, além de associadas a outras técnicas modernas. O primeiro é a dinâmica de sistemas (*System Dynamics – SD*), que permite entender o comportamento do sistema ao longo do tempo, sendo útil para analisar tendências macro, como prever a disponibilidade da frota no longo prazo. A segunda, modelagem a eventos discretos (*Discrete Events – DES*), foca nas etapas que acontecem em momentos específicos, como quando uma aeronave chega para manutenção, executa um serviço ou retorna para o voo. Por fim, a modelagem baseada em agentes (*Agent-based Modeling – ABM*), que representa os comportamentos dos atores envolvidos e como eles interagem com o ambiente, podendo retratar a dinâmica interna da aeronave, o comportamento dos pilotos, equipes de solo, entre outros (Borschev, 2018).

2.1 DECISÃO BASEADA EM DADOS

A tomada de decisão visa identificar e avaliar alternativas de um problema e encontrar a solução ótima ou mais satisfatória. Os problemas podem ser de vários tipos e envolverem um ou diversos atores, e a tomada de decisão pode utilizar uma gama de técnicas.

Com a abundância de dados gerados diariamente em todas as áreas, os tomadores de decisão têm aprimorado sua capacidade de coletar, armazenar, acessar e analisar essas informações. Agora, mais do que nunca, os dados são mais bem utilizados e estão no centro

do processo de tomada de decisão. Como consequência, este tema vem recebendo atenção considerável tanto de pesquisadores quanto da indústria (Lu *et al.*, 2019).

A utilização estratégica dos diversos dados atualmente disponíveis na FAB — especialmente aqueles oriundos da operação do KC-390, como a localização das aeronaves, os itens em estoque, suas taxas de falhas e tempos de reparo, os ciclos de manutenção, e os tempos de solo específicos dessa plataforma — é fundamental para o apoio à tomada de decisões. Para isso, torna-se essencial integrar essas informações de forma eficiente, promovendo uma visão sistêmica e atualizada que favoreça o planejamento, a alocação de recursos e a melhoria contínua da operação.

A exploração dessas informações na logística aérea pode ser potencializada por métodos computacionais, como modelos matemáticos e técnicas analíticas, que ajudam a identificar soluções mais adequadas a diferentes contextos operacionais. No entanto, muitos desses modelos exigem simplificações para lidar com a complexidade dos sistemas reais, o que limita sua capacidade de representar variáveis críticas, incertezas e dinâmicas presentes em operações reais, sendo mais eficazes em cenários estáticos, que não apresentam mudanças, e não em situações reais (Hertz *et al.*, 2014).

No caso da frota do KC-390, a abundância de dados gerados por sensores, sistemas de bordo e ciclos operacionais pode ser integrada em um modelo criado no AnyLogic que simule a operação dessa frota e sua cadeia logística, desde a movimentação de materiais até a disponibilidade de aeronaves para missões estratégicas. Assim, permite aos gestores prever falhas, identificar gargalos logísticos, antecipar demandas e planejar intervenções com maior precisão, superando parte dessas limitações.

Neste sentido, conforme Hertz *et al.* (2014), a simulação proporciona a oportunidade de capturar a dinâmica do ciclo de vida de diversos sistemas. Nela é possível ver o efeito de mudanças nos diversos elementos presentes para identificar a melhor alternativa. Alterar a posição de estoque de determinados itens pode gerar impactos significativos na cadeia logística.

Da mesma forma, a decisão de reduzir ou aumentar o número de aeronaves KC-390 para cumprir uma escala de voo em um exercício operacional influencia diretamente o planejamento e a execução das atividades. Além disso, é essencial definir com precisão que itens adquirir e quantas unidades durante um processo de compra, a fim de garantir eficiência e disponibilidade operacional.

Assim, conforme Khan (2024), as empresas e governos que extraem entendimentos dos dados têm uma vantagem competitiva distinta. Por conseguinte, ter acesso a dados e

análises de qualidade permite tomar decisões estratégicas melhores e mais bem fundamentadas. Além disso, o uso de dados pode permitir reduzir riscos e gerenciar contratempos, já que a simulação permite a avaliação de diversos cenários e condições, incluindo as incertezas envolvidas e fatores externos que podem afetar o sistema, o que viabiliza a identificação antecipada de possíveis falhas.

Deste modo, a aplicação do AnyLogic à frota do KC-390 não apenas integra variáveis, ela transforma a gestão logística em um processo inteligente, adaptável e orientado por dados, conforme requerem as missões críticas da Força Aérea Brasileira, contribuindo na melhor tomada de decisão.

2.2 OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS

Gerenciar de forma eficiente os recursos disponíveis é um dos principais desafios enfrentados por quem administra frotas de aeronaves da Força Aérea Brasileira, especialmente a nova e complexa aeronave KC-390, cujo desempenho logístico exige um modelo de gestão dinâmico, integrado e orientado por dados.

Com a ampla gama de informações da cadeia logística e operacional da aeronave KC-390, é possível utilizar o software AnyLogic para explorar diversas abordagens e soluções mais eficazes, maximizando a eficiência dos processos e minimizando os custos. Por ser um sistema versátil e robusto, permite simulação multimétodo e integração com outros sistemas.

No caso da frota do KC-390, uma das integrações promissoras é com o Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System – GIS*), que permite associar dados logísticos da aeronave a mapas geográficos, otimizando a visualização de rotas operacionais, bases aéreas e parques de material.

Esse método foi visto em um estudo conduzido por Gong, Zhou e Ye (2019), que comprovou que a simulação multiagente GIS é eficiente e eficaz, devido à plataforma de simulação desenvolvida poder otimizar o desenvolvimento da operação de distribuição logística ferroviária da China e contribuir para a evolução de todo o sistema.

Aplicando essa lógica à experiência operacional com os KC-390, a simulação com GIS permite associar dados como posições de aeronaves, disponibilidade de peças, onde estão disponíveis, capacidades logísticas e da aeronave e prioridades operacionais, criando um modelo espacial detalhado da cadeia logística dessa aeronave estratégica. Com isso, permite ao gestor um melhor entendimento desta cadeia e identificação precisa dos pontos que carecem de melhorias, otimizando os processos.

Simulações permitem avaliar, por exemplo, se é mais vantajoso manter itens centralizados em Parques de Material ou distribuí-los entre Unidades. Também é possível calcular o número ideal de aeronaves para determinadas missões, evitando deslocamentos desnecessários, otimizando os recursos.

Embora o estudo de Bounadi, Boussalia e Bellaouar (2023) envolva um provedor logístico terrestre, as lições aprendidas — como a possibilidade de reduzir meios e ainda assim ampliar a eficiência — podem ser aplicadas à realidade da FAB, especialmente na gestão da frota do KC-390. As simulações demonstraram que o uso do GIS proporcionou um modelo mais representativo da realidade e com maior acurácia, no qual uma redução expressiva da frota de caminhões maximizou a utilização dos meios. Sendo assim, haveria uma grande redução de custos para o provedor.

De forma paralela, um modelo criado para a cadeia logística dos KC-390 pode proporcionar otimização em pontos em que inicialmente não são percebidas possibilidades de diminuição ou realocação de meios, mas que com essa visualização permitem redução de custos e melhorias nas capacidades logísticas.

A Amazon, por exemplo, utilizou o AnyLogic para reduzir distâncias e tempos de entrega em sua cadeia logística, sem aumentar os recursos disponíveis, melhorando significativamente a eficiência das entregas (Simulation-driven [...], [202-]).

De maneira semelhante, a FAB pode empregar o software para aprimorar o planejamento de rotas e a distribuição de suprimentos das aeronaves KC-390.

O software também permite uso de outros métodos para otimização dos sistemas, que possibilitam análises de probabilidade para testar diferentes cenários, como o de risco logístico, ao analisar flutuações de demanda ou falhas de abastecimento, viabilizando ao gestor antecipar falhas e ajustar os recursos com precisão.

No caso do KC-390, a simulação permite antecipar demandas específicas como peças de reposição de sistemas embarcados, considerando taxas reais de falhas, ciclos de manutenção e prioridades operacionais, o que viabiliza aquisições mais precisas e sustentáveis. Isso decorre do fato de ser possível simular e analisar a utilização dos itens disponíveis, taxas de falhas, quantidades, ciclos de manutenção, usabilidade, impactos da falta de itens, tempos para reposição, entre outros fatores.

Assim, possibilita ao gestor de frota utilizar métodos para obter as melhores condições para cada situação, atingindo pontos ótimos e reduzindo custos. Portanto, a modelagem no AnyLogic permite otimizar o uso de recursos disponíveis, gerando economia e contribuindo para a sustentabilidade logística da frota do KC-390.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade das operações logísticas de uma frota de aeronaves mostra-se um desafio significativo para os gestores de frotas de uma força aérea. Decisões que não consideram os impactos e interdependências de todos os processos da estrutura logística ou são baseadas apenas em experiência ou conhecimento do gestor mostram-se limitadas.

Para solucionar problemas reais de um mundo complexo e de mudanças aceleradas, a simulação e modelagem de sistemas surgem como uma resposta. Neste contexto, o software AnyLogic aparece como uma ferramenta robusta e potente, permitindo modelar utilizando vários métodos, como dinâmica de sistemas, eventos discretos e baseada em agentes, além de possibilitar associação a outros sistemas modernos. Assim, torna-se viável a construção de um modelo para gerenciamento logístico da frota de aeronaves KC-390 que incluem uma ampla gama de informações.

Desta forma, este ensaio defendeu que a modelagem de um sistema de gerenciamento de frota de aeronaves KC-390 no software Anylogic aumenta a eficiência logística.

Conforme visto, a tese é suportada por possibilitar ao gestor de frota utilizar todos os dados envolvidos na operação e cadeia logística dessas aeronaves para tomar a melhor decisão, sem que tenha que se basear apenas em informações isoladas ou experiências pessoais. A associação de diversas informações permite que seja observado o real impacto ao se alterarem valores dentro de toda a cadeia logística. Posto isso, identifica-se onde estão os gargalos e quais as melhores estratégias.

Além disso, a tese também é sustentada pelo fato de que esta modelagem possibilita otimizar o uso de recursos disponíveis, gerando economia e contribuindo para a sustentabilidade logística. Isso se deve ao fato de que o software permite a integração com outros sistemas como GIS, que permitem analisar o impacto da alteração de fatores que envolvem a integração de dados com localização e realizar análises de probabilidade, para testar diversas condições e probabilidades previamente definidas, visando compreender riscos e variabilidades na cadeia logística.

Por fim, o modelo proposto também favorece uma visão sistêmica da cadeia logística, viabilizando decisões mais precisas, informadas e eficazes. Ademais, o modelo pode ser adaptado e expandido por outros Esquadrões e Grupamentos Logísticos, inclusive podendo ser alimentado com informações em tempo real, promovendo padronização inteligente da gestão logística ao nível institucional, representando um avanço estratégico para a FAB ao promover eficiência, interoperabilidade e capacidade preditiva em suas operações.

REFERÊNCIAS

- BORSHCHEV, Andrei. **The big book of simulation modeling**: multimethod modeling with AnyLogic 8. 2. ed. Oakbrook Terrace, IL: The AnyLogic Company, 2018.
- BOUNADI, Nassima; BOUSSALIA, Serial Rayene; BELLAOUAR, Ahmed. Optimizing Algerian company's delivery fleet with agent-based model in AnyLogic. **Transport and Telecommunication**, Riga, v. 24, n. 4, p. 434–442, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ttj-2023-0034>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria GABAER N° 1.453/GC3, de 5 de junho de 2024. Aprova o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 107, p. 87-137, 2024. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=37409&tipoMidia=0>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- GONG, Weiwei; ZHOU, Lingyun; YE, Fei. Multi-agent GIS simulation for railway logistics optimization. *In*: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION ENGINEERING (ICITE 2019), 2019, Singapore. **Proceedings** [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2019. p. 64–68. DOI: 10.1109/ICITE47735.2019.8880169. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8880169>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- HERTZ, Philipp; CAVALIERI, Sergio; FINKE, Gandolf R.; DUCHI, Aldo; SCHÖNSLEBEN, Paul. A simulation-based decision support system for industrial field service network planning. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, v. 90, n. 1, p. 69–84, 2014. DOI: 10.1177/0037549713512685. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0037549713512685>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- INGRAHAM, Lorie; SOLOMON, Cheri; LOWE, Brandon. Analysis and improvement of enterprise logistics processes using simulation-based methodologies. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 37., 2005, Orlando, FL. **Proceedings** [...]. [S.l.]: IEEE, 2005. p. 690–697. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1609219>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- KHAN, Asif Haider. Effective decision making using data analytics. **International Journal of Scientific Research in Engineering and Management**, v. 8, n. 4, p. 1–35, abr. 2024. ISSN 2582-3930. DOI: 10.55041/IJSREM32598. Disponível em: <https://ijsrem.com/volume08issue04april2024/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- LU, Jie; YAN, Zheng; HAN, Jialin; ZHANG, Guangquan. Data-Driven Decision-Making (D3M): Framework, methodology, and directions. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence**, v. 3, n. 4, p. 286–299, ago. 2019. DOI: 10.1109/TETCI.2019.2915813. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8732997>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- SIMULATION-DRIVEN solution for fulfillment logistics evaluation. [S.l.]: **AnyLogic**, [202-]. Disponível em: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/simulation-driven-solution-for-fulfillment-logistics-evaluation/>. Acesso em: 13 abr. 2025.

STERMAN, John D. **Business dynamics**: systems thinking and modeling for a complex world. 2. ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2023.