



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

LEANDRO VIEIRA DOS SANTOS, Cap Av

Uso militar da inteligência artificial: uma forma de desenvolver a doutrina

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

LEANDRO VIEIRA DOS SANTOS, Cap Av

Uso militar da inteligência artificial: uma forma de desenvolver a doutrina

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: Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

LEANDRO VIEIRA DOS SANTOS, Cap Av

Uso militar da inteligência artificial: uma forma de desenvolver a doutrina

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

Aprovado por:

Presidente, Márcio Henrique Teixeira De Souza, Ten Cel Av - EAOAR

Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av- EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

O modelo de treinamento de combate aéreo utilizado na Força Aérea Brasileira, majoritariamente restrito a interações entre pilotos do mesmo esquadrão, tem o potencial de causar estagnação da doutrina por apenas expor os aviadores a situações que seguem um padrão esperado. Essa limitação pode prejudicar a eficácia em cenários reais, nos quais a capacidade adaptativa dos envolvidos pode ser um fator decisivo. Nesse contexto, este trabalho defende a tese que a introdução de inteligência artificial para controlar uma das aeronaves nos treinamentos em simuladores evitará a estagnação da doutrina de combate. O primeiro argumento é o aprimoramento que os pilotos terão em suas habilidades ao combaterem aeronaves com comportamento inesperado, uma vez que os agentes autônomos são treinados para encontrar técnicas inovadoras, o que forçará os pilotos a desenvolverem novos procedimentos que enriquecerão sua formação. Além disso, o segundo argumento é que existe a possibilidade de serem realizadas simulações de combate contra agentes autônomos que utilizem doutrinas de países específicos, já que esses agentes podem ser treinados com base nos dados extraídos de exercícios internacionais, aumentando a versatilidade dos treinamentos. Ademais, ao serem consideradas oportunidades futuras, a experiência em criar esses agentes representa uma vantagem estratégica, especialmente em um contexto de crescente uso de aeronaves remotamente pilotadas para missões de alto risco, pois a inteligência artificial pode aprimorar a tomada de decisão através de ferramentas como o reconhecimento automático de alvos. Isso pode posicionar o Brasil como líder em tecnologia militar, propiciando oportunidades de cooperação na área de defesa.

Palavras-chave: inteligência artificial; doutrina; combate aéreo; simulação.

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução dos algoritmos de inteligência artificial (IA) tem possibilitado a criação de ferramentas cada vez mais complexas para resolução de problemas. Utilizando um dos ramos da IA denominado aprendizado de máquina (*machine learning*, em inglês), que utiliza dados do mundo real para treinar sistemas de IA a realizarem tarefas específicas, a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) criou um agente autônomo capaz de derrotar pilotos humanos em combates realizados em simuladores de voo (Pickrell, 2020). Esse feito deixa claro a capacidade dos algoritmos de aprendizado de máquina encontrarem soluções inovadoras que podem não ter sido cogitadas por seres humanos, mesmo que sejam especialistas na área em questão.

Na Força Aérea Brasileira (FAB) o treinamento de combate é tradicionalmente realizado no formato pilotos contra pilotos, frequentemente do mesmo esquadrão, mas que, invariavelmente, possuem formação similar. Esta abordagem pode limitar o aprimoramento das técnicas dos pilotos, uma vez que eles sempre se deparam com comportamentos previsíveis.

A estagnação da doutrina gerada por essa monotonia pode ser mitigada com a introdução de uma aeronave pilotada por IA nos treinamentos de combate aéreo realizados em simuladores de voo, haja vista a capacidade dos algoritmos de aprendizado de máquina explorarem um amplo campo de soluções para encontrarem diferentes métodos para resolver o problema (Reynolds, 2002) e a competência dos seres humanos de se adaptarem diante de situações novas (Cañas *et al.*, 2003).

Além disso, é possível a criação de agentes autônomos com o comportamento semelhante ao de pilotos de outras nações, viabilizando a ampliação da doutrina por meio da criação de técnicas para cenários específicos. Isso se deve ao fato de ser possível utilizar os dados de exercícios operacionais internacionais para realizar o treinamento da IA (Russell; Norvig, 2016) e à possibilidade de serem criadas restrições para manter o algoritmo próximo do comportamento desejado (Garcia; Fernández, 2015).

Diante do exposto, este ensaio defende a tese que a utilização de uma IA para controlar as ações de uma das aeronaves nos treinamentos em simuladores evitará a estagnação da doutrina de combate aéreo na FAB.

Tem-se como primeiro argumento dessa tese o aprimoramento que os pilotos terão em suas habilidades ao combaterem aeronaves com comportamento inesperado e como segundo argumento a possibilidade de serem realizadas simulações de combate contra agentes autônomos que utilizem doutrinas de países específicos.

2 DESENVOLVIMENTO

O termo inteligência artificial refere-se a programas de computadores que têm a capacidade de realizar tarefas que tradicionalmente necessitam de inteligência humana, como resolução de problemas, aprendizado e processamento de linguagem natural. Um ramo importante da IA é o aprendizado de máquina, no qual o agente autônomo aprende o comportamento desejado através de dados do mundo real, ao invés de serem programadas todas as situações possíveis. Dentro desse ramo, destaca-se o aprendizado por reforço, no qual a IA explora de maneira autônoma o campo de soluções em seu treinamento enquanto submetida a um sistema de recompensas e punições para classificar as ações realizadas e retroalimentar o processo (Sutton, 2018). Esse método tem se mostrado particularmente eficaz em ambientes complexos e dinâmicos, como os encontrados em simulações de combate aéreo.

2.1 APRIMORAMENTO DOS PILOTOS

Os resultados de uma missão de combate aéreo estão diretamente ligados à qualidade e à velocidade das decisões tomadas pelos pilotos. Em um cenário como esse, os comandantes das aeronaves devem conseguir analisar e reagir corretamente às situações em décimos de segundos, sendo que suas ações estarão intimamente ligadas ao que foi condicionado durante os treinamentos.

Uma das maneiras de se treinar os pilotos para terem uma melhor tomada de decisão é expô-los a situações inéditas que podem ser encontradas durante um voo de combate. O conhecimento prévio das técnicas utilizadas pelo inimigo poderá reduzir o tempo de reação dos pilotos para realizarem suas manobras (Meyer *et al.*, 1991). Porém, a tarefa de se encontrar novas técnicas de pilotagem pode ser custosa para um ser humano, que necessitará testar várias situações diferentes para definir qual a melhor a ser utilizada. Esse trabalho torna-se ainda mais difícil em um ambiente no qual existe uma doutrina forte, na qual fugir do comportamento previsto é, muitas vezes, considerado errado.

Nesse contexto, o treinamento de uma IA com a utilização do aprendizado por reforço se mostra como uma solução ideal, pois é uma maneira de resolver tanto a dificuldade de se pensar em técnicas inéditas quanto o problema do tempo necessário para testar as várias soluções. No aprendizado por reforço, o agente autônomo interage com o ambiente de combate simulado de maneira irrestrita e recebe recompensas quando suas ações levam a um resultado positivo ou punições quando o resultado é negativo.

Através desse comportamento e com o uso de técnicas como o recozimento simulado, onde o ponto de início do treinamento é aleatorizado a cada rodada (Bertsimas; Tsitsiklis, 1993), garante-se que a IA irá encontrar não somente técnicas inovadoras, mas também a solução ótima para cada situação. Além disso, todo o processo de treinamento pode ser realizado e validado milhares de vezes em um dia, dependendo da complexidade do cenário simulado. Isso faz com que seja possível a criação de novas técnicas de combate em um intervalo de tempo muito menor do que o necessário quando se utiliza apenas agentes humanos.

Após o processo de criação do agente autônomo, ele poderá ser inserido nos treinamentos de voos de combate realizados em simuladores para aplicar, contra os pilotos humanos, as melhores técnicas encontradas. O contato com as técnicas inovadoras, que podem fugir da doutrina tradicional utilizada no ambiente aéreo dos conflitos armados, permitirá uma ampliação das habilidades dos pilotos e uma maior rapidez na tomada de decisão.

À medida que os pilotos humanos enfrentem repetidamente a IA, começarão a se adaptar às estratégias utilizadas por ela e conseguirão se contrapor, devido à alta capacidade humana de reconhecer padrões em diversas situações (Mattson, 2014). Após isso, as lições aprendidas nesses treinamentos poderão ser analisadas, documentadas e incorporadas à doutrina existente.

Perante o exposto, reitera-se a tese de que a utilização de uma IA para controlar as ações de uma das aeronaves nos treinamentos em simuladores evitará a estagnação da doutrina de combate aéreo na FAB, tendo como argumento o aprimoramento que os pilotos terão em suas habilidades ao combaterem aeronaves com comportamento inesperado.

2.2 CRIAÇÃO DE DOCTRINAS ESPECÍFICAS

Além de ser possível deixar a inteligência artificial encontrar novas técnicas de combate de forma autônoma durante seu treinamento, também se pode criar restrições, baseadas no conhecimento de um especialista ou em um comportamento base, para que a IA se atenha a uma conduta desejada. Quando aplicado em um algoritmo de aprendizado por reforço, essas restrições ampliam as possibilidades de aplicação do algoritmo e caracterizam o *safe reinforcement learning* (aprendizado por reforço seguro) (Garcia; Fernández, 2015).

Com a utilização desses conceitos no desenvolvimento da doutrina de combate aéreo, podem ser criados agentes autônomos que possuam comportamento similar ao de pilotos de nações específicas, viabilizando a criação e o treinamento de técnicas que possuam maior eficácia quando utilizadas contra esses países. O desenvolvimento desses agentes pode ser considerado uma vantagem estratégica para o Brasil, já que o fato de se estar mais bem

preparado para o combate contra determinado inimigo tem o potencial de desestimulá-lo a iniciar um conflito armado. Essa capacidade de dissuasão está descrita na Estratégia Nacional de Defesa brasileira como fator essencial para a segurança nacional, sendo definida como a primeira postura estratégica a ser utilizada (Brasil, 2008).

Para o treinamento da inteligência artificial em questão, podem ser utilizados os dados obtidos em exercícios operacionais internacionais, como o Exercício Cruzeiro do Sul (CRUZEX) (Força Aérea Brasileira, 2024) ou o *Red Flag* (Boyne, 2000). Nesses exercícios, é costumeiro realizar uma reunião geral após cada rodada de voos, onde são analisados dados como a rota voada pela aeronave, registrada com o uso do sistema GPS, e informações sobre a utilização dos armamentos, como momento de disparo e ocorrência de impacto no alvo. Esses dados, aliados às considerações dos pilotos brasileiros que participaram do exercício, podem ser utilizados para o treinamento do agente autônomo.

Outra maneira de se conseguir mapear o comportamento dos pilotos estrangeiros seria através de acordos de cooperação entre países. Por ser uma solução inovadora, pode-se presumir que haveria interesse de outras nações em participar do desenvolvimento da IA e, diante disso, poderiam ser pensadas negociações no modelo ganha-ganha, onde o país estrangeiro contribuiria para o treinamento da inteligência artificial com a participação de seus pilotos nos voos simulados e, em contrapartida, iria adquirir o conhecimento necessário para que pudesse desenvolver sua própria IA, viabilizando a ampliação de sua doutrina de combate aéreo.

Independentemente da maneira utilizada para a obtenção dos dados, eles poderiam ser usados como meio de balizar o comportamento da IA. Além disso, durante o *safe reinforcement learning* o programador pode interferir no treinamento (Wachi; Sui, 2020), incluindo restrições baseadas em informações de especialistas, que, nesse caso, poderiam ser tanto os militares brasileiros que participaram dos exercícios internacionais quanto os pilotos de outras nações, que teriam o conhecimento da sua própria doutrina.

Com isso, seriam criados agentes autônomos capazes de emular o comportamento de pilotos de outras nações, possibilitando a realização de treinamentos para cenários específicos que resultariam no aprimoramento das habilidades dos pilotos da Força Aérea Brasileira, com o conseqüente aumento do poder dissuasório do Brasil.

Dessa forma, é possível demonstrar a veracidade da tese de que a utilização de uma IA para controlar as ações de uma das aeronaves nos treinamentos em simuladores evitará a estagnação da doutrina de combate aéreo na FAB, haja vista o argumento da possibilidade de serem realizadas simulações de combate contra agentes autônomos que utilizem doutrinas de países específicos.

3 CONCLUSÃO

O treinamento de combate aéreo na Força Aérea Brasileira, predominantemente realizado entre pilotos do mesmo esquadrão, apresenta limitações que podem comprometer a efetividade das ações em um combate aéreo real. A monotonia resultante da restrição de cenários e comportamentos pode dificultar o desenvolvimento de novas técnicas e levar à diminuição da relevância da FAB dentro de um cenário de guerra moderna.

Nesse contexto, é possível defender a tese que a utilização de uma IA para controlar as ações de uma das aeronaves nos treinamentos em simuladores evitará a estagnação da doutrina de combate aéreo na FAB. Durante a criação desses agentes autônomos é possível deixá-los explorar o campo de soluções de maneira autônoma, favorecendo a identificação novas técnicas que apresentem bom desempenho quando aplicadas no combate. Essas variações farão com que os pilotos humanos tenham que se adaptar durante os treinamentos para que possam obter um bom desempenho nos combates, forçando a criação de novos procedimentos que poderão ser discutidos e incluídos na doutrina. Dessa forma, a tese é fundamentada pelo argumento de que os pilotos terão um aprimoramento em suas habilidades ao combaterem aeronaves com comportamento inesperado.

Além disso, também é possível criar um conjunto de diretrizes para que os agentes autônomos sigam um comportamento esperado. Caso essas diretrizes sejam derivadas a partir de dados e conhecimentos obtidos durante a participação da FAB em exercícios operacionais internacionais, pode-se criar inteligências artificiais que emulem o comportamento de pilotos de outras nações. Assim, a possibilidade de serem realizadas simulações de combate contra agentes autônomos que utilizem doutrinas de países específicos é um segundo argumento que fundamenta a tese, tendo em vista que isso aumentará o poder dissuasório da FAB, já que os pilotos poderão ser treinados para atuarem em cenários específicos.

Possuir experiência na criação de agentes autônomos representa uma enorme vantagem para o futuro da Força Aérea, haja vista que conflitos armados recentes mostram uma tendência da ampliação da utilização de aeronaves remotamente pilotadas, principalmente em missões de alto risco. O uso de inteligência artificial nessas aeronaves as colocaria em um outro patamar no combate, tornando-as menos suscetíveis a interferências e possibilitando uma melhor tomada de decisão através de ferramentas como reconhecimento automatizado de alvos com o uso de visão computacional. Ademais, a expertise desenvolvida nessa área poderia posicionar o Brasil como líder em tecnologia militar avançada, abrindo oportunidades para cooperações internacionais e desenvolvimento de novas capacidades de defesa.

Em conclusão, a utilização de IA nos treinamentos em simuladores não apenas resolve o problema da estagnação doutrinária, mas também prepara o terreno para avanços futuros na guerra aérea. Essa abordagem pode garantir que a Força Aérea Brasileira se posicione na vanguarda da tecnologia militar, pronta para enfrentar os desafios do futuro do combate aéreo, e seja vista como parceira estratégica na área tecnológica.

REFERÊNCIAS

- BERTSIMAS, D.; TSITSIKLIS, J. Simulated Annealing. *Statist. Sci.*, v. 8, n. 1, p. 10-15, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/ss/1177011077>. Acesso em: 30 set. 2024.
- BOYNE, W. J. Red Flag. *Air & Space Forces Magazine*, Arlington, 1 nov. 2000. Disponível em: <https://www.airandspaceforces.com/article/1100flag/>. Acesso em: 4 out. 2024.
- BRASIL. Decreto nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008. Aprova a Estratégia Nacional de Defesa. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 145, n. 247, p. 4-14, 19 dez. 2008. Alterado em 2016. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/ajuste-01/estado_e_defesa/pnd_end_congresso_.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.
- CAÑAS, J.; QUESADA, J.; ANTOLÍ, A.; FAJARDO, I. Cognitive flexibility and adaptability to environmental changes in dynamic complex problem-solving tasks. *Ergonomics*, Loughborough, v. 46, n. 5, p. 482–501, 2003. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0014013031000061640>. Acesso em: 25 set. 2024.
- FORÇA AÉREA BRASILEIRA. *Cruzex – 2024*, 2024. Página inicial. Disponível em: <https://cruzex.fab.mil.br/>. Acesso em: 04 out. 2024.
- GARCIA, J.; FERNÁNDEZ, F. A comprehensive survey on safe reinforcement learning. *Journal of Machine Learning Research*, Brookline, v. 16, n. 1, p. 1437-1480, 2015. Disponível em: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume16/garcia15a/garcia15a.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.
- MATTSON, M. Superior pattern processing is the essence of the evolved human brain. *Frontiers in Neuroscience*, Lausanne, v. 8, artigo 265, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fnins.2014.00265>. Acesso em: 2 out. 2024.
- MEYER, W. U.; NIEPEL, M.; RUDOLPH, U.; SCHÜTZWOHL, A. An experimental analysis of surprise. *Cognition & Emotion*, Londres, v. 5, n. 4, p. 295-311, 1991. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02699939108411042>. Acesso em: 28 set. 2024.
- PICKRELL, R. A US Air Force F-16 pilot just battled AI in 5 simulated dogfights, and the machine emerged victorious every time. *Business Insider*, Nova Iorque, 21 ago. 2020. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/ai-just-beat-a-human-pilot-in-a-simulated-dogfight-2020-8>. Acesso em: 24 set. 2024.

REYNOLDS, S. I. **Reinforcement learning with exploration**. 2002. Trabalho de conclusão de curso. (Doutorado em Ciência da Computação) - Universidade de Birmingham, Birmingham, 2002.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: A modern approach**. [S.l.]: Pearson Education Inc., 2016.

SUTTON, R.S. **Reinforcement learning: An introduction**. [S.l.]: A Bradford Book, 2018.

WACHI, A.; SUI, Y. Safe Reinforcement Learning in Constrained Markov Decision Processes. *In: International Conference on Machine Learning*, 37., 2020, Viena. **Anais eletrônicos** [...]. San Diego: ICML, 2020 Disponível em: <https://proceedings.mlr.press/v119/wachi20a.html>. Acesso em: 2 out. 2024.