



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

**RICARDSON ALEXANDRE PEREIRA FEITOZA, Cap QOCom**

**Implantação de Inteligência Artificial na Rede de Telecomunicações Aeronáuticas  
Brasileira – ATN-Br**

Rio de Janeiro

2024

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

**RICARDSON ALEXANDRE PEREIRA FEITOZA, Cap QOCom**

**Implantação de Inteligência Artificial na Rede de Telecomunicações Aeronáuticas  
Brasileira – ATN-Br**

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: Guerra Cibernética

Orientador: Allison Nunes Fernandes, Maj Eng

Rio de Janeiro

2024

**RICARDSON ALEXANDRE PEREIRA FEITOZA, Cap QOCom**

**Implantação de Inteligência Artificial na Rede de Telecomunicações Aeronáuticas  
Brasileira – ATN-Br**

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

Aprovado por:

---

Presidente, Thiago Diorgilis Ribeiro Daniel, Ten Cel Av - EAOAR

---

Allison Nunes Fernandes, Maj Eng - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) implantou a Rede de Telecomunicações Aeronáuticas Brasileira (*Aeronautical Telecommunication Network Brazil* – ATN-Br) para permitir a absorção de novas tecnologias, reduzir custos, melhorar a eficiência operacional e, principalmente, garantir segurança às operações aéreas. A ATN-Br é uma rede híbrida, por possuir elementos de rede convencional e de rede definida por software (*Software-Defined Networking* – SDN); composta por cinco subsistemas; e tem por finalidade suportar os serviços e as aplicações aeronáuticas. No entanto, gerir a ATN-Br se mostrou um desafio devido à complexidade, à criticidade e à limitação de recursos de automação da rede. Isso trouxe à tona a necessidade de uma solução que consiga detectar e agir de forma preditiva perante os mais variados tipos de anomalias. Diante disso, este ensaio defende a tese que a implementação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na ATN-Br eleva a efetividade de detecção e correção de anomalias na rede. Essa tecnologia amplia o desempenho da rede, pois aprimora o funcionamento de seus ativos, otimiza o tráfego e diminui o tempo de manutenção. Além disso, incrementa a segurança da informação da ATN-Br ao identificar e combater ameaças cibernéticas. Portanto, a implementação de IA na ATN-Br contribui decisivamente para aprimorar a infraestrutura de telecomunicações aeronáuticas e a capacidade de resiliência cibernética do COMAER, além de colaborar significativamente para ampliar a eficiência, a regularidade e a segurança das operações aéreas no Brasil, fortalecendo a imagem do COMAER perante a sociedade brasileira.

**Palavras-chave:** telecomunicações aeronáuticas; inteligência artificial; otimização de rede; segurança da informação.

## 1 INTRODUÇÃO

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é o órgão do Comando da Aeronáutica (COMAER) responsável pelo planejamento, implantação, operação e manutenção da infraestrutura de telecomunicações necessária ao controle e defesa do espaço aéreo brasileiro.

Diante desse compromisso, o DECEA implantou a Rede de Telecomunicações Aeronáuticas Brasileira (*Aeronautical Telecommunication Network Brazil – ATN-Br*) para permitir a absorção de novas tecnologias, reduzir custos, melhorar a eficiência operacional e, principalmente, garantir segurança às operações aéreas. A ATN-Br é uma rede híbrida, por possuir elementos de rede convencional e de rede definida por software (*Software-Defined Networking – SDN*); composta por cinco subsistemas, denominados solução VCX-IP/MFI, solução de dados, solução de gravação, solução de gerenciamento e solução satelital; e tem por finalidade suportar os serviços e as aplicações aeronáuticas.

Gerenciar a ATN-Br é uma tarefa desafiadora, dada a complexidade e a criticidade da rede. Em redes complexas, a medição dos parâmetros de desempenho se torna mais difícil devido à quantidade e à diversidade de ativos. Já em redes críticas, o tempo de indisponibilidade precisa ser mínimo, o que exige uma operação praticamente ininterrupta, sem falhas, para garantir a continuidade dos serviços e das aplicações.

Esse gerenciamento desafiador é agravado pela limitação de recursos de automação presentes na rede. Hoje, a automação da ATN-Br basicamente se restringe ao monitoramento de parâmetros de desempenho e à comutação de serviços e aplicações em tempo real para o melhor meio de comunicação de longa distância disponível, com base na degradação desses parâmetros.

Diante disso, surge a necessidade de uma solução que consiga capturar proativamente outros tipos de anomalias<sup>1</sup> e tratá-las antes que causem impacto no fornecimento de serviços e aplicações aos órgãos operacionais.

Assim sendo, este ensaio defende a tese que a implementação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na ATN-Br eleva a efetividade de detecção e correção de anomalias na rede.

Argumenta-se que essa incorporação amplia o desempenho da rede, pois aprimora o funcionamento de seus ativos, otimiza o tráfego e diminui o tempo de manutenção.

---

<sup>1</sup>Anomalias são falhas em ativos de rede ou atividades atípicas no tráfego de rede.

Além disso, tais algoritmos incrementam a segurança da informação, visto que identificam padrões de comportamento malicioso a partir de mudanças no perfil do tráfego de rede e agem imediatamente para combater as ameaças.

## 2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ATN-BR

A definição de IA não é unânime entre os cientistas, mas, em síntese, IA pode ser entendida como um sistema computacional com inteligência análoga a humana e com diversas capacidades, dentre as quais se destacam: aprender a partir de dados históricos, se adaptar às mudanças de realidade da rede, tomar decisões em tempo real, automatizar processos complexos e otimizar recursos da rede.

Quando se analisa as capacidades da IA, verifica-se prontamente que tal tecnologia é capaz de aumentar o desempenho e trazer maior robustez à segurança na ATN-Br. Nesse sentido, o projeto SINAPSE (*Software defined networking architecture augmented with Artificial Intelligence to improve aeronautical communications performance, security and efficiency*) mostrou que é possível prever e corrigir falhas, garantindo aumento de desempenho e segurança (European Commission, 2022).

### 2.1 OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DA ATN-BR ATRAVÉS DE IA

As redes de telecomunicações avançaram de simples redes ponto a ponto, que suportavam a transferência de alguns poucos dados, para redes complexas, como a ATN-Br, que comportam a transferência de grandes volumes de dados.

Diante disso, não é mais possível administrar as redes atuais como se administrava antigamente, ou seja, com base em regras predefinidas, de forma reativa e manualmente. É necessária uma solução que trabalhe de forma flexível, preditiva e automatizada. Corroborando com essa visão, Umoga *et al.* (2024) afirma que o aumento significativo da complexidade das redes e do volume de dados nos ecossistemas digitais atuais reforçou a importância de adotar novas abordagens para melhorar o desempenho e a eficiência das redes.

Nesse contexto, a IA se destaca como uma solução transformadora para aumentar o desempenho e a eficiência da ATN-Br devido a sua capacidade de, por um lado, analisar enormes quantidades de dados de forma rápida, precisa e automatizada, por outro, aprender, adaptar-se e tomar decisões com base em dados históricos e correntes. Nesse sentido, Acharya

(2024) afirma que a IA tem aumentado a eficiência, a precisão e a flexibilidade nas operações do Centro de Operações de Rede (*Network Operation Center – NOC*).

Atualmente, o NOC da ATN-Br recebe dados coletados de diversos dispositivos de rede e dos meios de comunicação da ATN-Br. No entanto, esses dados não são tratados com vistas a antecipar e corrigir os problemas de desempenho da rede de forma ampla.

Esse cenário pode ser aprimorado com a aplicação de algoritmos de IA na ATN-Br. Por exemplo, com base na análise dos dados históricos das condições de temperatura, estado da memória e nível de processamento do VCX-IP (*iMC8 – IP Module Carrier for 8 interfaces*), dentre outros ativos de rede da ATN-Br, esses algoritmos devidamente treinados conseguiriam antever com excelente acuracidade possíveis panes de aquecimento, memória cheia ou processamento em nível crítico, e resolvê-las em tempo real. Nesse sentido, Wang *et al.* (2017) apresenta um método de previsão de reconhecimento de falhas, cujos resultados experimentais atingiram uma precisão média de 95% na identificação de falhas em equipamentos de redes ópticas.

Ainda nesse contexto, é importante destacar que, em 2022, o nível de processamento de um dos *switches* de gerenciamento da ATN-Br no Terceiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA III) atingiu algo próximo de 100% de sua capacidade e impactou no funcionamento de toda rede do CINDACTA III, por aproximadamente 20 segundos, forçando os órgãos de defesa e controle de tráfego aéreo a operar por meio do sistema de contingência.<sup>2</sup> Caso houvesse a atuação de IA na ATN-Br naquela oportunidade, tal problema teria sido detectado preditivamente, por se afastar do padrão de processamento histórico do equipamento, e não teria comprometido a disponibilidade da rede.

Como se pode inferir, ativos de rede (roteadores, *switches*, etc) operando com alta carga de processamento, com memória no limite de sua capacidade, ou alguma outra anomalia, impactam diretamente no desempenho da rede ou comprometem completamente o seu funcionamento. Logo, antecipar e corrigir anomalias dessa natureza eleva a eficiência operacional da rede.

Além de analisar as condições de saúde dos dispositivos físicos, os algoritmos de IA têm capacidade de avaliar e otimizar o roteamento, reduzindo a latência, maximizando a taxa de transferência e distribuindo a carga da rede de maneira eficiente. A título de exemplo, a IA poderia detectar que determinada rede está interferindo em outra e atuar para que o roteador que interconecta essas duas redes descarte os pacotes oriundos da rede interferente. Poderia

---

<sup>2</sup> Inoperância ocorrida no CINDACTA III em 12 de março de 2022.

ainda detectar de forma proativa que determinada rota está congestionada e realizar o encaminhamento do tráfego para outra, otimizando o desempenho da rede. Nesse sentido, Xie *et al.* (2018) afirma que decisões de roteamento inadequadas podem causar o congestionamento de links e aumentar o atraso na transmissão ponta a ponta, prejudicando o desempenho geral da rede. Logo, a implementação de IA para tomar decisões de roteamento adequadas aumentam o desempenho da rede.

Em se tratando de manutenção corretiva, os algoritmos de IA podem prever as anomalias com antecedência e atuar para corrigi-las. Quando não for possível resolver o problema, a IA pode ao menos antecipar essa informação para a equipe técnica intervir no sistema e evitar a inoperância. No escopo do projeto SINAPSE, foi possível validar uma solução de previsão de falha de comunicação, usando dados do *Controller Pilot Data Link Communications* (CPDLC), capturados em tempo real da ATN operacional, em que os eventos de interrupção foram previstos dez minutos antes que ocorressem (European Commission, 2022). Essa informação antecipada é muito útil porque aumenta a eficiência da equipe técnica na solução do problema e, conseqüentemente, o desempenho da rede.

Diante do exposto, verifica-se que a aplicação de algoritmos de IA na ATN-Br trará uma significativa melhoria no desempenho da rede. Essa tecnologia avançada permitirá a otimização dos ativos de rede, uma melhor distribuição de tráfego e a redução dos tempos de manutenção, garantindo maior eficiência e confiabilidade à rede.

## 2.2 IA COMO FERRAMENTA DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO NA ATN-BR

A informação é sem dúvida nenhuma um ativo fundamental para a continuidade de negócio de qualquer instituição. À medida que a quantidade de informações sensíveis aumenta, o número de ataques cibernéticos cresce junto. Logo, a gestão de segurança da informação é fundamental para garantir a segurança em tempo real de dispositivos, serviços e aplicações nas redes internas das instituições.

Nesse sentido, é primordial que as medidas de segurança implantadas na ATN-Br sejam robustas, haja vista que pela rede trafegam informações sensíveis para o controle e defesa do tráfego aéreo brasileiro, tais como frequência, telefonia, dados RADAR e plano de voo.

A ATN-Br possui um módulo de gerenciamento de segurança, que inclui: gerenciamento de autenticação, autorização e auditoria; gerenciamento de configuração de *firewalls*; sistema antivírus; sistemas de prevenção de intrusão (SPI); e políticas de segurança.

No entanto, esse módulo de gerenciamento de segurança não consegue antecipar e combater o movimento de anomalias desconhecidas e, por conseguinte, é frágil

Para demonstrar essa fragilidade, é oportuno destacar que, em fevereiro de 2024, um ataque de negação de serviço (*Denial of Service – DoS*) involuntário advindo da rede MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) da operadora de telecomunicações OI afetou a rede MPLS da ATN-Br do CINDACTA III, causando impacto operacional nos serviços de frequência e de dados RADAR. Após exaustiva pesquisa de pane, foi identificado que uma máquina de testes de homologação configurada inadequadamente na rede MPLS da OI estava saturando a capacidade de processamento do roteador MPLS da ATN-Br.<sup>3</sup>

Entende-se que tal problema poderia ter sido evitado caso houvesse uma solução inteligente aplicada. Dilek, Çakır e Aydın (2015) afirmam que dispositivos físicos não são suficientes para monitorar e proteger as redes de telecomunicações, indicando que há necessidade de uma TI mais sofisticada para modelar comportamentos normais e detectar comportamentos anormais.

Diante desse contexto, a IA se destaca como uma ferramenta essencial no gerenciamento da segurança da informação na ATN-Br, principalmente pela sua capacidade de antecipação e adaptabilidade, que são características que a diferenciam das ferramentas tradicionais e, portanto, essenciais para combater as vulnerabilidades e as ameaças ainda não catalogadas. É importante deixar claro que a proposta não é substituir o atual módulo de gerenciamento de segurança da ATN-Br, mas complementá-lo para que as vulnerabilidades e as ameaças novas sejam capturadas e tratadas em tempo real.

Os algoritmos de IA ajudam a identificar, proteger, detectar, responder e catalogar ataques cibernéticos para evitar futuros incidentes de segurança, que podem ser problemas de intrusão de rede e ou *malware*, dentre outros. Akhtar e Feng (2022) mostraram que, com o emprego de IA, é possível prever e detectar ataques *malware* de forma mais eficaz, adaptando-se às constantes evoluções das ameaças cibernéticas. Com relação aos ataques de intrusão, Park *et al.* (2022) demonstrou que os sistemas de detecção de intrusão em redes baseados em IA detectam e neutralizam ameaças diversas de forma mais eficaz que métodos tradicionais de segurança cibernética.

Face ao exposto, percebe-se que a aplicação de algoritmos de IA na ATN-Br aumentará a segurança cibernética visto que melhora a eficácia de detecção e correção de anomalias ainda não identificadas.

---

<sup>3</sup> Inoperância ocorrida no CINDACTA III em 29 de fevereiro de 2024.

### 3 CONCLUSÃO

O DECEA implantou a ATN-Br para permitir a absorção de novas tecnologias, reduzir custos, melhorar a eficiência operacional e, principalmente, garantir a segurança às operações aéreas. No entanto, gerir a ATN-Br se mostrou um desafio devido à complexidade, à criticidade e à limitação de recursos de automação da rede. Isso trouxe à tona a necessidade de uma solução que consiga automatizar a detecção e a solução de anomalias na rede de forma preditiva.

Desse modo, este ensaio defende a tese que a implementação de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na ATN-Br eleva a efetividade de detecção e correção de anomalias na rede.

Argumentou-se que os algoritmos de IA potencializam a eficiência da rede, uma vez que, ao analisar grandes volumes de dados de forma rápida e precisa, aprender com padrões históricos e adaptar-se a novas situações, conseguem prever e corrigir falhas de equipamentos com elevado índice de precisão. Além disso, otimizam rotas e tornam a manutenção da equipe técnica mais eficiente.

Ademais, esses algoritmos elevam significativamente a segurança da rede, tendo em vista que são capazes de detectar padrões de comportamento malicioso através da comparação de perfis de tráfego anormal com o normal. Com essa capacidade, os algoritmos reagem prontamente para neutralizar tanto problemas de intrusão de rede quanto *malware*, fortalecendo a proteção do sistema.

Portanto, em conformidade com o PCA 11-47/2024 (Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2024 – 2033), a implementação de IA na ATN-Br contribui de forma decisiva para o fortalecimento da infraestrutura de telecomunicações aeronáuticas e para o aumento da resiliência cibernética do COMAER (Brasil, 2024).

Outrossim, à medida que a ATN-Br suporta serviços e aplicações aeronáuticas, essa implementação contribui significativamente para aumentar a eficiência, a regularidade e a segurança das operações aéreas no Brasil, fortalecendo, conseqüentemente, a imagem do COMAER como órgão de excelência na prestação de serviços de tráfego aéreo perante a sociedade brasileira.

## REFERÊNCIAS

ACHARYA, Nirav. Artificial Intelligence: Real Challenge or Boon for Network Operation Center and Network security. **ITM Web of Conferences**, v. 65, p. 03001–03001, 2024.

Disponível em:

[https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/abs/2024/08/itmconf\\_icmaetm2024\\_03001/itmconf\\_icmaetm2024\\_03001.html](https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/abs/2024/08/itmconf_icmaetm2024_03001/itmconf_icmaetm2024_03001.html). Acesso em: 2 out. 2024.

AKHTAR, Muhammad Shoaib; FENG, Tao. Malware Analysis and Detection Using Machine Learning Algorithms. **Symmetry**, v. 14, n. 11, p. 2304, 2022. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2073-8994/14/11/2304>. Acesso em: 5 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Gabinete do Comando da Aeronáutica. Portaria nº 1.453/GC3, de 05 de junho de 2024. Aprova o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PCA 11-47/2024). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 107, p. 87-137, 10 jun. 2024. Disponível em:

<http://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/acervo/detalhe/48464>. Acesso em: 25 out. 2024.

DILEK, Selma; ÇAKIR, Hüseyin; AYDIN, Mustafa. Applications of Artificial Intelligence Techniques to Combating Cyber Crimes: A Review. **International Journal of Artificial Intelligence & Applications**, v. 6, n. 1, p. 21–39, 2015. Disponível em:

<https://arxiv.org/abs/1502.03552>. Acesso em: 5 out. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **Software defined networking architecture augmented with Artificial Intelligence to improve aeronautical communications performance, security and efficiency**. 2022. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/892002>. Acesso em: 8 out. 2024.

PARK, Cheolhee *et al.* An Enhanced AI-Based Network Intrusion Detection System Using Generative Adversarial Networks. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 10, n. 3, p. 2330-2345, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9908159>. Acesso em: 5 out. 2024.

UMOGA, Uchenna Joseph *et al.* Exploring the potential of AI-driven optimization in enhancing network performance and efficiency. **Magna Scientia Advanced Research and Reviews**, v. 10, n. 1, p. 368-378, 2024. Disponível em:

<https://magnascientiapub.com/journals/msarr/content/exploring-potential-ai-driven-optimization-enhancing-network-performance-and-efficiency>. Acesso em: 2 out. 2024.

WANG, Zhilong *et al.* Failure prediction using machine learning and time series in optical network. **Optics Express**, v. 25, n. 16, p. 18553-18565, 2017. Disponível em:

<https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-25-16-18553&id=370117>. Acesso em: 4 out. 2024.

XIE, Junfeng *et al.* A Survey of Machine Learning Techniques Applied to Software Defined Networking (SDN): Research Issues and Challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 21, n. 1, p. 393-430, 2018. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8444669>. Acesso em: 4 out. 2024.