

# FLY BY WIRELESS: O FUTURO DOS SISTEMAS DE CONTROLE DE VOO

Jéferson de Andrade Prieto Ferro<sup>1</sup>

Marcel Muller Santos de Menezes<sup>2</sup>

Antônio Ricardo Zaninelli do Nascimento<sup>3</sup>

Jailma Barros dos Santos<sup>4</sup>

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo explicar sobre a utilização da tecnologia *wireless* em sistemas de controle de voo em aeronaves. O sistema atualmente utilizado, denominado por *fly-by-wire*, utiliza computadores para monitorar e auxiliar no controle e segurança de voo, possui como principal característica a utilização de fios condutores que são eficientes, contudo, agregam peso às aeronaves, maior consumo de combustível e representa parte considerável dos custos de produção. A dinâmica das pesquisas aqui realizadas traça um caminho promissor dos estudos que indicam pontos positivos para a aplicação de tecnologias *wireless* em sistemas de controle de voo, garantindo a segurança, redução de custos de fabricação e eficiência na transmissão de sinal. Os resultados deste trabalho indicaram que apesar de o *fly-by-wireless* não ser uma tecnologia utilizada atualmente, apresenta resultados promissores e com potencial de aplicação quando comparado às outras tecnologias que vêm sendo estudadas.

## PALAVRAS-CHAVE

*Fly-by-wireles*. Sistemas de Controle. Aeronaves. Telecomunicações.

## ABSTRACT

The present work aims to explore the use of wireless technology in aircraft flight control systems. The system currently used, called fly-by-wire, uses computers to monitor and assist in flight control and safety, and its main feature is the use of conductive wires that are efficient, yet add weight to aircraft, greater fuel consumption and represents a considerable part of production costs. The dynamics of the researches carried out here outline a promising path of studies that indicate positive points for the application of wireless technologies in flight control systems, ensuring safety, reducing manufacturing costs and efficiency in signal transmission. The result of this work confirmed that despite the fact that fly-by-wireless is not a technology currently used, it presents promising results and with potential for application when compared to other technologies that have been studied.

## KEYWORDS

Fly-by-wireless. Control system. Aircraft Telecommunications.

## 1 INTRODUÇÃO

As comunicações sem fio tiveram início em 1831, com Michael Faraday, junto à descoberta dos princípios da indução eletromagnética. Com o decorrer do tempo surge a necessidade de descobrir se essa indução é capaz de transmitir informações de um ponto a outro (POLITO, 2016). O que é conhecido atualmente por wireless teve grande evolução com Graham Bell e Preece, ao conseguirem transmitir sinais de Telégrafo Wireless por meio de indução pelo mar, entre a Inglaterra e a Ilha Wight. As redes sem fio foram iniciadas a partir de um projeto nas universidades do Havaí em 1971 e que conectavam computadores de quatro dessas ilhas (ENGST; FLEISHMAN, 2005).

Conforme Engst e Fleishman (2005), as primeiras redes sem fio, com base em ondas de rádio, obtiveram maior relevância a partir da primeira metade dos anos 1990, durante a evolução dos processadores, quando se tornaram mais rápidos e capazes de operar com esses tipos de aplicações. A utilização de redes sem fio vem aumentando ao passo que a qualidade aumenta e o preço se torna cada vez mais acessível (SYMANTEC, 2013).

Segundo Schaff (1990), no final do século XX houve uma verdadeira revolução tecnológica caracterizada por três grandes avanços: a microeletrônica, a microbiologia e a revolução energética. A revolução tecnológica foi também responsável pela evolução dos sistemas de controle de aeronaves que passaram a utilizar comunicação feita por fios, o chamado *fly-by-wire*, onde sensores transmitem sinais elétricos de alta complexidade para computadores. O aumento da complexidade é devido ao número de subsistemas interligados e a quantidade de dados trocados (COMMITTEE, 2002).

Segundo Joseph e outros autores (2004), as tecnologias mais relevantes e desafiadoras têm sido buscadas para aplicações em aeronaves, já que o fabricante busca, cada vez mais, baixos custos com combustível e manutenção. Segundo Montoro e Migon (2009), é evidenciada a notoriedade do setor aeronáutico pelo grande potencial de crescimento que carrega.

Com as constantes evoluções que vêm ocorrendo nas tecnologias aeronáuticas, já existem estudos que apresentam maior eficiência agregada à redução do peso da aeronave quando substituídos os fios característicos da tecnologia *fly-by-wire* por sinais sem fio, ou seja, utilizando sinais *wireless*, o que introduz uma tecnologia a ser utilizada futuramente, o *fly-by-wireless*. Sobre a utilização dos cabos elétricos, Furse e Haups (2001) afirmam que, embora a arquitetura atenda aos requisitos, herda peso e custos devido à significativa quantidade de fios e conectores.

Portanto, o objetivo deste trabalho é trazer uma abordagem sobre o que é o sistema de controle de aeronaves, o *fly-by-wire* e seu funcionamento. Assim como contribuir para o desenvolvimento científico da nova tecnologia que vem sendo estudada, o *fly-by-wireless*, na perspectiva de que esta tecnologia substituirá a atualmente utilizada.

## 2 METODOLOGIA

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica resultado de pesquisas realizadas no período de agosto de 2019 a abril de 2020. Propõe um estudo por meio de fontes secundárias acerca da importância da introdução das tecnologias *wireless* nos sistemas aviônicos, que atualmente utilizam fios condutores, a fim de tornar efetiva a comunicação e aumentar o grau de segurança em aviões.

A pesquisa traz uma abordagem de natureza explicativa com foco na revisão bibliográfica da literatura, já que na prática as tecnologias sem fio ainda não são utilizadas em sistemas de controle de aeronaves, porém a utilização de tecnologias, como a *Ultra Wide Band*, já vem sendo discutida com a finalidade de reduzir custos na produção de aeronaves e consumo de combustível. A abordagem qualitativa apresentada neste estudo integra informações com a finalidade de apresentar o andamento das pesquisas relacionadas ao tema, a perspectiva de aplicação pelas grandes empresas do mercado, introdução em sistemas não críticos, como também as vantagens e desvantagens em relação à tecnologia atual.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 INCORPORAÇÕES DA TECNOLOGIA WIRELESS AOS SISTEMAS DE CONTROLE DE VOO MODERNOS E FLY-BY-WIRE

O uso da comunicação sem fio está chegando, também, na aviação com a proposta da substituição dos fios por comunicação *wireless*. Segundo Elgezabal (2010),

sua utilização em um sistema de controle de aeronaves gera preocupações relacionadas a interferências eletromagnéticas (EMI), que podem ser gerados por fenômenos naturais ou eventos artificiais, interferência por dispositivos eletrônicos portáteis (PED) ou a comunicação por satélite. Esses problemas podem chegar a comprometer a qualidade da transmissão de informações (QoT).

Apesar disso, as interferências não apresentam problemas de segurança do sistema com o envio de informações por meio do Man-in-the-Middle, como também não apresentam ataques que indisponibilizam o sistema, não permitindo o acesso aos utilizadores. Um ataque do tipo *Man-in-the-Middle* (MITM) é a expressão utilizada quando uma pessoa mal intencionada se posiciona entre um cliente e um aplicativo a fim de imitar uma das partes fazendo parecer uma comum transferência de informações entre o usuário e o aplicativo (MEYER; WETZEL, 2004; KISH, 2006; HYPONEN; HAATAJA, 2007; OUAFI *et al.* 2008).

Além da segurança que a comunicação *wireless* poderá proporcionar aos sistemas de controle de voo, ela também apresenta custos reduzidos em relação à comunicação por fio utilizada atualmente. A utilização de fios e conectores tem gerado complexidade na construção e peso nas aeronaves, o que tem sido uma grande preocupação das fabricantes. Para uma aeronave como o A320, avião produzido pela Airbus, os fios e conexões geram um custo em torno de 14 milhões de dólares e duas toneladas a mais (FURSE e HAUPT, 2001).

Por outro lado, a tecnologia *wireless* se apresenta como uma das soluções com menor custo e simplicidade, além da robustez apresenta tal evolução com sensores (SURIYACHAI *et al.*, 2010). Bem como, a evolução das tecnologias *wireless* nas redes industriais sem fio (WILLIG *et al.*, 2005).

Segundo Thanthy e Pendse (2004), na comunicação sem fio para aeronaves é possível garantir confidencialidade que impede escutas de usuários que não são autorizados a integridade dos dados, garantindo que outras pessoas não os alterem durante o transporte e a autenticação, que é capaz de impedir o acesso não autorizado.

Tecnologias *ethernet*, ou seja, capazes de conectar redes locais (LAN), apresentam qualidade no serviço de comunicação (QoS). Já para sistemas com alto desempenho, como na transmissão de dados para uma aeronave, as tecnologias de ultra banda larga vêm sendo investigadas (LEIPOLD *et al.*, 2011).

Furse e Haupt (2001), citam que o A380, uma aeronave de grande porte quadrimotor a jato da Airbus, contém 500 km de cabos, que causam grande parte do atraso da produção. Além dos custos em torno de US\$ 2 bilhões com cabos, incluem interconexões sujeitas a falha e perigo de incêndio, o que diminui a confiabilidade neste tipo de conexão.

Por isso, a possibilidade da implantação da tecnologia *wireless* em sistemas de controle de aeronaves vem sendo bastante estudada, tanto por questões de segurança, quanto economia e eficiência no transporte aéreo.

### 3.2 TECNOLOGIAS DE ULTRA BANDA LARGA

A *Federal Communications Commission* (FCC) define os sinais Ultra Banda Larga (UWB) com largura de banda, ou seja, a faixa de frequência ocupada maior que 500 MHz ou largura de banda fracionária maior que 20%. Conforme Lew (2003), em seu trabalho sobre antenas trapezoidais invertidas para sinais em pulso, as tecnologias Ultra Banda Larga também podem ser fornecidas por fios, linhas e cabos com aplicação em *Community Antenna Television* (CATV), normalmente utilizado em televisores.

Os periféricos utilizados em computadores tais como *mouses*, teclados, impressoras, monitores, alto-falantes, microfones, *joysticks* e outros como exemplo de uso adequado da UWB, todos enviando mensagem para o mesmo computador (SIWIAK; KEOWN, 2004). Como cita Fontana (2000), a função da utilização de pulsos UWB tem por objetivo fornecer taxas de dados extremamente altas, com sua forma de onda de curta duração acaba se tornando imune a caminhos múltiplos observados em dispositivos móveis e em ambientes com barreiras físicas como prédios, lajes ou telhados.

Arthas (2004) apresenta alguns tipos de redes que possuem características próprias. As redes locais sem fio, conhecidas como WLAN, são redes que utilizam ondas de rádio para transmissão de dados ou de *internet*. Para Arthas (2004), as configurações de uma WLAN necessitam de padrões que vem sendo desenvolvidos pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE).

As redes metropolitanas sem fio, também conhecida por WMAN, possuem um alcance maior, cerca de 4 a 5 km. O WiMax é caracterizado por ser uma tecnologia que permite acesso a uma banda larga a grandes distâncias, entre 6 a 9 km (PRADO, 2010). As Redes de longa distância, ou WWAN, são redes mais comuns no dia a dia porque estão presentes nos celulares ao utilizarem redes estendidas sem fio. O *Wireless Local Loop* é uma tecnologia capaz de transmitir dados e voz por ondas. E as Redes Pessoais Sem Fio, WPAN, tem como principal tecnologia o *bluetooth*.

Dentro das redes WLAN, Arthas (2004), também cita os padrões desenvolvidos pela IEEE que devem ser considerados:

Quadro 1 – Padrões de rede desenvolvido pela IEEE

PADRÃO DE REDE	DESCRIÇÃO
IEEE 802.11a	Utilizados em redes sem fio com frequência de 5GHz
IEEE 802.11b	Descreve o que vem a ser a implementação do WLAN, rede local sem fio, com uma frequência de 2.4 GHz, se tornando uma das grandes novidades dos últimos anos
IEEE 802.11g	Representa o padrão mais recente de redes sem fio, atua com uma frequência de 2.4 GHz com taxas de transferência de até 54 Mbps
IEEE 802.11i	Trata-se de uma nova arquitetura de segurança para redes locais sem fio que vem para substituir gerações de soluções como a IEEE 802.11a e IEEE 802.11g

PADRÃO DE REDE	DESCRIÇÃO
IEEE 802.11e	Traz melhorias aos protocolos 802.11, incluindo capacidade multimídia, ou seja, capacidade de fornecer vídeo e áudio ondemand, e a funcionalidade da qualidade do serviço (QoS), com acesso de alta velocidade

Fonte: Autores (2020).

Como explanado por Lew (2003), as tecnologias UWB trazem características únicas e que as tornam a melhor solução para substituição da tecnologia banda larga.

O sistema UWB baseado em impulso por ondas de rádio apresenta baixo custo e baixa complexidade, bem como largura de banda de frequência ultra larga com grande capacidade de centenas de Mbps ou grande quantidade de Gbps com distância que varia entre 1 e 10 metros (OPPERMANN *et al.*, 2004).

Além disso, os sistemas UWB são muito bons quando se trata de tempo e alcance de sinal, mesmo em situações que gerem perdas, como exemplo é possível citar a imunidade de caminhos múltiplos. Outra vantagem é que o sistema é capaz de operar com transmissão de potências extremamente baixas e por se tratar de baixa densidade de energia, o sinal é semelhante a um ruído, o que torna uma possível detecção não intencional algo difícil de ocorrer, além da baixa probabilidade de detecção e interceptação. Por isso, a Ultra Banda Larga fornece segurança e confiabilidade nas comunicações (ARTHAS, 2004).

Assim, como normalmente acontecem nas tecnologias, irão existir outras que serão capazes de atender melhor um determinado tipo de abordagem. Ao exemplo, para taxas muito altas de dados, em torno de 10 Gigabits/segundo ou superior, a UWB não tem um desempenho tão bom quanto a capacidade de comunicação da fibra ótica. Porém, o alto custo da instalação da fibra ótica e a incapacidade de penetrar paredes, por exemplo, torna a fibra limitada em relação aos sinais wireless (ARTHAS, 2004).

### 3.3 BARREIRAS ATUAIS NA IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA FLY-BY-WIRELESS

O processo de desenvolvimento de um produto se faz essencial para as empresas que atuam em determinados setores, ao exemplo da aviação, o desenvolvimento da tecnologia *fly-by-wireless* e aplica para as empresas do setor aeronáutico. Para Rozenfeld e outros autores (2006), no desenvolvimento do produto existe um grande grau de incerteza, contudo, é um momento muito importante por gerar soluções capazes de determinar 85% do que virá a ser o custo do produto ao final do projeto.

Perucia e outros autores (2010) tratam da dicotomia “produzir *versus* comprar”, o que envolve várias empresas do setor em um mesmo objetivo e analisam a cooperação entre elas, levando ao que chamam de economias de escala, um processo capaz de reduzir o custo médio do produto ao diluir os custos fixos por conta das grandes quantidades produzidas. Além das economias de escala, a cooperação pode levar especia-



lização e conhecimento mútuo ao setor, mas ainda assim algumas barreiras vão existir quando se discute o desenvolvimento de um produto. O planejamento é uma etapa que consome muito tempo, além disso muitos recursos (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

As razões pelas quais as empresas colaboram no desenvolvimento de um produto ou tecnologia estão voltadas, principalmente, na redução de custos de desenvolvimento, entrada no mercado, redução dos riscos, atingir escala de produção, diminuição tempo e comercialização de novos produtos (TIDD *et al.*, 2001).

Probert e outros autores (2000), trazem à discussão a importância de haver diálogo entre a perspectiva tecnológica e a comercial ao se desenvolver um produto, levando em conta o processo de gestão tecnológica que trata da identificação, seleção, aquisição, exploração e proteção.

Uma solução como *roadmapping* tecnológico, que trata de um mapeamento com o intuito de desenvolver ações estratégicas através do *roadmap*, um mapa com o objetivo de tratar diferentes visões, como a comercial e tecnológica a fim de organizar a evolução do processo. Essa solução deve sempre seguir três pilares: tecnologia alinhada com o desenvolvimento do produto, estratégia de negócio e oportunidade de mercado (PHALL *et al.*, 2004).

Gomez (2010) traz à reflexão o uso das tecnologias *fly-by-wireless* em aeronaves. Em se tratando de tecnologias *wireless*, o que vem gerando preocupação no setor da aviação é a vulnerabilidade do sistema em relação às interferências eletromagnéticas (EMI), ou seja, desde fenômenos naturais, que são difíceis de manter um controle entre eles, até eventos internos capazes de gerar interferência, como o uso dos dispositivos eletrônicos portáteis, ou interferências externas ao plano, como a comunicação por satélite ou a navegação. Isso acaba por causar degradação na taxa de dados e conseqüentemente na qualidade de sinal, conhecida como QoS.

### 3.4 COMUNICAÇÕES CONFIÁVEIS PARA A AVIAÇÃO

As tecnologias *wireless* vêm sendo utilizadas em redes industriais, como destacam Willig e outros autores (2005), em seu trabalho sobre tecnologia sem fio na indústria; as redes de sensores, por Surivachai e outros autores (2010), em seu trabalho sobre entrega de dados críticos em redes sem fio; até sistemas biomédicos, por Kang e outros autores (2013), em seu trabalho sobre *design* e qualidade de transmissão em redes sem fio para eletrocardiografia remota em tempo real. Neste processo, o desenvolvimento das tecnologias *wireless* denominadas por *Fly-By-Wireless* para a indústria aeroespacial são avaliados os riscos e desafios que reúnem as empresas do setor, como Airbus e NASA, no propósito de discutir os avanços das tecnologias sem fio e suas aplicações em sistemas aviônicos de aeronaves (ELGEZABAL, 2010).

Dang e outros autores (2012), identificaram os maiores desafios diante da possibilidade da utilização de tecnologias sem fio na aviação, área da aviação responsável pela eletrônica, incluindo sistemas de navegação e comunicação. Diante das possibilidades apresentadas, a Ultra Banda Larga apresentou maior precisão para aplicações aviônicas devido à alta taxa de dados, protocolo de acesso e mecanismos de alta segurança.

As redes sem fio agregam funcionalidade e segurança quando baseadas na tecnologia Ultra Banda Larga, juntamente com o protocolo *Time Division Multiple Access* (TDMA) que divide o canal de frequência, impedindo problemas de interferência. E vem como proposta para as redes de backup *Avionics Full-Duplex Switched Ethernet* (AFDX), que se trata de uma rede de dados pertencente à fabricante de aeronaves *Airbus* (MALINOWSKY *et al.*, 2013).

A análise existente da rede é realizada com base no *Network Calculus* (cálculo de rede), citam Boudec e Thiran (2001), que trata de uma aplicação em um ambiente livre de erros, e em seguida submetido a um ambiente propenso aos mesmos. O cálculo de rede vem sendo aplicado em alguns campos, ao exemplo de redes de sensores sem fio, que tratam de projetos de telecomunicações e eficiência energética (GOLLAN; SCHMITT, 2007). Conforme Koubâa e outros autores (2008), há aplicações em sistemas em tempo real e dos cálculos em redes aeroespaciais como apresentado por Mifdaoui e outros autores (2010) em aplicações militares.

Estudos propostos por Akl e outros autores (2010) e Leipold e outros autores (2011) apresentam soluções baseadas em tecnologias sem fio para melhoria de funções aviônicas que não são críticas, como as redes de entretenimento, em que propõem comunicação sem fio na cabine, com a finalidade de melhorar a infraestrutura de aeronaves. Outra proposta interessante é a aplicação de redes de sensores sem fio e sistemas de controle na integridade do monitoramento das aeronaves (YEDAVALLI; BELAPURKAR, 2011).

## 4 CONCLUSÃO

Por meio dos estudos aqui realizados, as pesquisas indicaram que o *fly-by-wireless* demonstra resultados com potencial de aplicação e utilização nos sistemas de controle de voo de aeronaves. Dentre os tipos de tecnologias *wireless* disponíveis, a que apresenta melhor desempenho para aplicação nesses sistemas é a Ultra Banda Larga, que conta com ótima estabilidade, alta frequência de transmissão de dados e segurança.

Para a implantação de uma nova tecnologia em sistemas aviônicos é de extrema importância um mapeamento de diferentes pontos de vista, sejam elas, comerciais ou tecnológicas, com o intuito de desenvolver ações estratégicas que se alinhe com a tecnologia desenvolvida de forma que o avião continue sendo o meio de transporte mais seguro e eficiente.

Ainda é necessário que muitos estudos e testes continuem sendo realizados para se obter resultados cada vez mais precisos e confiáveis, para que melhorias sejam incorporadas à aviação, com o objetivo de trazer mais segurança, conforto, autonomia e eficiência para o setor aeronáutico.

## REFERÊNCIAS

AKL, A. *et al.* (2010). investigating several wireless technologies to build a heterogeneous network for the in-flight entertainment system inside an aircraft



cabin. Conferência Internacional sobre Comunicações Sem Fio e Móveis b (ICWMC), 6. **Anais [...]**, Washington, DC, EUA, 2010.

ARTHAS, Kael. **Tutorial Wireless**. 2004.

BOUDEC, J.-Y. Le; THIRAN, P., **Cálculo em rede**: uma teoria da sistemas de filas deterministas para a Internet. V. 2050. Springer, 2001.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston: Harvard Business School Press, 1991.

DANG, D. K. *et al.* (2012). Fly-by-wireless for next generation aircraft: Challenges and potential solutions. **Proceedings of Wireless Days (WD)**, Dublin: Ireland, 2012.

COMMITTEE, E. E. **Aircraft Data Network Part 7**, Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network, ARINC Specification 664. Annapolis: Maryland, 2002. Aeronautical Radio.

ELGEZABAL O. Gomez. Fly-by-wireless: Benefits, risks and technical challenges. **Fly by Wireless Workshop** (FBW), Caneus, 2010.

ENGST, Adam; FLEISHMAN, Glenn. **Kit do Iniciante em Redes Sem Fio**: o guia prático sobre redes Wi-Fi para Windows e Macintosh. 2. ed. São Paulo: Ed. Pearson Makron Books, 2005.

FONTANA, Robert J. **Uma breve história das comunicações UWB**. Multispectral Solutions, Inc., editores do Kluwer Academic / Plenum, 2000. Disponível em: <http://www.multispectral.com/history.html>. Acesso em: 2 jun. 2020.

FURSE, C.; HAUPT, R. Down to the wire. **Spectrum**, IEEE, v. 38, n. 2, p. 34-39, 2001.

GOLLAN, N.; SCHMITT, J., Projeto de TDMA com eficiência energética em restrições de tempo nas redes de sensores sem fio. Simpósio Internacional de Modelagem, Análise e Simulação Sistemas de Computação e Telecomunicações (MASCOTS), 15, 2007. **Anais [...]**, Washington, DC, EUA, 2007.

HYPONEN, K.; HAATAJA, K. M. Nino man-in-the-middle attack on bluetooth secure simple pairing. Internet, 2007. ICI 2007. 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on. **IEEE**, p. 1-5, 2007.

JOSEPH, C. A. *et al.* (2004) Desperate measures. **Aviation Week & Space Technology**, New York, v. 161, n. 54, dez. 2004

- KANG, K. *et al.* (2013). Design e qos de uma rede sem fio sistema para eletrocardiografia remota em tempo real. **J. Biomédica and Health Informatics**, IEEE, v. 17, n.3, p: 745-755, 2013.
- KISH, L. B. Protection against the man-in-the-middle-attack for the Kirchhoff-loop-Johnson (-like)-noise. Cipher and expansion by voltage-based security. **Fluctuation and Noise Letters**, v. 6, n. 1, p. L57-L63, 2006.
- KOUBÂA, A. *et al.* (2008). Uma alocação implícita de GTS mecanismo IEEE 802.15.4 para redes de sensores sem fio sensíveis ao tempo: a teoria e a prática. **Sistema em tempo real**, n. 39, p. 169-204, 2008.
- LEIPOLD, F. *et al.* (2011). Wireless in-cabin communication for aircraft infrastructure. **Telecommunication Systems**, p. 1-22, 2011.
- LEW, Celine F. L. **Antena trapezoidal invertida para pulsado Aplicação**. 2003. Tese (B. Eng) – Universidade de Queensland, Departamento Engenharia Elétrica, 23 de maio de 2003.
- MALINOWSKY, B. *et al.* (2013). Realização de tempo comunicação confiável através de tecnologias sem fio prontas para uso. No Conferência de redes e comunicações sem fio (WCNC), IEEE, 2013. páginas 4736-4741, 2013.
- MEYER, U.; WETZEL, S. A man-in-the-middle attack on UMTS. **Proceedings of the 3rd ACM workshop on Wireless security**. ACM, out. 2004. p. 90-97.
- MIFDAOUI, A. *et al.* (2010). Análise de desempenho de uma Ethernet comutada mestre / escravo para aplicações militares incorporadas. **Transações do IEEE sobre Informática Industrial**, 6 de novembro de 2010.
- OPPERMANN, I. *et al.* (2004). **UWB Theory and Applications**. John Wiley & Sons Ltda., 2004.
- OUAFI, K. *et al.* (2008). On the security of HB# against a man-in-the-middle attack. International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security Springer, 2008. **Anais [...]**, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 108-124.
- PHAAL, R. *et al.* (2004). Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting & Social Change**, n. 71, p. 5-26, 2004.
- POLITO, Antony M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

PRADO, Eduardo. **WiMAX no Brasil**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/WiMax.asp>. Acesso em: 14 jun. 2020.

PROBERT, D. R. *et al.* (2000). **Structuring a systematic approach to technology management: concepts and practice**. 2000.

RELATÓRIO 64 do Comitê de Comunicações Eletrônicas (ECC). **Os Requisitos de proteção dos sistemas de radiocomunicação abaixo de 10,6 GHz de aplicativos UWB genéricos**. Fevereiro de 2005.

ROZENFELD, H. *et al.* (2006) **Gestão de Desenvolvimento de Produto: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SIWIAK, Kazimierz; KEOWN, Debra Mc. Rádio de banda ultra larga Technology. **John Wiley & Sons** Ltda., 2004. Capítulo 2. p. 30-31.

SURIYACHAI, P. *et al.* (2010). Time-critical data delivery in wireless sensor networks. **Distributed Computing in Sensor Systems**, p. 216-229, 2010.

SYMANTEC. **Internet Security Threat Report** [PDF] Symantec. 2013. p. 20.

SCHAFF, Adam. **A sociedade informática**. São Paulo: Brasiliense, 1990.

THANTHRY, N.; PENDSE, R. Aviation data networks: Security issues and network architecture. **International Carnahan Conference on Security Technology**, 2004.

TIDD, J. *et al.* (2001). **Managing innovation: integrating technological, managerial organizational change**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

WILLIG, A. *et al.* (2005). Wireless Technology in Industrial Networks. **Proceedings of the IEEE**, 2005.

YEDAVALLI, R.; BELAPURKAR, R. Application of wireless sensor networks to aircraft control and health management systems. **Journal of Control Theory and Applications**, v. 9, n. 1, p. 28-33, 2011.

---

**Data do recebimento:** 19 de julho de 2020

**Data da avaliação:** 13 de setembro de 2020

**Data de aceite:** 13 de setembro de 2020

---

---

1 Acadêmico do Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: [jfersonprieto@gmail.com](mailto:jfersonprieto@gmail.com)

2 Acadêmico do Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: [mmuller.elet@gmail.com](mailto:mmuller.elet@gmail.com)

3 Professor do Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: [jailmabs@hotmail.com](mailto:jailmabs@hotmail.com)

4 Professora do Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: [rzaninelli@gmail.com](mailto:rzaninelli@gmail.com)