

# A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS NO CONTROLE DE VOO

Marcel Müller Santos de Menezes<sup>1</sup>

Jéferson de Andrade Prieto Ferro<sup>2</sup>

Matheus Correia de Melo<sup>3</sup>

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

Antônio Ricardo Zaninelli do Nascimento<sup>5</sup>

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A aviônica, ou eletrônica embarcada, presente em aeronaves civis pode ser dividida em cinco sistemas, são eles: interface homem-máquina, sensores do estado da aeronave, sensores de condições externas, navegação e sistemas automáticos. O quinto e último grupo está cada vez mais presente no controle de voo em aeronaves. Isso ocorre porque a indústria aeronáutica busca sempre formas de melhorar a segurança do voo, já que o cansaço humano pode acarretar em falhas operacionais, e ao mesmo tempo reduzir a tripulação mínima para uma operação sem riscos. Devido a isso, diversas pesquisas foram financiadas acarretando no desenvolvimento de tecnologias como o piloto automático, sistema autothrust, fly by wire e o glass cockpit. O objetivo dessa pesquisa é explorar os sistemas automáticos presentes na aviônica de aeronaves atuais e mostrar as implicações que os mesmos tiveram na navegação moderna. Para isso, foi realizada uma pesquisa descritiva, na qual diversos materiais foram analisados e relacionados a esta pesquisa.

## PALAVRAS-CHAVE

Automação de voo. Aviônica. Indústria aeronáutica.

## ABSTRACT

Avionics, or embedded electronics, present in civil aircraft can be divided into five systems, which are: human-machine interface, aircraft status sensors, external condition sensors, navigation and automatic systems. The fifth and final group is increasingly present in aircraft flight control. This is because the aviation industry is always looking for ways to improve flight safety, as human fatigue can lead to failures, and at the same time reduce the minimum crew for a risk-free operation. Calculate this, several researches were funded to activate the development of technologies such as autopilot, autotrust system, fly by wire and the glass cockpit. The objective of this research is to explore the automatic systems present in avionics of current aircraft and to show the implications of those that had modern navigation. For this, a descriptive research was carried out, in which several materials were analyzed and related to this research.

## KEYWORDS

Aeronautical industry. Avionics. Flight automation.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da aviação comercial o homem tem se preocupado em aprimorar a tecnologia de voo com o objetivo de garantir maior segurança, principalmente, em condições adversas de clima (SANDERS e FRITCH, 1973). Com o passar dos anos, a indústria aeronáutica produziu diversas tecnologias (Quadro 1), com o propósito de melhorar a segurança do voo e ao mesmo tempo reduzir a tripulação para uma operação sem riscos. Essa realidade só foi possível graças à grande redução na carga de trabalho advinda da automação de tarefas que antes necessitavam de um navegador ou engenheiro de voo (COLLINSON, 2011).

Quadro 1 - Resumo da evolução tecnológica na aviação

PERÍODO	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS	EX. DE AERONAVE
Década de 30	Desenvolvimento do giroscópio e sua utilização nos instrumentos de bordo.	Junkers F-13
Década de 50 e 60	Desenvolvimento de sistemas aeronáuticos relacionados com a operação das aeronaves.	Douglas DC-3
Década de 60 e 70	Desenvolvimento e consolidação de grandes aviões de transporte propulsados com motores a reação.	Boeing 707
Década de 70 e 80	Desenvolvimento e consolidação de sistemas autônomos de navegação e redução de tripulantes técnicos a bordo através da automação de funções.	Boeing 767

PERÍODO	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS	EX. DE AERONAVE
Década de 80 e 90	Desenvolvimento e consolidação de sistemas de navegação por satélites.	Airbus 330
Década de 90 aos anos atuais	Desenvolvimento e consolidação de sistemas de gerenciamento em cabines de alta tecnologia digital.	Boeing 787

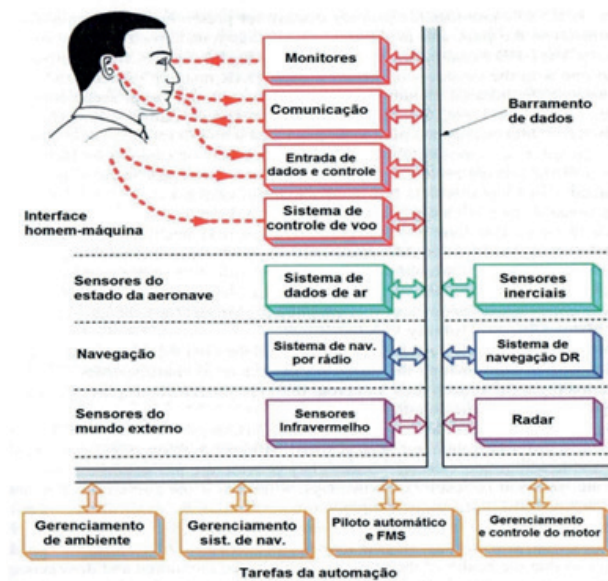
Fonte: adaptado de Ribeiro (2008).

Billings (1997) define automação como um sistema ou método no qual tarefas são realizadas e/ou controladas automaticamente através de máquinas ou dispositivos eletrônicos autônomos. Com isso, além do ganho em eficiência e segurança, a automação também permitiu economia em salários para a indústria aeronáutica, ao mesmo tempo em que aumentou o custo com capacitações para obter uma equipe mínima e extremamente qualificada.

Para os Hollnagel e Woods (2005), o uso da automação tem sido presente desde a década de 30. Entretanto, apenas a partir da década de 70, com a chegada dos computadores e suas facilidades, que houve uma revolução no que diz respeito à participação da tecnologia para o uso na aviação e, conseqüentemente, a transformação na interação da aeronave com o homem, criando assim novas demandas cognitivas para a realização da atividade.

Collinson (2011), afirma em sua publicação que, em aeronaves civis, toda a eletrônica embarcada (Figura 1), pode ser dividida em cinco grupos:

**Figura 1** - Eletrônica embarcada dos sistemas aviônicos



Fonte: Collinson (2011).

- Sistemas de interface homem-máquina: equipamentos de relação direta com o piloto, como monitores na cabine de comando; sistemas de comunicação; sistemas de entrada de dados; e sistemas de controle de voo.
- Sistemas de sensores do estado da aeronave: sondas e sensores dispostos ao longo da aeronave, como por exemplo: sensores de ângulo de ataque, giroscópios, temperatura e etc.
- Sistemas de navegação: equipamentos de navegação inercial, de posicionamento global ou via rádio;
- Sistemas de sensores de condições externas: sensores infravermelhos e radares meteorológicos.
- Sistemas automáticos: equipamentos de gerenciamento de navegação, de piloto automático, de gerenciamento de voo e controle do motor.

A necessidade do constante avanço da automação se dá, principalmente, em virtude da manutenção benéfica entre a segurança nas operações e a economia para o setor aeronáutico (HENRIQSON *et al.*, 2011). Diante de tal relevância, esta pesquisa irá explorar o quinto grupo proposto por Collinson objetivando mostrar as implicações da evolução dos sistemas automáticos na navegação moderna.

## 2 METODOLOGIA

Com o objetivo de identificar o contexto histórico e as consequências que a evolução do controle de voo trouxe para a aviação foi adotado como metodologia para este trabalho a pesquisa descritiva. Portanto, pode-se relacionar a esta pesquisa todos os tipos de documentos como:

- Livros, publicações e artigos pertinentes à aeronáutica;
- Regulamentações aeronáuticas vigentes e documentos adicionais emitidos por órgãos reguladores;
- Manuais de operação e portfólios de aeronaves e seus sistemas;
- Publicações sobre a confiabilidade dos sistemas atuais e perda de habilidade de voo dos pilotos.

## 3 O AVANÇO DOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS NA AVIAÇÃO

Na década de 1970, 500 milhões de passageiros por quilômetro foram transportados. Já na década de 1980, esse número dobrou e, na década de 1990, dobrou novamente, atingindo 2000 milhões de passageiros por quilômetro (TARNOWSKI, 2002). Essa crescente demanda de serviço passou a criar riscos inéditos para a aviação comercial, sendo necessário tomar medidas de segurança mais rigorosas. Os sistemas de piloto automático melhoraram essa situação, oferecendo ao piloto o descanso necessário em voos de longa duração (MAHER, 2001).

Além do Piloto Automático, outra tecnologia permitiu o foco do piloto em tarefas que necessitavam de extrema atenção, o Sistema Autothrust. Esta tecnologia

permitiu o controle automático da potência gerada pelos motores para um dado momento da operação (COLLINSON, 2011).

Os sistemas de controle de voo convencionais (mecânicos e hidromecânicos) são considerados relativamente pesados pela indústria aeronáutica. E quanto maior for o peso da aeronave, maior será o custo financeiro e menor será a sua eficiência, logo, manter o peso mínimo é fundamental para este mercado. Diante de tal problemática surgiu o Fly by Wire, que substituiu os cabos de controle mecânicos pesados por sinais elétricos que são transmitidos através de fios de cobre para os atuadores de controle final da aeronave (BORGES, 2017).

Apenas nestes últimos 30 anos, as cabines de comandos sofreram grandes alterações devido ao incessante aumento no uso de tecnologias responsáveis pelo gerenciamento e controle do voo (NTSB, 2010). Toda essa avançada instrumentação na cabine de comando é apresentada na forma de telas digitais, conhecidas como Glass Cockpit, que facilitam a interação do piloto com os diversos sistemas da aeronave.

Para que cada uma dessas tecnologias fosse implantada na aviação foram necessários diversos estudos que comprovasse a alta confiabilidade, segurança e sua viabilidade técnica. Nos tópicos seguintes deste trabalho, serão explanados com mais detalhes os impactos gerados por cada um desses sistemas.

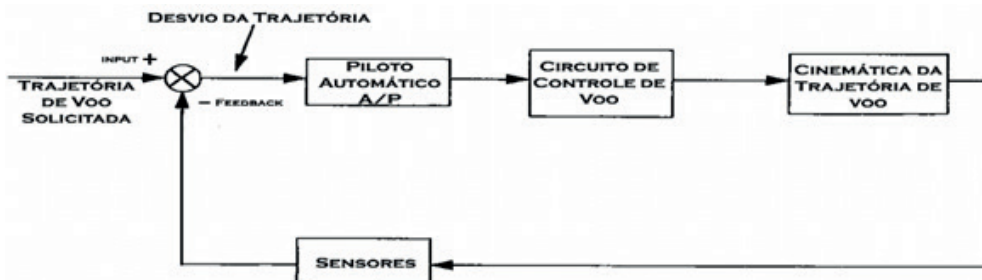
### 3.1 Piloto Automático (A/P, do inglês *Auto Pilot*)

O A/P foi desenvolvido com o intuito de oferecer ao piloto um descanso físico e mental durante voos de longa duração, fazendo com que o mesmo utilizasse sua atenção em tarefas necessárias de sua competência. A função básica do A/P é guiar a aeronave durante a trajetória de voo, como dito por Eismín (2002):

O sistema instalado {piloto automático} [...] detecta desvios na trajetória de voo e movimenta as superfícies de controle para manter a trajetória de voo selecionada (EISMIN, 2002, p.392).

O princípio de funcionamento do piloto automático dá-se da seguinte maneira, conforme Figura 2 a seguir.

**Figura 2** - Diagrama básico de funcionamento de um A/P



Fonte: Collinson (2011).

Como observado na Figura 3, primeiramente é determinado pelo piloto uma trajetória de voo a ser percorrida. Em seguida, o sistema irá reconhecer os dados e analisar as informações do voo, realizando assim ações necessárias para manter a rota pré-selecionada. Tendo em mãos as instruções oriundas da central do piloto automático, as superfícies de comando são então acionadas por atuadores hidráulicos de modo a modificar a cinemática do voo. Os sensores da aeronave captam essas alterações que após completarem o ciclo, enviam novas informações retroalimentando o processador de dados. Dessa maneira, sempre que houver divergência entre os dados da trajetória de voo selecionada pelo piloto e os dados da trajetória real que a aeronave está tomando, o piloto automático atuará nas superfícies de comando a fim de corrigir esse desvio (COLLINSON, 2011).

Apesar de possuir uma arquitetura complexa, devido às altas exigências de segurança e confiabilidade, o A/P é simples de ser operado. Após determinar as condições de voo, o sistema cuidará da mudança de altitude e desvios em caso de turbulência e em outras tarefas (JENIE, 2006). Apesar de toda simplicidade presente, Maher (2001) faz a importante ressalva de que o piloto não deve deixar a aeronave sob o comando do A/P sem supervisão:

Mesmo os melhores pilotos automáticos estão sujeitos a falhas inesperadas. Esse cenário {de falha} retratado acima seria raro, mas não impossível. Se essas situações não existissem, não haveria a necessidade de um piloto (MAHER, 2001, p.261, tradução nossa, grifo nosso).

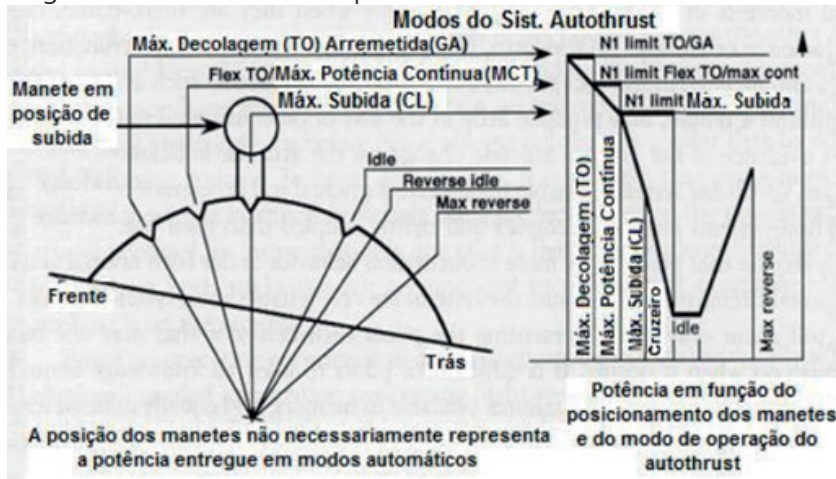
### 3.2 Sistema Autothrust/Autothrottle (A/THR)

Assim como o A/P tornou-se necessário para o descanso e/ou atenção dos pilotos em outras tarefas, o motor da aeronave também precisou de um controle automático da potência gerada. Dessa maneira, passou-se a ter maior economia de combustível que por sua vez aumentou o lucro da indústria estudada, uma vez que se tornou possível dosar o fluxo de combustível conforme a fase de voo (COLLINSON, 2011; BILLINGS, 1997).

Sistemas de autothrust mais novos, geralmente são ativados no início da corrida de decolagem, limitam a potência do motor para a de máximo empuxo ou um valor mais baixo, dependendo do peso da aeronave, comprimento de pista, temperatura e outras variáveis. O objetivo dele {sistema} é minimizar o desgaste do motor e consumo de combustível. A potência de decolagem desejada é selecionada através do sistema de gerenciamento de empuxo {manete de potência, ou throttle, em inglês, conforme representa a Figura 3}. [...] Em aeronaves mais antigas, os pilotos

simplesmente empurravam suas manetes totalmente para frente e obtinham o máximo de empuxo. O superaquecimento do motor geralmente era o resultado [...]. Em alguns aviões atuais, não é possível para os pilotos obter mais do que o empuxo necessário dos motores. A manete à plena potência instrui aos computadores do motor para fornecer empuxo proporcional {ao solicitado} (BILLINGS, 1997, p.40-41).

**Figura 3** - Diagrama das manetes de potência dos aviões A320/330/340



Fonte: Billings (1997).

Para explicar a operação do A/THR pode-se utilizar como exemplo o Airbus A320, família de aeronaves de fuselagem estreita bimotoras turbofan desenvolvidas e fabricadas pela Airbus. Primeiramente, ocorre a seleção do posicionamento das manetes por parte do piloto. O computador do A/THR identifica esse posicionamento e interage diretamente com o FADEC, um controle eletrônico digital para motor de turbina a gás que controla o fornecimento de combustível ao motor durante todo o regime operacional. O sistema reduz significativamente a carga de trabalho do piloto, proporcionando a melhor eficiência e desempenho do motor. Além de ajudar a monitorar a integridade do motor e os parâmetros operacionais críticos (ANAC, 2009).

Em seguida, são enviadas por sinais elétricos quais são as metas a serem cumpridas pelo motor, seja essa a de fazer a aeronave alcançar uma velocidade específica ou a de operar conforme uma dada condição de voo (AIRBUS, 2008). Logo em seguida, o FADEC analisa os dados e solicitações e envia comandos aos diversos sistemas que compõem o motor.

### 3.3 Fly by Wire (FBW)

Incorporado às aeronaves civis a partir de 1988 com o lançamento do Airbus A320, o FBW permite que os atuadores das superfícies de controle sejam acionados

e comandados através de sinais elétricos que são transmitidos a um computador de bordo. Apesar disso, os movimentos das superfícies ainda são dependentes de força hidráulica (BILLINGS, 1997; COLLINSON, 2011).

O piloto controla a aeronave através do computador de controle de voo, e o computador determina o movimento da superfície de controle para a aeronave responder da melhor forma aos comandos do piloto e obter uma resposta rápida, bem amortecida em todo o envelope de voo. (COLLINSON, 2011, p.187).

Contudo, como os comandos estão conectados de maneira eletrônica ao invés de mecanicamente, é possível que um movimento seja feito nos controles do comandante e que não seja percebido pelo primeiro oficial, já que por vezes não há retorno de movimento. Esse aspecto é mais comumente encontrado nas aeronaves da fabricante europeia Airbus, que possuem como controles da aeronave o sidestick<sup>6</sup>, oferecendo melhor aproveitamento da cabine, maior precisão e redução de peso. Diferente da sua concorrente Boeing, que utiliza os yokes<sup>7</sup>, mais conhecidos como manches convencionais como mostrado na Figura 4 (NARCIZO, 2015).

**Figura 4** - Boeing (Yoke) à esquerda e Airbus (Sidestick) à direita



Fonte: Boldmethod (2014).

O FBW trouxe diversas vantagens para a aviação, dentre elas estão: aumento no desempenho da aeronave; habilidade de integrar controles adicionais aos movimentos, como, por exemplo, ao utilizar flaps para manobrar a aeronave e não somente nas decolagens e pousos; e possibilidade do piloto realizar manobras despreocupadamente (BILLINGS, 1997).



### 3.4 Glass Cockpit (EFIS / EICAS / ECAM)

Diversas decisões importantes referentes ao voo são tomadas na cabine de comando da aeronave pela tripulação. Como forma de auxiliar à essas tomada de decisões, os pilotos dispõem de telas e monitores chamadas por glass cockpit (Figura 5), que contempla todos os sistemas de navegação, elétricos e parâmetros de motor (SMITHSONIAN, 2016). Nelas contém instrumentos de três categorias: Instrumentos primários de voo, instrumentos de navegação e instrumentos do motor e outros sistemas (JUKES, 2004).

**Figura 5** - Cockpit de um A350



Fonte - Airliners (2014).

As funções de cada categoria, respectivamente, são: fornecer informações relativas à aeronave e a sua capacidade de manter um voo seguro e controlado; fornecer informações relativas ao posicionamento geográfico e dados sobre o deslocamento da mesma; e fornecer informações sobre os sistemas da aeronave, inclusive os do motor, para garantir o correto funcionamento de todos os equipamentos ao longo do voo (JUKES, 2004).

O sistema que provê dados da cabine é conhecido como Sistema Eletrônico de Instrumentos de Voo (*Electronic Flight Instrument System - EFIS*). Há também o que é conhecido como Sistema de Alerta da Tripulação e Indicação do Motor (*Engine Indicating and Crew Alerting System - EICAS*), ou Monitor Eletrônico Central da Aeronave (*Electronic Centralized Aircraft Monitor - ECAM*) na terminologia da Airbus (JUKES, 2004; EISMIN, 2002).

Para demonstrar a relevância dos Glass Cockpit, Eismín (2002) cita em sua publicação o Boeing 757. No qual os dois computadores do EICAS monitoram mais de 400 dados provenientes do motor e de diversos sistemas da aeronave, utilizando para isso tanto sinais analógicos quanto digitais.

## 4 CONCLUSÕES

Através da pesquisa descritiva realizada foi possível compreender a relevância e implicações que os avanços dos sistemas automáticos têm proporcionado para a indústria aeronáutica. Como, por exemplo: o piloto automático e sua capacidade de oferecer descanso físico e mental para o piloto durante voos de longa duração; o sistema autothrust implicou numa maior economia de combustível, que por sua vez aumentou o lucro da indústria aeronáutica; o fly by wire que substitui os controles mecânicos e hidromecânicos por sinais elétricos e são transmitidos por fios de cobre a um computador de bordo, reduzindo consideravelmente o peso da aeronave; e o glass cockpit que passou auxiliar as tomadas de decisões da tripulação oferecendo diversas informações sobre os instrumentos e sistemas presentes na aeronave.

Por fim, os resultados alcançados a partir desta pesquisa descritiva demonstram a importância dos sistemas automáticos na indústria aeronáutica. No decorrer do trabalho foram expostas diversas conquistas alcançadas a partir da implantação de cada avanço tecnológico.

## REFERÊNCIAS

AIRBUS, Industrie. **Flight Crew Training Manual** - A318/319/320/321. França: Toulouse, 2008.

AIRBUS A350-941 - Airbus (Qatar Airways). Airliners, 2014. Disponível em: <https://www.airliners.net/photo/Airbus-Qatar-Airways/Airbus-A350-941/2474310>. Acesso em: 18 junho de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Aprova condição especial para o avião Embraer EMB-505, aplicável à instalação do sistema de controle eletrônico do motor. Resolução n. 108, de 04 de agosto de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Seção 1, p.09, 2009.

BILLINGS, Charles. **Aviation automation: The Search for a Human-Centered Approach**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1997.

WOULD you rather fly a yoke or a side-stick. Boldmethod. 2014. Disponível em: <http://www.boldmethod.com/blog/vote/2014/10/yoke-or-side-stick>. Acesso em: 17 de junho 2020.

BORGES, Vinícius. **A influência da automação na operação das aeronaves comerciais**. Minas Gerais: Araxá, 2017.

COLLINSON, R. P. G. **Introduction to Avionics Systems**. 3ª Ed. London: Springer, 2011.

EISMIN, Thomas. **Aircraft Electricity & Electronics**: Glencoe Aviation Technology Series. 5ª Ed. New York: Glencoe, 2002.

HENRIQSON, Éder; CARIM, Guildo; GAMERMANN, Ronaldo. **Fatores humanos no design de cabines de comando**. Revista Conexão SIPAER, v. 2, n. 2, p. 13-44, 2011.

HOLLNAGEL, Erik; WOODS, David. **Joint Cognitive Systems**: Foundation of Cognitive Systems Engineering. Flórida: Boca Raton, 2005.

JENIE, Said; BUDIYONO, Agus. **Automatic flight control system**: classical approach and modern control perspective. Indonésia: Bandung, 2006.

JUKES, Malcom. **Aircraft display systems**. Vol. 205. Virginia: Reston, 2004.

MAHER, Edward. **Avionics Troubleshooting and Repair**: For Pilots and Technicians. New York: McGraw-Hill, 2001.

NARCIZO, Rodolfo. **Automação na cabine de comandos e suas consequências na segurança de Voo**. São Paulo: Sao Paulo, 2015.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft**. Washington: District of Columbia, 2010.

RIBEIRO, Elones. **A formação do piloto de linha aérea: caso VARIG** – O ensino aeronáutico acompanhando a evolução tecnológica. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2008.

SANDERS, James. e FRITCH, Junior. **Instrument Landing Systems**. Communications, IEEE Transactions on, p. 435–454, 1973.

AIRBUS A320 **Glass Cockpit Display**. Smithsonian, 2016. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/14403hjpg>. Acesso em: 18 de junho de 2020.

TARNOWSKI, Etienne. **Cockpit Automation Philosophy**. France: Blagnac, 2002.

---

**Data do recebimento:** 17 de julho de 2020  
**Data da avaliação:** 12 de setembro de 2020  
**Data de aceite:** 12 de setembro de 2020

---

---

Acadêmico em Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: mmuller.elet@gmail.com

2 Acadêmico em Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: jfersonprieto@gmail.com

3 Acadêmico em Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL.

E-mail: mthscorreiaemelo@gmail.com

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

E-mail: jailmabs@hotmail.com

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

E-mail: rzaninelli@gmail.com