



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

DOUGLAS SANTANA MOTTA

**FUNCIONAMENTO DO RADAR STAR2000 NA DETECÇÃO DE AERONAVES
PARA O CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO EM MANAUS**

MANAUS - AM

2021

DOUGLAS SANTANA MOTTA

**FUNCIONAMENTO DO RADAR STAR2000 NA DETECÇÃO DE AERONAVES
PARA O CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO EM MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus – Centro, Departamento Acadêmico de Processos Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Sidney Assis Chagas

MANAUS

2021

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

M921f Motta, Douglas Santana.

Funcionamento do radar Star2000 na detecção de aeronaves o controle de tráfego aéreo em Manaus / Douglas Santana Motta. – Manaus, 2021.

44 p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*, 2021.

Orientador: Prof. Esp. Sidney Assis Chagas.

1. Engenharia mecânica. 2. Controle de tráfego. 3. Tráfego aéreo - Manaus. 4. Radar. I. Chagas, Sidney Assis. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621

DOUGLAS SANTANA MOTTA

**FUNCIONAMENTO DO RADAR STAR2000 NA DETECÇÃO DE AERONAVES
PARA O CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO EM MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus – Centro, Departamento Acadêmico de Processos Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Sidney Assis Chagas

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Sidney Assis Chagas (Presidente da Banca - Departamento de Processos Industriais IFAM)

Prof. Msc. Cristovão Américo De Castro (Membro Interno – Departamento de Processos Industriais IFAM)

Msc. Eng. Érico Drummond Dantas da Silveira
Controlador de Tráfego Aéreo (Membro Externo – Destacamento de Controle do Espaço Aéreo Eduardo Gomes)

MANAUS

2021

“As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso.”

(Santos Dumont)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sonia Maria Santana Motta e Claudécir Motta, a minha irmã Dominique Santana Motta por todo suporte.

Ao meu amigo Jairo Bandeira, pela contribuição e incentivo.

Agradeço aos amigos do controle de aproximação de Manaus, pelas trocas de serviço e pelo apoio incondicional ao meu trabalho de conclusão de curso.

Ao meu chefe, Capitão Hélio Ricardo, por acreditar nos meus estudos e sempre me ajudou para que o objetivo fosse alcançado.

A Andreza Batista, por ter apoiado nos momentos difíceis no começo dessa jornada.

Ao SO Marco Antônio, pelas aulas sobre radar entre os turnos de serviço.

Ao meu orientador, Professor Esp. Sidney Chagas, por ter aceitado esse desafio.

Aos professores, Cláudio Marcelo, Cristovão Américo, Josimar e a todos os demais professores pelos ensinamentos ao longo da vida acadêmica

Ao amigo de farda, Marcelo Augusto, mesmo com sua rotina de viagens, contribuiu muito para o desenvolvimento desse trabalho, disponibilizando seu tempo para repassar seus conhecimentos sobre o radar.

Ao amigo Érico Drummond, pelo incentivo para ingressar na engenharia mecânica e a todos os ensinamentos sobre a engenharia e tráfego aéreo.

Aos amigos do IFAM, Ivair, Eduardo, Heitor, Lucas, Pedro, Debora, Nazário entre outros, pela nossa união ao longo desses 5 anos.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo retratar o funcionamento do Radar Star2000 na detecção de aeronaves para o controle de tráfego aéreo em Manaus. Compreende-se que o tráfego aéreo se caracteriza pela circulação de várias aeronaves e requer a prestação de serviço de controladores que monitoram, orientam e dão todas as diretrizes para que o fluxo seja seguro, rápido e ordenado, tanto no ar quanto no solo. Além da contribuição humana, esse trabalho não seria possível se determinados elementos não o compusessem como os equipamentos e softwares, que são extremamente necessários para que se tenha maior facilidade em controlar as aeronaves com o intuito de sempre manter os mais altos níveis de segurança. Destaca-se que o Radar, que é um equipamento que permite detectar objetos e infere as distâncias a partir de ondas eletromagnéticas emitidas pelo próprio equipamento e recebida pelo eco da aeronave, auxilia a manter a segurança do tráfego aéreo, o que é essencial para um quantitativo maior de aeronaves que pousam e decolam a todo momento, com transportes de cargas, pessoas, etc. Nesse sentido, este estudo foi realizado com abordagem qualitativa, onde foram feitas pesquisas bibliográfica e documental, enfatizando-se a verificação da composição e funcionamento dos elementos mecânicos e eletromecânicos que compõe Radar Star2000 por meio de manuais técnicos, bem como o software que auxilia o referido equipamento na detecção de aeronaves para o controle de tráfego. O que se obteve como resultado foi a constatação de que o Radar gerou um impacto positivo na fluidez das aeronaves, visto que a cidade de Manaus possui o segundo maior aeroporto de cargas do Brasil – Aeroporto Internacional Eduardo Gomes -, sendo o maior da Região Norte do País. Além da utilização do equipamento ter contribuído para a segurança das pessoas que utilizam a aeronave para diferentes fins, também auxilia na economia do Estado.

Palavras-chaves: Radar; Radar Star 2000; Segurança; Tráfego Aéreo.

ABSTRACT

This research intends to portray the operation of Radar Star2000 in the detection of aircraft for air traffic control in Manaus. It is understood that air traffic is characterized by the circulation of several aircraft and requires the provision of services by controllers who monitor, guide and give all guidelines so that the flow is safe, fast and orderly, both in the air and on the ground. In addition to the human contribution, this work would not be possible if certain elements were not made up such as equipment and “software”, being extremely necessary to have greater ease in controlling aircraft in order to always maintain the highest levels of safety. It is noteworthy that the Radar, being a device that allows detecting objects and infers distances from electromagnetic waves emitted by the equipment itself and received by the aircraft's echo, helps to maintain the safety of air traffic, which is essential for a quantitative greater number of aircraft that land and take off at all times, transporting cargo, people, etc. In this sense, this study was carried out with a qualitative approach, where bibliographical and documentary research were carried out, emphasizing the verification of the composition and functioning of the Radar Star2000 through technical manuals, as well as the "software" that assists the aforementioned equipment in the detection of aircraft for traffic control. What was obtained as a result was the finding that the Radar generated a positive impact on the fluidity of the aircraft, since the city of Manaus has the second largest cargo airport in Brazil - Eduardo Gomes International Airport -, being the largest in the North Region. In addition to the fact that the use of the equipment has contributed to the safety of people who use the aircraft for different purposes, it also helps the economy of the State.

Keywords: Radar; Star2000 Radar; Securite; Air traffic.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Controle de Aproximação

ASR – Airport Surveillance Radar

CINDACTA IV- Quarto Centro de Defesa e Controle de Tráfego Aéreo

CW- Ondas Contínuas

DECEA- Departamento do Controle de Tráfego Aéreo

FAB- Força Aérea Brasileira

ICAO- Organização Internacional da Aviação Civil

MHZ- Mega hertz

PAR- Radar de Aproximação de Precisão

RADAR- Radio Detection and Ranging

RPM- Rotações por minuto

SISCEAB- Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro

SBEG- Aeroporto Internacional Eduardo Gomes

W- Watts

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Referências principais da categoria analítica	27
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma dos tipos de radares.....	20
Figura 2: Radar Primário	21
Figura 3: Radar Secundário	24
Figura 4: Modo A/C do Radar Secundário.....	25
Figura 5: STAR2000	30
Figura 6: Antena do secundário (retangular) / Antena do primário (parabólica).....	31
Figura 7: Mecanismo de rotação	32
Figura 8: Componente mecânico.....	34
Figura 9: Sistema de acionamento.....	35
Figura 10: Visualização da tela radar pelo software Sagitario	39
Figura 11: Movimentação de cargas em aeroportos no Brasil	40
Figura 12: Movimentacao no Aeoporto Eduardo gomes.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Noções Gerais do Radar	17
2.2 Histórico	17
2.2.1 Contexto Brasileiro	19
2.3 Tipos de Radar	20
2.3.1 Radar Primário	21
2.3.2 Equação do radar.....	23
2.3.3 Radar Secundário	24
2.4 Transponder	27
3 MATERIAIS E METÓDOS	28
3.1 Coleta e Análise de Dados.....	29
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	30
4.1 Apresentação da estação radar do Star2000	30
4.2 Princípio de funcionamento da antena.....	31
4.2.1 Antena Primária	31
4.2.2 Antena secundaria	32
4.2.3 Comando de polarização	32
4.2.4 Mecanismo de rotação.....	33
4.2.5 Descrição da parte fixa e móvel.....	34
4.3 Conjunto pedestal.....	34
4.3.1 Principais componentes mecânicos.....	35
4.3.2 Sistema de acionamento	36
4.3.3 Motor de acionamento.....	37
4.3.4 Engrenagens de redução, caixa de redução ou redutor	37
4.3.5 Embreagem	37

4.3.6 Inversor de frequência.....	38
4.3.7 Descrição funcional Drive System.....	38
4.3.8 Sistema de lubrificação	38
4.4 Software Sagitário	39
4.5 Controle de tráfego aéreo em Manaus	40
4.6 Movimentação de passageiros	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O tráfego aéreo se caracteriza pela circulação de várias aeronaves e requer a prestação de serviço de controladores que monitoram, orientam e dão todas as diretrizes para que o fluxo seja seguro, rápido e ordenado, tanto no ar quanto no solo. Além da contribuição humana, esse trabalho não seria possível se determinados elementos não o compusessem como os equipamentos e softwares, que são extremamente necessários para que se tenha maior facilidade em controlar as aeronaves com o intuito de sempre manter os mais altos níveis de segurança.

Nesse sentido, o radar que é um equipamento que permite detectar objetos e inferir suas distâncias a partir de ondas eletromagnéticas emitidas e recebida pelo eco da aeronave, auxilia a manter a segurança do tráfego aéreo, o que é essencial para um quantitativo maior de aeronaves que pousam e decolam a todo momento, com transportes de cargas, pessoas etc.

A partir desse contexto, surge a seguinte questão problema: como o funcionamento do Radar Star2000 na detecção de aeronaves contribui para o controle de tráfego aéreo na cidade de Manaus?

Partindo do pressuposto que alguns aeroportos do Brasil e em alguns interiores do Amazonas, como Parintins, não utilizam esse equipamento, o que reflete na precariedade de segurança e na fluidez das aeronaves, torna-se importante elucidar, a partir do questionamento central acima citado, os detalhes do funcionamento do radar, suas particularidades e principalmente sua colaboração para que o controle de tráfego ocorra em sua forma mais segura. A cidade de Manaus possui o segundo maior aeroporto de cargas do Brasil – Aeroporto Internacional Eduardo Gomes - sendo o maior da Região Norte do País. Logo, faz-se necessário a utilização do radar que além de contribuir com a segurança das aeronaves, auxilia na economia do Estado.

Sendo assim, o objetivo geral desse trabalho é estudar o funcionamento do RADAR STAR2000 na detecção de aeronaves para o controle de tráfego aéreo em Manaus. Para isso, serão utilizados manuais técnicos da própria fabricante do radar. Para se chegar a resultados satisfatórios listamos os seguintes objetivos específicos: Apontar as noções gerais e histórico do Radar; Apresentar o funcionamento do Radar Star2000; Demonstrar a contribuição do Radar Star2000 no controle de tráfego aéreo em Manaus.

O RADAR, abreviatura derivada da expressão em inglês, “RADIO DETECTION AND RANGING”, tem origem antiga, hoje em dia esse termo é comum no cotidiano. A palavra radar é utilizada para se referir a equipamentos eletrônicos que detectam a presença, direção, altura e

distância de objetos utilizando de energia eletromagnética refletida. Essa energia utilizada não sofre nenhum tipo de alteração devido a escuridão e consegue penetrar qualquer clima. O desenvolvimento do sistema de radares é um dos mais complexos processos de engenharia em uso hoje e representa estudo acumulado de muitos países. Os princípios do funcionamento são de conhecimento há algum tempo, porém, muitas pesquisas no campo da eletromecânica e eletrônica foram indispensáveis para a evolução (LEVANON, 1988)

No Brasil, logo após a contribuição do país na II Guerra Mundial, em que diversos tipos de sistemas de defesa foram adquiridos dos países aliados, dentre eles o radar, iniciou uma nova perspectiva para o controle de tráfego aéreo com essa nova tecnologia, onde foi possível ter a visualização das aeronaves de forma bruta, em que apenas um sinal era recebido na tela dos controladores. Antes da chegada desse sistema, os voos durante o dia, eram realizados de forma que os pilotos mantivessem contato permanente com o terreno, topografia e as construções feitas pelo homem, onde serviam de referências para a navegação do piloto. Para voar a noite, os pilotos se orientavam por meio de holofotes e luzes rotativas, dispostas ao longo das rotas, sinalizando o caminho a ser seguido (JUCEWICZ, 1997).

Em Manaus, eram utilizados equipamentos rádios que recebiam sinais de instrumentos a bordo das aeronaves. Como esses sinais eram recebidos a grandes distancias, esses transmissores dispensavam a navegação visual, ponto a ponto, e podiam ser dispostos em menor número do que as lâmpadas usadas na navegação noturna, viabilizando economicamente a proliferação dos trajetos de médio e longo alcance. Com a chegada do radar em meados da década de 70, novos sistemas foram incorporados para o controle de tráfego aéreo em Manaus.

Concebe-se que o estudo desta proposta inovadora, acima explicitada, será relevante para o âmbito da pesquisa, em seus diversos campos, pois trata-se do desvelamento do funcionamento do Radar Star2000 na detecção de aeronaves para o controle de tráfego aéreo em Manaus, tema pouco explorado e que se faz necessário o devido aprofundamento.

Sobre a relevância acadêmica, em termos de produção de conhecimento, a investigação traz uma nova discussão sobre a engenharia mecânica contida nos radares utilizados no controle de tráfego aéreo, conferindo importância ao debate, já que poucos trabalhos científicos foram produzidos a cerca dessa temática que contribui para discussões mais amplas e pode ser pano de fundo para produções de novos estudos. No que diz respeito à relevância social, esta pesquisa tem o intuito de colaborar com a segurança dos passageiros que usufruem do meio aéreo para locomoção.

O referencial teórico utilizado acompanha as ideias dos autores que tratam sobre a temática de RADAR, como por exemplo Skolnick (1980); Jucewicz (1997); Lacombe (2001).

A metodologia deste trabalho está de acordo com as características da pesquisa sobre referências bibliográficas e documental. Para que haja um melhor benefício a respeito do conteúdo do trabalho, foram feitas diversas leituras de materiais científicos, como artigos publicados, periódicos, trabalhos acadêmicos e livros sobre o tema.

Os resultados mostram de forma breve os componentes principais do RADAR STAR2000 e seu funcionamento. Dessa forma, esperamos que esse trabalho possa esclarecer algumas perguntas específicas ao tema, de forma que possa contribuir com a comunidade acadêmica na busca de novos estudos na área da engenharia dos radares.

Por fim, este TCC está dividido em 5 capítulos que são: o Capítulo 1 que se refere a introdução, na qual são apresentados os aspectos da pesquisa e de como ela foi feita; o Capítulo 2 expõe o referencial teórico que traz o histórico do radar, onde surgiu e seu desenvolvimento ao longo dos anos; o Capítulo 3 remete aos materiais e métodos utilizados; Capítulo 4 abrange a apresentação dos resultados e a discussão; por fim, no Capítulo 5 são feitas as considerações finais sobre o trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente tópico aborda sobre o que é o Radar em seu contexto geral, onde foi descrito o seu histórico, seu surgimento e seu desenvolvimento. Inicialmente apresenta-se como o radar funciona na detecção das aeronaves, sobre sua utilização no contexto brasileiro e suas particularidades. O tópico encerra com o detalhamento sobre os tipos de radares para, posteriormente, adentrar na discussão sobre o funcionamento do Radar Star2000.

2.1 Noções Gerais do Radar

O termo RADAR é usado quando nos referimos a um equipamento que registra a velocidade de algum objeto em movimento. É uma abreviatura de “Detecção de rádio e alcance” (LEVANON, 1988). O radar é utilizado para ampliar os sentidos de um observador que está interessado em observar o meio que o cerca, especialmente o sentido da visão. O radar não tem o objetivo de substituir a visão humana, mas ser capaz de visualizar o que os olhos não conseguem enxergar. Os radares são projetados de modo a enxergar sob condições que o olho humano não é capaz, como neblina, escuridão, chuva e até mesmo neve (SKOLNIK, 1980).

A funcionalidade do radar na aviação, é de detectar as aeronaves, onde o transmissor do radar transmite um pulso que viaja até a aeronave e após, esse sinal é refletido até o receptor do radar (MEYER, 1973).

2.2 Histórico

De acordo com Skolnik (1980), mesmo que o desenvolvimento completo da tecnologia do radar não tenha ocorrido até a II Guerra Mundial, o princípio da detecção radar é quase tão antigo quanto o próprio eletromagnetismo. Em 1886, Heinrich Hertz testou experimentalmente as teorias de Maxwell, que apresentou a teoria do campo magnético em que Maxwell demonstrou que campos elétricos e magnéticos viajam na forma de ondas e na velocidade constante da luz. Hertz demonstrou a semelhança entre as ondas de rádio e a luz. Hertz mostrou que as ondas de rádio poderiam ser refletidas por corpos dielétricos e metálicos (SKOLNIK, 1980).

A primeira aplicação de pulso como meio de se medir distâncias, foi por meio da investigação científica de Breit e Tuve em 1925, quando mediram a altura da ionosfera.

Contudo, mais de 10 anos se passou para que a detecção de uma aeronave por um pulso radar fosse representada (SKOLNIK, 1980).

O princípio por trás do radar, fundamentado na propagação de ondas eletromagnéticas, ou melhor dizendo, de ondas de radiofrequência (RF), foi caracterizada pelo americano Hugo Gernsback em 1911. Em 1934, o cientista francês Pierre David utilizou com sucesso o radar pela primeira vez para detectar aeronaves (LACOME, 2001).

Os primeiros sistemas de radar experimentais atuavam com onda contínua (CW) e para ocorrer detecção necessitavam da interferência formada entre o sinal direto recebido do transmissor e o sinal de desvio de frequência doppler refletido por um alvo em deslocamento. Este tipo de radar era chamado de CW, radar de interferência de onda. As primeiras detecções de aeronaves foram feitas de forma experimentais e utilizaram este princípio de radar em vez de um pulso monostático. Para serem utilizados, os radares de pulso tiveram que esperar a evolução de componentes adequados, para que fossem utilizados de forma efetiva (SKOLNIK, 1980).

Ainda, de acordo com Skolnik (1980), a primeira detecção de aeronave usando a interferência de onda ocorreu em 1930, por L.A. Tilyand do laboratório de pesquisa naval, e foi de forma inesperada. O cientista estava trabalhando com um aparelho de localização de direção de uma aeronave em solo, onde o transmissor estava a frequência de 33 MHz e o feixe de ondas foi captado em uma pista de pouso a duas milhas de distância. O cientista notou que o sinal recebido pelo receptor crescia consideravelmente quando alguma aeronave atravessava o feixe de ondas.

Os primeiros radares CW de interferência de onda delimitavam somente a detecção de presença de um alvo, porém era extremamente difícil extrair a informação da posição do alvo com este tipo de radar. O primeiro experimento com um radar de pulsos aconteceu em dezembro de 1934. O radar trabalhava na frequência de 60MHz, os testes se mostraram muito ruins e nenhum tipo de alvo foi identificado. O principal motivo que foi apontado para a falha foi que os receptores utilizados eram projetados para aplicação em comunicações em onda contínua, com isso, houve correções e as primeiras detecções utilizando da tecnologia de radar de pulsos foram obtidas em abril de 1936 (SKOLNIK, 1980).

Os britânicos, em junho de 1935, evidenciaram a técnica de medida de distância de uma aeronave por intermédio de pulsos. Em setembro do mesmo ano, distâncias de mais de 40 milhas eram atingidas em um equipamento colocado em um bombardeiro, com isso, nesse mesmo período foi realizada a primeira medida de altura de uma aeronave devido ao ângulo de

elevação do sinal refletido. Além dos Estados Unidos e Inglaterra, outros países que estavam diretamente ligados a segunda guerra mundial, fizeram testes com radares CW de interferência de onda, e o motivo para tal engajamento desses países para testar o radar nessa época era para identificar as aeronaves como aliada ou opositora (SKOLNIK, 1980).

2.2.1 Contexto Brasileiro

Após a participação do Brasil na segunda guerra mundial, as Forças Armadas do Brasil, receberam alguns radares. O exército brasileiro, recebeu o radar para uso na sua artilharia e a Marinha para o uso nas suas embarcações em um conjunto de radares e sonares. A aviação no Brasil até essa época da guerra, ainda não dispunha de nenhum equipamento radar para o controle de tráfego aéreo, esse controle era feito por cartas cartográficas e via radiofonia (JUCEWICZ, 1997).

Antes da chegada do radar no Brasil, o controle das aeronaves era feito por carta de navegação aérea em que o piloto a cada ponto de notificação que passava, informava via rádio para o controlador no solo a sua posição e com isso, o controlador anotava as posições para o devido controle (JUCEWICZ, 1997).

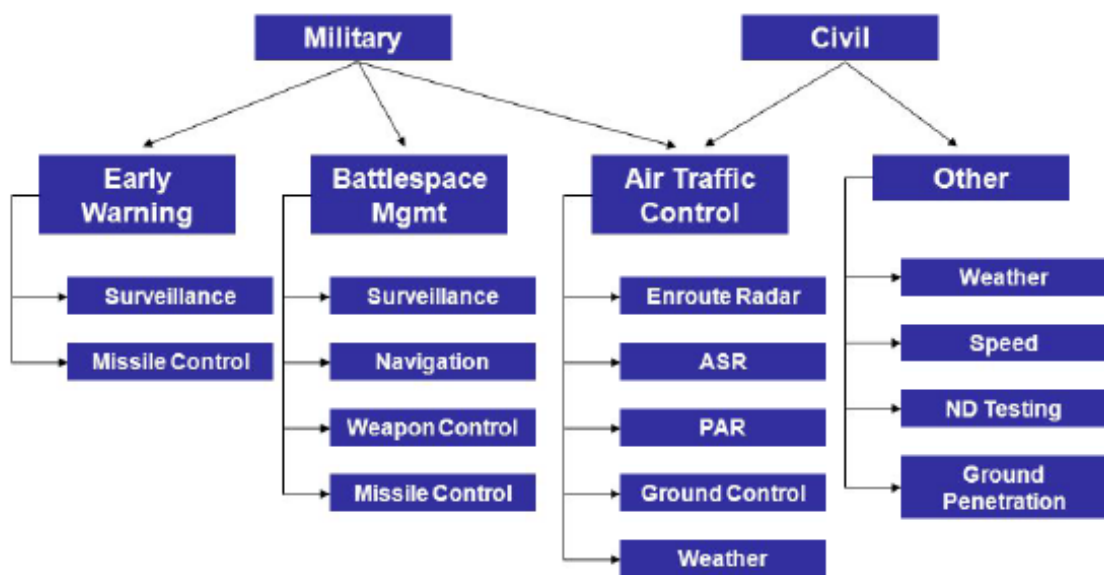
O primeiro radar destinado para o controle de tráfego aéreo, do tipo *Airport Surveillance Radar* (ASR), que é o radar de vigilância de aeroporto, foi instalado em 1959 em um dos aeroportos mais movimentados do Brasil, Aeroporto de Congonhas em São Paulo. Esse radar era destinado para o controle das aeronaves em aproximação e tinha um alcance de 60 milhas náuticas. O Segundo radar de vigilância e controle, foi o do tipo ARS-3 que foi instalado no aeroporto do Galeão, na cidade do Rio de Janeiro em 1961, que tinha o mesmo princípio de funcionamento do radar instalado em Congonhas (JUCEWICZ, 1997).

Em Manaus, o primeiro radar foi o ASR-7, chegou por volta de 1976, porém o início da operação, começou em 1980 utilizado pelo controle de aproximação de Manaus, que é o órgão responsável por controlar as aeronaves que estão se aproximando e decolando de Manaus. O alcance desse radar era de 60 milhas náuticas, cerca de 120 km.

2.3 Tipos de Radar

Existem vários tipos de radares, eles diferem um do outro pelo seu princípio de funcionamento e pela finalidade que se destina. Os radares podem ser classificados como radar de navegação aeronáutica, naval, militar, meteorológico e para o controle de tráfego aéreo (ICAO,2007). Neste trabalho será explicado sobre o radar para o Controle de tráfego aéreo.

Figura 1: Fluxograma dos tipos de radares



Fonte: Eurocontrol (2010)

Os radares para o controle de tráfego aéreo são utilizados para manter a segurança das aeronaves em todo o espaço aéreo em voo de rota, onde a aeronave está na sua altitude de voo e são utilizados pelos controladores de tráfego aéreo para orientar as aeronaves para pousos e decolagens (ICAO, 2003). Os radares de tráfego aéreo em geral são divididos em dois grupos:

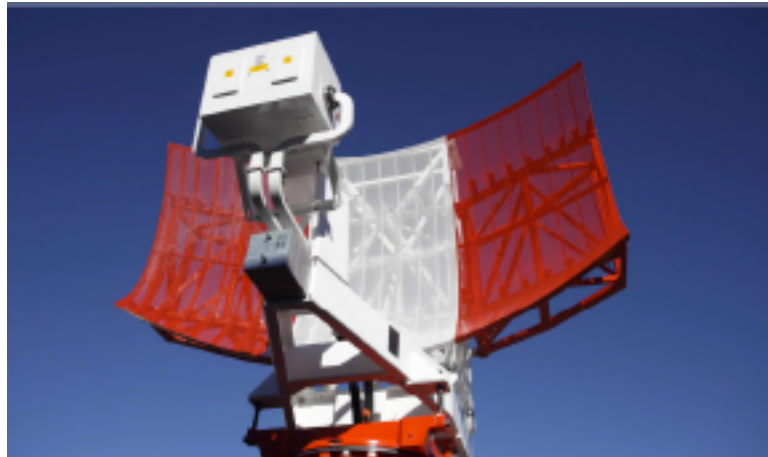
2.3.1 Radar Primário

Os radares primários funcionam de uma forma bem simples, eles são radares que emitem um sinal em determinada direção e o recebem de volta após a reflexão do sinal pelo alvo, sem a existência de código (BIDINOTTO e CESARINO, 2017).

Durante a II Guerra Mundial, o radar primário passou por desenvolvimento. O radar até então, parecia ser uma solução para a detecção de aviões, porém foi observado que não era possível identificar se a aeronave era de força amiga ou inimiga. Pulsos era emitidos á uma alta potência e eram detectados pelo pulso refletido, com isso, era possível saber que existia uma aeronave em aproximação a uma distância grande, porém era impossível saber se essa reflexão de pulso era de uma aeronave adversária ou não. No começo da guerra, os pilotos da força aérea inglesa foram confundidos pelo comportamento anormal dos aviões da *Luftwaffe* (Força aérea alemã), pelo fato dos pilotos alemães racionarem sobre seu eixo, com isso os aviões da Alemanha modificavam a polarização das reflexões e criavam um tipo de eco reflexão diferente nos seus radares. Isso possibilitava que os operadores de radar alemães pudessem identificar as aeronaves amigas (ÉVORA e CORVELO, 2015).

O radar primário não necessita de que o alvo emita algum tipo de resposta ao pulso do radar. O sistema usa um princípio em que a ocorre a transmissão de um sinal eletromagnético de energia, por um determinado período (pulso), através de uma antena. Depois da transmissão, a antena altera para modo de recepção e com isso recebe o eco gerado pelo sinal refletido em alguma superfície metálica (fuselagem da aeronave), ou por qualquer outra superfície que não permitem a passagem da onda de radiofrequência como: montanhas, edifícios e chuva (ICAO, 2007). A figura a seguir demonstra o radar primário:

Figura 2: Radar Primário



Fonte: ÉVORA; CORVELO (2015)

São elementos do sistema do radar primário:

Detecção:

- Composição de uma antena com uma abertura que transmite o pulso eletromagnético
- Qualquer interferência no trajeto causa o eco
- Este eco é detectado dando a informação sobre a presença e características do objeto

Localização:

- As ondas eletromagnéticas propagam-se a uma velocidade de 3×10^8 m/s
- Medindo a diferença entre a transmissão e a recepção consegue obter a distância a que o objeto se encontra

Os radares primários utilizados na navegação aérea também podem ser subdivididos em: Radar de Aproximação. Radar de Rota e Radar de aproximação de precisão (PAR).

O radar de aeroporto, que é o caso do STAR2000 foco deste estudo, é instalado próximo do aeroporto e tem um alcance de 60 milhas náuticas, ou aproximadamente 100 quilômetros. Ele é utilizado pelo Controle de aproximação, quem tem por finalidade, orientar e organizar as aeronaves para pousos e decolagens (ICAO 2003).

Já o radar de Rota, é utilizado pelo, Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA), onde é feita a vigilância e o controle das aeronaves em altitude de cruzeiro a grandes altitudes, esses radares têm um alcance de aproximadamente 200 milhas náuticas de raio, que é aproximadamente 370 quilômetros. A sua antena é limitada à uma velocidade de rotação de 6rpm, durante essa rotação o radar pode identificar até 90 aeronaves de forma simultânea em uma sucessão de altitudes que variam entre o nível do mar até 30.500 metros e pode chegar a uma distância máxima de 463 km com o aumento da potência de emissão.

O radar (PAR) sigla da expressão em inglês *Precision Approach Radar*, por sua vez, é um radar diferente, pois é utilizado em aeroportos para procedimentos especiais de aproximação. É usado principalmente em aeródromos militares. Ele oferece a possibilidade de um pouso seguro em condições adversas climáticas como forte chuva ou nevoeiro, onde a visibilidade do piloto é praticamente zero. Esse tipo de radar contém duas antenas posicionadas perpendicularmente, que tem como objetivo informar o ângulo ideal de descida e o centro da pista para a aeronave em aproximação para pouso (ICAO, 2003).

2.3.2 Equação do radar

A equação do radar compara o alcance de um radar e as particularidades do transmissor e do receptor. É muito proveitoso não somente como um meio para estabelecer a distância máxima do radar até o objeto, além de servir não somente para entender o funcionamento do radar, mas também na base do projeto do radar (BARTON, 2013).

A potência do radar é expressa por P, e se uma antena isotrópica (que irradia em todas as direções), for usada, a densidade de energia (Watts por unidade de área), a uma distância R do radar é igual á potência do transmissor dividida pela área da superfície $4\pi R^2$ de uma esfera de raio R (Barton, 2013).

$$\text{Densidade de potência da antena isotrópica } \frac{P}{4\pi R^2}$$

Radares utilizam antenas diretivas para direcionar a energia irradiada P para alguma direção em específico. O Ganho G de uma antena de radar é uma medida do aumento da potência irradiada em direção ao alvo.

$$\text{Densidade da potência da antena diretiva } \frac{PG}{4\pi R^2}$$

O alvo, que nesse caso é a aeronave, intercepta uma parte da energia incidente e a irradia novamente em várias direções. A mediada da quantidade de energia incidente interceptada pela aeronave e re-irradiada de volta na direção do radar é determinada como a seção transversal do radar σ , e é estabelecida pela relação

$$\text{Densidade de potência do sinal de eco do radar} = \frac{PG}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2}$$

A seção transversal do radar possui unidades de área, a antena do radar captura uma parte do eco. Se a área efetiva da antena receptora for determinada por A, a potência Pr recebida pelo radar é:

$$Pr = \frac{PG}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} A = \frac{PG\sigma A}{(4\pi)^2 R^4}$$

O Alcance máximo do radar Rmax é a distância a qual o alvo não pode ser detectado, isso acontece quando a potência do sinal de eco recebido Pr é igual ao sinal mínimo detectável Smin.

$$R_{\max} = \left[\frac{PtG\sigma A}{(4\pi)^2 S_{\min}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

onde:

Pt= Potência transmitida, Watts

G = ganho da antena

A = Abertura emetiva da antena, m^2

$\sigma =$ *secao transversal do radar, m^2*

Smin = sinal mínimo detectável, Watts

2.3.3 Radar Secundário

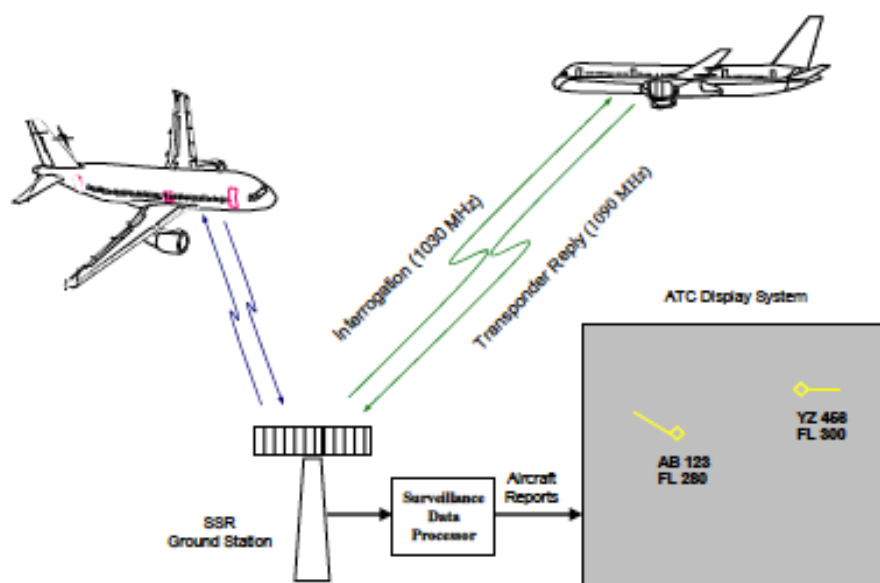
Esse tipo de radar também surgiu na Segunda Guerra Mundial para que os operadores de radar de solo, pudessem identificar as aeronaves adversárias ou não. Esse tipo de equipamento trabalha com baixa potência comparado ao radar primário e para o controle de

tráfego aéreo são utilizados em conjunto, o radar primário com o secundário (ÉVORA e CORVELO, 2015).

Para a detecção do objeto pelo radar secundário, é necessária que tenha uma cooperação do alvo. São transmitidos pulsos eletromagnéticos que interrogam a aeronave e a bordo da aeronave existe um dispositivo chamado de *transponder* que responde o sinal recebido pelo radar em terra. O sinal recebido é decodificado e com isso há uma interpretação para que ocorra uma associação ao eco do radar primário. A interrogação do radar secundário acontece a partir de um código que identifique a aeronave, onde esses códigos são fornecidos pelo controlador de voo ao piloto da aeronave. Logo após o recebimento do código, o piloto insere esse código que é composto por 4 dígitos de 0 a 7, no painel do *transponder* da aeronave (ICAO, 2007).

O radar secundário é capacitado a realizar as mesmas funções de detectar e medir, idênticas ao radar primário. Essa medição é executada com base no tempo decorrido entre a transmissão do impulso e a respostas que vem do *transponder*, que fica no sistema da aeronave (ÉVORA; CORVELO, 2015).

Figura 3: Radar Secundário



Fonte: ICAO (2003)

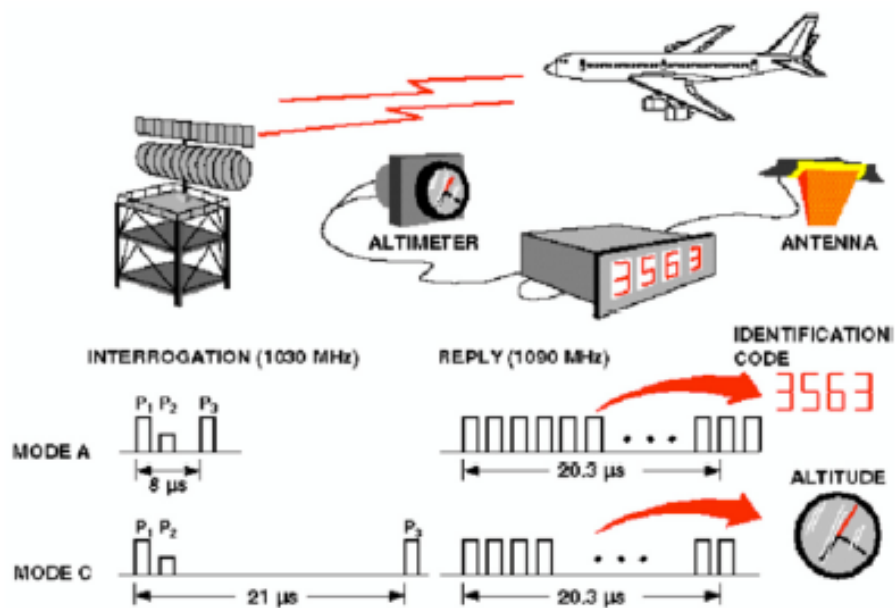
De forma sucinta, o radar secundário é constituído de dois sistemas: uma estação no solo que atua fazendo as interrogações (figura 3) e o equipamento *transponder* (figura) que é

instalado no avião. Desse modo, o *transponder* responde as interrogações feitas pelo radar, sendo dessa maneira possível o cálculo da distância (ICAO, 2007).

O *transponder* é um receptor de interrogações do radar secundário, onde o *transponder* emite as respostas até a estação de solo e está instalado nos aviões. Obtém os sinais de interrogação do radar secundário e por meio de uma seleção. Responde com diversos pulsos, somente as interrogações no modo e código em que foi feita a programação do equipamento (Évora; Corvelo, 2015).

O radar secundário sofreu uma evolução com a aplicação do Modo A/C. O *transponder* Modo A/C com sua resposta as interrogações feitas pelo radar, oferece a identificação (modo A) e a altitude (Modo C) do avião. Assim sendo, a esta estação de solo (radar) calcula a posição e a identidade do alvo detectado (ÉVIRA e CORVELO, 2015). Isto pode ser visualizado na figura abaixo:

Figura 4: Modo A/C do Radar Secundário



Fonte: ICAO (2003)

Sobre a utilização do radar secundário, este traz e oferece algumas vantagens:

- A oportunidade de conseguir a identificação, altitude e distância da aeronave pelo equipamento *transponder*;
- A cobertura do radar secundário é superior do que a do radar primário, pelo fato de que a interrogação e a resposta percorrem apenas uma distância;

- Pode operar em qualquer tipo de condições climáticas: como chuva, neblina ou neve;
- Porém, a utilização do radar secundário também demonstra certas limitações:
- Para identificação do alvo pelo radar, a aeronave deve ter instalada a bordo um *transponder* funcionando;
- Não existe uma forma de detectar os erros de dados nos sinais de interrogação e resposta;

2.4 Transponder

Geralmente no sistema existem quatro módulos de operação (modos 1, 2, A e C). Os modos 1 e 2 são utilizados por aeronaves militares e os modos A e C são usados por aeronaves civis, porém o modo A também pode ser utilizado por aeronaves militares. O modo A é o principal no que diz respeito ao controle de tráfego aéreo e é variado por um total de 4096 códigos. No solo, o controlador informa uma sequência com 4 dígitos para que o piloto possa inserir no equipamento *transponder*, com isso ao ligar o equipamento o radar secundário consegue identificar a aeronave na tela de controlador (EUROCONTROL, 1998).

De forma simples, como funciona o *transponder*? As estações do radar para o controle de tráfego aéreo, enviam de forma automatizada em uma variação de tempo que são pré-estabelecidas uma mensagem de interrogação até o alvo (aeronave), em que essa interrogação é respondida pelo equipamento *transponder* instalado na aeronave. De acordo com a tecnologia envolvida, a resposta do *transponder* à interrogação do radar pode conter exclusivamente o código selecionado no painel de controle do instrumento. *Transponder* modo A ou informações mais detalhadas, como altitude, direção de voo da aeronave e a velocidade mantidas pela aeronave interrogada pelo *transponder* modo C (GLIDERPILOT, 2010).

O *transponder*, além informação de direção de voo, altitude e velocidade, ele ainda pode responder a interrogação do radar secundário de uma forma específica, aparecendo na tela do radar com uma cor diferente das demais respostas de *transponder* de outras aeronaves. Essa ação ajuda o controlador identificar determinada aeronave de outras em áreas de grande concentração de aeronaves (GLIDERPILOT, 2010).

3 MATERIAIS E METÓDOS

A metodologia de pesquisa utilizada neste estudo compõe os métodos utilizados para responder os objetivos do trabalho. Neste sentido, será descrito o local da pesquisa, a forma de coleta de dados e as etapas que serão utilizadas para chegar aos resultados.

A investigação quanto aos seus objetivos será exploratória. Gil (2008), afirma que esse tipo de pesquisa proporciona uma visão geral acerca de determinado fato, ela é realizada quando o tema escolhido é pouco explorado, que é o caso do tema proposto.

De acordo com Gonçalves (2003) a pesquisa pode ser caracterizada quanto as suas fontes de informação, nesse sentido para investigação proposta se utilizará fontes documentais e bibliográficas.

Conforme Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é definida por meio de material já elaborado como livros e artigos científicos e tem como vantagem principal o fato de permitir ao pesquisador maior cobertura dos fenômenos.

Para responder aos objetivos do estudo, a pesquisa bibliográfica reúne assuntos das seguintes categorias de análise: radar, componentes mecânicos do radar, controle de tráfego aéreo. A seguir, o quadro apresenta as referências de maneira sucinta:

Quadro 1: Referências principais da categoria analítica

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	AUTORES
<p>Radar; Componentes do Radar; Tráfego Aéreo.</p>	<p>Skolnik (1980); Meyer (1973); Lacombe (2001); Jucewicz (1997); Thales (2010); ICAO (2003); Bidinotto e Casarino (2017); Évora e Corvelo (2015); Eurocontrol (1997); Albuquerque (1975); Rousso (1982).</p>

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, (2021)

Quanto a pesquisa documental, refere-se a materiais que não receberam trato analítico ou podem ser reelaborados de acordo com os objetivos do estudo (GIL, 2008).

A pesquisa também será de campo. Gil (2008) afirma que o estudo de campo se caracteriza por apresentar aprofundamento nas questões e tende a presar pela observação das

atividades do grupo ou sujeitos estudados e das entrevistas para capturar as explicações e interpretações que ocorrem nesse âmbito. Tem como característica a busca de informações de maneira direta com a população que pretende ser pesquisada e o pesquisador precisa ir ao espaço onde ocorreu o fenômeno para reunir informações.

3.1 Coleta e Análise de Dados

Quanto aos procedimentos técnicos adotados para a realização da pesquisa serão utilizados estes: pesquisa de campo, documental e bibliográfica.

O detalhamento da utilização das fontes de informação apresentadas acima dar-se-á pelos seguintes meios:

- ✓ Documental (fonte secundária): a) Consulta aos manuais técnicos referentes ao radar Star2000; b) Consulta aos manuais técnicos do Software Sagitário utilizado para controle tráfego aéreo.
- ✓ Bibliográfica (fonte primária): verificação de livros, artigos científicos, revistas, trabalhos científicos (monografias, dissertações, teses), virtual Scientific Electronic Library On-line- *SCIELO*, páginas eletrônicas da Força Aérea Brasileira (FAB), departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Google Acadêmico, Banco de Teses e Dissertações da CAPS, manuais do fabricante do radar e Library Genesis.
- ✓ Campo: visita a Seção de Radar do Quarto Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA IV) – Avenida do Turismo, nº 1350, bairro Tarumã – Manaus/AM; para obter acesso aos documentos referentes ao Radar.

Após a coleta de dados no local citado, ocorreu a análise das informações para apresentar o funcionamento do Radar Star2000 conforme estabelecido nos objetivos deste trabalho.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O tópico a seguir irá demonstrar os resultados da pesquisa documental, onde foi verificado através de manuais técnicos utilizados pelo CINDACTA IV, na manutenção e instalação de radares na região norte do Brasil. Em que demonstra-se os componentes principais que compõe o radar, além do software utilizado para transformar os dados recebidos pelo radar em imagem na tela dos controladores de tráfego aéreo bem como o dados estatísticos da agencia nacional da aviação cível e do departamento de controle do espaço aéreo, sobre a movimentação de aeronaves em Manaus.

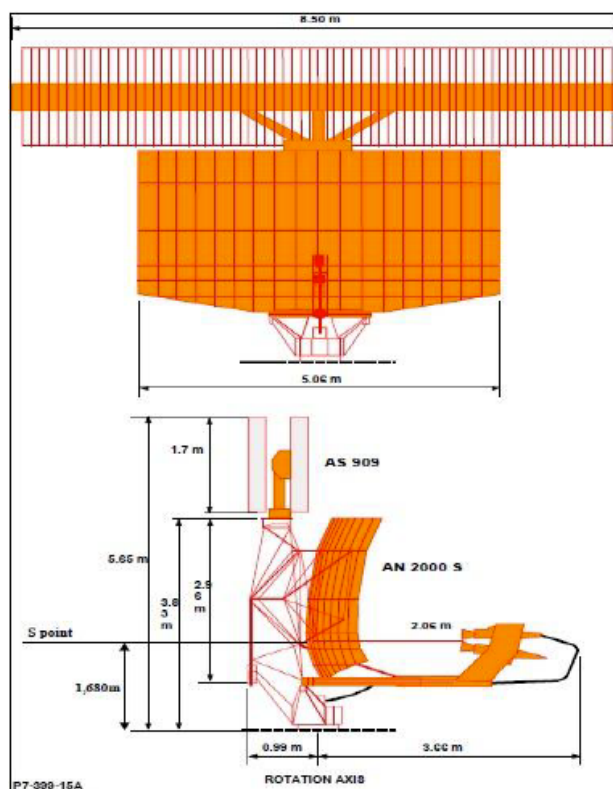
4.1 Apresentação da estação radar do Star2000

O radar Star2000, localizado no Aeroporto internacional de Eduardo Gomes, é um radar de fabricação francesa da empresa Thales, é constituída de 01 (um radar primário) e um radar secundário.

O radar primário permite a localização bidimensional de um alvo não cooperativo em que apenas é informado a distância do alvo em milhas náuticas e o azimute em grandes, onde o azimute é uma medida de abertura angular do sistema de coordenadas horizontal. O secundário, também permite uma detecção bidimensional do alvo, além de informações de altitude, velocidade e a trajetória, mas para que isso ocorra, o alvo precisa do equipamento *transponder* para fornecer essas informações quando o radar secundário emite os pulsos para identificação do alvo.

A estação radar STAR2000 integra o SISCEAB (Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro), onde é utilizado para o controle de tráfego aéreo em terminal (APP).

Figura 5: STAR2000



Fonte: Thales (2010)

As características físicas do radar são:

- Altura: 2.96 m
- Largura 5.06 m
- Profundidade: 2.06 m

4.2 Princípio de funcionamento da antena

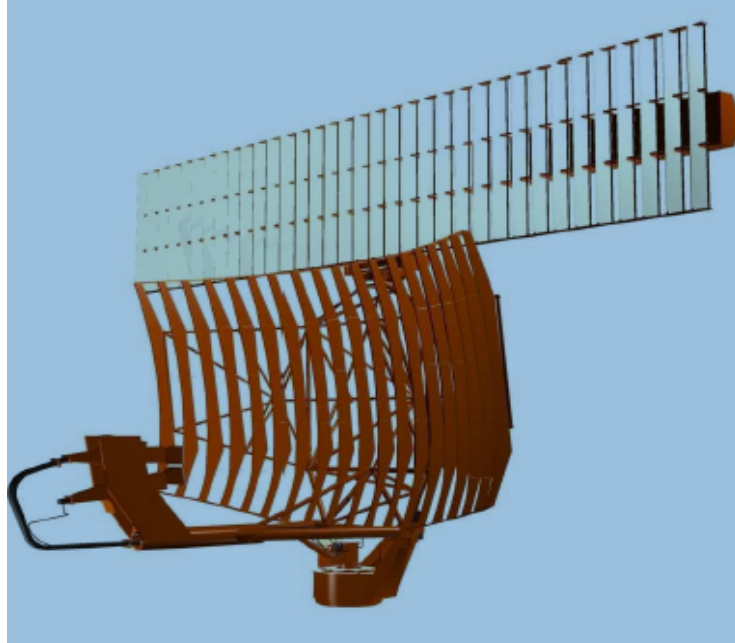
4.2.1 Antena Primária

Esse tipo de antena do radar primário, está instalada em uma estrutura de suporte, chamada de estrela e esta interligada ao mecanismo que gira a uma velocidade de 15rpm. A antena do STAR2000/CIRIUS é uma reunião de antenas que formam o radar secundário e uma parabólica do radar primário para garantir um perfeito funcionamento (THALES, 2010).

A antena do radar primário, é utilizada para vigilância em aproximação das aeronaves de aeronaves para o Aeroporto em um raio de 100 km. A antena é constituída de um refletor que é constituída de uma grade de alumínio mantida sobre uma estrutura em tubos de aço com

reforços verticais e horizontais com uma largura apropriada para o objetivo de detecção de alvos. A parte mais alta comporta um suporte para que se possa fazer a montagem de uma antena secundária (THALES, 2010).

Figura 6: Antena do secundário (retangular) / Antena do primário (parabólica)



Fonte: Thales (2010)

4.2.2 Antena secundaria

A antena do radar secundário foi projetada para que possa funcionar ao ar livre sem proteção. Para estações radar primário e secundário, esta antena é instalada acima do conjunto que constitui a antena do primário com uma interface mecânica adaptada diretamente sobre o mecanismo de acionamento (THALES, 2010).

4.2.3 Comando de polarização

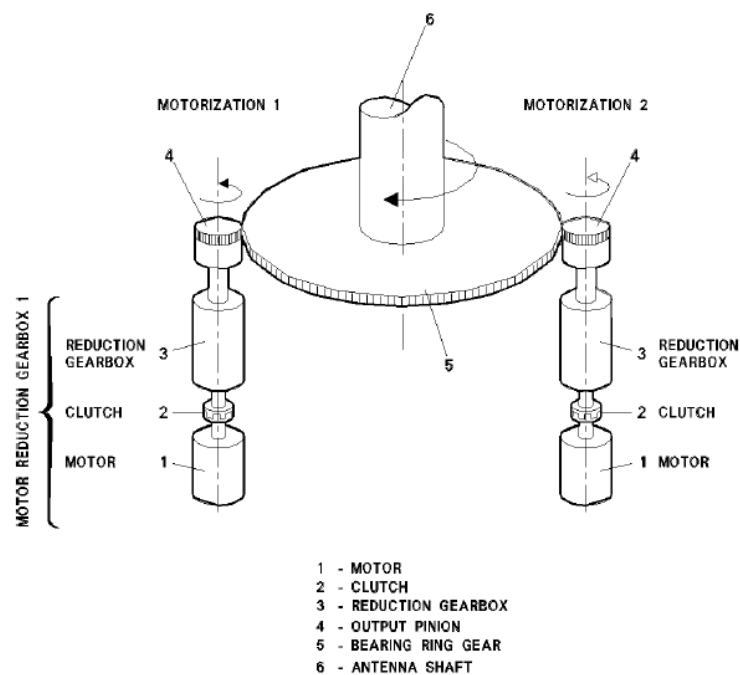
Polarização é uma maneira de transmitir um sinal de onda em uma direção específica. Com a polarização o feixe de sinal converte-se muito mais concentrado e com isso simplifica a recepção do sinal pela antena. O comando de polarização da antena é constituído de um conjunto a duas fontes munidas do polarizador que, de acordo com a sua orientação molda o sinal em modo circular, ou linear vertical (THALES, 2010).

Polarização linear atinge uma distância maior do que a circular, porém de acordo com as condições meteorológicas de nuvens de chuva, a polarização linear pode sofrer interferências de reflexões, com isso, a polarização é modificada de forma automatizada para polarização circular, que permite a discriminação das reflexões recebidas pelo radar, identificando reflexão de chuva e a própria reflexão da aeronave de forma distinta. O polarizador contém uma placa metálica perpendicular ao eixo principal do cilindro, ele pode ter duas posições de angulação: 0° (linearidade vertical), ou 45° (circular) (THALES, 2010).

4.2.4 Mecanismo de rotação

O mecanismo de movimentação da antena foi criado para suportar e assegurar a rotação das antenas do primário e secundário de forma constante a uma rotação de 15 rpm para garantir uma cobertura necessário em 360°, visto que com as velocidades e as razões de subida e decida que as aeronaves empregam são altas, o radar tem que estar a todo momento atualizando as informações de até 5 segundos. Esse sistema de giro, composto por rolamento especial de esferas trabalhando com uma engrenagem principal, responsável por suportar o peso da antena (THALES, 2010).

Figura 7: Mecanismo de rotação



Fonte: Thales (2010)

O sistema de acionamento da figura 3, é composto por um conjunto de dois motores de redução, duas embreagens no caso do radar STAR2000. Esses sistemas operam simultaneamente por recomendações do fabricante, tendo em consideração que a carga de vento recebida por radares como o STAR2000 que não possui uma proteção contra os ventos, é extremamente elevada (THALES, 2010).

4.2.5 Descrição da parte fixa e móvel

A parte fixa é constituída por uma chapa de suporte que sustenta o conjunto que faz a conexão com a torre do radar, transferindo todos os sinais primordiais para a perfeita rotação. O conjunto dos motores são instalados verticalmente por baixo de uma chapa de suporte na parte inferior do Carter principal, engrenando os pinhões em uma coroa dentada solidaria ao rolamento no interior do cárter. A parte móvel contém o pivô da antena conectada na parte superior a uma coroa dentada solidaria ao rolamento (THALES, 2010).

4.3 Conjunto pedestal

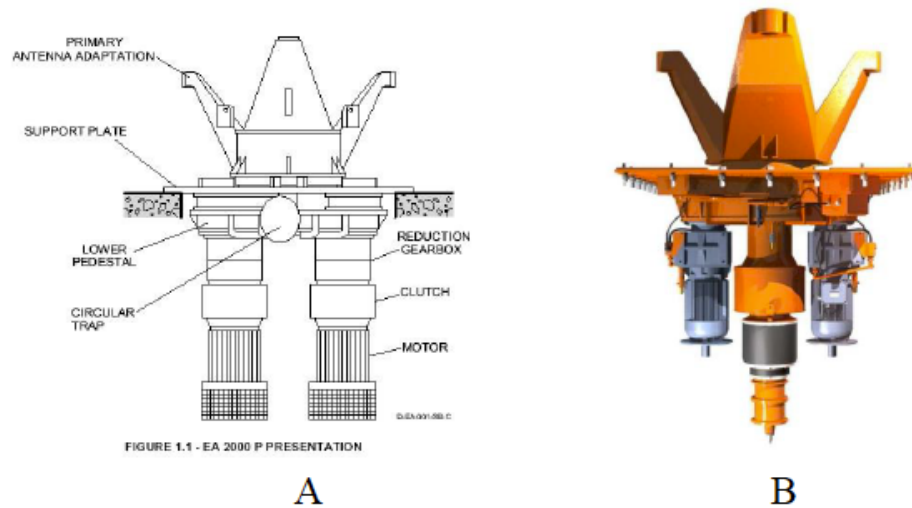
O conjunto pedestal do Star2000, contém uma base estrutural, mesa giratória, rolamento principal e dois sistemas de acionamento com motores AC (Corrente alternada). O Pedestal tem a funcionalidade de oferecer suporte e rotação ao sistema irradiante do conjunto radar (primário e secundário). A base do pedestal está instalada em cima de um piso que separa a parte de baixo dos motores e sistemas de redução do radar. A mesa giratória é conectada á base do pedestal, onde oferece o suporte e a condição de rotação do sistema irradiante do radar. O sistema de acionamento que faz o movimento de giro da antena, estão posicionados na parte inferior da base do pedestal. O rolamento principal, consiste em um rolamento de esferas de quatro pontos de contato (suporta esforços radiais e axiais). A base estacionaria e a base giratória são montadas e unidas com muita correção através da mesa giratória. A parte interna do rolamento é estacionaria, e o corpo é preso a parte de baixo do rolamento onde é conectado com parafusos a estrutura de apoio (THALES, 2010).

A junta rotativa é um conjunto de coletor e juntas giratórias que tem como objetivo transmitir a energia de hiperfrequência e elétrica entre a parte fixa e a parte móvel do radar. É a interface mecânica, elétrica e eletromagnética que interligam as duas partes do radar, a fixa e a móvel (THALES, 2010).

4.3.1 Principais componentes mecânicos

Os principais componentes mecânicos utilizados para o acionamento do radar de forma que ele trabalhe corretamente de acordo com as configurações pré-estabelecidas, pela fabricante THALES (2010).

Figura 8: Componente mecânico



Fonte: Thales (2010)

As figuras acima (A e B) mostram os seguintes componentes:

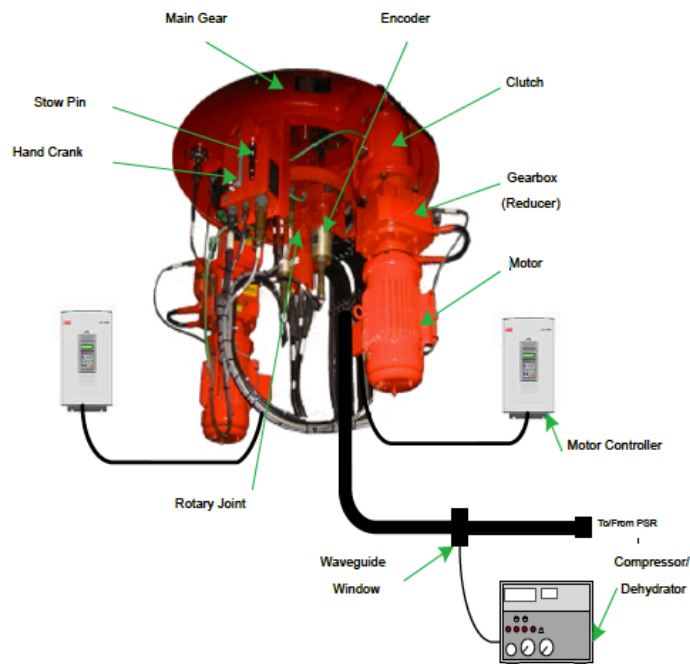
- Suporte da antena do Radar primário
- Suporte estrutural
- Pedestal
- Tampa circular
- Caixa de redução
- Embreagem
- Motor

4.3.2 Sistema de acionamento

O sistema de acionamento é composto por um sistema duplo eletromecânico, em que dois motores síncronos de corrente alternada redundantes, que são controlados por inversores de frequência que oferecem tração a mesa de giro e operam ao mesmo tempo, durante todos os funcionamentos do sistema. Em caso de falha de um dos motores, o outro motor passa a arcar com o funcionamento do sistema. Cada motor é acoplado a um sistema de redução, a uma embreagem limitadora de torque e ao conjunto pinhão nesta ordem de sequência (THALES, 2010).

A embreagem comunga o mesmo eixo com um pinhão, que mantém acoplado a coroa dentada, que está mecanicamente presa a mesa giratória. O giro do pinhão, fornecido pelo torque do conjunto moto-redutor passando pela embreagem, aciona a coroa dentada transmitindo o movimento à mesa giratória (THALES, 2010).

Figura 9: Sistema de acionamento



Fonte: Thales (2010)

4.3.3 Motor de acionamento

Os motores utilizados nos mecanismos de acionamento são motores trifásicos de corrente alternada. Cada um desses motores desenvolve 5 HP a 60 Hz e sua velocidade de rotação é de 1730 rpm a 60 Hz. Um prolongamento do eixo de rotação de cada motor está à disposição em sua parte inferior, permitindo a conexão de uma manivela manual, que pode ser utilizada para girar o sistema irradiante da antena de forma manual, durante alguma possível manutenção motores (THALES, 2010).

Os motores possuem uns termostatos internos para indicar algum aumento de temperatura devido alguma falha mecânica. Esses motores podem ser configurados para uma taxa de rotação de 5 RPM a 15 RPM, respectivamente usando as configurações do controlador de rotação (THALES, 2010).

4.3.4 Engrenagens de redução, caixa de redução ou redutor

Redutores de velocidade são elementos mecânicos utilizados para reduzir velocidades e aumentar torques e vice-versa. O redutor é formado por uma caixa de engrenagens com diversas taxas de redução. O redutor junto com o motor elétrico dá origem ao conjunto motoredutor que é acoplada ao eixo do motor, para que proporcione uma velocidade de giro de acordo com o radar, que no caso do Star2000 é de 15 RPM.

Os sensores de nível de óleo supervisionam o nível de óleo do redutor e são instalados em ambos os dois redutores. Além do redutor, o pedestal conta também com outro sistema de redução. O óleo lubrificante utilizado nos redutores é a base mineral, grau ISO 320 motores (THALES, 2010).

4.3.5 Embreagem

A embreagem limitadora de torque é provida no equipamento em cada conjunto de tração do pinhão com a finalidade de proteger o eixo e a engrenagem principal em caso de uma possível falha do motor ou do redutor. Ela acopla mecanicamente o eixo girante do motor e do redutor, ao pinhão, com uma limitante máxima de torque. Em caso de alguma falha, e um dos moto-redutores seja sujeito a um torque excessivo, as placas da embreagem desacoplam, e assim permanecem, até que a falha seja solucionada por algum técnico. Para que essas placas possam funcionar de forma adequada deve periodicamente serem lubrificadas com graxa Mobilith SHC 100 motores (THALES, 2010).

4.3.6 Inversor de frequência

O inversor de frequência é um controlador que tem a função de acionar o motor elétrico e de forma simultânea variar a tensão e a frequência que é empregada no motor. Cada motor no Radar Star2000 é alimentado por um Inversor de frequências, que de acordo com a necessidade pode ser programado de modo a proporcionar como saída um sinal trifásico com a amplitude pré-estabelecidas. A constituição do inversor é formada por circuitos em estado sólido. Os parâmetros variáveis de tensão e frequências asseguram um controle de forma suave da partida e da velocidade do motor de acionamento. A tensão e a frequências as variáveis em um limite estabelecido pelo manual do fabricante, com a finalidade de garantir o controle da velocidade do motor e com isso manter uma taxa de rotação da antena do radar (THALES, 2010).

4.3.7 Descrição funcional Drive System

No processo que a energia é aplicada ao Drive motor por meio dos inversores, os dois motores de corrente alternada, entram em rotação, girando os redutores que aplicam giro ao mecanismo de embreagem, que giram a engrenagem do pinhão. Em caso de um dos motores ou redutores falhar, a outra unidade de tração continua girando o pedestal do radar. A embreagem limitante de torque assegura que o outro motor mantenha a antena girando até que a falha possa ser corrigida. A unidade que falhou continua normalmente seu giro, apenas em caso que ocorra um arrasto excessivo pelo resultado o rolamento danificado ou por alguma quebra do eixo no redutor, neste caso, em caso de o arrasto ser grande a embreagem no conjunto danificado desacopla e separa o motor ou o redutor defeituoso do resto do sistema motores (THALES, 2010).

4.3.8 Sistema de lubrificação

Para a lubrificação do rolamento são utilizados 30 litros de óleo LUBRAX IND EP68, e para as caixas de engrenagens são 6 litros. Para ambos os casos a lubrificação é feita por imersão. A troca de óleo do Carter do rolamento é efetuada por baixo do mecanismo de movimentação, e para que seja feita a troca, é necessária a parada total da antena radar.

O nível de óleo do cartar do conjunto principal ou nas caixas de engrenagens é de fácil visualização através dos indicadores de nível de óleo. Em caso de o nível do óleo do Carter do conjunto do rolamento principal chegar abaixo de um valor mínimo, são emitidos alarmes e o

sistema ira funcionar apenas por no máximo 30 minutos antes da parada dos dois motores (THALES, 2010).

4.4 Software Sagitário

O sagitário é um software desenvolvido pela empresa ATECH, do grupo Embraer, que tem por finalidade compilar as informações do radar e projetar na tela dos controladores de voo. Ainda que, o nome sagitário lembre astronomia, o sistema é baseado em tecnologia. A nomenclatura vem da sigla “Sistema Avançado de Gerenciamento de Informações de Tráfego Aéreo”. Criado com a finalidade de garantir a segurança durante o voo das aeronaves. O sistema é capaz de processar dados de diversas fontes de detecção de aeronave, que no caso desse trabalho é o radar STAR2000, e consolidá-los em uma única apresentação visual para o controlador de voo, o software faz a ligação entre o sinal que é recebido pelo radar, onde detectam a posição da aeronave e mandam as informações para o computador servidor (ATECH,2020).

Em prática, o sistema permite que o controlador de voo tenha uma maior demanda de aeronave sob seu controle, e conseqüentemente, as aeronaves gastam menos combustível, trazendo benefícios tanto para empresa aérea, pela economia, e para o meio ambiente, com a redução dos gases poluentes. Esse sistema Sagitário, marca a evolução do sistema de controle de tráfego aéreo no brasil, trazendo um avanço tecnológico reconhecido internacionalmente para a navegação e vigilância do controle do espaço aéreo brasileiro, além de colocar o Brasil dentro os poucos países com domínio tecnológico para desenvolver, de forma única e soberana, um sistema dessa magnitude e de alta significância estratégica. (ATECH,2020)

Figura 10: Visualização da tela radar pelo software Sagitário



Fonte: Elaborado pelo Pesquisador, (2021)

4.5 Controle de tráfego aéreo em Manaus

A jurisdição do controle do espaço aéreo em Manaus é de competência do Quarto centro de controle e defesa aérea (CINDACTA IV), que tem por missão, executar as atividades relacionadas à vigilância e o controle da circulação aérea de forma geral, bem como de conduzir as aeronaves que tem como objetivo a manutenção e a defesa do nosso espaço aéreo na região norte do país. (FAB, 2020).

O Destacamento do controle de tráfego aéreo Eduardo Gomes, que fica situado no prédio anexo ao aeroporto, é o órgão subordinado ao CINDACTA IV e que tem a responsabilidade de controlar todas as aeronaves que chegam ou que saem da cidade de Manaus de jurisdição de 96 km de raio com o centro no aeroporto, provendo a segurança, fluidez e o ordenamento dessas aeronaves. (FAB,2020)

A cidade de Manaus em questão econômica é muito importante para o país, onde foi criada a zona franca, que na sua concepção tem o principal objetivo de estimular o desenvolvimento econômico na região. O eixo Manaus-São Paulo é o maior e mais importante na carga aérea por interligar as grandes empresas multinacionais e consumidoras de São Paulo, com a zona franca de Manaus no fornecimento de equipamentos para esse grande centro. Com o aumento significativo do comércio eletrônico, o transporte aéreo de cargas desse tipo, está

crecendo ao longo dos anos devido a rapidez que uma aeronave de carga pode fazer essa rota Manaus- Guarulhos em cerca de 03 h:30 min de voo (MAGALHÃES, 2018).

De acordo com a (Infraero), Empresa brasileira de infraestrutura aeroportuária, o aeroporto internacional Eduardo Gomes é o segundo maior em movimentação de cargas no Brasil.

Figura 11: Movimentação de cargas em aeroportos no Brasil

Carga Movimentada (kg) - 1º Semestre Envios e Recebimentos Brasil - Doméstico 2021			
Aeroporto	1S19	1S21	Variação
1 SBGR	105.152.320	87.630.345	-16,7%
2 SBEG	45.787.569	51.890.463	13,3%
3 SBKP	23.875.510	50.309.870	110,7%
4 SBRF	23.481.955	26.027.231	10,8%
5 SBBR	37.882.366	24.532.674	-35,2%
6 SBSV	17.540.426	14.302.031	-18,5%
7 SBFZ	18.885.686	13.607.058	-28,0%
8 SBCF	15.074.823	12.602.676	-16,4%
9 SBPA	13.942.251	10.979.251	-21,3%
10 SBBE	10.377.450	10.343.310	-0,3%

Fonte: INFRAERO (2021)

O SBEG, é o designativo que a (ICAO) International Civil Aviation Organization, no português mais conhecida como Organização Internacional da Aviação Civil, designou o SBEG como aeroporto de Eduardo Gomes, onde S de América do sul, B de Brasil e EG relacionado ao nome do aeroporto Eduardo Gomes.

4.6 Movimentação de passageiros

Manaus é um ponto turístico conhecido no mundo, ao longo de todos os anos, passam pela cidade turistas de todas as partes, e o meio mais rápido e de fácil acesso é por via aérea. De acordo com o (DECEA), Departamento de controle do espaço aéreo, em 2020, contabilizou que na aviação comercial, 91,7% dos movimentos tiveram origem e destinos nacionais. Os maiores fluxos de movimento com o aeroporto de Manaus, foram de Manaus para a região sudeste, com 40,7% e 36,2% de participação dos movimentos nacionais, além disso a quantidade de movimentos internacionais deste aeroporto foi de 1.642 em 2020. Os estados Unidos, continua sendo o principal fluxo internacional da aviação comercial.

Figura 12: Movimentação no Aeroporto Eduardo Gomes

	2018	2019	2020
Total de Movimentos	27.521	29.225	21.453
Nacionais	24.512	26.479	19.677
Internacionais	2.902	2.614	1.642

Fonte: DECEA (2020)

Além de toda importância para a economia e para o fluxo de passageiros em Manaus, o aeroporto Eduardo gomes é rota de parada para aeronaves da aviação executiva que fazem a rota América do Norte e América central, como parada técnica para abastecimento ou até mesmo por uma possível emergência em voo (DECEA, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização desse estudo, pode-se afirmar que o radar STAR2000 é de suma importância para o controle de tráfego aéreo em Manaus. E a falta desse equipamento pode comprometer a segurança e a fluidez das aeronaves no espaço aéreo em Manaus, que podem resultar em acidentes. Com o aumento da movimentação de cargas e pessoas, veio a necessidade de implementação desse radar, juntamente com outros auxílios a navegação para colaborar com o trabalho desempenhado pelos controladores de tráfego aéreo.

Além disso, a pesquisa trouxe os principais elementos mecânicos do radar e sua utilização. Faz-se necessária a manutenção preventiva dos equipamentos do radar, sob a supervisão de técnicos e engenheiros mecânicos. A facilidade que os controladores de tráfego aéreo têm com o advento dessa tecnologia, trouxe a Manaus uma nova perspectiva na navegação aérea e altos índices de segurança.

Desde a sua concepção, na Segunda Guerra Mundial, até os dias de hoje, percebe-se que a engenharia contribuiu com o avanço e o desenvolvimento dessa tecnologia, proporcionando melhorias em todos os campos de atuação da aviação, além de cooperar diretamente com o crescimento econômico da cidade de Manaus, conectando a zona franca com os grandes centros consumidores do Brasil e de outros países.

Destaca-se ainda que devido a pandemia do COVID-19, que assolou o mundo desde 2020, em Manaus ocorreu um aumento considerável de pousos e decolagens de aeronaves, segundo dados do portal da Força Aérea Brasileira, pois estes voos continham suprimentos médicos, cilindros de oxigênio, pessoas com enfermidade e profissionais de diversas partes do país. Infere-se que sem o radar, seria inviável essa logística em um menor espaço de tempo.

Sendo assim, espera-se que este estudo possa contribuir de maneira significativa para disseminar o conhecimento sobre o radar. A engenharia no âmbito da aviação é sinônimo de segurança, devido a grande exigência de segurança impostas pelos órgãos reguladores. Ademais, diante da complexidade e relevância do tema, bem como, das limitações da presente pesquisa, sugere-se a continuidade nos estudos sobre a temática, com desenvolvimento de trabalhos futuros que proporcionem uma maior contextualização sobre o estudo de radares aeronáuticos, de forma a contribuir com o meio acadêmico e profissional da área.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO estatístico. *In: Departamento de controle do espaço aéreo.* [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=impressos-2>. Acesso em: 19 maio 2021.

BARTON, David. **Radar Equations for Modern Radar.** Norwood, Massachusetts, USA: ARTECH HOUSE, 2013. 448 p.

BIDINOTTO, Jorge Henrique; CESARINO, Yuri. **Princípios de Aviação e Navegação Capítulo 4-RADAR.** 2017

CINDACTA IV. *In: Força aérea brasileira: Missão e valores.* [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cindacta4/index.php/missao-visao-e-valores>. Acesso em: 19 maio 2021.

Doc 4444-ATM501 – “**Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management**” ICAO, 2007 Organização de Aviação Civil Internacional, Montreal.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION: Mode S TRANSPONDERS TEST BENCHES USER REQUIREMENTS. *In: Mode S TRANSPONDERS TEST BENCHES USER REQUIREMENTS.* [S. l.], 1998. Disponível em: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/031_Mode-S_Transponder_Test_Bench_User_Requirements.pdf. Acesso em: 8 fev. 2021.

ÉVORA, Rui; CORVELO, Resendes. Vigilância radar. *In: ÉVORA, Rui; CORVELO, Resendes. Vigilância radar.* 2015. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Telecomunicações (Mestrado em engenharia) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [S. l.], 201.

FORÇA Aérea Brasileira: **COVID.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/organizacoes/mostra/311/QUARTO%20CENTRO%20INTEGRADO%20DE%20DEFESA%20A%C3%89REA%20E%20CONTROLE%20DE%20TR%C3%81FEGO%20A%C3%89REO>. Acesso em: 17 ago. 2021.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2008.

GONSALVES, Elisa Pereira. **Conversas sobre Iniciação à Pesquisa Científica.** 3. ed. Campinas: Alínea, 2003.

GLIDERPILOT. Sistemas **Embarcados: Transponder.** Disponível em: <http://www.gliderpilot.org/FLSRM-Transponder> Acesso em: 02 junho 2021.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION: **Guidance Material on Comparison of Surveillance Technologies (GMST).** *In: ICAO 2007.* Disponível em: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/gmst_technology.pdf. Acesso em: 6 jul. 2020.

JUCEWICZ, Stefan. Radar. **São Paulo: Asa–Edições e artes gráficas,** 1997.

LACOME, Philippe. **Air and spaceborn radar system: An introduction**, 2001. 504 p.

MAGALHAES, Eduardo Rocha Benevides. Globalização e o impacto no tráfego aéreo brasileiro. **CiênciasAeronáuticas-Unisul Virtual**, 2018.

MEYER, DANIEL P.; MEYER, H. A. Review of the radar range equation. **Radar Target Detection-HandbookofTheoryandPractice**, 1973

SAGITARIO. **na vanguarda do controle do espaço aéreo brasileiro**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://atech.com.br/sagitario-na-vanguarda-do-controle-do-espaco-aereo-brasileiro/>. Acesso em: 19 maio 2021.

SKOLNICK, Merrill Ivan. **Introduction to radar systems**.2nd ed. London: McGraw Hill. 1981. 581 p.

THALES. **STAR 2000 & RSM 970S System Manual GB 61 112 541 – 194 Rev 02**. Paris: Thales Air System SA, 2010.