

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**GILSON PAULO MIRANDA DE PAULA**

**SUBSTANCIAR UMA GRANDE MODIFICAÇÃO ATRAVÉS DE  
REQUISITOS AERONÁUTICOS**

**TAUBATÉ – SP**

**2017**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**GILSON PAULO MIRANDA DE PAULA**

**SUBSTANCIAR UMA GRANDE MODIFICAÇÃO ATRAVÉS DE  
REQUISITOS AERONÁUTICOS**

**Projeto de Monografia Apresentada para  
obtenção do Certificado do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté. Área de Concentração: Engenharia  
Aeronáutica.**

**Orientador: Prof. Paulo de Tarso Moraes Lobo.**

**TAUBATÉ – SP**

**2017**

**GILSON PAULO MIRANDA DE PAULA**  
**SUBSTANCIAR UMA GRANDE MODIFICAÇÃO ATRAVÉS DE**  
**REQUISITOS AERONÁUTICOS**

Monografia Apresentada para obtenção  
do Certificado do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia  
Aeronáutica.

Orientador: Prof. Eng. Paulo de Tarso de  
Moraes Lobo

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

Prof. Paulo de Tarso de Moraes Lobo

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Pedro Marcelo

Assinatura \_\_\_\_\_

## **Dedicatória**

Dedico esse trabalho a minha família que sempre me apoiou. Aos meus pais especialmente ao meu pai já falecido, mas se estivesse hoje entre nós estaria muito orgulhoso e feliz. Agradeço muito a minha esposa Leia que sempre me incentivou a que fizesse a Especialização, apesar de morarmos em outra cidade. Agradeço a Deus por me conduzir e me dar saúde, pois sem ele já mais eu conseguiria conquistar essa dividade em minha vida.

Agradeço também aos meus colegas de turma, pois já mais esquecerei do apoio que cada um me forneceu durante esse dois anos e meio de curso, cada risada e cada trabalho em classe que juntos fizemos, espero que todos estejam felizes e orgulhosos, como eu estou me sentido.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Paulo de Tarso de Moares Lobo, pela orientação segura e apropriada ao meu trabalho de pesquisa.

Agradeço também a todos da Universidade de Taubaté desde do pessoal da cantina até o pessoal da secretaria, especialmente a Marcia que me ajudou muito nesse processo final do curso.

## EPIGÁFRE

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”  
(Walter S. Landor)

## RESUMO

A realização de uma grande modificação obedece normas e requisitos aeronáuticos, normas que são essenciais para substanciar e submeter uma grande modificação a aprovação. É caracterizada uma modificação no projeto de tipo da aeronave, motor ou hélice que afete apreciavelmente o peso, balanceamento, resistência estrutural, confiabilidade, características operacionais, características de aeronavegabilidade, potência, características de ruído ou emissões. As modificações que não se enquadrem no escopo deste parágrafo serão consideradas pequenas modificações. Após a realização de um estudo e junto com a análise do TCDS da aeronave aprovada de fábrica, é feito um projeto obedecendo as normas e de engenharia aeronáutica, assim sendo e submetido as autoridades aeronáuticas para aprovação final. Quando é submetido para aprovação da autoridade responsável é possível o uso desse projeto através de um CST no Brasil e um STC nos Estados Unidos, quaisquer dos dois modelos é uma aprovação por tipo, modelo da aeronave, esse projeto pode ser usado por qualquer oficina Homologada por uma organização aeronáutica.

Palavras Chaves: Certificação, estrutura, GPS, modificação de aeronaves.

## **ABSTRACT**

The accomplishment of a great modification obeys aeronautical norms and requirements, norms that are essences to substantiate and to submit a great modification the approval. Means a modification in the type design of the aircraft, engine or propeller that appreciably affects weight, balance, structural strength, reliability, operational characteristics, airworthiness characteristics, power, noise characteristics or emissions. Modifications that do not fall within the scope of this paragraph will be considered minor modifications. After conducting a study and together with the TCDS analysis of the approved aircraft of the factory, a project obeying the norms and aeronautical engineering is done, thus being submitted to the aeronautical authorities for final approval. It is characterized as a major motif any pre-intended changes to be made, when the modification significantly changes the airworthiness of the aircraft such as weight, electrical and structural load of the aircraft. When it is submitted for approval by the responsible authority it is possible to use this project through a CST in Brazil and a STC in the United States, either model is an approval by type, model of the aircraft, this design can be used by any homologated workshop by an aeronautical organization.

Keywords: Certification, structure, GPS, modification of aircraft



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- RNAV-PBN .....	21
FIGURA 2-APROVAÇÕES .....	23
FIGURA 3-PAINEL DE INSTRUMENTOS ANTES DA MODIFICAÇÃO .....	26
FIGURA 4-PAINEL DE INSTRUMENTOS DEPOIS DA MOFICAÇÃO .....	26
FIGURA 5-TSO GNT-650.....	27
FIGURA 6- DIAGRAMA DE BLOCO DA MODIFICAÇÃO .....	28
FIGURA 7-GTN-625 .....	29
FIGURA 8 - GA-35 GPS ANTENA.....	29
FIGURA 9-MID CONTINENT .....	30
FIGURA 10-DIAGRMA DE INSTALAÇÃO .....	32
FIGURA 11- INSTALAÇÃO GTN-625.....	33
FIGURA 12- INSTALÇÃO DO MIDO CONTINENT .....	33
FIGURA 13-INSTALAÇÃO DA ANTENA.....	34
FIGURA 14- ESQUEMA ELÉTRICO DA AERONAVE.....	35
FIGURA 15-PESO E BALNCEAMENTO.....	36
FIGURA 16- LOCALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTOS .....	37
FIGURA 17-LOCALIZAÇÃO DOA EQUIPAMENTOS.....	37
FIGURA 18-REVESTIMENTO SUPERIOR DA AERONAVE.....	39
FIGURA 19-REVESTIMENTO SUPEIOR DINTEIRA .....	39
FIGURA 20- ANTENA .....	40
FIGURA 21-REFORÇO DA ANTENA.....	41
FIGURA 22-CILINDROS DE COMPRIMENTO.....	42
FIGURA 23-PAINEL DE CENTRAL.....	45
FIGURA 24-PAINEL CENTRAL VISTA TRASEIRA .....	45
FIGURA 25-RESULTADOS DA CARGA ESTÁTICA.....	51
FIGURA 26-PROPAGAÇÃO DE TRINCA .....	52
FIGURA 27- COMPRIMENTO DE TRINCA .....	53
FIGURA 28-FORMULA DE PARIS .....	54
FIGURA 29-RESUTADOS ANÁLISE ESTRUTURAL DO PAINEL CENTRAL.....	56

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1-OPERAÇÃO PBN-RNAV .....	21
TABELA 2-REQUISITOS .....	25
TABELA 3-REQUISITOS ESTRUTURAIS.....	38
TABELA 4- ANÁLISE DE FALHAS .....	47
TABELA 5- RESULTA DA ANÁLISE ELÉTRICA .....	49
TABELA 6- PROPRIEDADS MECÂNICAS.....	51
TABELA 7-TRINCAS E CICLOS .....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AC: “Advisory Circular” (Emitida pela FAA);

ACu: Autopilot Control Unit

AC 43-13-1B – Acceptable methods, techniques, and practices – aircraft inspection and repair;

AC 43-13-2B – Acceptable methods, techniques, and practices – aircraft alterations;

ANAC: Agencia Nacional de Aviação Civil

ATS: Serviços de Tráfego Aéreo

CB: “Circuit Breaker”;

CDi: Course Deviation Indicator

CG: “Centro de Gravidade”;

CST: Certificado de Homologação Suplementar de Tipo;

DC: Corrente Contínua

DPs: Departure Procedures

EI: Emissão Inicial;

EMC: “Electromagnetic Compatibility” (Compatibilidade Eletromagnética);

EMI: “Electromagnetic Interference” (Interferência Eletromagnética);

FAR: Federal Aviation Regulations;

FHA: Functional Hazard Assessment;

FS: Fuselage Station;

FSS: Flight Service Station

GGCP: Gerência de Certificação de Produto Aeronáutico

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) stand alone para operações VFR e IFR

GPS: “Global Positioning System”;

IS: “Instrução Suplementar”.

IS 21-021A – Apresentação de dados requeridos para homologação suplementar de tipo;

IS 21-013A - Instruções para obtenção de aprovação de instalação de equipamentos

IS 21-004A – Aprovação de grandes modificações em aeronaves com marcas brasileiras, ou que venha a ter marcas brasileiras;

Kg: Quilograma;

Kgf: Quilograma – força;

LPV: Localizer Performance with Vertical Guidance

LCD: Liquid Cristal Display

lb: Pounds;

lbf: Pounds – force;

MS: Margem de Segurança;

MIL: Norma, especificação militar;

N/A: Não Afetado.

NDB: Non Direcional Beacon

PSI: Pound force per square inch;

PBN (Performance-Based Navigation).

RBAC: “Regulamento Brasileiro de Aviação Civil”;

RBAC 25 – Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria transporte.

RBAC 43 – Manutenção, Manutenção Preventiva, Modificação e Reparos;

RBHA: “Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica”;

RMS: Radio Management Sytem

RNAV: Area Navigation

RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics”;

STARS: Stardard Instrument Arrival

SBAS: Satellite-based Augmentation Sytem

STC: Supplemental Type Certification

S/N: “Serial Number” (Número de Série);

TSO: “Technical Standard Order” (Ordem Técnica Padrão).

VNAV: Vertical Navigation

VLOC: Vertical Localizer

WAAS: Wide Area Augmentation System

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS .....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	11
1- INTRODUÇÃO.....	14
2- OBJETIVO .....	15
2.1- Objetivos gerais .....	15
2.2- Objetivos específicos .....	15
3- REVISÕES DA LITERATURA .....	15
3.1 Histórias da navegação Aeronáutica.....	15
3.3 Conceito RNAV (PBN) .....	18
3.4 Certificação de Produto Aeronáutico.....	22
4- MÉTODOS.....	24
4.1 Plano de Certificação .....	24
4.2 Descrição da Modificação .....	26
4.3 Características da Modificação.....	30
4.3 Instalação do sistema.....	31
4.4 Análise Elétrica da Modificação.....	34
4.5 Análise de peso e balanceamento .....	36
4.6 Análise Estrutural da Modificação .....	38
4.7 Substanciação da Instalação da antena de GPS .....	42
4.7.1 Resistência perdida vs Resistência recuperada .....	42
4.7.2 Resistência dos rebites ao esmagamento.....	42
4.7.3 Resistência dos rebites ao cisalhamento .....	43
4.8 Substanciação do receptor no Painel.....	44
4.9 Análise de falha.....	46
4.10 Inspeção Continuada a modificação.....	49
5- RESULTADOS .....	49
5.1 Resultado da análise elétrica da modificação .....	49
5.2 Resultado da análise numérica das cargas estáticas.....	50
5.3 Resultado de fadiga e tolerância a falhas.....	52
5.4 Resultados da instalação do receptor no painel de instrumentos.....	55
5.5 Resultados do peso e balanceamento após a modificação .....	56
6- CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS .....	59

## 1- INTRODUÇÃO

Será demonstrado através desse trabalho um estudo e detalhes de certificação baseados em requisitos e instruções aeronáuticas, para uma modificação que visará a melhoria voltada ao desempenho operacional de navegação e diminuirá significativamente a carga de trabalho da tripulação da aeronave. Propõe-se que esta modificação seja certificada para operação VFR, IFR em rota, e IFR em aproximações de não-precisão com mínimo LNAV. A aeronave que será usada como prótipo para apresentar essa modificação é um Cessna modelo 500 que está classificado no RBAC 25.

Com o aumento de novas regras operacionais e a preocupação cada vez maior dos grandes fabricantes e dos órgãos certificadores com a segurança operacional das aeronaves e também o estímulo dos fabricantes de tecnologia aeronáutica em têm em desenvolver produtos ligados a linha aeronáutica.

Hoje as aeronaves mais modernas e algumas com alguns anos de uso é capaz de operar e voar totalmente automatizada por equipamentos modernos, gerenciadores e voo que interligados aos diretores de voo e sistemas de controle da aeronave, fazendo com que o nível de segurança aumente muito. Essas empresas desenvolvem projetos de equipamentos avançados de navegação que reúne requisitos confiáveis e normas, para atender o avanço da aviação mundial.

Esse trabalho apresentará através de cálculos e conclusões a instalação de um novo sistema de navegação, que atenderá aos aos novos requisitos de certificação e aos requisitos da época que aeronave foi fabricada. Será demonstrado através de uma modificação a troca de um sistema de navegação já obsoleta para os padrões de hoje por um sistema moderno.

## **2- OBJETIVO**

### **2.1- Objetivos gerais**

Demonstrar através de requisitos aeronáuticos um grande modificação.

### **2.2- Objetivos específicos**

Elaboração de estudo voltado a um projeto de uma modificação de um sistema de navegação que atenderá requisitos e normas para a melhoria operacional de uma aeronave que não atende requisitos atuais de navegação.

## **3- REVISÕES DA LITERATURA**

### **3.1 Histórias da navegação Aeronáutica**

O estudo do contexto histórico de uma atividade permite o conhecimento dos fatores que a motivaram, a justificaram e contribuíram para seu cenário atual, assim a história pode trazer importantes respostas a cerca de uma atividade, não apenas se restringindo a datas, fatos e personagens importantes. Sem dúvida não se pode omitir tais fatores em um levantamento histórico, no entanto o âmbito fundamental da história é fornecer à sociedade explicações sobre ela mesma utilizando-se dispositivos próprios como à pesquisa e investigação. Observa-se que cada vez mais, a história se relaciona com diversas áreas de conhecimentos, basicamente, é como se cada atividade, cada ramo de atuação ou interesse do homem tenha sua história contada. Isto se deve ao fato de que a humanidade busca por explicações, informações que dêem sentido e importância destas diversas áreas, através do conhecimento de fatos históricos de uma dada atividade (Portilho, 2015). A atividade aérea devido a sua complexidade técnica representa um importante exemplo desta situação por ter experimentado um exponencial desenvolvimento em tempo

relativamente reduzido, especialmente no período entre as guerras mundiais. No âmbito da navegação aérea é importante explorar os precedentes que resultaram no surgimento de práticas específicas para se conduzir em voo de maneira segura as aeronaves em condições nem sempre favoráveis a visualização do horizonte externo e do terreno sobrevoado. Tal como durante meteorologia adversa ou período noturno, essas situações poderiam causar desorientação espacial nos pilotos devido à ausência de referências com o horizonte, bem como possíveis colisões com obstáculos em razão da visibilidade prejudicada (Portilho, 2015).

Segundo Monteiro, o avião assume importantes papéis positivos ao longo de sua história, como um instrumento de integração entre regiões que até antes do aprimoramento das aeronaves e dos processos de navegação, eram praticamente isoladas entre si. Através das aeronaves as distâncias no mundo entre os principais centros globais passam a ser superadas em tempo muito menor e de maneira mais segura e eficiente, comparadas a outros meios de transporte (Portilho, 2015).

Ao passo que o uso comercial do avião é visto como uma grande possibilidade econômica e de integração entre as cidades e países, inicialmente para escoamento de correio aéreo e logo em seguida para o transporte de passageiros, a necessidade da implementação de “infraestruturas” aeronáuticas e aeroportuárias se faz presente, pois devido ao maior fluxo de aeronaves agora cumprindo uma malha comercial de vôos, seriam necessários recursos para permitir a correta navegação das aeronaves entre as cidades, bem como permitir pousos e decolagens mais seguros sem o risco de colisão das aeronaves com obstáculos e com outras aeronaves. Destaca Monteiro que, com o término da Primeira Guerra Mundial a aviação comercial, tem como marco, o início de suas atividades no ano de 1919 com serviços de transporte aéreo postal na Alemanha (Portilho,2015).



A partir de então, a evolução das aeronaves e a necessidade de ligações aéreas cada vez mais distantes sobrevoando áreas inóspitas obrigou os países a implantarem “auxílios” no solo para que os pilotos pudessem se orientar e se localizar, principalmente no período noturno ou mediante condições de baixa visibilidade e camadas de nuvens baixas (Portilho, 2015).

Tais auxílios eram inicialmente tentativas de se “melhorar” a visualização e identificação dos pilotos de cidades que serviam de referência. Assim, os primeiros auxílios à navegação remontam à década de 1920, eram instalados no solo e consistiam de faróis balizadores (semelhantes aos encontrados em regiões costeiras e que orientam embarcações) com a finalidade de marcar as rotas do correio aéreo nacional. Tal sistema apresentava relativa confiabilidade para o voo no período noturno, mas ainda era pouco satisfatório para o voo em condições meteorológicas adversas (Portilho, 2015).

Ao longo do processo de evolução das aeronaves, percebe-se a constante necessidade de que estas pudessem permanecer em voo cumprindo suas missões de transporte de passageiros e carga sem que houvessem preocupações relativas às condições meteorológicas, ao período do dia e das distâncias a serem vencidas. Assim, graças ao surgimento de equipamentos de auxílio à navegação aérea, o homem deixou de depender de processos unicamente visuais de orientação (Portilho, 2015).

Os Estados Unidos foram precursores em meados da década de 1920 no âmbito do voo totalmente orientado por instrumentos, isto é, sem qualquer referência externa à aeronave para orientação e localização do piloto, no entanto várias situações ensejavam resoluções, a principal pairava sobre qual seria o método ou

princípio de se orientar em voo sem observar cidades, rios, estradas ou acidentes geográficos (Portilho, 2015).

Buscou-se, inicialmente, conceber instrumentos de vôo capazes de fornecer ao piloto uma confiável orientação referente a condição da aeronave com a linha do horizonte, isto é, se a aeronave estava voando nivelada, subindo, descendo ou fazendo curvas a esquerda ou a direita. Isto foi possível com o emprego de equipamentos giroscópios, assim como sistemas capazes de captar a pressão do ar externo à aeronave a fim de fornecer em instrumentos apropriados a altitude e velocidade da aeronave. O projeto destes instrumentos, bem como sua idealização foram motivados por um estudo realizado no ano de 1925 por cientistas e especialistas do exército dos Estados Unidos preocupado com seus meios aéreos, onde o interessante seria pesquisar e desenvolver meios que proporcionassem o “blind flight” ou “voo cego” (Portilho, 2015).

Este importante e revolucionário programa do exército dos Estados Unidos consistiu em um estudo técnico-científico iniciado no ano de 1925, o nome faz menção ao que se buscava como necessidade de navegação aérea, ou seja um voo sem referências visuais com o meio externo, orientado somente por instrumentos presentes a bordo da aeronave, tem-se assim basicamente um voo cego, sem que haja a necessidade do piloto em voltar seu olhar para fora da cabine de pilotagem da aeronave durante o voo (Portilho, 2015).

### **3.3 Conceito RNAV (PBN)**

A International Civil Aviation Organization (Icao) tem implantado em todo o mundo o Performance Based Navigation (PBN). Trata-se de um conjunto de novas técnicas de navegação que permite a aeronaves de mesmo perfil voar em Rotas de

Navegação Área (RNAV) a distâncias laterais e longitudinais reduzidas. (Aeromagazine, 2012).

Basicamente, os espaços desenvolvidos para PBN só podem receber aeronaves com capacidade de navegação RNAV. Isso significa que devem voar diretamente entre duas coordenadas geográficas, mantendo o domínio de posição e a hora prevista para pontos de controle e chegada ao destino. Para isso, a aeronave deve possuir a bordo um computador que analise as informações de navegação produzidas por receptores de VOR e DME, satélites dedicados de navegação e sistemas inerciais - a combinação de alguns deles ou de todos juntos. Os computadores embarcados normalmente são chamados de Flight Management System (FMS). Em aeronaves mais sofisticadas, esse computador também analisa outros dados e realiza tarefas de comunicação e monitoramento de sistemas. Para que o FMS consiga calcular a navegação, os dados devem chegar de forma automática. Portanto, aviões que ainda exigem que o piloto selecione a frequência de VOR, por exemplo, não podem ser considerados RNAV se não tiverem outras fontes de navegação, cujos sinais alimentem o FMS automaticamente (Barros, 2012).

Desde 2002, a maioria das pequenas aeronaves produzidas nos EUA é capaz de navegar por GPS de forma contínua, ou seja, já possui capacidade RNAV. Nem sempre, porém, a navegação por GPS atende aos requisitos PBN, uma vez que os sinais dos satélites não podem ser utilizados em algumas áreas remotas do planeta ou em alguns segmentos de aproximação sobre relevo muito acidentado (Barros, 2012).

O conceito PBN está ligado a três segmentos interdependentes. O primeiro é a capacidade de operação das aeronaves. O segundo diz respeito às aplicações,

entendidas como procedimentos e rotas Air Traffic Service (ATS). E o terceiro é a infraestrutura de auxílios à navegação e disponibilidade de sinal de satélites. A capacidade de operação de voo deve ser compatível com o tipo de rota e sua infraestrutura. Ela se dá pelo correto equipamento instalado na aeronave (aeronavegabilidade), somado ao treinamento das tripulações, despachante operacional de voo (DOVs) e pessoal de manutenção. A capacidade PBN de uma aeronave, considerada apenas a aeronavegabilidade, deve estar publicada no Pilot Operation Handbook (POH) ou no Aircraft Flight Manual (AFM). Para os aviões mais antigos ou que pretendem instalar novos equipamentos, a Anac se dispõe a analisar e definir a capacidade de cada um, individualmente. Boletins de serviço e documentação complementar do fabricante também podem orientar as modificações ou alterar a capacidade de aeronaves já em uso (Barros. 2012).

Em qualquer caso, a capacidade PBN será definida pela sua "designação de operação", que pode ser RNAV ou Required Navigation Performance (RNP). Ambas dispensam a necessidade de bloquear auxílios e navegam de um ponto a outro de forma direta. Cada uma delas tem estabelecida uma "precisão de navegação", que é o erro máximo lateral aceitável. Uma capacidade PBN-RNAV 5, por exemplo, deve ser capaz de se manter dentro de cinco milhas náuticas de erro lateral para cada lado. O monitoramento das aeronaves, nesse caso, é realizado por um sistema de vigilância ATS, que geralmente utiliza um radar. Mas para áreas em que não haja esse serviço disponível, como nos oceanos, é o piloto quem deve monitorar o erro. Para isso, precisará contar com uma capacidade RNP. Essa designação indica que o equipamento a bordo monitora os erros laterais e dispara avisos no caso de o avião tê-los ultrapassado. A capacidade RNP é muito utilizada em áreas terminais e aproximações, enquanto a RNAV é exigida apenas em rota (Barros, 2012).

Figura 1- RNAV-PBN

Fonte (Aeromagazine, 2012)

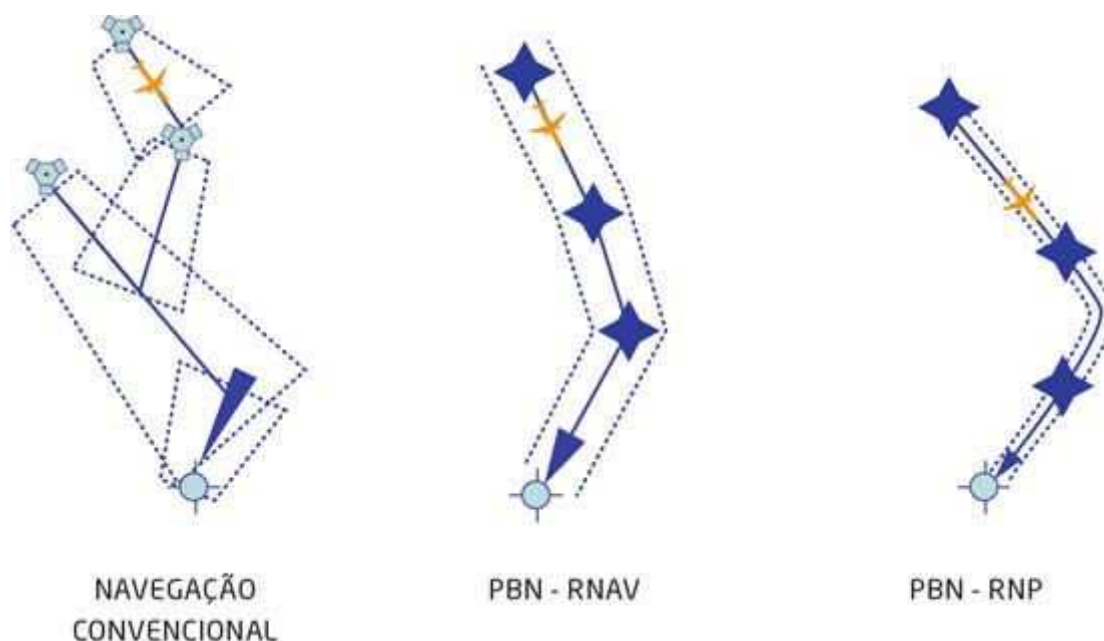


Tabela 1-Operação PBN-RNAV

Fonte (Aeromagazine, 2012)

OPERAÇÕES PBN-RNAV		
Designação da Operação	Precisão Lateral da Navegação	Área de Aplicação
RNP 10 (RNAV 10)	10	Em rota - Oceânica/Remota
RNAV 5 5	5	Em rota – Continental
RNAV 1 e 2	1 e 2	Em rota - Continental/Área Terminal
RNP 4 4	4	Em rota - Oceânica/Remota
RNP 1 1	1	Área Terminal
RNP APCH	0.3	Aproximação
RNP AR APCH	0.5 - 0.1	Aproximação
APV/BARO-VNAV	-	Aproximação

### 3.4 Certificação de Produto Aeronáutico

As grandes modificações são aprovadas pela GGCP seguindo uma das seguintes maneiras:

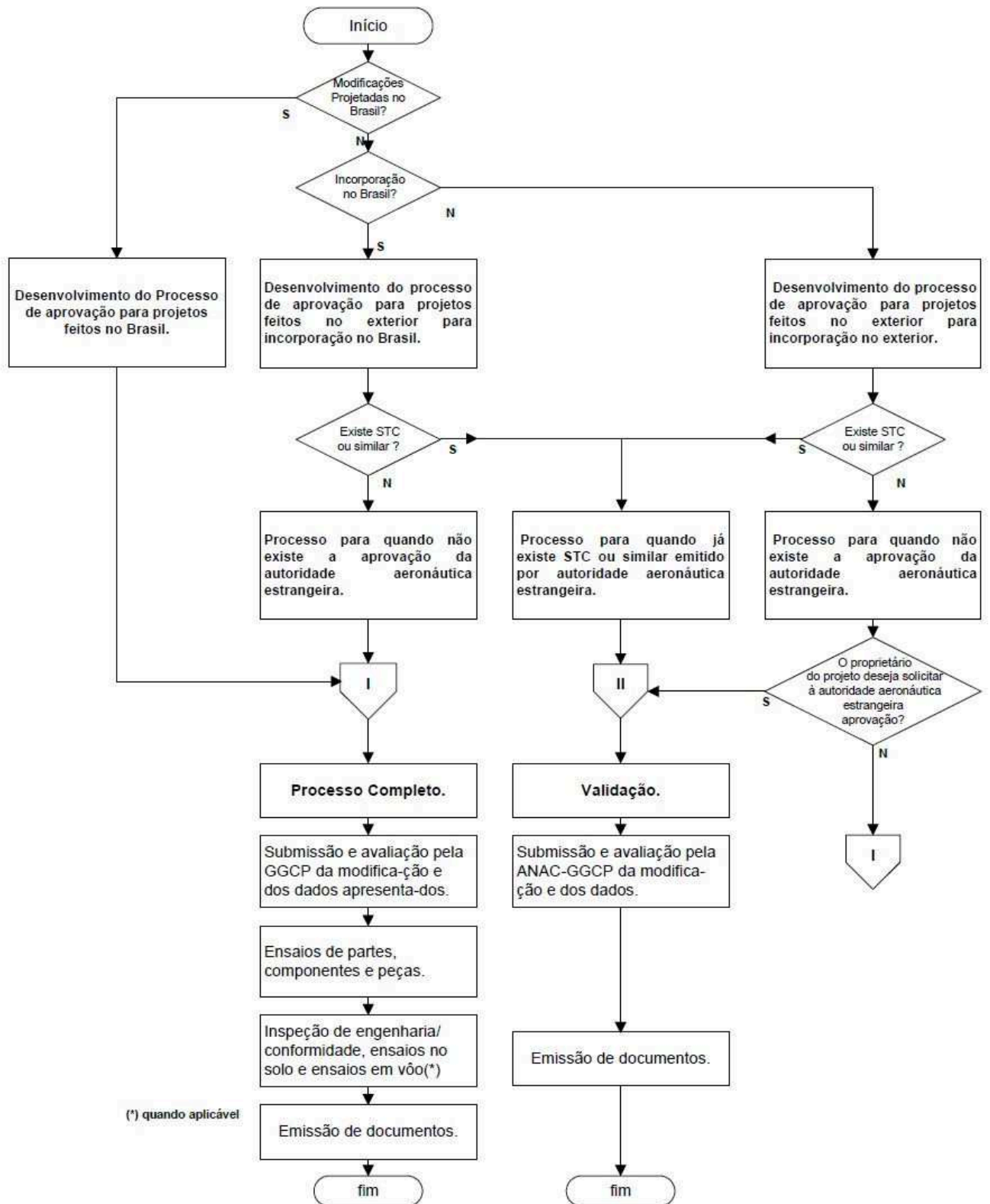
- Pela emissão de um CST aprovando o projeto, quando o requerente deseja incorporar uma grande modificação desenvolvida por ele em várias aeronaves do mesmo tipo e modelo, ou quando a complexidade da instalação requeira esta forma de aprovação, tais como os processos de conversão para prospecções geofísicas, mapeamentos, kits aeromédicos, instalação de câmera, modificações substanciais de sistemas aviônicos (IS 21-004 ANAC) 30.12.2016
- Pela emissão de um CST para validar um STC ou documento similar, emitido por autoridade de aviação civil estrangeira (IS 21-004 ANAC) 30.12.2016

As grandes modificações em aerpnaves são aprovadas pela GGCP por meio do formulário SEGV00 001, com aprovação no campo 3 pela ANAC, quando o requerente desejar incorporar a grande alteração em uma única aeronave, caracterizada por seu tipo. Modelo e numero de serie, o que não autoriza o requerente a incorporar a alteração em outras aeronaves do mesmo tipo. (IS 21-004 ANAC) 30.12.2016.

Grande Modificação: Significa uma modificação no projeto de tipo da aeronave, motor ou hélice que afete apreciavelmente o peso, balanceamento, resistência estrutural, confiabilidade, características operacionais, características de aeronavegabilidade, potência, características de ruído ou emissões . (IS 21-004 ANAC) 30.12.2016.

Figura 2-Aprovações

Fonte IS 21-004 ANAC



## **4- MÉTODOS**

### **4.1 Plano de Certificação**

No processo de elaboração do projeto da modificação é necessário o cumprimento de requisitos, pois como qualquer alteração de projeto já aprovado ou original da aeronave é submetido a aprovação.

A base de certificação é definida para a realização do projeto de modificação será pelo TCDS original nº. A22CE (09, Set. 1971), e pela base de aprovação RBAC/FAR 25 - Requisitos de Aeronavegabilidade – Aviões categoria transporte, pela regulamentação Brasileira os requisitos são similares e rescritos com RBCA 25./FAR25.

Para a modificação, a tabela 1 mostrará os requisitos afetados na modificação e seus métodos de cumprimento.



Nota: Ver figura do avião de modificação no apêndice 1.

**Tabela 2-Requisitos**

**Fonte própria**

<b>RBAC / FAR</b>	<b>ASSUNTO</b>	<b>MÉTODO DE CUMPRIMENTO</b>
25.1	<u>Applicability.</u>	Análise (Plano de certificação)
25.2	Special retroactive requirements.	Análise (Plano de certificação)
25.25	<u>Weight limits.</u>	Cálculo (peso e balanceamento)
25.27	<u>Center of gravity limits.</u>	Cálculo (peso e balanceamento)
25.125	Landing	N/A
<u>25.301</u>	Loads.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.303</u>	Factor of safety.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.305</u>	Strength and deformation.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.307</u>	Proof of structure.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.337</u>	Limit maneuvering load factor.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.341</u>	Gust and turbulence loads	Cálculo (análise estrutural)
25.613	Material strength properties and design values.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.619</u>	Special factors.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.625</u>	Fitting factors.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.1301</u>	Function and installation.	Análise (descrição) Ensaio
<u>25.1307</u>	Miscellaneous equipment.	Análise elétrica
<u>25.1309</u>	Equipment, systems, and installations.	Análise elétrica e características Ensaio
<u>25.1321</u>	Arrangement and visibility.	Análise; Ensaio (descrição e características)
<u>25.1322</u>	Warning, caution, and advisory lights.	Análise; Ensaio; (descrição e características)
<u>25.1351</u>	General.	Análise; Cálculos;
<u>25.1357</u>	Circuit protective devices.	Análise;
25.1431	Electronic equipment	Análise; Ensaio
<u>25.1519</u>	Weight and center of gravity.	Cálculo (análise estrutural)
<u>25.1525</u>	Kinds of operations.	Análise (descrição)
<u>25.1529</u>	Instructions for Continued Airworthiness.	Análise (Análise estrutural)
<u>25.1541</u>	General.	Análise(descrição)
<u>25.1581</u>	General.	Análise (AFM)
<u>25.1583</u>	Operating limitations.	Análise( AFM)
<u>25.1585</u>	Operating procedures.	Análise (AFM)

## 4.2 Descrição da Modificação

A aeronave em questão – um Cessna 500 Citation – é certificada para operação IFR em rota, durante subidas e chegadas, e em aproximações. A certificação básica contempla aproximações de não precisão e ILS Cat I. Ela é certificada para operação com um único piloto sentado no posto esquerdo.

A interface com o piloto é de arranjo convencional, conforme mostra a figura abaixo, sendo os instrumentos de voo e de navegação eletromecânicos.

Pré-modificação



Figura 3-painel de instrumentos antes da modificação

Pós-modificação

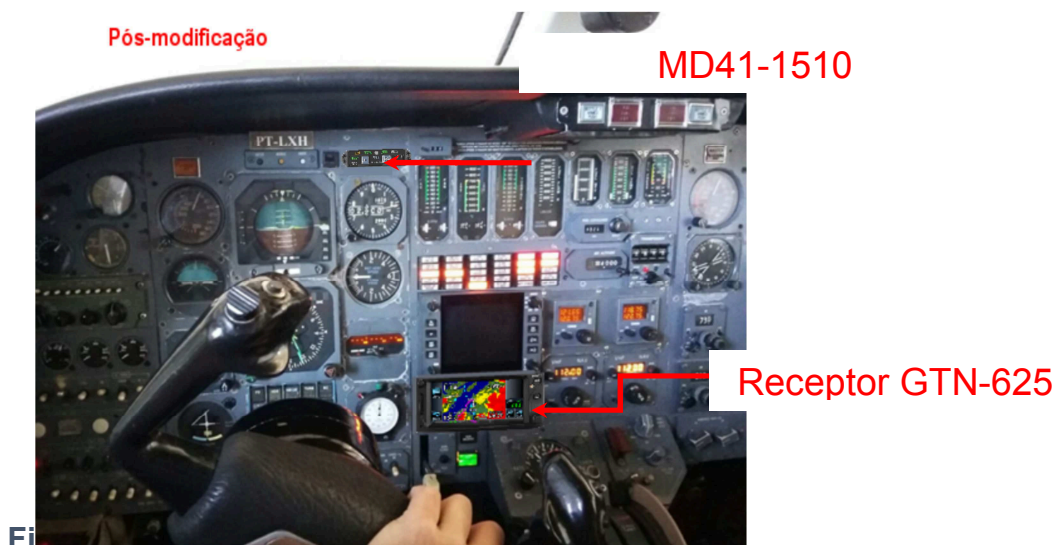


Figura 4-Painel de instrumentos depois da moficação

O GPS GTN-625 tem como única função determinar a posição GNSS, e, como funções acessórias, armazenar planos de voo e bancos de dados de navegação e aproximação. Sua instalação é integrada com o indicador de curso da mesma forma que era na instalação anterior, e com painel MD41-15 de luzes de aviso no campo primário da navegação.

Este painel, instalado no campo primário de visão permite selecionar VLOC/GPS como fonte para o CDI, indica mudanças de perna, perda de sinal GNSS, fase da navegação (em rota, terminal ou aproximação) e também permite a suspensão ou não do sequenciamento automático das pernas da navegação.

O indicador de curso, eletromecânico, não possui seletor de curso servo atuado, portanto quando na mudança de perna em navegação GNSS cabe ao piloto reajustar o curso através de seu seletor.

O GTN-625 é certificado, e seu TSO é validado pela ANAC (Figura 5)

**Figura 5-TSO GNT-650**

**Fonte Install Manual GTN-garmin, 2016**

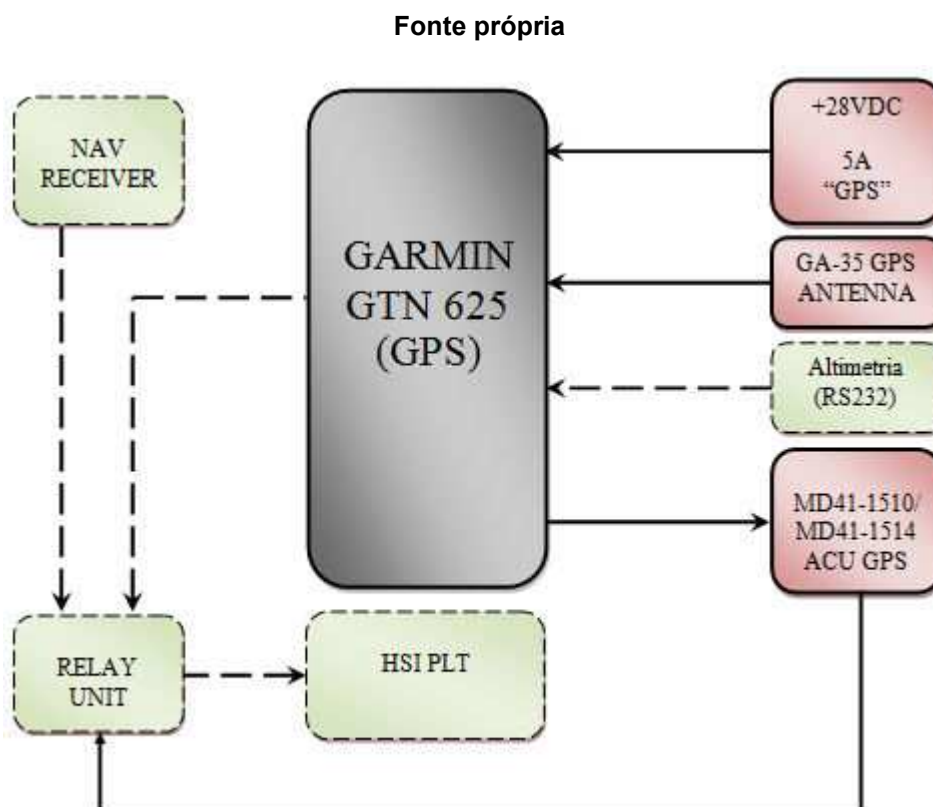
Market Name	Main SW Version	TSO and ETSO	Class/Type	Software and CLD P/N	Description
GTN 625	with v4.xx	TSO-C74d	A	Software:	
		TSO-C110a		006-B1026-2()	Main
		TSO-C112c		006-B1027-02 through -0()	Main Bootblock
		TSO-C113	I, II, III	006-B1028-0()	Touch Controller
		TSO-C118		006-B1029-01 through -0()	Touch Cntr Bootblock
		TSO-C146c	3	006-B0339-2()	WAAS
		TSO-C147	A	006-B0336-0()	WAAS Bootblock
		TSO-C151b	B	CLD:	
		TSO-C157a	1, 2	006-C0134-22 through -2()	Main
		TSO-C165		590-00039-01 through -0()	WAAS
		TSO-C194			
		TSO-C195a	B1, B3, B5		

O GPS é certificado originalmente Segundo a TSO to C146c, para Class 1,2,3 (LPV). É certificado para WAAS até aproximações Gamma-3. Sua precisão de navegação, quando aumentada por WAAS, é de 1 metro RMS. Este equipamento é, do ponto de vista da navegação GNSS, muito mais preciso, mais robusto e de maior

integridade que o Trimble 2000 anteriormente usado, e é certificado para aproximações até mínimos mais reduzidos, incluída aí a certificação da guiagem (“steering”) que comanda o diretor de voo e o modo horizontal do piloto automático.

Do ponto de vista ambiental o GTN 625 é certificado segundo a DO160F. O software embarcado, parte integrante do GTN 625, é certificado pela DO 178B. Apesar do GTN 625 ser certificado para aproximações LPV (“Localizer Performance with Vertical Guidance”), como tais aproximações não estão disponíveis no Brasil pela ausência de estações de referência, a proposta é certificar esta instalação somente para RNAV 1, RNAV 2, RNAV 5 convencionais sem VNAV. O envelope de temperaturas de operação é de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+55^{\circ}\text{C}$ , o envelope de temperatura até 55000ft. A carga elétrica do GTN 625 é de no máximo 1,5A @ 28V DC. A arquitetura da instalação está representada pelo diagrama abaixo:

Figura 6- Diagrama de bloco da modificação



O GTN-625: é a unidade responsável por processar os dados recebidos pela antena e também mostrar os desvios de curso no próprio display. Além é claro, dar os alertas necessários previstos para sua certificação.

**Figura 7-GTN-625**

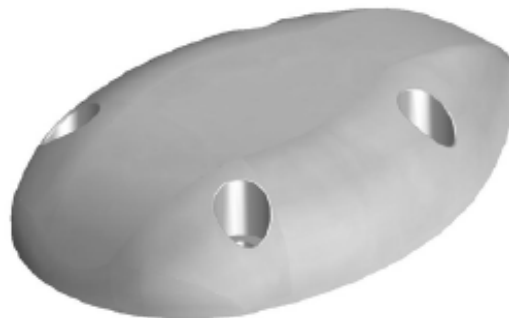
**Fonte Install Manual GTN-garmin, 2016**



A GA-35 GPS ANTENNA: é a unidade responsável por receber as informações dos satélites e enviar ao GTN625 serem processadas e mostradas no display.

**Figura 8 - GA-35 GPS Antena**

**Fonte Install Manual GTN-garmin, 2016**



MD41-1510 ou -1514: é a unidade que indica ao piloto os alertas e mensagens recebidos no GTN-625. Também faz o chaveamento de GPS e VOR, além é claro da seção de OBS SUSP.

Figura 9-Mid Continent

Fonte Install Manual GTN-garmin, 2016



### 4.3 Características da Modificação

Neste item estão disponíveis informações sobre o sistema a ser instalado na aeronave cessna modelo 500 assim como suas respectivas funções, características operacionais, localização física, interfaces, proteções elétricas, entre outros dados.

O GTN-625 GPS da Garmin é um sistema compacto, composto de uma unidade receptora processadora e indicadora, sendo do tipo painel mounted, e 1 GPS externa de GPS. O sistema GTN-625 está interfaceado ao a unidade anunciadora MD41-1510 da Mid Continent, que também será instalada nesta modificação. Este sistema possui sistema de navegação VFR e IFR, além é claro, ser capaz de receber até 12 (doze) canais simultâneos de satélite e 3 de GPS/WAAS/ SBAS. Possui um Geographical database e dispõe de vários modos de navegação, informações que são apresentadas no visor de LCD de alta resolução (600 x 266 pixels) e 4.9 polegadas diagonais, e manipuladas através de comandos diretamente no display touchscreen. O equipamento possui também na parte frontal esquerda 1 slot para inserir o cartão de dados específicos, como dados sobre cidades, rodovias, estradas, rios, lagos, fronteiras, aeroportos, NDBs, intersecções, FSSs, DPs/STARs e SUA. Este cartão de banco de dados pode ser atualizado periodicamente no site da Jeppesen. Nesta modificação, o GTN-625 da Garmin terá

sua função GPS aprovada para voo VFR, IFR e procedimentos operacionais requeridos RNAV 1, RNAV 2, RNAV 5.

O GTN-625 GPS da Garmin está instalado na posição do GPS Trimble TNL-2000 removido.

O ACU GPS modelos MD41-1510 (+28Vdc lights) da Mid Continent estará instalado no painel de instrumentos no campo primário de visão do piloto.

A GPS Antenna modelo GA-35 da Garmin será instalada na posição da antena do GPS Trimble removido, na mesma estação.

#### **4.3 Instalação do sistema**

Para a instalação do sistema será representado apenas por uma figura representativa do sistema GTN 635 da Garmin, não será feito um levantamento de todas as interfaces elétricas que o sistema é capaz , pois o propósito é demonstrar métodos e requisitos.

Figura 10-Diagrama de instalação  
 Fonte Install Manual GTN-garmin, 2016

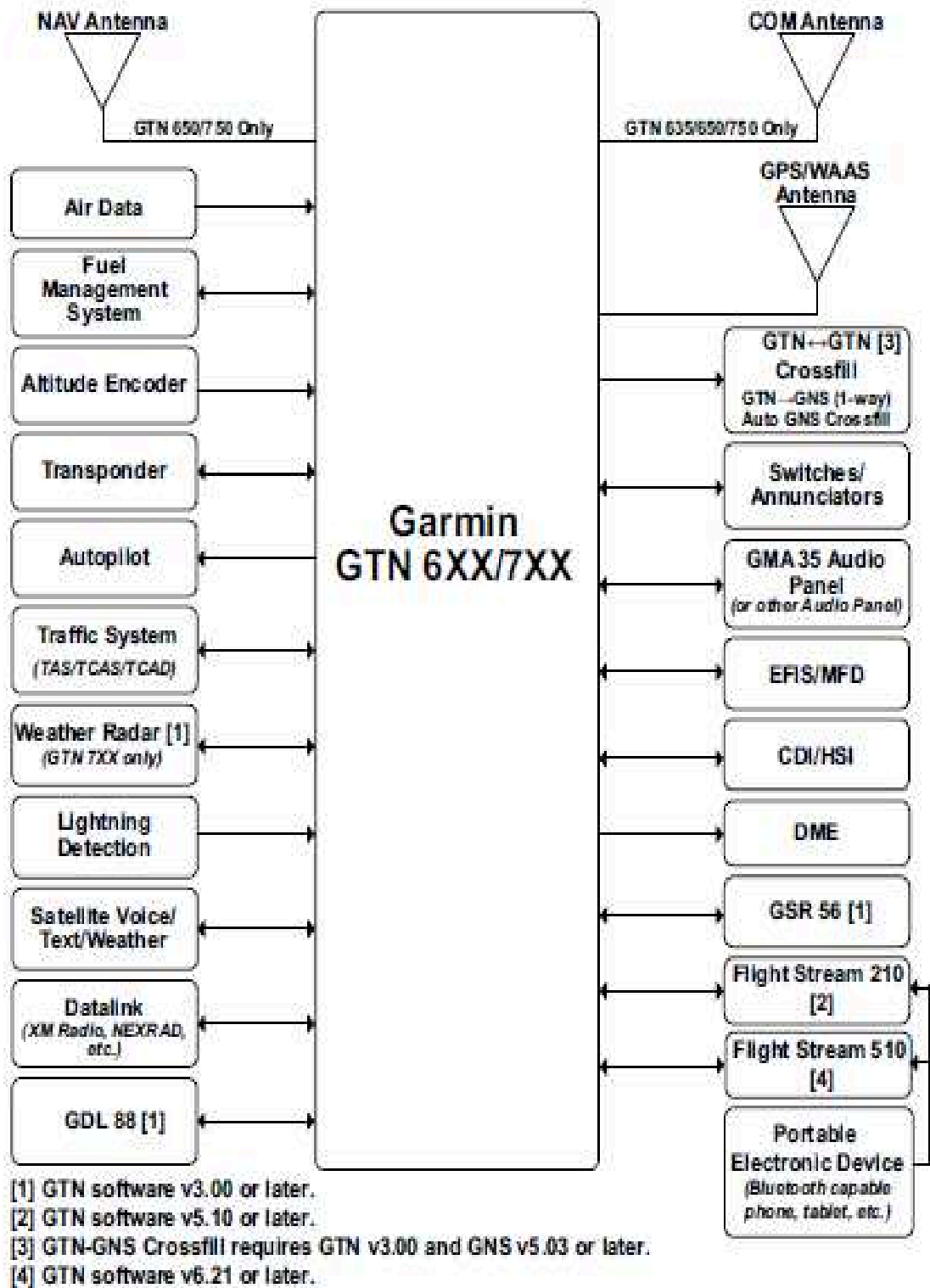




Figura 11- Instalação GTN-625

Fonte própria

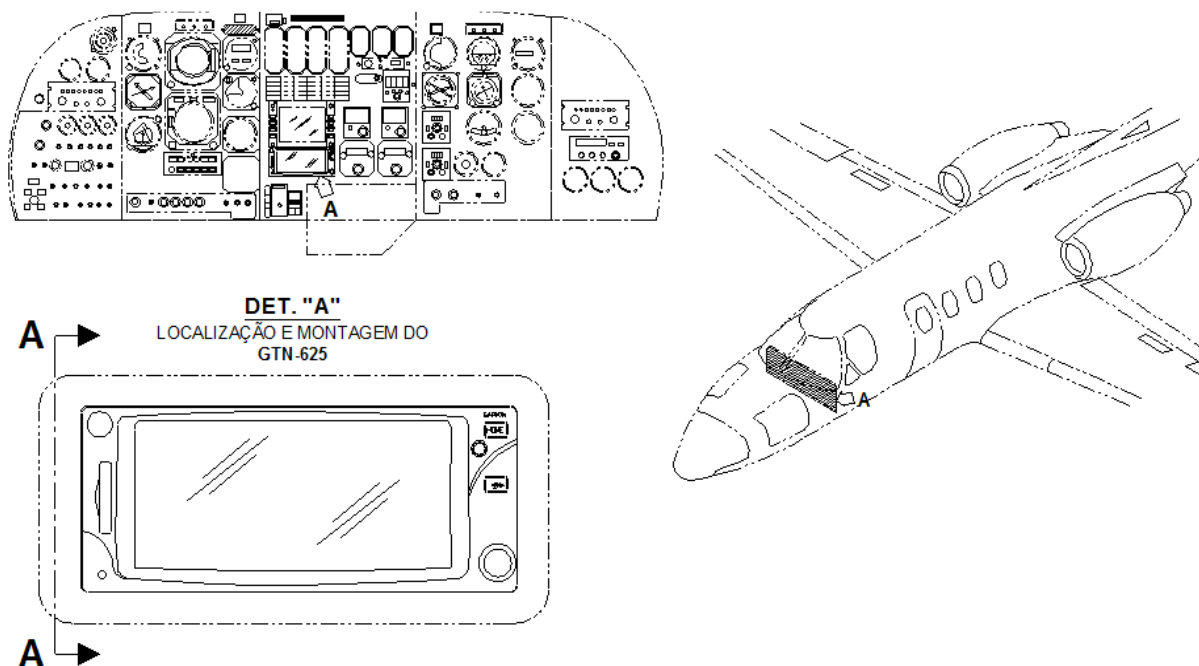


Figura 12- Instalação do Mid0 Continent

Fonte própria

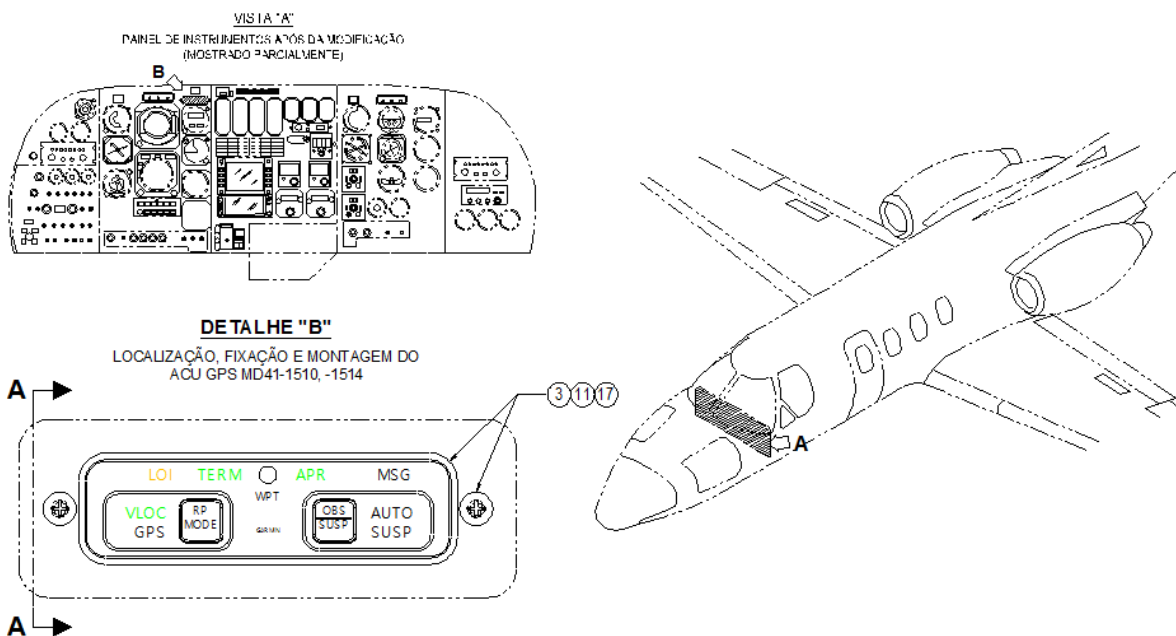
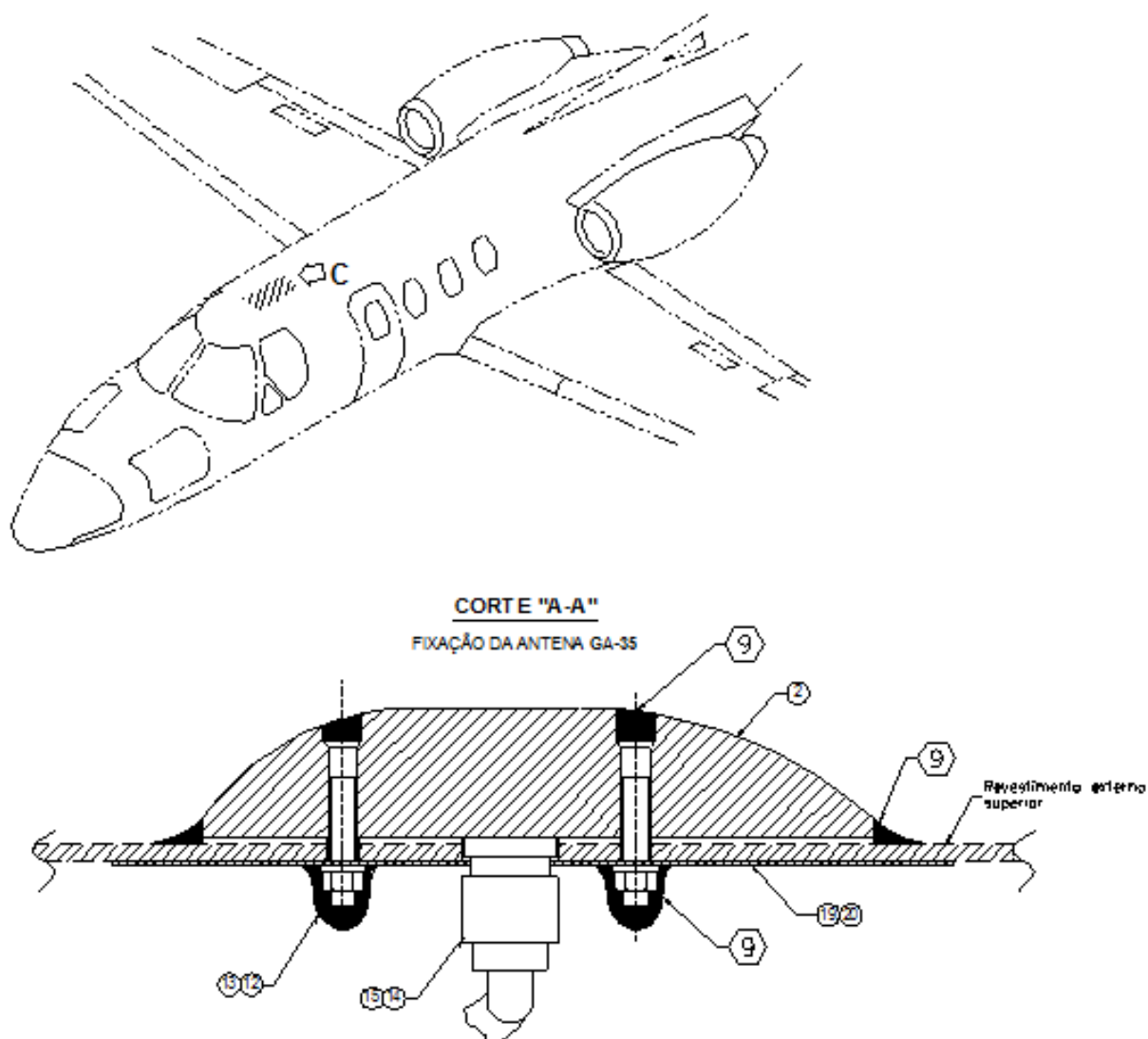


Figura 13-Instalação da Antena

Fonte própria



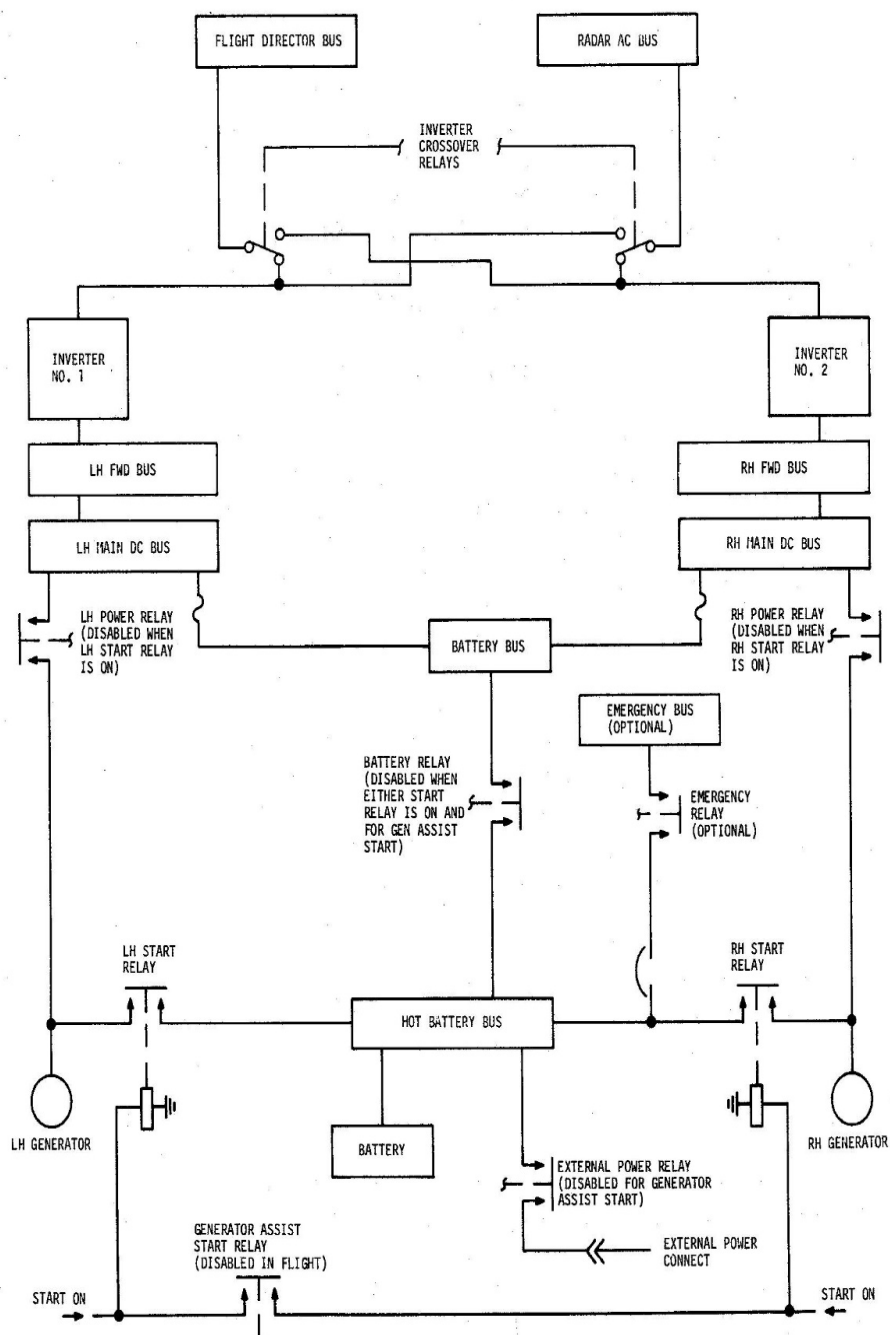
#### 4.4 Análise Elétrica da Modificação

A capacidade do sistema elétrico da aeronave poderá ser avaliada de acordo com as cartas de cargas elétricas dos Manuais de Manutenção da aeronave, e/ou de acordo com a FAA AC 43-13-1B (Accept Methods, Techniques, and Practices-Aircraft Inspection and Repair), Capítulo 11, Seções 1 e 3 .

A análise de carga elétrica é aplicada antes e após a modificação e é aplicável a uma aeronave padrão e adicionada à instalação dos equipamentos opcionais. Apenas as cargas individuais máximas dos sistemas são registradas nas cartas de carga. A análise será demonstrado ao resultados desse trabalho.

Figura 14- Esquema Elétrico da aeronave

Fonte M.Manutenção Cessna

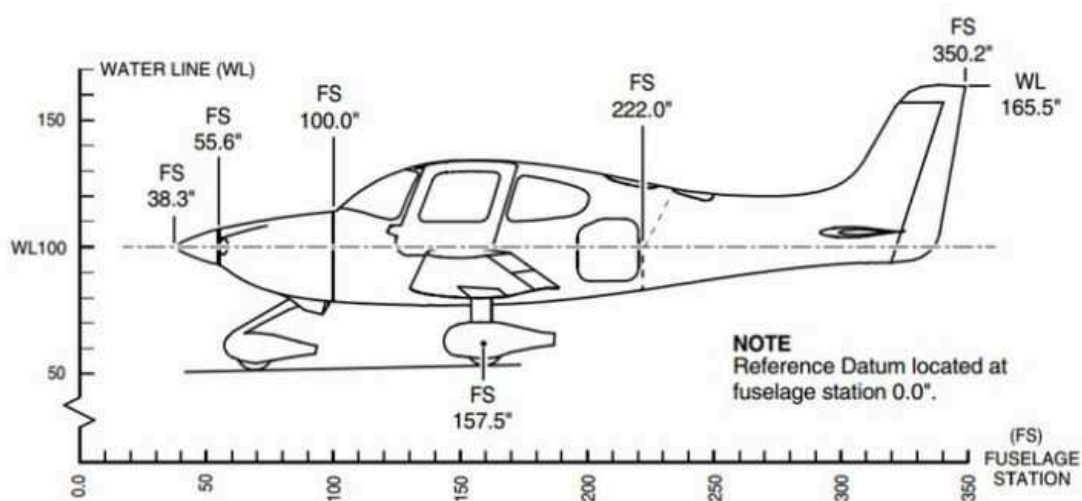


#### 4.5 Análise de peso e balanceamento

Nos processos de certificação de aeronaves civis deve apresentar os cálculos de balanceamento para serem verificados. Se aprovados, passam a constar da documentação obrigatória da aeronave. Ao longo da vida, a cada modificação que altere o peso, como uma pintura nova, modificação de equipamentos a bordo ou alteração da fuselagem, um novo recálculo deve ser realizado.

**Figura 15-Peso e Balnceamento**

Fonte- Aeromagazine, 2014



Para modificação abordada nesse trabalho, será efetuada a remoção do Timble 2101 GPS original da aeronave e será instalado um novo equipamento GTN-625 ao mesmo local na estação FS 107,0, e teremos também a instalação da antena de GPS na fuselagem na estação FS145,0 da aeronave.

Para substanciar o peso e balanceamento após a modificação será dada através da fórmula:

$$M = \text{PESO (Kg)} \times \text{BRAÇO}$$

Onde:

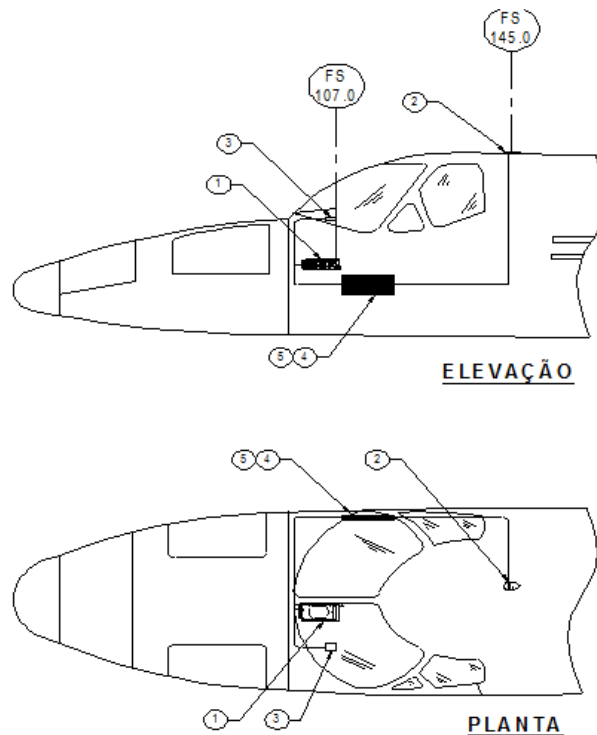
M= Momento

Peso (Kg) = Peso componente

Braço= Distância do componente para o CG da aeronave

**Figura 16- Localização do equipamentos**

Fonte própria



**Figura 17-Localização do equipamentos**

Fonte própria

item	Descrição
01	GTN-625
02	GA-35 GPS Antenna
03	MD41-1510 ou MD41-1514
04	Circuit Breaker 2 A
05	Circuit Breaker 5 A

A análise será demonstrado ao resultados desse trabalho.

#### 4.6 Análise Estrutural da Modificação

Os seguintes itens do FAR 25 são utilizados para a elaboração deste documento.

**Tabela 3-Requisitos estruturais**

**Fonte própria**

14 CFR 25.301	Loads
14 CFR 25.303	Factor of Safety
14 CFR 25.305	Strength and Deformation
14 CFR 25.307	Proof of Structure
14 CFR 25.337	Limit Maneuvering Load Factor
14 CFR 25.341	Gust Loads
14 CFR 25.561	Emergency Landing Conditions (General)
14 CFR 25.613	Material Strength Properties and Design Values
14 CFR 25.619	Special Factors
14 CFR 25.625	Fitting Factors

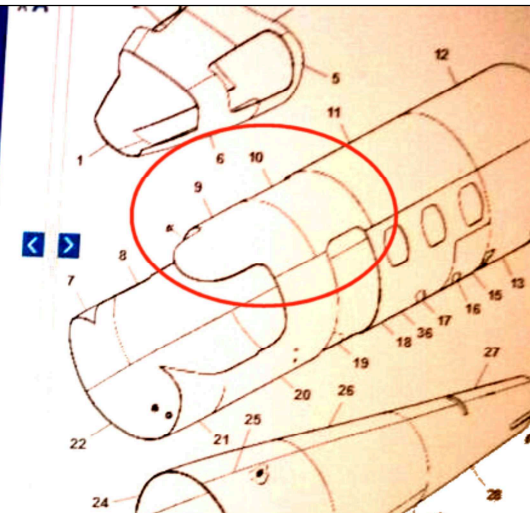
Pressão diferencial máxima (válvula de alívio de segurança): 8.5PSI

Detalhes da fuselagem:

Revestimento na parte superior da fuselagem: alclad 2024T351 .032"

Figura 18-Revestimento superior da aeronave

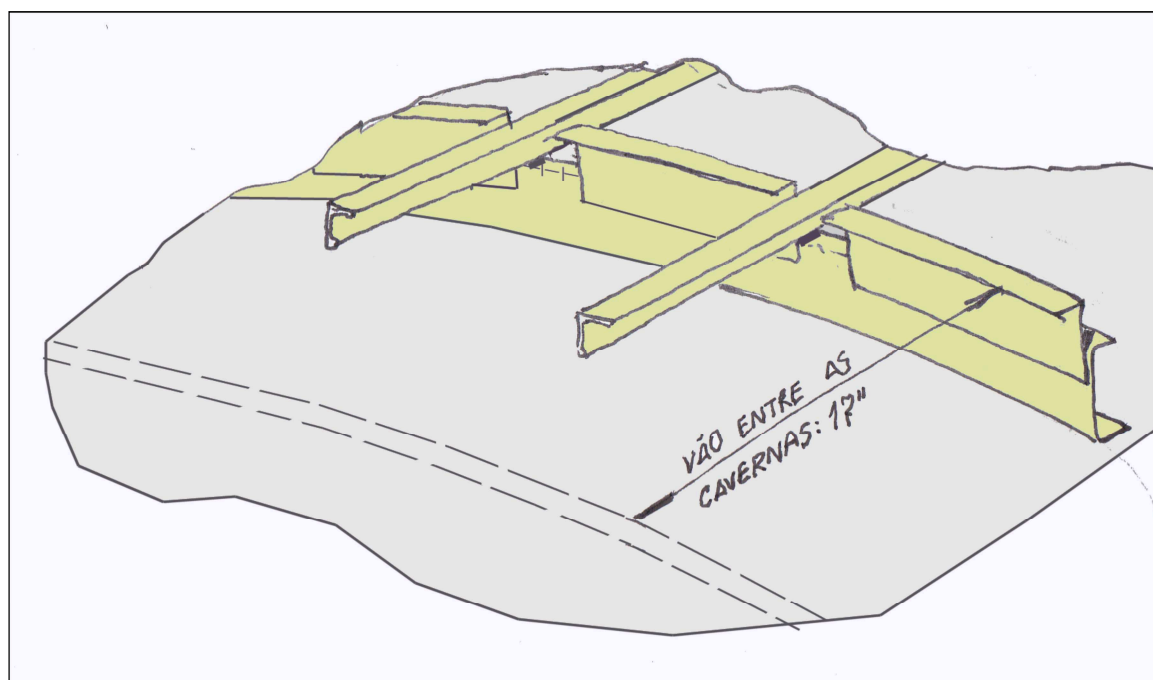
		MATERIAL
1	Skin	
2	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
3	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
4	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
5	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
6	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
7	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
8	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
9	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
10	Skin	0.032 Alclad 2024-T3
11	Skin	0.032 Alclad 2024-T3
12	Skin	0.032 Alclad 2024-T42
13	Skin	



### Detalhe construtivo da fuselagem superior dianteira:

Figura 19-Revestimento superior dianteira

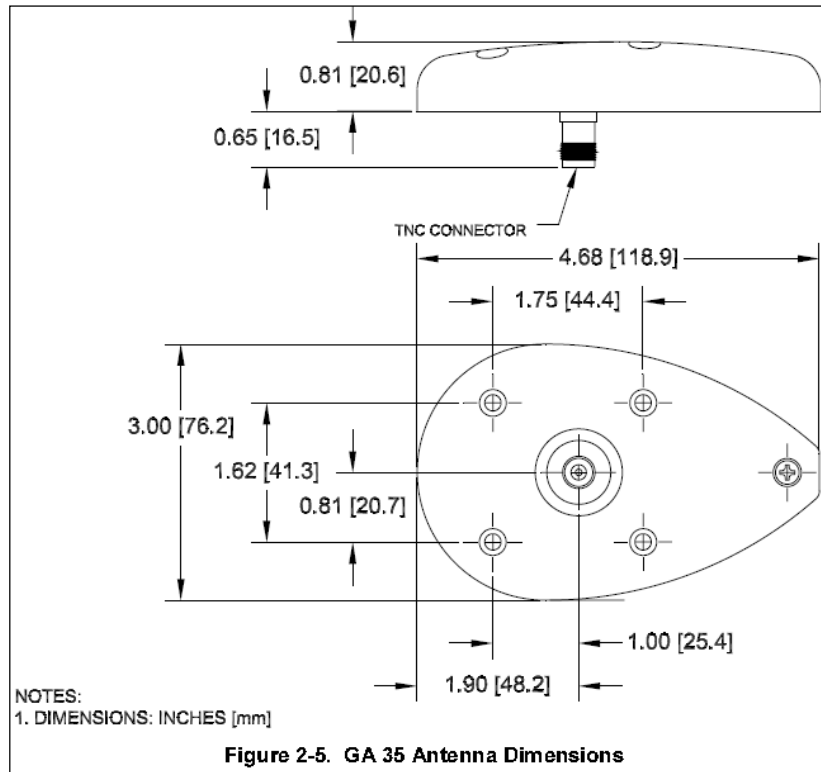
Fonte própria



## Antena de GPS a ser instalada:

Figura 20- Antena

Fonte própria

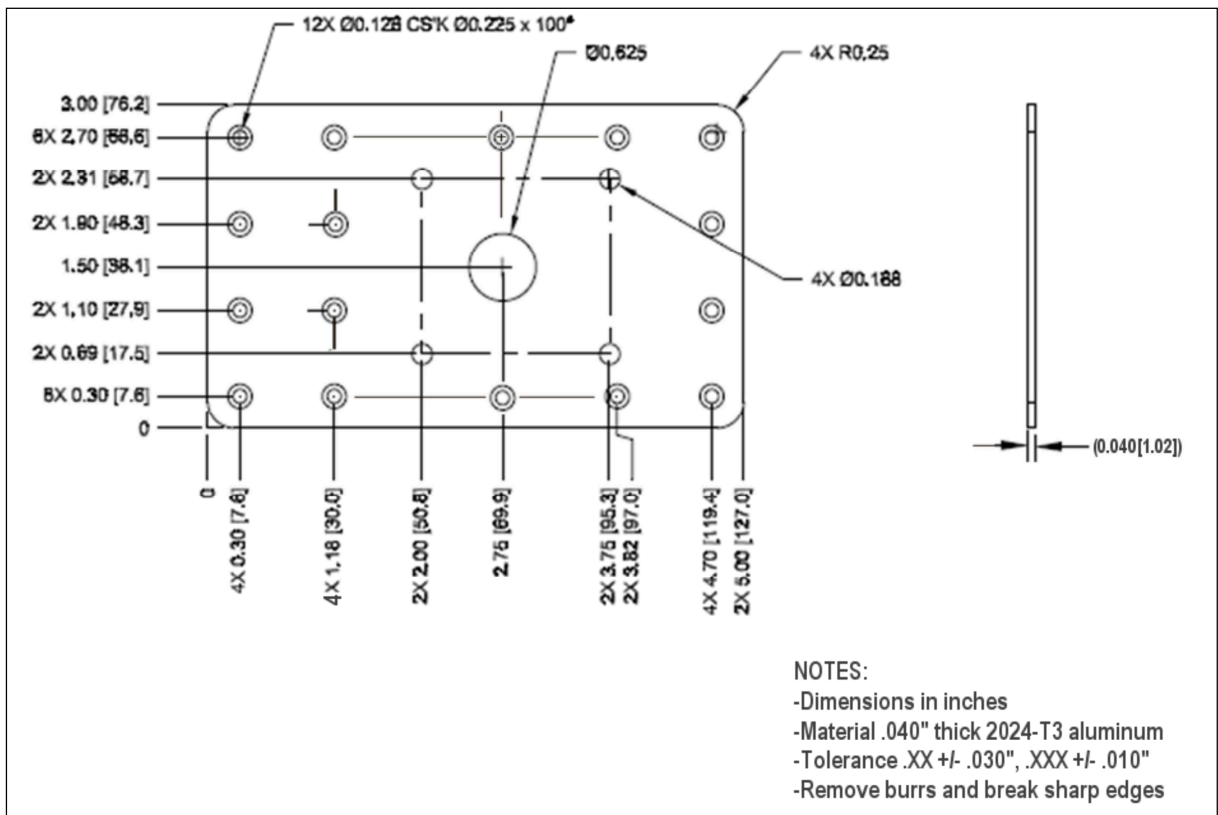


Reforço a ser instalado por dentro do revestimento:



Figura 21-Reforço da antena

Fonte própria



Este reforço é instalado no centro de um Avião entre cavernas e igualmente espaçado dos reforçadores (stringers) adjacentes. Esta antena tem que estar a pelo menos 12" de outra abertura (que não de rebites) no revestimento.

### • Margem de Segurança

Para substanciação da abertura da antena:

- 1 – 1.5 para diferença entre carga nominal e carga final;
- 2 – 1.33 para modificações no vaso pressurizado
- 3 – 1.15 Fitting factor para substanciações por análise

Para substanciação da fixação do receptor no painel:

- 1 – 1.5 para diferença entre carga nominal e carga final;
- 2 – 1.15 Fitting factor para substanciações por análise

#### 4.7 Substanciação da Instalação da antena de GPS

##### 4.7.1 Resistencia perdida vs Resistência recuperada

As dimensões do reforço são 5" x 3", e a abertura para o conector tem um diâmetro de .625". A resistência perdida é:

$$0.625'' \times t \times F_{tu}$$

Onde t é : a espessura do revestimento.

A resistência recuperada é :

$$F_{tu} \times (3'' - 0.625'') \times t_1$$

Onde t1 é: a espessura do reforço.

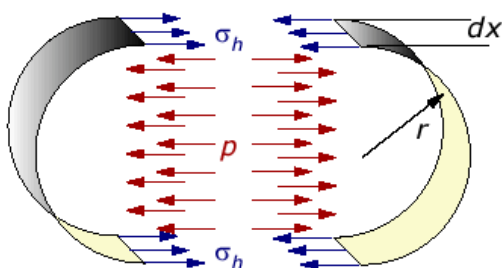
Ou seja:

Lost strength =  $F_{tu} \times 0.02\text{in}^2$ ; Recovered strength =  $F_{tu} \times 0.120\text{in}^2$

MS =  $120/0.02 = 600\%$

##### 4.7.2 Resistencia dos rebites ao esmagamento

As tensões devido a pressurização são dadas pela fórmula (aplicável a cilindros de comprimento razoável), que é:



$$2 \cdot \sigma_h \cdot t \cdot dx = p \cdot 2 \cdot r \cdot dx$$

$$\Rightarrow \sigma_h = \frac{pr}{t}$$

Figura 22-Cilindros de comprimento

Como a pressurização é 8.5 PSI, a espessura do revestimento é 0.032" e o diâmetro da fuselagem é 1,46m (57.5"):

$$\sigma_h = 8.5\text{PSI} \times 0,5 \times 57.5" / 0.032" = 7636\text{PSI}.$$

Aplicando os fatores de segurança definidos anteriormente:

$$\sigma_h = 7636\text{PSI} \times 1.5 \times 1.33 \times 1.15 = 17519\text{PSI}$$

As tensões longitudinais são a metade desta, ou seja, **8759PSI**. O comprimento do reforço é de 5" e sua largura de 3".

A carga devido à tensão transversal é:

$$\sigma_h \times \text{comprimento do reforço} \times \text{espessura do revestimento} = 17519\text{PSI} \times 5" \times 0.032" = 2803\text{lb}.$$

Esta carga é transferida para o reforço pela metade dos rebites, ou seja, por 8 rebites de 1/8".

Portanto a carga por rebite é de:

$$2803\text{lb}/8 = 350\text{lb}.$$

A resistência do rebite ao esmagamento no ALCLAD2024T3 é:

$$1.14 \times 411 = 469\text{lb}$$

$$M. S. = (469-350)/467 = 25\%.$$

#### 4.7.3 Resistencia dos rebites ao cisalhamento

As cargas de cisalhamento nos rebites são calculadas exatamente da mesma forma que as cargas de esmagamento. Todos os casos aqui são "single shear".

Assim sendo:

A carga por rebite é 350 lb.

A resistência de um rebite de 1/8" ao cisalhamento é:

$$494\text{lb} \times 0.964 = 476\text{lb}$$

$$\text{M. S.} = (476-350)/350 = 36\%$$

#### 4.8 Substanciação do receptor no Painel

O receptor Trimble que está sendo retirado pesa 3.25 lbs (1.48 kg); o receptor que está sendo instalado pesa 1.9Kg. Portanto se está colocando um peso adicional de 0,42Kg painel.

Os parafusos de fixação têm diâmetro de 5/32".

Esta massa está à frente dos ocupantes, portanto pouso de emergência não o afeta.

Considerando um fator de carga de 10g (conservativo) para cobrir as cargas finais em voo e de pouso normal, temos:

**Figura 23-Painel de central**

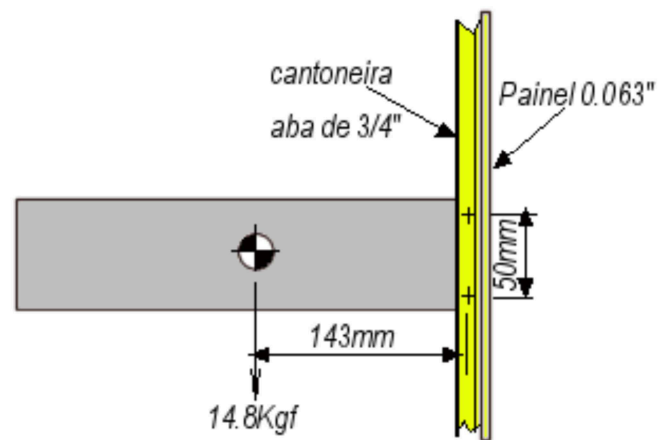
Fonte própria

Os componentes de esforço de cisalhamento em cada parafuso de fixação nas cantoneiras são de

$$14.8\text{Kgf}/2 \times 143/50 = 21\text{Kgf (horizontal)}$$

$$14.8\text{Kgf}/4 = 3.7\text{Kgf (vertical)}$$

A soma vetorial destes dois componentes resulta em 24.7Kgf.

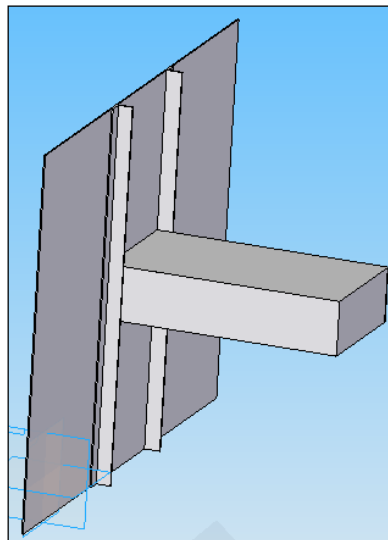


A resistência em cisalhamento de um parafuso de 5/32" é mais de 500Kg, portanto a fixação em si não é problema.

Criando um modelo sólido desta instalação, temos:

**Figura 24-Painel central vista traseira**

Fonte própria



#### 4.9 Análise de falha

Para uma visão clara das implicações das falhas do sistema na operação da aeronave, mapeamos os modos de falha e suas consequências operacionais em uma tabela qualitativa do tipo FHA (Failure Hazard Analysis).

O contexto considerado é a aeronave operada por um piloto só. Pressupõe-se que qualquer operação RNAV é precedida de verificação de disponibilidade de RAIM (Redundant Autonomous Integrity Monitoring).

Falhas relacionadas com hardware/software do GTN 625 que produzam informações digitais errôneas internamente no GTN 625 não são consideradas aqui, já que foram analisadas no processo de certificação pela TSO. As falhas pertinentes a esta análise são as decorrentes da instalação. Estas falhas são relacionadas à falta de alimentação de um ou mais componentes, falha de comunicação de dados ou EMI.

Para se entender o contexto operacional, é importante se ter em mente o seguinte:

Apesar de haver o painel de avisos no campo primário de visão, o monitoramento contínuo da navegação no mostrador do GTN-625 é mandatório, não só para conferir o curso de cada perna e ajustar o seletor de curso, mas também para monitorar o ANP (“actual navigation performance”) e para monitorar continuamente o “crosstrack error”, conforme reza a IS 91-001.

Tabela 4- Análise de falhas

Função	Perda de função	Fase do voo	Consequência	Severidade
Antena, recepção se sinais do GNSS	Antena inoperante (mau contato, danos)	TODAS	Perda da recepção de GNSS, "DR" anunciado	Minor – Na medida em que "DR" ou perda de sinal é anunciado, piloto alterna imediatamente para outro tipo de navegação.
Antena e cablagem associada	Interferência	TODAS	Perda anunciada de sinal	Minor – Idem ao caso anterior: a validação interna do sinal pelo receptor descarta o sinal se este não for consistente e coerente
Informação de desvio de curso (CDI)	Desvio de curso com erro ou inoperante	TODAS	Barra de desvio do HSI com deslocamento errado ou com flag	Com flag – Minor, pois o piloto alterna imediatamente para outro modo de navegação; Sem Flag: Minor, pois o piloto constata a incorreção comparando o CDI com o "crosstrack" do mostrador do GTN-625
Painel de avisos no campo primário	Painel inoperante - continua ou intermitente	TODAS	Mensagens que eram para aparecer são inibidas	Minor, pois o apagamento de todos os anunciadores deste painel indica imediatamente uma anormalidade, e o piloto alterna para as indicações do mostrador do GTN 625.

Botão de seleção AUTO/SUSP	Botão inoperante	TODAS	Sequenciamento de pernas diferente do selecionado	Minor: é imediatamente detetado ao ser comparado o curso ativo mostrado no GTN com a indicação do painel de avisos. O GTN pode ainda ser usado em alguns casos.
Navegação pelo GTN-625	Falha interna de hardware ou perda de alimentação do receptor	TODAS	GTN-625 inoperante; Impossibilidade de uso do GTN 625	Minor: o piloto percebe imediatamente esta inoperância e passa a usar outro equipamento de navegação.
Indicador de curso	Perda de alimentação do indicador de curso	TODAS	Impossibilidade de uso do diretor de voo ou piloto automático para navegação RNAV	Minor: a perda da alimentação do indicador de curso é imediatamente percebida pelas várias bandeiras que aparecem nele (FLAG). O piloto pode alternar para outra forma de navegação como o OBS, o RMI da direita ou mesmo seguindo diretamente as indicações do mostrador do GTN 625.

Como se pode ver na tabela acima, o uso de monitoramento adequado faz com que as falhas listadas sejam imediatamente percebidas e ação padrão seja tomada. Nenhuma das ações são de natureza emergencial. São isto sim procedimentos chamados anormais, para os quais toda tripulação – em especial tripulações com qualificação de tipo, que é o caso – são exaustivamente treinadas. Estes tipos de procedimentos anormais não causam sobrecarga intensa na carga de trabalho e/ou no esforço mental da tripulação. Daí serem todas classificadas como minor.



#### 4.10 Inspeção Continuada a modificação

A seção de limitação de aeronavegabilidade é aprovada pela ANAC e especifica as inspeções e outra manutenção requerida pelo RBAC §43.16 e RBHA §91.403, a menos que um programa alternativo tenha sido aprovado pela ANAC.

Os intervalos de inspeções ou de reposições mandatórias segue abaixo:

Intervalo de reposições mandatórias:

- A bateria do GTN deve ser substituída a cada 5 anos (recomendado pelo fabricante).

Intervalo de inspeções mandatórias:

- A cada 1579 ciclos, conduzir uma inspeção na antena, em sua fixação e seu “bonding”.

## 5- RESULTADOS

### 5.1 Resultado da análise elétrica da modificação

Na sequência é apresentada uma tabela, que relaciona o consumo dos equipamentos e os respectivos disjuntores que serão instalados, conforme previsto pelo fabricante do equipamento.

**Tabela 5- Resulta da análise elétrica**

Fonte própria

TENSÃO	GERADOR	CONSUMO	
		REMOVIDOS	AMPERES
28VDC	800A	<b>TNL-2000 (GPS)</b>	<b>0,5</b>
		ADICIONADOS	
		<b>GTN-625 (GPS)</b>	<b>1,5</b>
		<b>ACU GPS</b>	<b>0,2</b>

		CARGA TOTAL	1,2
Capacidade de geração de 28VDC da Aeronave	<b>Consumo Total na condição mais crítica (pouso)</b>	<b>Consumo total com os equipamentos acrescentados</b>	<b>Porcentagem de utilização</b>
800	<b>541</b>	<b>542,2</b>	<b>67,7%</b>

Os componentes principais do sistema de Geração DC da aeronave são: 2 geradores de 28VDC de 400 Amperes cada, voltímetro e uma bateria principal de 34AH.

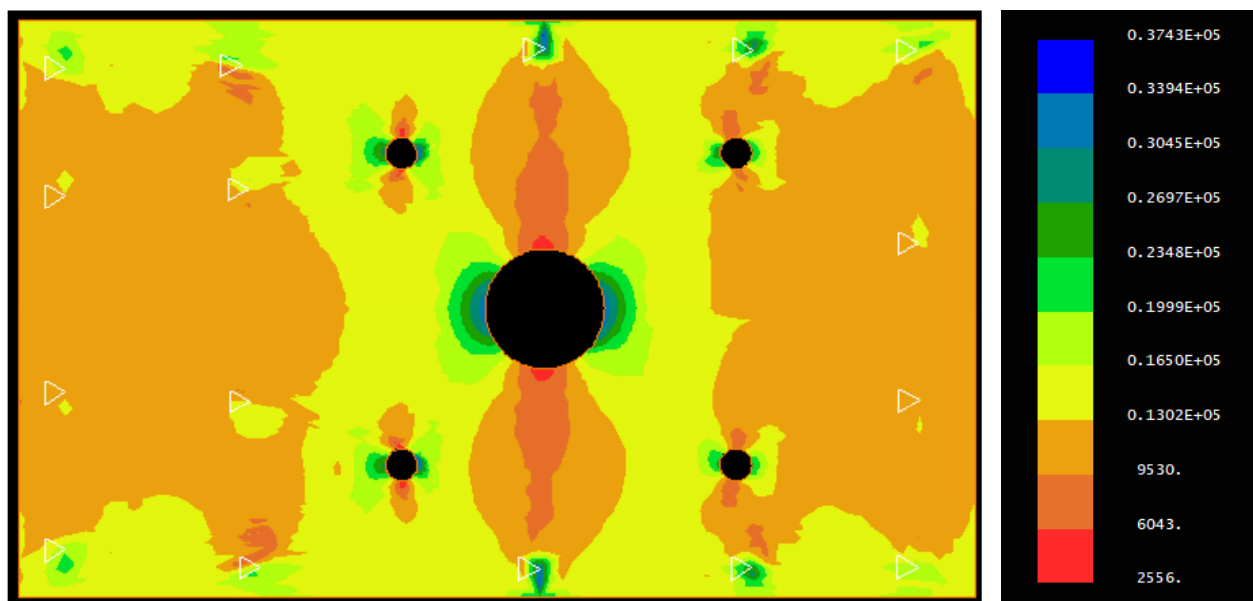
Em operação normal, os geradores principais primários #1 e #2 alimentam todos os barramentos, conforme figura 1. Em caso de falha no gerador principal, o gerador remanescente poderá alimentar todas as barras.

Como vimos nas tabelas acima, o consumo dos equipamentos acrescentados é pequeno em face da capacidade de geração das aeronaves Cessna modelos 500. Assim sendo, ficou demonstrado que o acréscimo de carga ao sistema elétrico das aeronaves não afeta significativamente a instalação dos sistemas descritos no item 1 e cumpre com os requisitos aplicáveis do RBAC/ FAR 25.

## **5.2 Resultado da análise numérica das cargas estáticas**

Considerando as tensões no revestimento, utilizamos o software Franc3D para calcular a distribuição de tensões. O resultado está mostrado abaixo. As tensões apresentadas na escala à direita estão em psi.

Figura 25-Resultados da carga estática



Fonte software Franc3D

Como se vê as tensões transversais são preponderantes e a concentração maior é no furo do conector e um pouco nos rebites e nos furos dos parafusos. Mas em nenhum caso ultrapassam os limites do material (ALCLAD ., cujo FTU é 65000PSI).

Tabela 6- Propriedads Mecânicas

Fonte aed motorsports

2024 Sheet/Plate Typical Mechanical Properties:

	2024-T3	2024-T3 Alclad	2024-T351	2024-O	2024-O Alclad
<b>Tensile Strength (psi)</b>	70,000	65,000	68,000	27,000	26,000
<b>Yield Strength (psi)</b>	50,000	45,000	47,000	11,000	11,000
<b>Elongation (% in 2")</b>					
.063" Sheet	18	18	20	20	20
1/2" Round	-	-	19	22	
<b>Min. 90° Cold Bend Radius for .064" thick</b>	3-5T	-	3-5T	0	-
<b>Brinell Hardness</b>	120	-	120	47	-
<b>Ultimate Shearing Strength (psi)</b>	41,000	40,000	41,000	18,000	18,000
<b>Fatigue, Endurance Limit (psi)</b>	20,000	-	20,000	13,000	-
<b>Modulus of Elasticity (ksi x 1000)</b>	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6

Portanto estaticamente a modificação não oferece problemas.

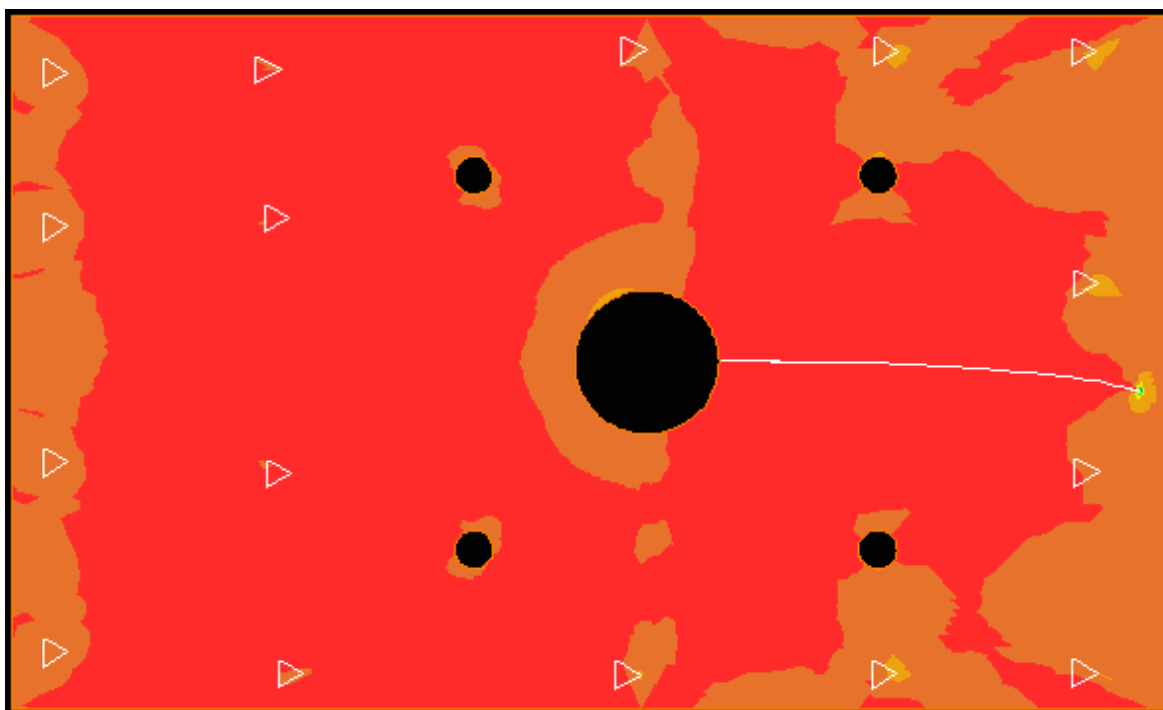
### 5.3 Resultado de fadiga e tolerância a falhas

Para esta análise assumiu-se conservativamente que em todo voo a aeronave chega a seu limite de diferencial de pressurização e, conseqüentemente às tensões correspondentes.

Para fins de análise de tolerância a falha não foi considerado o fator de segurança de 50% correspondente à diferença entre carga nominal e carga final. Portanto neste caso as tensões cíclicas são as da análise estática divididas por 1,5 – ou seja: tensão transversal de 11679PSI e tensão longitudinal de 5840PSI. Foi induzida uma trinca na parte onde as tensões são mais altas (borda da abertura do conector), a qual foi propagada:

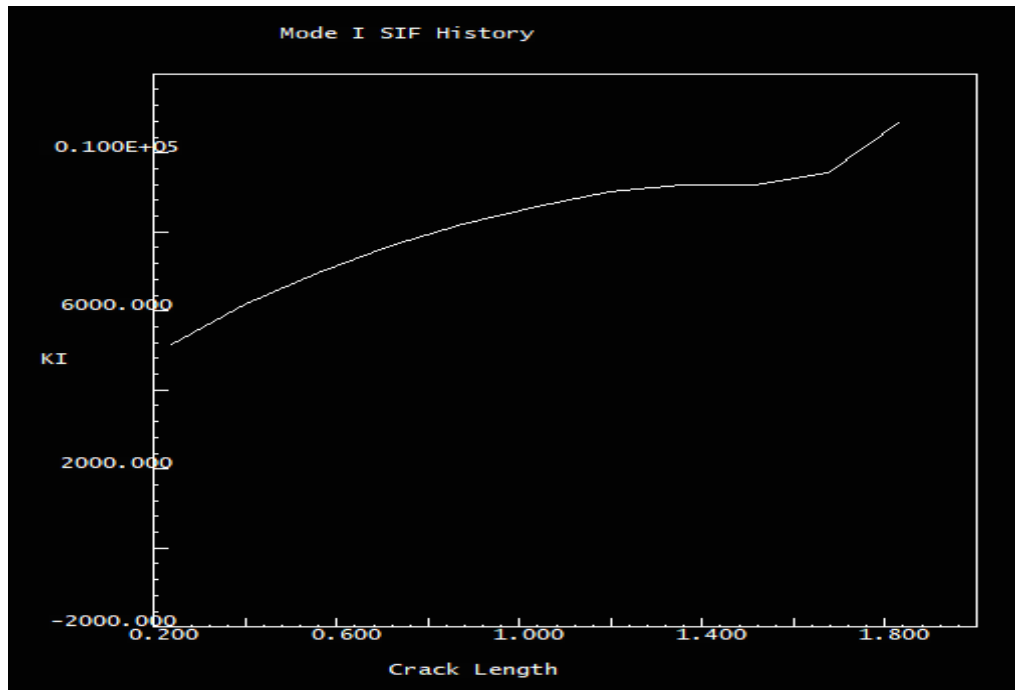
**Figura 26-Propagação de trinca**

Fonte software Franc3D



Esta propagação da trinca tem a seguinte evolução do fator de intensidade de tensão:

Figura 27- Comprimento de trinca



Considerando a equação de Paris aplicável ao revestimento de ALCLAD 2024 T3, que tem os coeficientes:

$$C=4.3 \times 10^{-17}$$

e

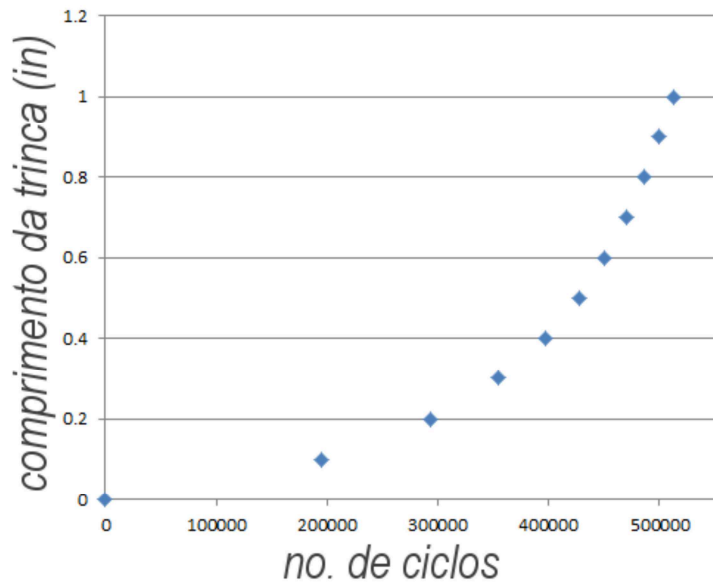
$$m = 2.875$$

Lei de Paris Erdogan relaciona o fator intensidade de tensão com o crescimento sub trincas, sob um regime de fadiga. Assim, é o modelo mais popular de crescimento de trinca em fadiga usado na ciência dos materiais e mecânica da fratura.

Onde a fórmula é:



Com a trinca medindo 1.0in o número de ciclos acumulado é de 512923.



Considerando um “scatter fator” de 4 temos um número limite de ciclos de 128231 ciclos, que certamente é mais que a vida operacional da aeronave.

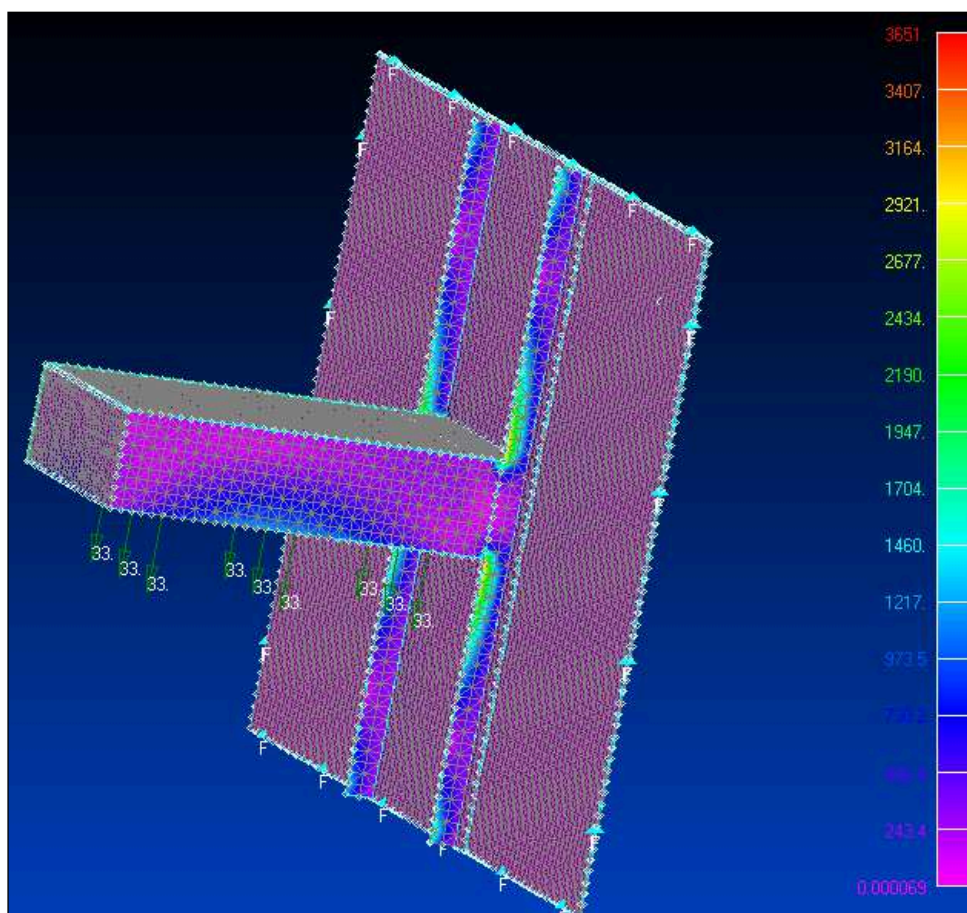
Portanto nenhuma inspeção ou NDT é necessário.

#### 5.4 Resultados da instalação do receptor no painel de instrumentos

Alimentando um software de Elementos Finitos com este modelo sólido, considerando-se as bordas deste painel presas (sem rotação ou translação) e com uma carga de 33lb atuando no CG do receptor, obtemos:

**Figura 29-Resutados análise estrutural do painel central**

Fonte software de Elementos Finitos



As tensões mostradas são de Von Mises. Como se vê o nível de tensões devido às cargas de inércia deste receptor são muito baixos.

### 5.5 Resultados do peso e balanceamento após a modificação

A tabela abaixo mostram a posição longitudinal, o peso e a dinâmica de cada equipamento instalado e removido.



**Tabela 2 – Peso e Balanceamento Longitudinal**

Descrição	Peso (kg)	Braço (m)	Momento (kg x m)
Equipamentos Removidos (A)			
TNL-2000 (GPS)	1,2	1,07	1,28
GPS ANTENNA	0,2	1,35	0,27
Equipamentos Adicionados (B)			
GTN-625 (GPS)	2,48	1,07	2,65
GA-35 GPS ANT	0,21	1,45	0,30
MD41-1510 ou MD41-1514	0,12	1,07	0,13
Total adicionado (B-A)	1,41		1,53

**Tabela 3 – Peso e Balanceamento Lateral**

Fonte própria

Descrição	Peso	Braço	Momento (kg x m) [ ]
Equipamentos Removidos (A)			
TNL-2000 (GPS)	1,2	-0,2	0,24
GPS ANTENNA	0,2	0,2	0,04
Equipamentos Adicionados (B)			
GTN-625 (GPS)	2,48	-0,2	0,5
GA-35 GPS ANT	0,21	0,2	0,04
MD41-1510 ou MD41-1514	0,12	-0,45	0,05
Total Adicionado (B-A)	1,41		0,31

Em todas as opções de instalação teremos um acréscimo mínimo de peso na aeronave. Portanto podemos afirmar que a nova instalação não afeta significativamente o peso e balanceamento das aeronaves. Esta tabela demonstra que os sistemas instalados cumprem com todos os requisitos aplicáveis do RBAC/ FAR 25.

## 6- CONCLUSÃO

Implementada nos procedimentos de Aeronavegabilidade Continuada a inspeção da instalação da antena GA-35, a instalação aqui proposta cumpre os requisitos aplicáveis de resistência e integridade estrutural.

Em todas as opções de instalação teremos um acréscimo mínimo de peso na aeronave. Portanto podemos afirmar que a nova instalação não afeta significativamente o peso e balanceamento das aeronaves.

Não há necessidade de fazer uma análise na condição de emergência, uma vez que o sistema removido e o sistema que será instalado não estão instalados neste barramento. Em caso de emergência, o GPS não funciona. Esta condição foi mantida conforme aprovação original da aeronave. O piloto utilizará outros meios aprovados para continuar a navegação que conste no seu manual de voo.

Este trabalho demonstra que os sistemas instalados através de uma grande modificação cumprem com todos os requisitos aplicáveis do RBAC/ FAR 25.

## REFERÊNCIAS

AED MOTORSPORTS,2024 ALUMINUM SHEET & PLATE. Disponível em > <http://www.aedmotorsport.com/docs/a18-2024-aluminum-sheet-specifications.pdf>.

AIRWORTHINESS STANDERDS TRANSPORT CATEGORY AIRPLANE, FAA-25. Disponível em><http://www.engineerstoolkit.com/Airworthiness%20FAR.pdf>.

ANAC. Certificação de Produtos Aeronáuticos: CI-21-006A. 2008. SÃO Jose dos Campos. Disponível em ><https://sistemas.anac.gov.br/certificacao/CI/Textos/CI-21-006A-P.pdf>

ANAC. APROVAÇÃO DE MODIFICAÇÕES EM AERONAVES DE MARCSA BRASILEIRAS, IS 21-004C. 2016. São Jose dos Campos. Disponível em >[www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/.../anexo-i-2013-is-no-21-004b](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/.../anexo-i-2013-is-no-21-004b).

ANAC. REQUISITOS DE AERONAVEGABILIDADE: AVIÕES CATEGORIA TRANSPORTE. Disponível em ><http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/rbac-25-2013-22-04-2009>.

ANAC. APROVAÇÃO OPERACIONAL DE NAVEGAÇÃO BASEADA POR DESEMPENHO, IS 91-001E. 2017. Disponível em><http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-001e>

BARROS. Conceitos PBN no Brasil, 2012. Disponível em >[http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/pbn-no-brasil\\_507.html#ixzz4sWJT5bgb](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/pbn-no-brasil_507.html#ixzz4sWJT5bgb)

BARROS. Peso e Balanceamentos de Aeronaves, 2014. Disponível em > [http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/como-fazer-o-balanceamento-de-sua-aeronave\\_1641.html](http://aeromagazine.uol.com.br/artigo/como-fazer-o-balanceamento-de-sua-aeronave_1641.html).

ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, Federal Aviation Administration, AC43.13-1B. Disponível em>[www.faa.gov/AC43.13-1b.pdf](http://www.faa.gov/AC43.13-1b.pdf).

ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, Federal Aviation Administration, AC42.13-2B. Disponível em >[www.faa.gov](http://www.faa.gov)>AC43.13-1b.pdf [ww.faa.gov>documentID](http://www.faa.gov/documentID)

FRANC-3D SOFTWARE. Solução e dados. Disponível em >[www.fracanalysis.com/software.html](http://www.fracanalysis.com/software.html).

HAAG, SANTOS, COSTA, LEMOS, STHOAECHEL, 2005. Disponível em >[www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78880/000900073.pdf?sequence=1](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78880/000900073.pdf?sequence=1)