



ACADEMIA DA FORÇA AÉREA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS AVIADORES

ROBERTO DOS SANTOS **NERY**, Cad Av

**Modelagem do T-25 Universal para o X-Plane 11**

Pirassununga  
2020

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS AVIADORES

ROBERTO DOS SANTOS **NERY**, Cad Av

**Modelagem do T-25 Universal para o X-Plane 11**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Formação de Oficiais Aviadores da Academia da Força Aérea.

Orientadora: 1º Ten Luisa Amaral de Almeida

Coorientador: Prof. Paulo Roberto Ferrari

Pirassununga  
2020

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS AVIADORES

ROBERTO DOS SANTOS **NERY**, Cad Av

**Modelagem do T-25 Universal para o X-Plane 11**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Formação de Oficiais Aviadores da  
Academia da Força Aérea.

Data de aprovação: 07/OUT/2020

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: 1º Ten **Luisa** Amaral de Almeida

---

Membro Titular: Maj **Alexandre** Ribeiro Deliberador

---

Membro Titular: Ten Cel **Alberto** Faria dos Santos

Pirassununga  
2020

Dedico este trabalho ao meu pai por me apresentar os simuladores de voo aos 5 anos de idade e assim iniciar o meu maior sonho que é voar.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram em minhas escolhas e fizeram tudo isso se tornar possível mesmo quando em momentos impossíveis nada disso seria capaz de se tornar realidade e me fazer levantar a cabeça em cada dificuldade encontrada ao longo desses 10 anos.

Para a minha madrinha agradeço por toda estadia e conforto em momentos de fuga onde a necessidade por um momento de descanso e organização das ideias eram totalmente necessárias para poder dar continuidade à jornada.

Para meu padrinho que sempre me vê com orgulho e mostrou que o sonho de voar não é apenas meu, mas de toda a família que estará voando junto comigo.

E por fim a pessoa que tornou todo esse trabalho possível, agradeço a minha orientadora que teve a calma e paciência de ensinar um cadete totalmente desorientado num ano diferente e com uma rotina adversa onde muitos desafios seriam encontrados ao longo do último ano.

## RESUMO

A partir da necessidade humana em querer voar, foram buscadas técnicas capazes de otimizar a instrução aérea reduzindo também os riscos de tal atividade. Com o avanço da tecnologia e com a evolução do mercado de jogos, os simuladores de voo passaram a ser desenvolvidos para computadores pessoais, o que ampliou o acesso a ferramentas de baixo custo capazes de realizar uma simulação com considerável grau de fidelidade em relação ao voo real. Nesse cenário, os cadetes aviadores na Academia da Força Aérea (AFA) buscam utilizar essas plataformas em seus próprios computadores para realizarem treinamentos relacionados às primeiras técnicas de pilotagem em um avião. Uma das plataformas mais utilizadas atualmente é o X-Plane, porém ainda não permite a simulação da aeronave empregada no 2º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA, o T-25 Universal. Assim, este trabalho buscou desenvolver um modelo da referida aeronave para ser utilizado em tal plataforma, com características e parâmetros próximos aos da aeronave real, a fim de auxiliar no treinamento dos cadetes da AFA. Durante o trabalho, alguns resultados e aprendizados foram obtidos da construção do modelo interno e externo, o que possibilitou definir uma sequência de etapas para modelagem de aeronaves no X-Plane, contribuindo como um tutorial para que novas pesquisas nessa área. Além disso, o objetivo principal de desenvolver o modelo do T-25 foi alcançado, o que poderá contribuir para formação dos futuros cadetes da AFA.

Palavras-chave: Simulador de voo. X-Plane. T-25 Universal.

## **ABSTRACT**

Based on the human needs to fly, techniques capable of both optimizing flight instruction and decreasing the risks of such activity were sought throughout time. With the advancement of technology and the evolution of the games market, flight simulators started to be developed for personal computers, which increased access to low-cost tools capable of performing a high fidelity simulation compared to real flights. In this scenario, aviation cadets at the Air Force Academy (AFA) seek to use these platforms on their own computers to conduct training related to the first piloting techniques on an airplane. One of the most used platforms today is X-Plane, however it still does not allow a simulation of the aircraft used in the 2nd Air Instruction Squadron at AFA, the T-25 Universal. Thus, this work sought to develop an aircraft model to be used on this platform, with characteristics and parameters similar to the real aircraft, in order to assist the training of AFA cadets. During the work, some results and learnings were obtained from the construction of the internal and external model, which made it possible to define a sequence of steps for aircraft modeling on X-Plane, contributing as a tutorial for new research in this area. In addition, the main objective of developing the T-25 model has been achieved, which can contribute to the formation of future AFA cadets.

Keywords: Flight simulator. X-Plane. T-25 Universal.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - EXEMPLO DE VOO SIMULADO NO X-PLANE 11.....	16
FIGURA 2 - EXEMPLO DE PROPRIEDADES DO CLIMA NO X-PLANE 11.....	17
FIGURA 3 - EXEMPLO DO COMANDO DE EMERGÊNCIAS.....	17
FIGURA 4 - ATIVIDADES REALIZADAS PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO 3D DO EXTERIOR DA AERONAVE.....	20
FIGURA 5 - FOTO TÉCNICA PROJETADA.....	20
FIGURA 6 - SUAVIZAÇÃO DE CANTOS.....	21
FIGURA 7 - ATIVIDADES REALIZADAS PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO 2D DO INTERIOR DA AERONAVE.....	22
FIGURA 8 - PAINEL 2D.....	23
FIGURA 9 - SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PARA O MODELO AERODINÂMICO.....	24
FIGURA 10 - AIRFOILS MAKER.....	25
FIGURA 11 - CONSTRUÇÃO DAS SEÇÕES DA FUSELAGEM.....	26
FIGURA 12 - FUSELAGEM PROJETADA.....	27
FIGURA 13 - VISTA SUPERIOR DO MODELO.....	30
FIGURA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE CIRCUITOS.....	31
FIGURA 15 - EXEMPLO DE CIRCUITO PADRÃO.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AATD	<i>Advanced Aviation Training Device</i>
AFA	Academia da Força Aérea
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
BATD	<i>Basic Aviation Training Device</i>
CCAER	Corpo de Cadetes da Aeronáutica
CD	<i>Drag Coefficient</i>
CFOAV	Curso de Formação de Oficiais Aviadores
CL	<i>Lift Coefficient</i>
CM	<i>Pitching Moment</i>
DCS	<i>Digital Combat Simulator</i>
EGT	<i>Exhaust Gas Temperature</i>
EIA	Esquadrão de Instrução Aérea
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
FFS	<i>Full Flight Simulator</i>
FSTD	<i>Flight Simulation Training Devices</i>
FTD	<i>Flight Training Device</i>
GAAS	Gerência de Avaliação de Aeronaves e Simuladores de Voo
GS	<i>Ground Speed</i>
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i>
IPEV	Instituto de Pesquisa e Ensaios em Voo
MAC	<i>Macintosh Operating System</i>
MAPRO	Manual De Procedimentos
MFS	<i>Microsoft Flight Simulator</i>
NACA	<i>National Advisory Committee for Aeronautics</i>
PCATD	<i>Personal Computer Based Aviation Training Device</i>
PM	<i>Plane Maker</i>
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica
RPM	Rotações por Minuto
SU	<i>SketchUp</i>
VI	Velocidade Indicada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>11</b>
<b>2 SIMULADORES DE VOO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 X-PLANE 11 .....</b>	<b>16</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 MODELO 3D DO EXTERIOR DA AERONAVE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 MODELO 2D DO INTERIOR DA AERONAVE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 MODELO AERODINÂMICO.....</b>	<b>24</b>
<b>4 COMPARAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 COMPARAÇÃO DE DIMENSÕES COM O MODELO.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 COMPARAÇÃO COM MODELO AERODINÂMICO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>33</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Academia da Força Aérea (AFA) realiza a formação dos oficiais aviadores da Força Aérea Brasileira, com um curso composto por dois estágios de instrução de voo, sendo eles o primário e o básico. O estágio primário é realizado na aeronave T-25 Universal, enquanto o estágio básico, no último ano do curso, é realizado aeronave T-27 Tucano. (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2018)

Com a atualização do currículo do CFOAV em 2019, o estágio primário passou a ser realizado no primeiro ano da AFA. Com isso, o curso sofreu algumas alterações e agora os alunos, chamados de cadetes, realizam apenas a fase de pré-solo, o que impactou na redução da instrução em voo com a aeronave T-25. Anteriormente, o estágio primário era composto ainda pelas fases de Manobras e Acrobacias, Formatura e Navegação (ACADEMIA DA FORÇA AÉREA, 2019). Com essa redução, os cadetes sentiram a necessidade de buscar formas de complementar o treinamento, utilizando, por exemplo, um simulador que permitiria treinar as fases que deixaram de existir na instrução primária e que serão exigidas na instrução básica no último ano.

Para auxiliar no desempenho do piloto, os simuladores de voo foram desenvolvidos para aperfeiçoar a pilotagem e o aprendizado, por meio de um modelo que reproduza o voo. Nesse sentido, os cadetes utilizam seus computadores pessoais para realizarem a simulação com algumas plataformas comerciais disponíveis como o *Microsoft Flight Simulator* (MFS), *X-Plane*, *Digital Combat Simulator* (DCS) e o *IL-2 Sturmovik*. Essas plataformas são utilizadas em conjunto, pois nenhuma delas atende completamente às necessidades dos cadetes, considerando, por exemplo, a necessidade de apresentar um cenário visual da AFA, os instrumentos com parâmetros corretos de motor, a simulação realista da aerodinâmica de voo, entre outros fatores (NASCIMENTO, 2013).

O simulador MFS apresenta um modelo da aeronave T-25 Universal, porém este modelo não é capaz de reproduzir com realismo os parâmetros da aeronave, apresentando erros na sua dinâmica de voo e instrumentos com valores não condizentes com a realidade. Além disso, o MFS não possui cenário visual texturizado da AFA.

Por outro lado, o simulador X-Plane 11, lançado pela *Laminar Research*, tem seus cálculos de voo baseados no fluxo de ar dentro de um túnel de vento virtual (SOUSA, 2010) e é capaz de reproduzir a performance de motor da aeronave com alto grau de realismo. Além disso, possui recursos que permitem visualizar o cenário visual da Terminal da Academia

utilizando *mesh*, que são contornos do terreno que existem na região. Por este motivo, é muito utilizado pelos cadetes durante para a fase de pré-solo.

Apesar de sua grande utilização na AFA, o modelo de aeronave utilizado atualmente pelos cadetes no X-Plane é o F-33A Bonanza, desenvolvido pela empresa Carenado. Contudo, alguns parâmetros desse modelo e sua performance não são semelhantes aos da aeronave T-25. Assim, identifica-se a necessidade de criação de um modelo que se assemelhe ao T-25, a fim de melhorar o treinamento simulado no estágio primário.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é criar o modelo da aeronave T-25 para o X-Plane, apresentando os softwares utilizados para tal concepção e descrevendo a criação do modelo 2D e 3D, do modelo aerodinâmico e da texturização da aeronave.

A disponibilização de um modelo dessa aeronave para o X-Plane contribuirá com o preparo de missão dos cadetes, uma vez que eles poderão realizar o treinamento simulado com uma aeronave com parâmetros mais próximos e condizentes com o voo real. Além disso, também contribuirá com a comunidade científica ao apresentar um tutorial de criação de uma aeronave simulada, descrevendo o passo a passo, além das dificuldades encontradas e suas possíveis soluções.

## 1.1 Objetivos

Como mencionado, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver o modelo da aeronave T-25 para o X-Plane descrevendo os softwares utilizados para tal concepção. Dentre os objetivos específicos estão:

- Criar o modelo 3D do exterior da aeronave;
- Aplicar a textura para o exterior da aeronave;
- Criar o modelo 2D do interior da aeronave;
- Criar o modelo aerodinâmico da aeronave; e
- Verificar se o modelo criado possui parâmetros e performance com alta fidelidade em relação à aeronave, por meio de comparação com os manuais.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Para uma melhor compreensão do trabalho, foi adotada a seguinte divisão de capítulos:

Capítulo 2: Apresenta uma revisão bibliográfica sobre simuladores de voo e suas capacidades, além da importância desses dispositivos para a aviação. Além disso, apresenta com destaque as características do X-Plane, que é a ferramenta escolhida como alvo do trabalho.

Capítulo 3: Descreve as etapas para a construção do modelo para o X-Plane

Capítulo 4: Realiza uma comparação entre o modelo construído e a aeronave real, apresenta as dificuldades encontradas e propõe trabalhos futuros.

## 2 SIMULADORES DE VOO

Os simuladores de voo ganharam importância para incremento da segurança de voo na formação de pilotos. Uma de suas principais vantagens é possibilitar o treinamento dos sistemas em condições de emergências, além das condições normais, o que poderia ser de alto risco ou até mesmo difícil de ser reproduzido em um voo na aeronave. (ALLERTON, 2009). Além disso, a economia de recursos é outra vantagem importante, uma vez que o custo da hora de voo em um simulador pode ser muito menor que o custo da hora de voo na aeronave, conforme estudos realizados por diversos autores, como Assis (2013) e Ferreira (2019).

No mercado de simulação, existem diversos tipos de simuladores que se diversificam com suas classificações e objetivos. A utilização do simulador para muitos pode ser apenas um hobby e divertimento, mas para algumas empresas os simuladores são uma forma importante para o treinamento de seus funcionários.

Para a classificação de simuladores, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) padroniza uma divisão conforme a margem de desempenho e realismo que pode ser apresentado ao usuário.

Segundo a ANAC:

A qualificação de FSTD é uma atividade baseada em parâmetros objetivos e subjetivos. Somente dispositivos com uma qualificação atribuída pela ANAC podem ser usados para gerar créditos de horas de voo em treinamento de pilotos. (ANAC, 2017a)

Vale ressaltar que os Dispositivos de Treinamento de Simulação de Voo (*Flight Simulation Training Devices* - FSTD) utilizados pela Força Aérea Brasileira (FAB) não são obrigados a seguir os parâmetros de qualificação da ANAC, visto que não são sujeitos às regras da aviação civil. Porém essas padronizações são úteis, mesmo no meio militar, para estabelecer a relação entre o simulador utilizado e a finalidade dos treinamentos dos pilotos (ÁLVARO, 2018).

Nesse sentido, o quadro 1 apresenta os diferentes tipos de FSTD segundo a qualificação da ANAC:

Quadro 1 – Qualificação de um FSTD segundo a ANAC.

<b>FSTD</b>				
<b>PCATD</b> <i>(Personal Computer based Aviation Training Device)</i>	<b>BATD</b> <i>(Basic Aviation Training Device)</i>	<b>AATD</b> <i>(Advanced Aviation Training Device)</i>	<b>FTD</b> <i>(Flight Training Device)</i>	<b>FFS</b> <i>(Full Flight Simulator)</i>
Representa uma aeronave genérica e somente conta créditos de horas de treinamento de voo por instrumentos (IFR).	São dispositivos que representam uma aeronave genérica. Correspondem, genericamente, aos PCATD da legislação anterior e seguem o mesmo critério de crédito de horas de voo de um PCATD conforme a IAC 61-1004, ou seja, restrito a 50% das horas que seriam acumuladas em um simulador de voo (FFS) ou dispositivo de treinamento de voo (FTD) de uso autorizado pelo RBHA 61 ou pelo RBHA 141 para o treinamento no curso de IFR.	Estes dispositivos devem atender a todos os requisitos exigidos para um BATD, e ainda cumprir alguns requisitos adicionais. (Ver Anexos 2 e 3 da AC 61-136). Para o crédito de horas, seguem os critérios de um FSTD, ou seja, são consideradas 100% das horas que seriam acumuladas em um FFS ou FTD de uso autorizado pelo RBHA 61 ou pelo RBHA 141 para o treinamento no curso de IFR, dentro dos limites fixados nestes regulamentos.	Pode representar uma aeronave genérica ou ser específico para a obtenção de uma determinada habilitação de tipo e é classificado em níveis de 4 a 7, sendo este último o mais avançado.	São os dispositivos mais avançados e reproduzem um determinado tipo de aeronave. São classificados em níveis de “A” a “D”, sendo este último o mais avançado, capaz de realizar todas as manobras e procedimentos necessários à obtenção de uma habilitação de tipo, bem como os voos de verificação de perícia.

Fonte: Adaptado de ANAC (2017).

Dentre as classificações apresentada no quadro 1, o PCATD é o dispositivo mais simples e, como o próprio nome denota, pode ser construído a partir de um computador pessoal. Para a montagem do seu hardware, além do computador, há a necessidade de um *joystick*, que pode variar conforme marca e modelo de acordo com o gosto do usuário. Outra parte fundamental do PCATD é o software de simulação, que pode ser adquirido no mercado dentre opções como: MFS, X-Plane, DCS e outros. Tais software permitem que um usuário comum tenha seu próprio simulador por um baixo custo, como por exemplo US\$ 59,99 dólares, no caso do X-Plane 11

(X-PLANE, 2020c). Assim, simuladores de voo deixaram de ser algo acessível apenas por grandes empresas, tornando-se disponíveis diretamente ao usuário final.

Outro ponto a ser observado sobre os critérios da ANAC, é que, conforme o quadro 1, o PCATD é aplicável principalmente no treinamento de voo por instrumentos (IFR). Contudo, simuladores construídos a partir de softwares como MFS e X-Plane também podem ser usados em outros tipos de treinamento. Algumas de suas características são condizentes com níveis mais avançados de FSTD. Segundo Williams (2011), a única diferença entre um simulador de uso pessoal construído a partir do X-Plane ou MFS e um BATD é que o primeiro utiliza um joystick de jogos e um mouse para realizar os controles da aeronave. Além disso, se esses softwares forem utilizados com modelos de aeronaves com alto grau de fidelidade em relação a uma aeronave real, seu uso poderá ir além das aplicações de um BATD, o qual possui um modelo genérico, conforme quadro 1.

No contexto da AFA, os simuladores construídos a partir de softwares comerciais são amplamente utilizados, tendo sido alvo de estudo por diversos autores. Para Pereira (2016, p. 40), “A utilização de simuladores de voo em computadores pessoais demonstrou ser uma alternativa viável e com alta disseminação no âmbito do CCAER”. Além disso, os benefícios do seu uso foram destacados por Durigan (2015, p. 37): “Deste modo, pode-se concluir que o *Flight Simulator* traz benefícios a quem faz uso dele, é uma ferramenta que tem um enorme potencial para ajudar o cadete a desenvolver suas habilidades mais rapidamente”.

Apesar da citação anterior mencionar a plataforma MFS, o X-Plane também é uma outra opção amplamente utilizada pelos cadetes com fins de aprendizado e preparo para o voo:

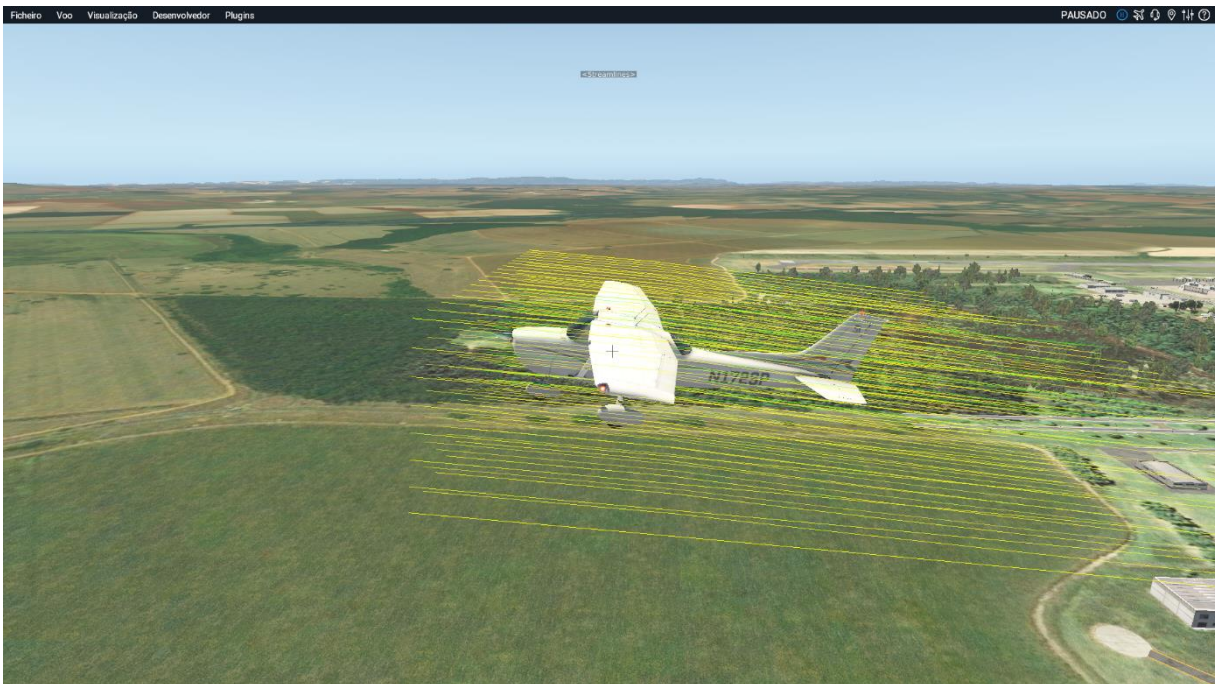
Após conhecer, no decorrer deste trabalho monográfico, como o cadete se prepara para o vôo, as dificuldades do aluno durante a instrução aérea, as características do XPlane, a opinião dos cadetes através da pesquisa, e por último, como é simples a implantação desta ferramenta, conclui-se que o X-Plane tem plenas condições de ser utilizado como ferramenta de estudo para o curso do T-27 avançado pelos cadetes (TEIXEIRA, 2008, p.41).

A partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível verificar que softwares comerciais de simulação são ferramentas importantes no aprendizado para o voo, sendo amplamente utilizados por cadetes durante sua formação. Dando continuidade, o tópico seguinte apresentará o X-Plane com mais detalhes, por se tratar do objeto de estudo deste trabalho.

## 2.1 X-Plane 11

O X-Plane 11, lançado em 2017 pela empresa *Laminar Research*, tem suporte para os sistemas *Windows*, *MAC* e *Linux*. Esse programa, já conhecido por suas versões anteriores, se atualizou e teve alguns recursos melhorados na nova versão. Um de seus grandes diferenciais em relação a outros softwares comerciais de simulação é utilizar cálculos para simular a física compatível com a aerodinâmica da aeronave (TEIXIERA, 2008). Por este motivo, permite a simulação do voo com alto grau de realismo e pode ser homologado pela *Federal Aviation Administration* (FAA) (X-Plane, 2020d). Além disso, outra característica marcante é o alto nível de detalhe do cenário visual, como pode ser observado na Figura 1.

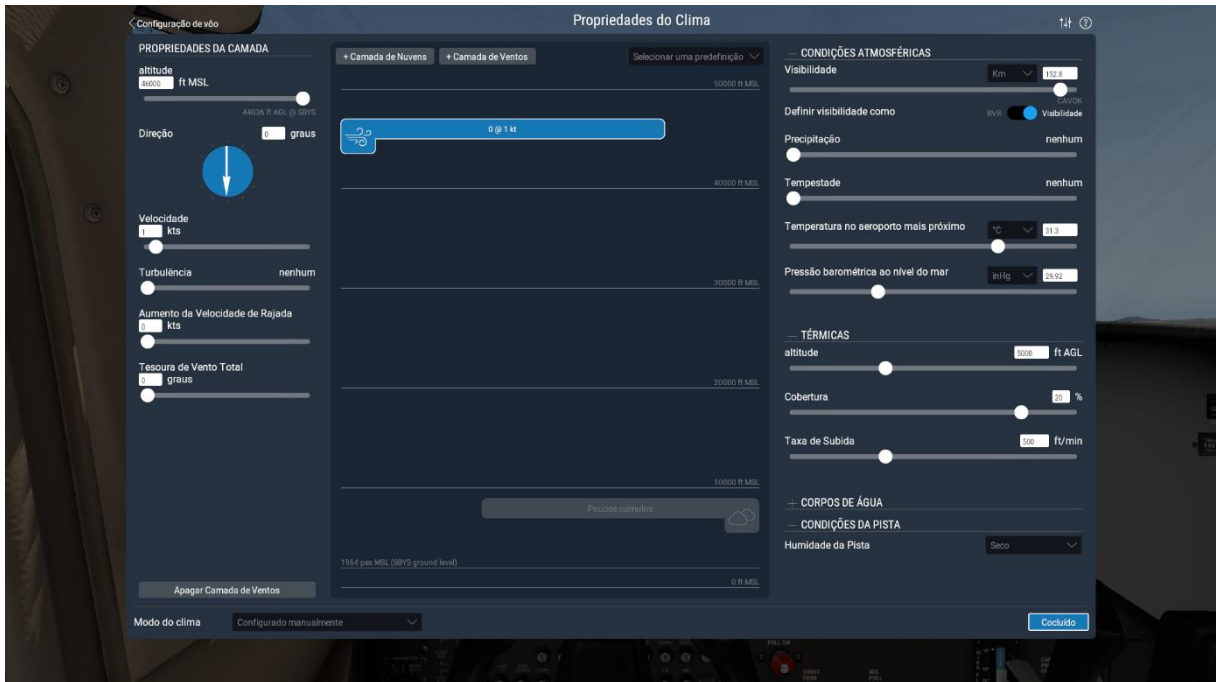
Figura 1 - Exemplo de voo simulado no X-Plane 11.



Fonte: O autor. Figura extraída durante a execução do X-Plane 11.

Seu ambiente virtual possui inicialmente 19 aeronaves, disponíveis para seleção do usuário para realização do voo. Porém, é possível inserir um número ilimitado de aeronaves, que podem ser compradas a parte ou desenvolvidas. Além disso, seu cenário visual abrange uma área que percorre da latitude 74°N até 60°S incluindo mais de 34 mil aeroportos. Ainda sobre sua capacidade, o software realiza a virtualização de ambientes atmosféricos diversos, com a opção de criar condições simuladas ou de utilizar as condições atuais e reais de um aeródromo desejado.

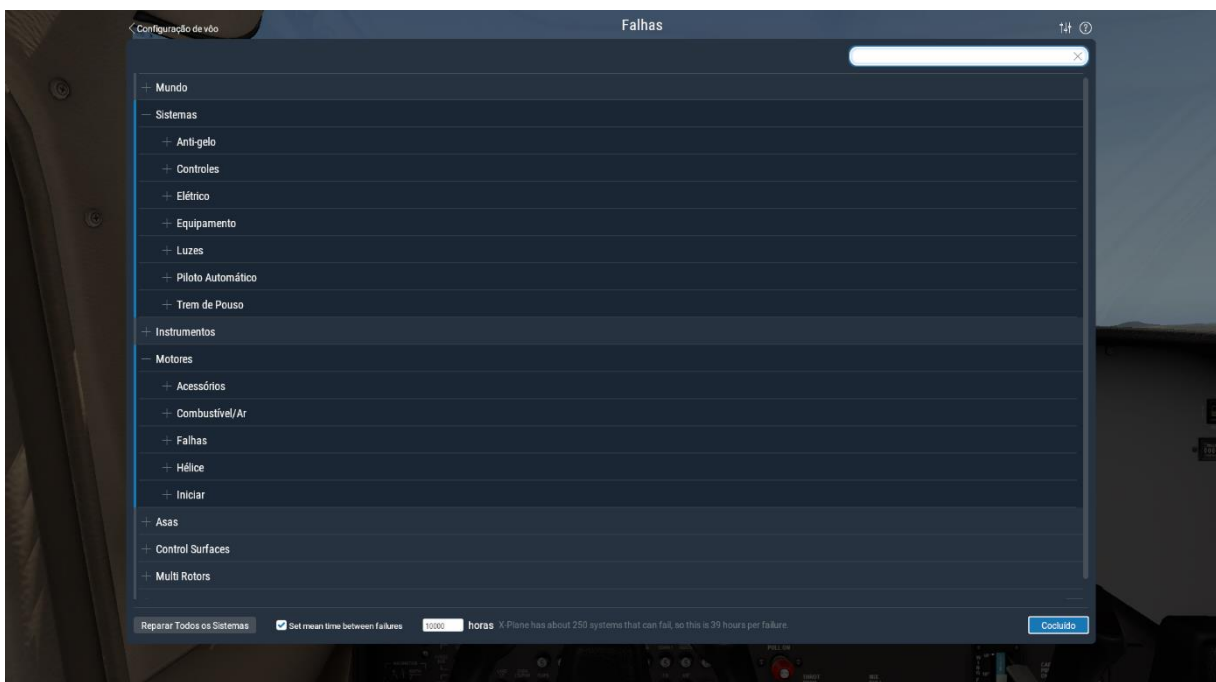
Figura 2 - Exemplo de Propriedades do Clima no X-Plane 11.



Fonte: O autor. Figura extraída durante a execução do X-Plane 11.

Para permitir um melhor treinamento de procedimentos emergências, o simulador possui a opção de comandar 35 tipos de emergências diversas, variando de problemas elétricos, no motor ou até mesmo fogo.

Figura 3 - Exemplo do comando de emergências.



Fonte: O autor. Figura extraída durante a execução do X-Plane 11

O X-Plane disponibiliza ainda outras ferramentas, que serão utilizadas no desenvolvimento no modelo do T-25. São elas: *Plane Maker* e *Airfoil Maker*. Esses softwares são capazes de introduzir parâmetros no modelo da aeronave, como dimensões, limites, peso, balanceamento e performance, bem como as curvas de sustentação, arrasto e momento do avião.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Inicialmente é importante entender o funcionamento da plataforma do X-plane e como é realizada a concepção de seus modelos de aeronaves. Ao abrir o X-plane, existe um tópico “sabia que...”, que informa ao usuário a possibilidade de construção da sua própria aeronave acessando o *Plane Maker*.

O *Plane Maker* é um programa fornecido com o X-Plane e tem um manual disponível na internet (X-PLANE 11,2020a). Contudo, o manual não explica o passo-a-passo detalhado da modelagem e também não apresenta o significado de todas as variáveis que devem ser configuradas pelo usuário. Além disso, o manual cita quais programas podem ser utilizados nas etapas da modelagem, mas sem mencionar se eles necessitam de plug-ins ou extensões para serem compatíveis com o próprio *Plane Maker*. Assim, este trabalho apresentará esses e outros detalhes, referentes aos procedimentos utilizados na modelagem do T-25, de forma a complementar o manual existente e auxiliar na criação de outras aeronaves.

Além do *Plane Maker*, os programas principais utilizados para a confecção do modelo foram: *Airfoils Maker* e *Sketchup* (TRIMBLE, 2020), cada um com uma finalidade diferente, em etapas do desenvolvimento, que serão detalhadas nos tópicos seguintes.

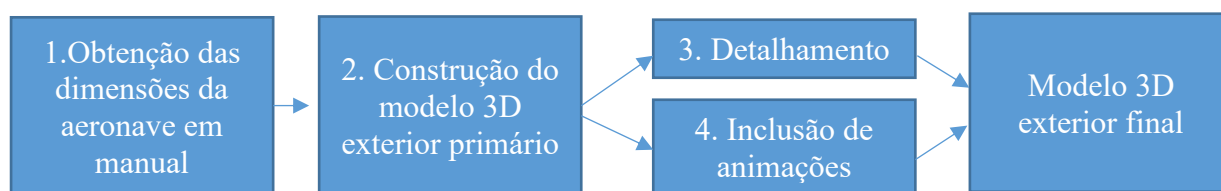
#### 3.1 Modelo 3D do Exterior da Aeronave

Para esta etapa do desenvolvimento, foi utilizado o *Sketchup* (SU) como ferramenta primária de criação do modelo 3D da aeronave, que será visualizado pelo usuário do X-Plane. O modelo criado nessa etapa não afetará o desempenho de voo no X-Plane, sendo apenas o objeto 3D exibido na simulação.

Primariamente, existe a necessidade de entender que o SU trabalha com a extensão “.skp” e que ele não exporta em um formato compatível com o *Plane Maker*. Por tal motivo, utilizou-se um plug-in que pudesse realizar conversões entre os formatos “.skp” e “.obj”, possibilitando a compatibilidade entre os softwares, além de permitir outras funcionalidades, como a criação de animações e a implementação de textura. Trata-se do plug-in “SketchUp2Xplane”, que é gratuito e está disponível no blog X-Plane.org (XPLANE, 2020b).

Após a apresentação dos softwares necessários, serão descritas as atividades realizadas para desenvolvimento do modelo 3D exterior, conforme diagrama da Figura 4

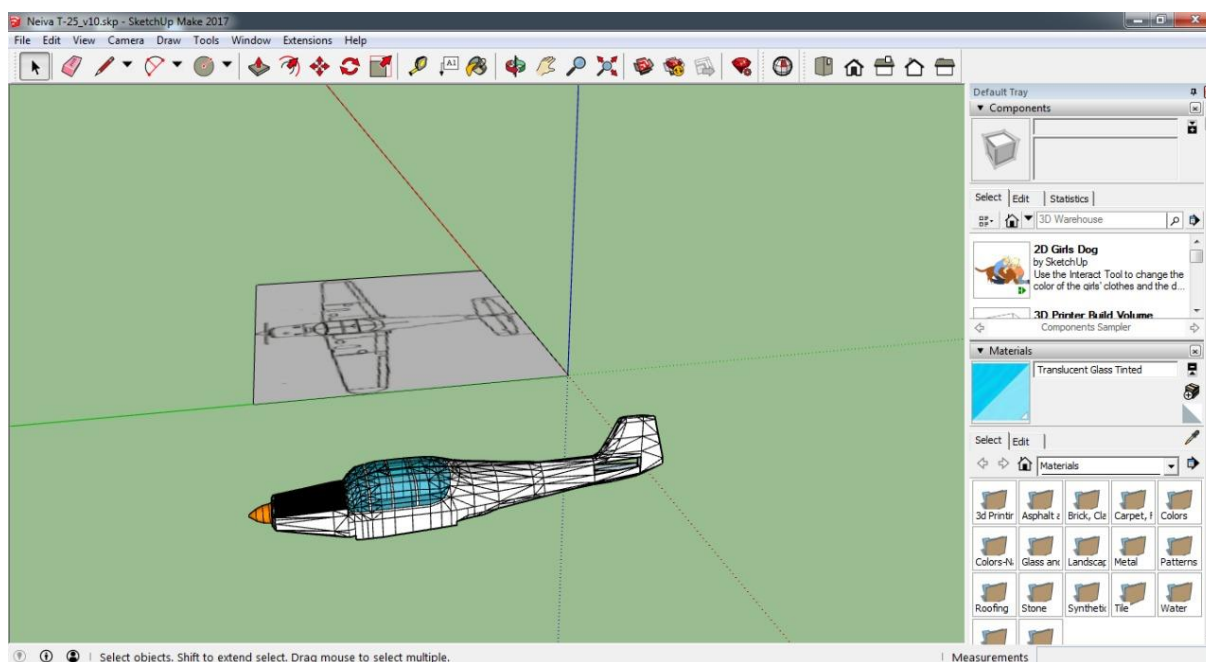
Figura 4 - Atividades realizadas para desenvolvimento do modelo 3D do exterior da aeronave.



Fonte: o autor.

Para realizar a atividade 1 do diagrama, utilizou-se a ordem técnica do manual de voo “O.T.1T-25-1” do T-25, com o qual obteve-se os dados primários da aeronave, como comprimento, envergadura e altura. A partir das fotos técnicas do avião contidas no manual, ajustou-se o tamanho da foto para a respectiva dimensão prevista no ambiente SU.

Figura 5 - Foto técnica projetada.



Fonte: o autor.

Com o formato básico do avião, iniciou-se o desenho da fuselagem e da asa separadamente, com o intuito de uni-las em fase posterior. A fácil usabilidade do SU, aliada ao manual disponível no programa, permitiu que a construção do desenho fosse realizada sem maiores dificuldades. Assim, conclui-se a atividade 2 do diagrama da figura 4.

Em seguida, a modelagem passou a ter duas vertentes, sendo uma delas a construção dos detalhes que seriam adicionados à fuselagem (atividade 3) e a outra a inclusão de animações (atividade 4).

Em relação aos detalhamentos, o SU possui uma ferramenta de suavização dos contornos. Ao aplicar essa ferramenta, o desenho criado na fase primária passa a ter cantos mais arredondados e melhores encaixes entre os planos da superfície, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Suavização de cantos.



Fonte: SANTOS (2018).

Outro tipo de detalhamento realizado diz respeito à construção da capota. No caso de objetos com transparência, como o *plexi* da capota, é necessário criar uma imagem com transparência e adicionar essa imagem ao objeto. A imagem transparente deve ser criada com qualquer programa capaz de realizar transparência numa imagem com cor sólida, pois imagens criadas diretamente no SU não produzem o efeito transparente no X-Plane. Além disso, é importante destacar que o plug-in “SketchUp2Xplane” só é capaz de texturizar imagens dimensionadas em proporções 2x2 e que há a necessidade de adicionar a função “alpha” no próprio plug-in. Tais detalhes não estavam descritos em manual, o que fez com que a modelagem da transparência não fosse trivial.

Por fim, a atividade 4 do diagrama da figura 4 trata da inclusão das animações, que são usadas para representar qualquer movimento do modelo, como por exemplo o movimento do trem de pouso. As animações criadas com o SU são exportadas para o banco de dados do X-Plane, seguindo uma especificação padrão, chamada de “dataref”.

Para criar animações, primeiro deve-se definir o eixo que será estabelecido para o movimento e, em seguida, os limites máximo e mínimo do movimento. Esses limites, porém, nem sempre são simples de serem estabelecidos e podem gerar erros não planejados, como será exemplificado.

Um exemplo de animação com complexidade ocorre com a bequilha do trem de pouso, que possui mais de um movimento: o giro da roda, a viragem da bequilha e o recolhimento dela.

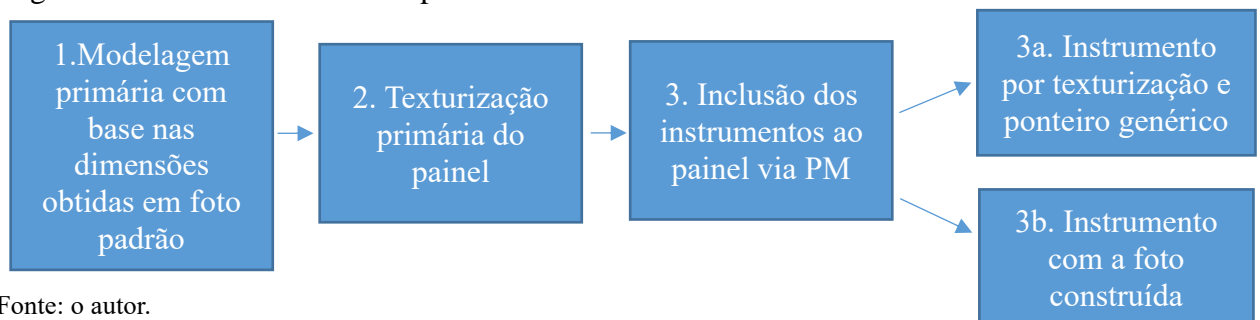
Para que o funcionamento ocorra de forma adequada, deve-se observar a sequência de atribuição nos movimentos: primeiro definindo o giro da roda, após isso, a viragem e por último o recolhimento. Caso a configuração seja realizada ao contrário, as primeiras atribuições deixam de existir, fazendo com que o funcionamento do conjunto seja incorreto. Além da animação da bequilha, também foram criadas as animações dos comandos primários que não possuem uma inclinação de eixo, além da abertura da capota e seus movimentos.

Até o momento, a única animação que ainda não apresenta o funcionamento correto são os ailerons, que estão limitados por possuírem um diedro na asa e o limite máximo e mínimo não são compreendidos para eixos que não estejam alinhados com o eixo vertical e horizontal do plano principal do SU.

### 3.2 Modelo 2D do Interior Da Aeronave

O desenvolvimento do interior da cabine foi iniciado da mesma forma que a parte externa, por meio de uma foto padrão, a partir da qual se obteve as dimensões previstas para o painel. As etapas seguintes da modelagem foram diferentes do processo anterior e estão apresentadas no diagrama da Figura 7, a fim de facilitar a compreensão.

Figura 7 - Atividades realizadas para desenvolvimento do modelo 2D do interior da aeronave



Fonte: o autor.

A segunda etapa de texturização primária foi realizada através da utilização de um software de edição de imagem com capacidade de fazer o console principal do painel sem os instrumentos, como um plano de fundo. Sobre o fundo, por meio do SU, deve-se adicionar a textura da imagem, de forma que o painel tenha as cores condizentes o painel real. Em seguida, a terceira etapa, realizada no PM, envolve a adição dos instrumentos ao painel.

Esse recurso disponibilizado pelo PM disponibiliza apenas instrumentos genéricos de aviões padrões, porém é possível ainda assim alterar a característica de alguns instrumentos específicos. O velocímetro do T-25, por exemplo, é um instrumento que não está disponível nos genéricos do PM, sendo assim, para adicioná-lo ao painel existem duas maneiras.

A primeira delas é a texturização, realizada a partir da adição da textura (foto do velocímetro) ao painel e de um ponteiro genérico em cima da foto. Em seguida, atribui-se um “dataref” para aquele ponteiro, com o ajuste do limite máximo, mínimo e, se possível, da razão de acréscimo do ponteiro condizente com a velocidade da aeronave.

A outra maneira é usar um velocímetro qualquer, de outra aeronave pré-existente no XP, buscando o arquivo de imagem (.png) daquele instrumento na pasta que contém o modelo do painel do avião. Então, deve-se substituir essa imagem genérica pela imagem do velocímetro do T-25, respeitando o tamanho, a proporção e o nome do arquivo. Assim como anteriormente, também é possível de ajustar o limite máximo e mínimo do ponteiro, conforme os parâmetros da aeronave.

Outros instrumentos podem seguir o mesmo modelo de construção. Visa-se construir ainda horizonte artificial, EGT, manômetro de pressão hidráulica, multi-indicador do motor, fluxômetro e liquid2ometros em um projeto futuro. No modelo atual, foi adicionado apenas o *six pack* (velocímetro, horizonte artificial, altímetro, indicador de curva e derrapagem, HSI e *climb*). A figura 8 mostra o resultado obtido pela modelagem do painel.

Figura 8 - Painel 2D.

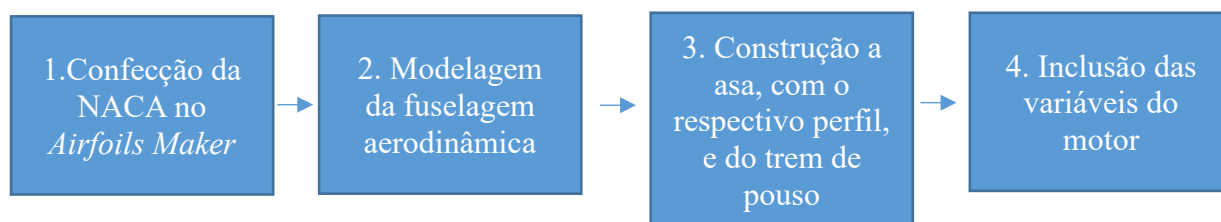


Fonte: O autor.

### 3.3 Modelo Aerodinâmico

A modelagem aerodinâmica é a responsável pelo desempenho do voo da aeronave na simulação. Seu desenvolvimento foi realizado em quatro etapas, as quais estão exibidas no diagrama da Figura 9, a fim de facilitar a compreensão.

Figura 9 - Sequência de atividades para o modelo Aerodinâmico



Fonte: o autor.

A primeira etapa para a construção do modelo é buscar o perfil NACA do aerofólio da asa, o qual foi encontrado na ordem técnica de manutenção “O.T.1T-25-2”. NACA é uma abreviação para *National Advisory Committee for Aeronautics*, uma agência federal americana que padronizou as informações dos perfis das asas (aerofólios), por meio de séries numéricas (ABBOTT E VON DOENHOF, 1949). O perfil do T-25, por exemplo, é o NACA 63<sub>2</sub>A315, da série com 6 dígitos. Da Silva Junior e Costa (2017) explicam diferentes séries NACA e apresentam o significado de cada dígito na série 6:

- 1º dígito: Designador da série (6);
- 2º dígito: Posição da pressão mínima em dezenas de porcentagem da corda (no caso do T-25, esse valor é 30%);
- 3º dígito: Define a região de baixo arrasto, acima e abaixo do coeficiente de sustentação do projeto (no caso do T-25, esse valor é 0,2);
- 4º dígito: Coeficiente de sustentação do projeto em décimos (no caso do T-25, esse valor é 0,3); e
- 5º e 6º dígitos: Espessura máxima em porcentagem da corda (no caso do T-25, esse valor é 15%).

Conhecendo o perfil NACA do T-25 e outros parâmetros no manual da aeronave, programas e sites são capazes de calcular os coeficientes de sustentação, arrasto e momento. Para isso, o software utilizado foi o *Javafoil* (HEPPERLE, 2018), que exporta os coeficientes para diferentes pontos (ângulos de ataque) do aerofólio.

Outra informação utilizada é o número de Reynolds que deve ser levado em consideração por causa da velocidade e meio em que o aerofólio será empregado. Segundo Ferrari (2019), Reynolds verificou que o fato de o escoamento ser laminar ou turbulento depende do valor de um número adimensional dado por:

$$Re = \frac{V\rho D}{\mu}$$

Onde, V: Velocidade

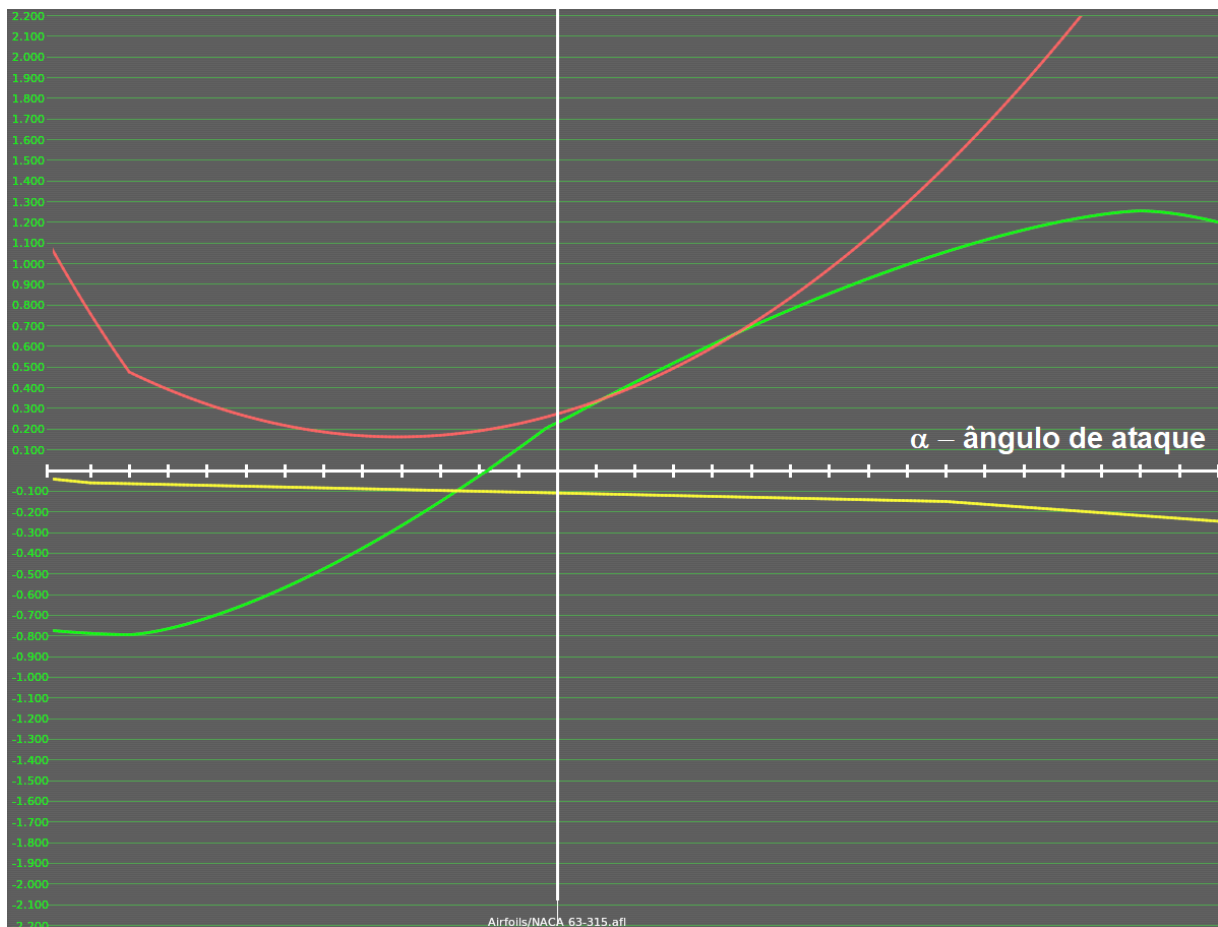
$\mu$ : Coeficiente de viscosidade

$\rho$ : Densidade

D: Diâmetro

Com as curvas já definidas pelo software, ajustou-se os parâmetros do *Airfoil Maker*, definindo assim uma curva semelhante à NACA da asa, conforme Figura 10.

Figura 10 - Airfoils Maker.



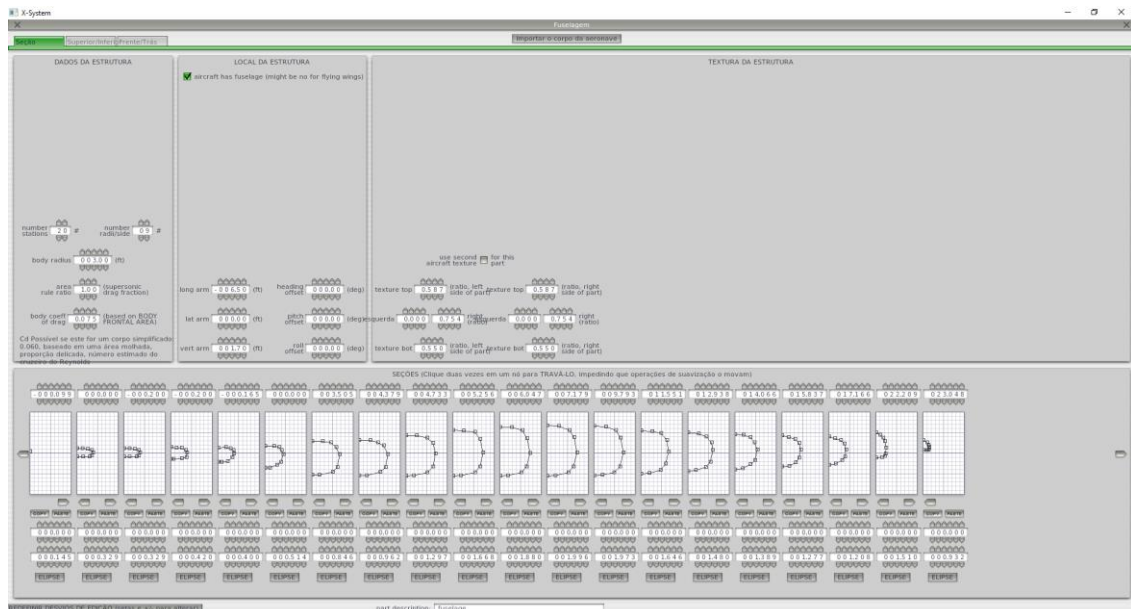
Fonte: o autor

No *Airfoil Maker* a curva verde representa o coeficiente de sustentação ( $C_L$ ), a curva vermelha o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) e a curva amarela o momento ( $C_M$ ). A escala utilizada no software é mesma apresentada na figura 10, tendo como eixo horizontal o ângulo de ataque, que é comum entre as três curvas. Já o eixo vertical varia seus valores conforme o coeficiente da curva selecionada. Para realizar a correção das curvas basta alterar os valores em uma aba lateral esquerda, disponível no programa, que é capaz de ajustar os pontos de máximo e mínimo, aumentando a razão ou a curvatura do gráfico, conforme necessidade.

Após a confecção do aerofólio que será utilizado, deve-se construir a fuselagem com o PM. O corpo da fuselagem é composto pela união de seções transversais do avião e, por isso, recomenda-se o usar o máximo de seções possíveis (20) para se obter um melhor detalhamento e suavidade entre as seções.

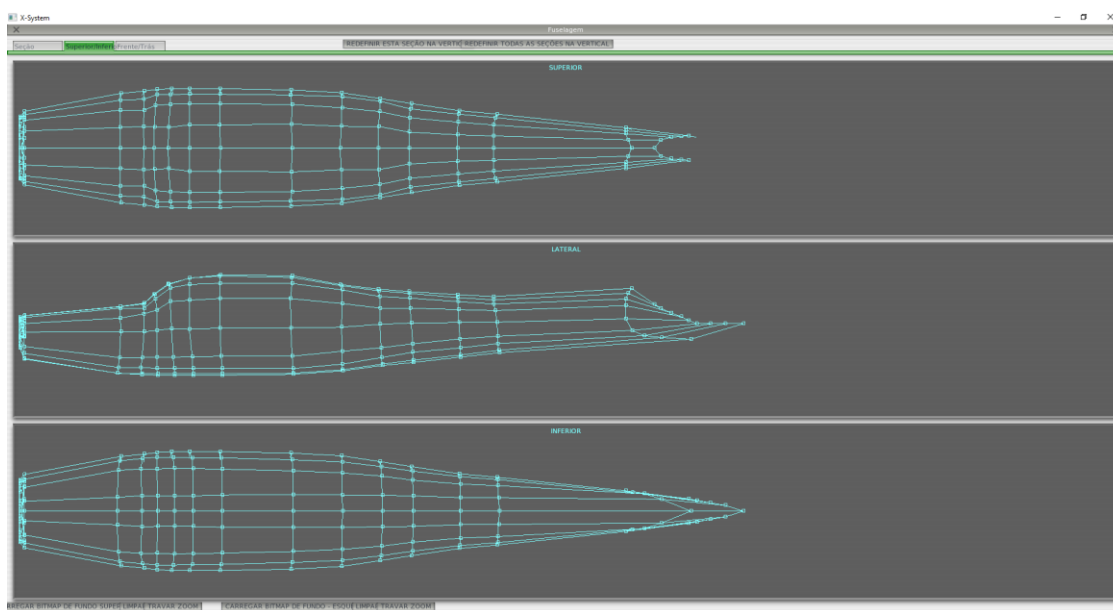
Na figura 11, observa-se cada uma das seções transversais da aeronave, nas quais cada ponto de cada seção pode ser arrastado para moldagem do corpo da fuselagem. A figura 12 mostra o resultado em outra perspectiva, exibindo a posição e a ligação entre esses pontos de seção, o que colabora para uma melhor modelagem, além de permitir o ajuste de ponto a ponto da fuselagem.

Figura 11 - Construção das seções da fuselagem



Fonte: o autor.

Figura 12 - Fuselagem projetada



Fonte: o autor.

Terminada a fuselagem, o PM calcula o coeficiente de arrasto do corpo, com base no raio das seções e no formato da estrutura, logo assim é possível calcular a polar de arrasto do avião modelado.

A próxima etapa na construção do modelo é encaixar as asas na fuselagem e adicionar as superfícies primárias de controle. É importante ressaltar que a deriva não faz parte da fuselagem, sendo necessário escolher um perfil de asa também para a deriva. Na modelagem da asa, existem abas que representam cada seção ao longo do comprimento da asa e, em cada uma dessas seções, é possível especificar os elementos que definem a posição dos ailerons e flaps, com respectivos tamanhos e ângulo de deflexão.

Após adição das asas, estipula-se a altura e posicionamento do trem pouso, bem como a dimensão da roda, com base nos dados extraídos do manual técnico da aeronave.

A próxima etapa é a inclusão do motor, tipo pistão, *Lycoming IO-540-K1D5*, cujos dados estão disponíveis no próprio manual da aeronave. O *Plane Maker* permite especificar a quantidade e o tipo dos motores, seja jato ou pistão, além de outros parâmetros, como a potência e a curva de desenvolvimento do motor. Quanto mais parâmetros forem configurados com base nos dados do motor real, mais próximo o modelo estará da realidade. A hélice também é atribuída nessa etapa, sendo possível configurar sua dimensão, raio e o número de pás.

Por último, adicionam-se as informações referentes aos tanques de combustível, como quantidade, capacidade e posicionamento. A partir desse ponto, o modelo está pronto para os

primeiros testes no XP. Nos primeiros voos, observou-se experimentalmente que o nariz da aeronave estava mais “pesado” do que o observado na realidade, devido à influência do posicionamento do centro de gravidade do avião. Dessa forma, esse parâmetro foi alterado na aba Sistemas do *Plane Maker*, fazendo com que o resultado da próxima simulação ficasse mais próximo à dinâmica de voo real.

## 4 COMPARAÇÃO DO MODELO

A última etapa do trabalho é realizar uma comparação entre o modelo criado e o avião real. Quanto a esta etapa, é importante destacar que simuladores profissionais passam por uma homologação por órgão certificador, na qual é realizada uma comparação detalhada do modelo com a aeronave, a fim de classificar os dispositivos de treinamento. No Brasil, este trabalho é realizado pela ANAC, como citado no capítulo 1, que preconiza a homologação dos modelos conforme as seguintes etapas:

Segundo a ANAC (2017b):

### **Fase 1 – Contato inicial**

O interessado deve decidir a base de qualificação mais adequada a seus interesses, com o apoio da GAAS, que pode ser contatada através de e-mail, pessoalmente ou pelo telefone. Alguns exemplos de bases de qualificação são a IAC 61-1004 (PC-ATD), AC 61-136 (B-ATD e A-ATD), FAR 060 (FFS e FTD), JAR-FSTD-A (FFS, FNTF), entre outras.

### **Fase 2 – Solicitação Formal**

O pretendente a operador deve encaminhar uma solicitação formal (como uma carta) para a GAAS, acompanhada dos dados do equipamento necessários à sua qualificação, de acordo com a base eleita.

### **Fase 3 – Análise de documentos**

Nessa fase, a GAAS analisa os documentos encaminhados na fase 2, como anexos à carta de solicitação formal, para verificar se a solicitação está de acordo com o FSTD apresentado. Exemplos de documentos necessários: proposta de *Master Qualification Test Guide* (MQTG), declaração de conformidade de PC-ATD/B-ATD/A-ATD e Programa de Gerenciamento de Qualidade de Simulador de Voo.

### **Fase 4- Inspeções e Demonstrações**

A GAAS verifica se os dados de voo e desempenho listados nos documentos apresentados correspondem à realidade.

### **Fase 5 – Certificação**

Essa é a última fase do processo. A GAAS emite um Certificado de Qualificação, que determina o nível da qualificação do FSTD e detalha as restrições de operação do mesmo.

A qualificação de simuladores de voo dos níveis FTD 4 até FFS nível D é um processo complexo que envolve a análise de documentos de desempenho do simulador e também várias horas de voo de ensaio realizados por especialistas da ANAC. Mais detalhes podem ser obtidos diretamente junto à GAAS. (ANAC, 2017b).

Durante a fase 4, são realizadas algumas verificações a fim de comparar o desempenho do voo simulado com a realidade, considerando um percentual aceitável de erro, conforme o nível do simulador. Para que essa verificação seja possível, há a necessidade prévia de ensaiar a aeronave, a fim de coletar os dados do desempenho real. Na FAB, o órgão responsável pela realização desse tipo de teste é o Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV, 2020). Segundo Pedro (2014), o ensaio em voo é uma atividade complexa e envolve diversas etapas, como instrumentação, execução dos voos e elaboração de relatórios. Além disso, há a necessidade de uma equipe diversa, com engenheiro de ensaio, técnico instrumentador, engenheiro

instrumentador, técnico de calibração, mecânico de avião, piloto de ensaio, entre outros envolvidos.

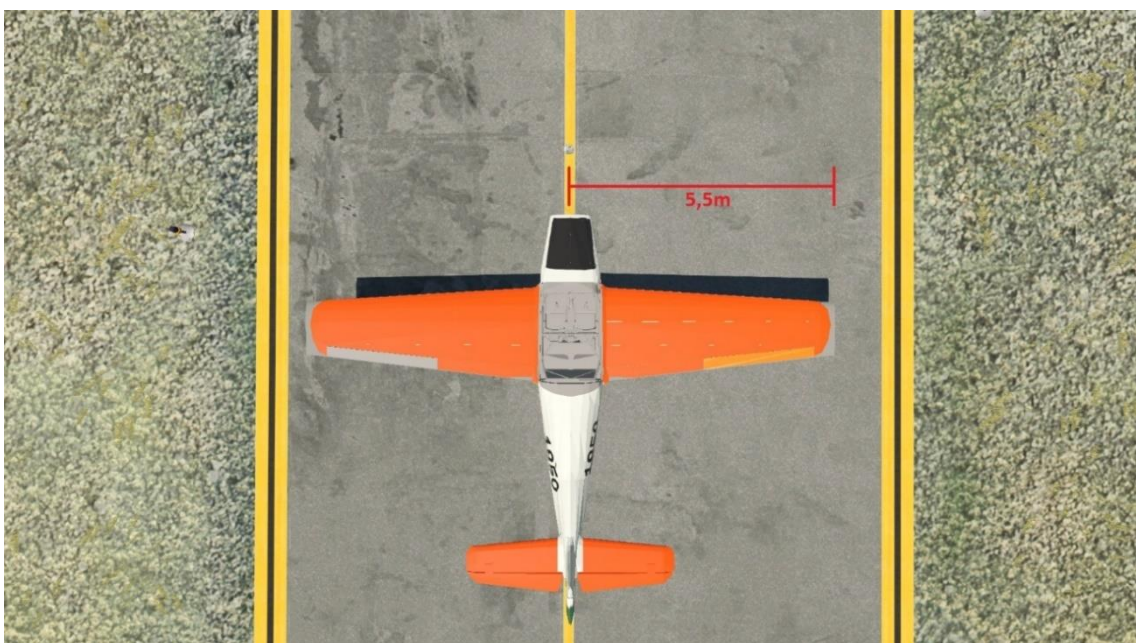
Como o processo de homologação pela ANAC e de ensaio da aeronave são complexos e estão além do escopo deste trabalho, buscou-se formas simplificadas de comparar o modelo criado para o X-Plane com a aeronave T-25, conforme será detalhado nos tópicos seguintes.

#### 4.1 Comparação de Dimensões com o Modelo

Para a comparação das dimensões da aeronave, posicionou-se o modelo X-Plane na pista de táxi do setor “E” de Pirassununga, conforme Figura 13, que também exibe a dimensão criada para a asa no PM (5,5cm), a fim obter a envergadura real de 11m. A pista de táxi no setor E utilizada foi a “L” e apresenta largura de 15m, conforme determinado no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC, 2019, p. 35). Observando a imagem, é possível notar que a envergadura tem um comprimento um pouco menor que a largura da pista, o que condiz com o esperado.

Com essa proximidade entre os valores é possível ter uma ideia que o resultado obtido para a asa tem dimensionamento próximo ao real, aferindo que as exportações entre os diversos softwares de construção do projeto foram capazes de manter a proporção pré-estabelecida para a envergadura de asa. Vale destacar que o cenário visual utilizado pode possuir dimensões imprecisas para a pista, por ser construído por um outro autor.

Figura 13 - Vista superior do Modelo



## 4.2 Comparação do Modelo Aerodinâmico

Para a comparação do modelo aerodinâmico, foram realizados dois voos reais num circuito de tráfego com a aeronave T-25. Para registrar o voo, o aplicativo *SeeYou* (NAVITER,2020) é capaz de gravar os parâmetros por meio do celular com as informações de posicionamento global, altura, velocidade e tempo (NAVITER, 2020). Após o voo, o registro realizado foi aberto no programa *SeeYou* do computador, para que se pudesse visualizar graficamente e via animação os detalhes do percurso, como mostrado na figura 14, no lado esquerdo.

No X-Plane, foi gravado outro voo com a aeronave modelada, utilizando os mesmos parâmetros atmosféricos e realizando o mesmo tipo de missão. O objetivo foi comparar os percursos e dados de saída, considerando o voo real e o simulador.

Figura 14 - Comparação entre Circuitos

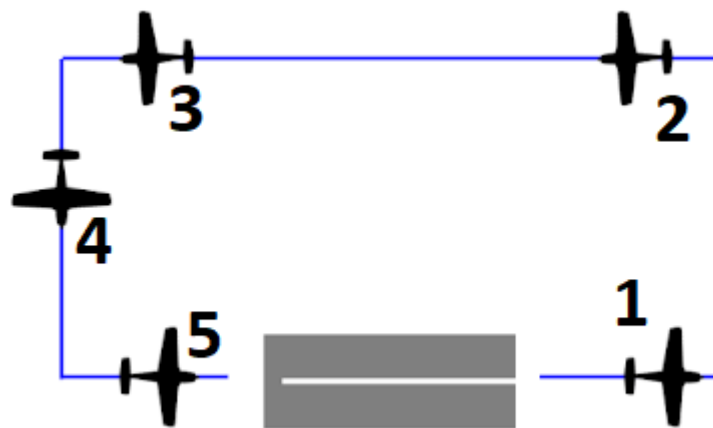


Fonte: SeeYou e X-Plane.

Durante o tráfego alguns pontos foram escolhidos para tirada de marca. A escolha foi realizada com base na padronização do MAPRO (ACADEMIA DA FORÇA AÉREA, 2020) do 2ºEIA em relação a mudança de altura, proa ou regime de motor e foram ilustrados na foto a seguir.

- Ponto 1: 2500ft, início para o enquadramento da perna de través.
- Ponto 2: 3000ft, início da perna do vento, proa oposta a pista utilizada.
- Ponto 3: 3000ft, final da perna do vento, ponto para baixamento de flapes e enquadramento da base.
- Ponto 4: 2700ft, perna base, mudança para passo mínimo e 15pol.
- Ponto 5: 2300ft, final.

Figura 15 - Exemplo de Circuito Padrão



Fonte: Modelo modificado.<sup>1</sup>

Os dados obtidos foram inseridos em uma planilha, a partir da qual se extraiu as informações apresentadas nas tabelas 2 e 3, a fim de determinar um padrão no tráfego. O tempo de realização do circuito foi o parâmetro chave para a comparação, já que as velocidades não estão na mesma escala, por causa da diferença de pressão, sendo uma apresentada na velocidade em relação ao solo (Gs) e a outra em velocidade indicada (Vi), mas foram seguidas conforme regime estipulado pelo MAPRO. Já o *Climb* pode indicar a razão mantida na subida e descida e determinar qual a atitude necessária para ser mantida a velocidade de tráfego.

<sup>1</sup> Disponível em: < <https://piflightteoriasdevoo2.blogspot.com/2018/06/circuito-de-trafego-aereo.html>>. Acesso em: 04 jul 2020.

Tabela 2 – Valores médios obtidos com os dois voos na aeronave.

Ponto	Altura (ft)	Tempo	Velocidade Gs. (kt)	Climb (ft/min)
Ponto 1	2500	01:22	79,7	583,3
Ponto 2	3000	02:02	125,7	-
Ponto 3	3000	03:43	111,2	-
Ponto 4	2700	04:13	87,2	-700,0
Ponto 5	2300	04:59	83,3	-550,0

Fonte: SeeYou.

Tabela 3 – Valores médios obtidos com os dois voos no modelo simulado.

Ponto	Altura (ft)	Tempo	Velocidade Vi. (kt)	Climb (ft/min)
Ponto 1	2500	01:23	88	683
Ponto 2	3000	02:25	98	-
Ponto 3	3000	03:38	91	-
Ponto 4	2700	04:08	90	-677
Ponto 5	2300	04:33	92	-1422

Fonte: Voo realizado no X-Plane 11.

A conclusão observada com a comparação entre o voo real e o modelo é que o tempo de realização do circuito foram bem próximos, com certa variação, de no máximo 1:02 minutos e no mínimo 14 segundos. É importante observar que nem todos os tráfegos realizados são precisamente iguais e na mesma posição. Diferenças poderiam ser observadas mesmo comparando dois voos reais entre si. Além disso, diferenças entre o voo simulado e o real podem ser causadas não só pela modelagem da aeronave, mas também pela modelagem das condições atmosféricas no simulador e pela forma como o X-Plane interpreta as variações nos comandos (*joystick* e manete) para atualizar os dados da simulação.

### 4.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, uma das atividades principais a ser realizada é a modelagem 3D do interior da aeronave. O painel 3D traz mais realismo a simulação, se comparado ao painel 2D. Essa atividade já foi iniciada no software Blender (BLENDER FOUNDATION, 2020), porém ainda não foi possível exportar o modelo construído para visualização no X-Plane.

Além disso, deve-se construir os instrumentos restantes do painel 2D, além do *six pack*, e atribuir uma texturização a eles. Deve-se ainda concluir as animações dos objetos internos da cabine, quando na confecção do modelo 3D interior. No momento os objetos internos da cabine, como manche e manete, são exibidos como uma foto estática.

Sugere-se ainda que futuramente seja realizado o cálculo da polar de arrasto do avião simulado e que seja comparado com a polar do avião real para uma verificação e comparação entre os arrastos gerados pela aeronave e o modelo.

Por fim, durante o experimento de voo realizado com o simulador, também foram verificadas correções necessárias na modelagem aerodinâmica. Uma delas é que, no cheque dos motores em posição para decolagem, ao colocar a manete dos gases à frente, o indicador de RPM indica 2430rpm quando deveria indicar na realidade entre 2650 e 2700rpm. Após a liberação dos freios e durante a corrida esse parâmetro mínimo é atingido, não afetando na performance final do voo. Contudo, essa seria mais uma melhoria a ser inserida em trabalhos futuros.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a criação de um modelo da aeronave T-25 para o X-Plane, a fim de permitir seu uso como forma de treinamento complementar no 2º EIA. O objetivo foi atingido, com a obtenção de um modelo 3D exterior, 2D interior e aerodinâmico, o qual está pronto para uso no simulador.

A modelagem do T-25 possibilitou o aprendizado e o entendimento de uma plataforma da *Laminar Research*, além da compreensão sobre as diversas etapas realizadas. Além dos softwares da própria *Laminar*, outras ferramentas foram utilizadas e apresentadas, com a descrição de suas características e limitações.

Foi possível compreender a forma como o X-Plane simula o voo, a partir das características da aeronave extraídas de seus manuais e com base em seu túnel de vento virtual. Além disso, verificou-se que o projeto é concebido por um modelo visualizável e outro aerodinâmico, sendo essas etapas de desenvolvimento independentes entre si.

Dentro do trabalho, ainda se procurou uma forma de validar o modelo em comparação com a realidade. Após uma breve pesquisa sobre a complexidade dos procedimentos de homologação pela ANAC e de ensaios em voo, compreendeu-se que seria necessário buscar uma forma simplificada para validar o modelo criado. Assim, optou-se pela comparação por meio de imagens e de parâmetros de um voo realizado, tanto na aeronave T-25 como no X-Plane. Os resultados mostraram similaridades entre a aeronave real e o modelo.

Para projetos futuros, sugere-se a continuação da construção do modelo, com o aprimoramento de áreas que não puderam ser concluídas até o momento, devido ao tempo disponível e às dificuldades encontradas. Sobre as áreas que carecem de maior aprimoramento, destacam-se: a construção do modelo 3D interior, a inclusão de novos instrumentos, o aperfeiçoamento na pintura, bem como o ajuste em alguns detalhes da performance aerodinâmica. Seria ainda interessante que um grupo de pilotos testasse o modelo final, a fim de buscar pontos de melhoria.

## REFERÊNCIAS

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA. **PIMO: Programa de instrução e manutenção operacional**. AFA. Pirassununga, p. 205, 2019.

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA. **Manual de Procedimentos 2ºEIA - MAPRO**. AFA. Pirassununga, 2020.

ALLERTON, D. **Principles of flight simulation**. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.

ÁLVARO, N. A. B. **Implementação de simulador de voo com informações visuais**. Academia da Força Aérea. Pirassununga, p. 20, 2018.

ANAC. Fases de qualificação de dispositivos de Treinamento - Simuladores de Voo (FSTD). **Agência Nacional de Aviação Civil**, 2017a. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/simuladores-de-voo-fstd/fases-para-qualificacao-de-dispositivos-de-treinamento-simuladores-de-voo-fstd>. Acesso em: 23 de junho de 2020.

ANAC. Qualificação de Dispositivos de Treinamento - Simuladores de Voo (FSTD). **Agência Nacional de Aviação Civil**, 2017b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/simuladores-de-voo-fstd/qualificacao-de-dispositivos-de-treinamento-simuladores-de-voo-fstd>. Acesso em: 12 de abril de 2020.

ANAC. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil. **Agência Nacional de Aviação Civil**. Brasília. 2019. (RBAC Nº154 Emenda Nº06).

ASSIS, S. R. **O Simulador de Voo nos Esquadrões da Aeronave A-29 Super Tucano da Força Aérea Brasileira**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Especialização). Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2013.

BLENDER FOUNDATION. **Site de download do Blender**, 2020. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 04/07/2020.

COMANDO DA AERONÁUTICA. **ICA 37-736: Currículo mínimo do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV)**. Brasília, 2018.

DURIGAN, F. S. **A influência do simulador de voo Microsoft Flight Simulator no desenvolvimento do cheque-cruzado para o T-25 Universal**. Academia da Força Aérea. Pirassununga, p. 42. 2015.

FERREIRA, E. A. **A Importância da utilização dos simuladores virtuais na constante melhoria dos processos de treinamento dos tripulantes de helicóptero da aviação do Exército Brasileiro**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Formação Complementar do Exército / Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG, Salvador, 2019.

HEPPERLE, M. **Javafoil**, 2018. Disponível em: <https://www.mhaerotools.de/airfoils/javafoil.htm>. Acesso em: 04/07/2020.

IPEV. **Instituto de Pesquisas e Ensaio em Voo – A instituição**, 2020. Disponível em: <http://www.ipev.cta.br/index.php/a-instituicao>. Acesso em: 04/07/2020.

NASCIMENTO, M. F. D. **Simuladores de voo como forma de auxílio na instrução aérea, com ênfase nos simuladores virtuais**. Academia da Força Aérea. Pirassununga, p. 36, 2013.

NAVITER. **SeeYou**, 2020. Disponível em: <https://www.naviter.com/seeyou-makes-you-a-better-pilot/>. Acesso em: 04/07/2020.

PEDRO, F. A. **Sistema de informação para campanhas de ensaios em voo: uma proposta para uma instituição de pesquisa**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2014.

PEREIRA, L. V. **Um estudo do Microsofte Flight Simulator como ferramenta auxiliar no voo por instrumento no 1º Esquadrão de Instrução**. Monografia (Trabalho monográfico para o CFOAV) - AFA. Pirassununga, p. 55, 2016.

SANTOS, L. P. **QUALIFICAD - Suavizar cantos arredondados**, 2018. Disponível em: <https://qualificad.com.br/suavizar-cantos-arredondados/>. Acesso em: 18 mai 2020.

SOUSA, J. **X-PLANE da Laminar Research Part. 1. Aviões e Músicas**, 2010. Disponível em: <http://www.avioesemusicas.com/x-plane-da-laminar-research-part-1.html>. Acesso em: 07 Outubro 2019.

TEIXEIRA, D. S. **O uso do X-Plane como simulador de vôo do T-27 em**. Academia da Força Aérea. Pirassununga, p. 46, 2008.

TRIMBLE. **Site de download do SketchUp**, 2020. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 18 mai 2020.

WILLIAMS, B. **Scenario-Based Training with X-Plane and Microsoft Flight Simulator: Using PC-Based Flight Simulations Based on FAA-Industry Training Standards**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

X-PLANE. **Manual do Plane Maker**, 2020a. Disponível em: <https://developer.x-plane.com/manuals/planemaker/>. Acesso em: 14 de maio de 2020.

X-PLANE. **Plug-in SketchUp2Xplane**, 2020b. Disponível em: <https://forums.x-plane.org/index.php?/files/file/1619-sketchup2xplane-x-plane-plugin-for-sketchup/>. Acesso em: 14 de maio de 2020.

X-PLANE. **Site de venda do X-Plane 11**, 2020c. Disponível em: <https://www.x-plane.com/desktop/buy-it/>. Acesso em: 12 de abril de 2020.

X-PLANE. **X-Plane e Homologação pela FAA**, 2020d. Disponível em: <https://www.x-plane.com/kb/differences-faa-certified-home-version/>. Acesso em: 12 de abril de 2020.