

Desenvolvimento e análise da visão sintética e *highway-in-the-sky* aplicados a aeronaves em voo IFR

Elder M. Hemerly, hemerly@ita.br

Divisão de Engenharia Eletrônica, Depto. de Sistemas e Controle, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA-IEE-IEES Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias 12228-900 São José dos Campos - SP

Resumo. *Este artigo descreve o desenvolvimento e testes de um sistema de visão sintética, onde os dados de atitude e navegação são gerados através de simulação Matlab/Simulink. O sistema de visão sintética é constituído de um gerador de ambiente desenvolvido em OpenGL. Os dados de terreno, obstáculo e navegação, utilizados no sistema, advêm de uma base de dados proprietária. O processo de cálculo dos arcos para o HITS (Highway-In-The-Sky) acontece quando os dados de planejamento são utilizados para guiar o piloto durante todas as fase do voo. Os dados gerados para o HITS podem também ser utilizados como referência para o piloto automático, o qual possui a função de manter a aeronave no centro do HITS, percorrendo a rota ativa. Foi possível observar diversas vantagens na utilização da visão sintética como ferramenta de auxílio à tomada de decisão em fases críticas do voo.*

Palavras-chave: *Highway-in-the-sky, Visão Sintética, Cartas aeronáuticas*

1. INTRODUÇÃO

A consciência situacional é importante durante as fases críticas do voo. Dentre elas destaca-se o pouso, que gera uma sobrecarga ao piloto. Este cenário é agravado quando existem condições adversas de tempo, tais como neblina, chuva com ventos e tempestades de neve. Desde os primórdios da aviação, vêm-se desenvolvendo e aperfeiçoando equipamentos que permitam voar em condições adversas de tempo com alguma segurança. São exemplos desses equipamentos: estações de rádio localização, GPS, radar meteorológico, sistemas inerciais, piloto automático, sistemas de visão sintética e outros.

A visão sintética é uma poderosa ferramenta que está se tornando cada vez mais comum na aviação geral, ferramental que na década de 90 estava disponível somente em sofisticados laboratórios de pesquisas, como a *Nasa Langley Research Center* (Aragon (2004)), atualmente é possível encontrar comercialmente diversos equipamentos que incluem tais funcionalidades (são exemplos de empresa que comercializam sistemas com visão sintética, Garmin e Rockwell Collins). O termo Visão Sintética é utilizado para definir um conjunto de funções providas à tripulação através do FMS (*Flight Manager System*).

Segundo Ertem (2005), são funções atribuídas à visão sintética:

- Realidade aumentada: Apresenta na tela informações pertinentes e críticas sobre características do ambiente externo (por exemplo, condições meteorológicas).
- Detecção de riscos: Apresenta informações sobre terreno, obstáculos, informações regionais, tráfego e outras, a fim de auxiliar a consciência situacional do piloto, alertando-o contra possíveis perigos.
- Monitoramento da integridade do sistema e alertas ao piloto: O sistema deve verificar constantemente a validade e integridade das informações apresentadas através da visão sintética, evitando que o piloto use informações errôneas ou que não refletem o real estado da aeronave, na tomada de decisão.
- Precisão nos dados apresentados: A acurácia e a taxa de atualização de dados são requisitos severos na visão sintética, pois permitem ao piloto monitorar a navegação com precisão.
- Itens que podem ser apresentados pela visão sintética: Superfície de guiamento, mapas para táxi, *highway-in-the-sky*, vetor de velocidade, *flight director*, obstáculos, relevo, características regionais da região, plano de voo, dados de navegação (rádio de auxílio à navegação, aeroportos, etc.) e outros.

Segundo Spitzer (2007), sistemas de visão sintética reduzem substancialmente acidentes relacionados com:

- Perda da consciência situacional vertical ou lateral.

- Perda da consciência situacional em aproximações e em aeroportos com muito tráfego.
- Problemas em alterar o plano de voo ou escapar de uma situação de perigo.
- Perda de consciência situacional da atitude da aeronave.
- Perda da consciência situacional durante manobras para pouso.

Nos últimos anos, sistemas de visão sintética tiveram grandes avanços, graças ao constante aprimoramento dos microprocessadores, permitindo softwares gráficos complexos. Esses dados são apresentados em gráficos 3D, com símbolos bem definidos e de rápido reconhecimento, fornecendo ao piloto uma noção exata do local que está sobrevoando, mesmo sem conseguir visualizá-lo através da janela da aeronave.

Diversos estudos sobre visão sintética e visão aumentada apontam tais tecnologias como fortes candidatas a se tornarem equipamento padrão na aviação geral. Este cenário já é vivenciado em algumas aeronaves comerciais de grande, médio e pequeno porte, bem como em aeronaves militares (Ramsey (2004)).

O objetivo deste trabalho é descrever o desenvolvimento de um sistema de auxílio a navegação, integrando um processo para a geração dos arcos que constituem o HITS (*Highway-In-The-Sky*), o qual faz uso dos *waypoints* do planejamento de voo e cartas de navegação. Também é integrado um gerador de cenário, juntamente com uma base de dados de terreno, navegação e informações regionais, necessárias para a exibição em 3D do HITS.

2. HIGHWAY-IN-THE-SKY APLICADO ÀS FASES DO VOO

Nesta seção serão descritos os procedimentos realizados para gerar o HITS em cada fase de um voo, com exceção do procedimento de arremeter. Segundo a FAA (2004), são fases do voo *departure*, *enroute*, *arrival* e *approach*. Para cada fase, têm-se procedimentos padrões que devem ser executados. Esses procedimentos são descritos através de cartas de navegação. Essas cartas são utilizadas juntamente com a base de dados de navegação¹, base de dados de terreno e obstáculos², que são utilizados pelo gerador de ambientes, desenvolvido neste trabalho, para gerar a visão sintética, a qual é utilizada como base para desenhar o HITS. O restante da seção descreve sucintamente o processo de geração do HITS.

A construção do HITS exige que o piloto informe, ao sistema, diversos dados. Estes dados são inseridos através de um software denominado planejador de missão. É através do mesmo que o piloto irá determinar os fixos de navegação ou *waypoints* que serão sobrevoados. Estes *waypoints* podem ser pontos de referência criados pelo usuário, bem como aeroportos, fixos de *airways*, equipamentos de rádio navegação, aeroportos, RNAV *waypoints*, *waypoints* visuais e outros. Um exemplo de planejamento de voo pode ser visualizado na Fig. (1). No planejamento, cada ponto deverá ser sobrevoado com uma determinada altitude e velocidade, as quais deverão ser especificadas durante a escolha de um fixo de navegação. A seleção dos pontos, unidos um a um, formam a rota, determinando o plano de voo.

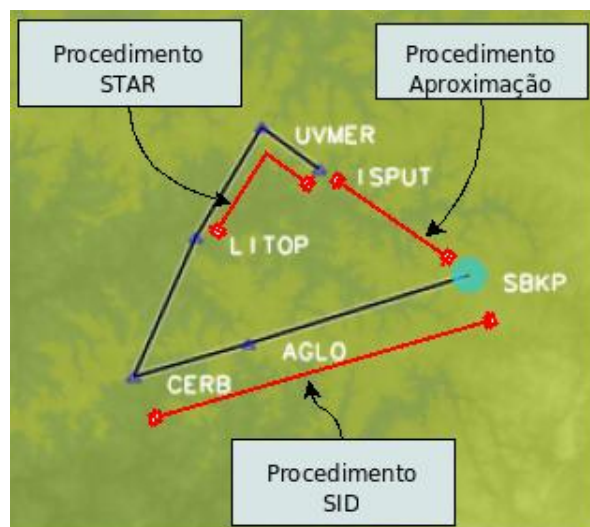


Figura 1. Exemplo de um voo planejado, fazendo uso de um software de Planejamento de Missão.

Ainda no planejamento, o piloto deverá determinar os procedimentos de decolagem, aproximação, pouso e táxi da aeronave. Os procedimentos relacionados à aproximação e pouso dependem da comunicação com a torre do aeroporto

¹Fez-se uso da base de dados de navegação comercializados Jeppesen, o qual foi disponibilizado pela empresa Flight Technologies para o desenvolvimento do presente trabalho.

²Os dados de terreno e obstáculos são comercializados pela Jeppesen e foram disponibilizados também pela empresa Flight Technologies para o desenvolvimento do presente trabalho.

de destino, a qual informará a *runway* disponível. A seleção de um determinado procedimento DP (*Departure Procedure*) depende do rumo do aeroporto de destino e principalmente da autorização do controle nacional de tráfego aéreo. Existem dois tipos de DPs, os ODPs (*Obstacle Departure Procedures*) e SIDs (*Standard Instrument Departure*), os quais proporcionam uma projeção da aeronave livre de obstáculos, mesmo em condições IMC (*Instrument Meteorological Conditions*). Para este trabalho, será utilizado exclusivamente o SID, que é um procedimento padrão de decolagem, encontrado em todos os aeroportos de grande e médio porte no Brasil.

É comum encontrar diversos SIDs disponíveis em um mesmo aeroporto. Cada procedimento está ligado a um fixo de navegação, o qual é parte de uma *airway*. A utilização do HITS para decolagem se faz necessária quando o piloto encontra condições de baixa visibilidade, nuvens baixas, desorientação noturna ou rápida transição de modo VFR para IFR (FAA (2008)). Um exemplo do HITS para decolagem pode ser visualizado na Fig. (2)³. A Fig. (7.A) apresenta a carta SID utilizada para gerar os arcos de decolagem, os quais terminam no primeiro *waypoint* da rota. Da carta SID são obtidos

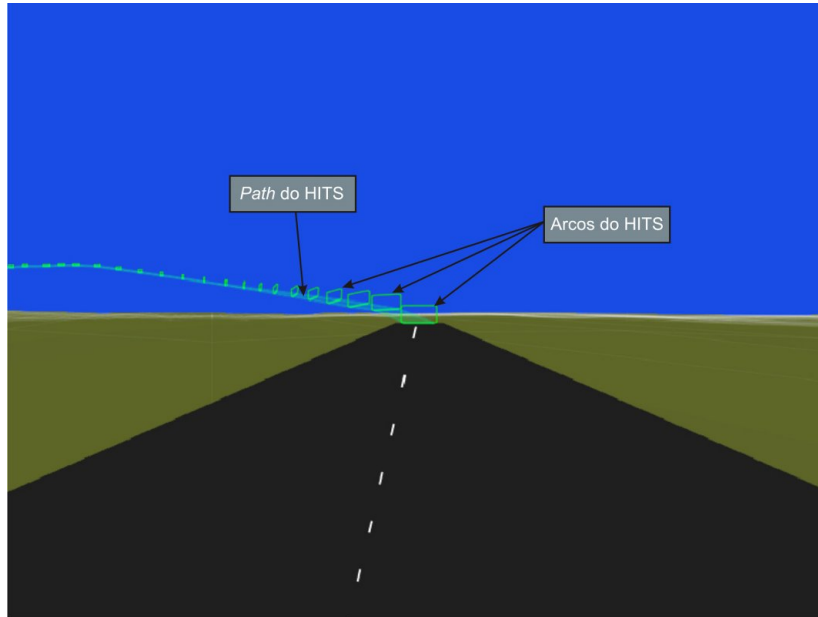


Figura 2. HITS aplicado ao procedimento de decolagem, utilizando o procedimento *Aglo*.

os *waypoints* que determinarão o procedimento de decolagem. Estas cartas SID estão disponíveis para *download* no site www.aisweb.aer.mil.br/aisweb/. Como descrito em Ertem (2005), para o cálculo dos arcos são utilizadas as equações.

$$\vec{u}_1 = \frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|} \quad , \quad \vec{u}_2 = \frac{P_3 - P_2}{|P_3 - P_2|} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{1}{\vec{u}_1 \bullet \vec{u}_2} \right) \quad (2)$$

$$e = \frac{R}{\tan \alpha} \quad (3)$$

$$P_A = P_2 - e\vec{u}_1 \quad , \quad P_B = P_2 - e\vec{u}_2 \quad (4)$$

$$P_Q = \frac{P_A + P_B}{2} \quad (5)$$

$$\vec{u}_C = \frac{P_Q - P_2}{|P_Q - P_2|} \quad (6)$$

$$P_C = P_2 + (\sqrt{R^2 + e^2})\vec{u}_C \quad (7)$$

O cálculo dos arcos que compõem a trajetória faz uso de vetores para gerar o HITS em torno dos fixos intermediários. Eq. (1) até Eq. (7) são baseadas na Fig. (3). O objetivo é encontrar o ponto P_C , o qual, juntamente com o raio R , será

³Denomina-se *Path do HITS* a linha ou retângulo que liga dois arcos, sua função é facilitar a visualização e navegação através do HITS. Este recurso geralmente não está disponível na versão 2D do HITS, como pode ser observado em Barrows *et al.* (2000).

utilizado para gerar qualquer arco entre os pontos P_1 e P_3 , passando por P_2 . Juntamente com P_1 , P_2 e P_3 , R também é um parametro de projeto, sendo utilizado no cálculo de P_C . \vec{u}_1 e \vec{u}_2 são vetores gerados a partir dos pontos P_1 , P_2 e P_3 , enquanto α é metade do ângulo formado pelos segmentos de reta P_1P_2 e P_2P_3 . P_A e P_B são os pontos onde a curva inicia e termina, respectivamente. P_Q é o ponto médio do segmento de reta P_AP_B , utilizado para definir o vetor uniário \vec{u}_C . De R , e , P_2 e \vec{u}_C obtêm-se P_C .

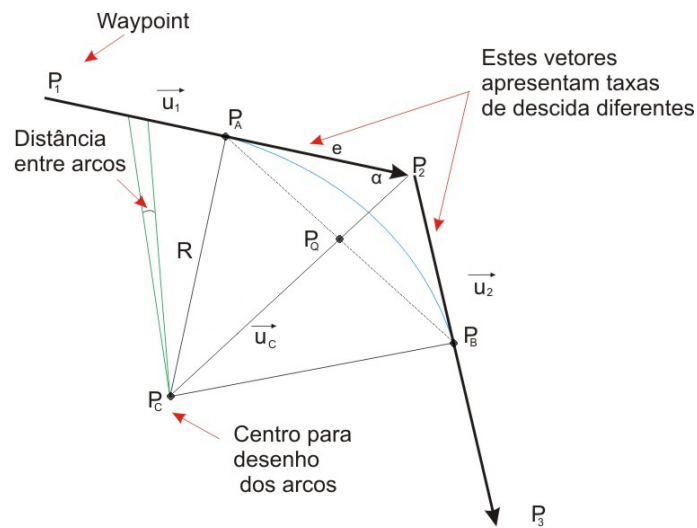


Figura 3. Cálculo dos pontos (Adaptado de Ertem (2005))

As dimensões dos arcos são definidas de acordo com Indriyatmoko *et al.* (2005), no qual a largura do arco é igual a largura da pista⁴. A altura do arco é 0.6 da largura do mesmo. Para algumas características do túnel, como forma do arco, largura das bordas do túnel e cor, foram considerados os estudos de Parrish (2008). Os arcos utilizados durante o voo, até o primeiro fixo de aproximação, são calculados utilizando como referência os dados dos *waypoints* contidos na rota planejada. O procedimento para encontrar tais arcos é equivalente aos procedimentos já descritos. Deve ser observado, também, que a distância entre arcos depende da velocidade predeterminada pelo piloto, para o segmento de rota em questão.

Após a negociação com o TCA (*Terminal Control Area*) de destino, é então selecionada a carta de aproximação. Assim como as DPs, um aeroporto pode possuir diversas STAR (*Standard Terminal Arrival*). Cada STAR apresenta um conjunto de procedimentos que podem ser realizados, de acordo com a orientação da TCA. A execução de tais procedimentos depende de fatores como: da *airway* utilizada, do tráfego aéreo no aeroporto, condições meteorológicas e outros. Uma vez selecionado o procedimento de aproximação, o sistema irá gerar o conjunto de arcos que compõem o caminho a ser percorrido pela aeronave. Este caminho inicia no último *waypoint* da rota, passa através dos *holdings procedures* (se necessário), as janelas de pouso, até o FAF (*Final Approach Fix*). O FAF está fixado (para o caso em estudo), a menos de 5 milhas náuticas da pista. Na Fig. (7.B) é apresentado a carta STAR que pode ser utilizada como base para gerar o HITS e está disponível em www.aisweb.aer.mil.br/aisweb/.

Na última etapa do voo, usam-se as cartas *Descent*. Cada carta *Descent* é direcionada a um sistema de auxílio à navegação, como por exemplo: VORDME, NDB, LOC, LOC/GS, *Micro Wave* e outros. Sob condições atmosféricas adversas ou em pousos noturnos, faz-se uso de ILS (*Instrument Landing System*). O ILS é composto por um conjunto de rádios próximos à pista, cuja funcionalidade é auxiliar no pouso. Neste trabalho, será utilizado somente o LOC/GS, uma vez que o mesmo é o procedimento mais complexo de pouso, sendo seu uso obrigatório em condições IMC. Deve-se observar que a utilização da carta de navegação *Descent* é somente necessária no processo de geração do HITS para pouso, enquanto que o posicionamento da aeronave no cenário virtual é realizado através de GPS. A Fig. (4) apresenta um exemplo do HITS aplicado ao procedimento de pouso, enquanto a Fig. (8) apresenta a carta *Descent* utilizada para gerar o HITS e esta disponível em www.aisweb.aer.mil.br/aisweb/.

3. SIMULAÇÃO E TESTES

Para realizar os testes do HITS, cujo diagrama básico de implementação é mostrado na Fig. (5), foi utilizado um modelo 6-DOF de uma aeronave. Os dados de atitude são gerados através de uma ADAHRS (*Air Data Attitude and Heading Reference System*). É também integrado um sistema de posicionamento global (GPS), o qual juntamente com o sistema inercial, fornecerá os dados necessários para o posicionamento do cenário e dos arcos do HITS. Para tornar o

⁴Para o caso em estudo, 45 metros.

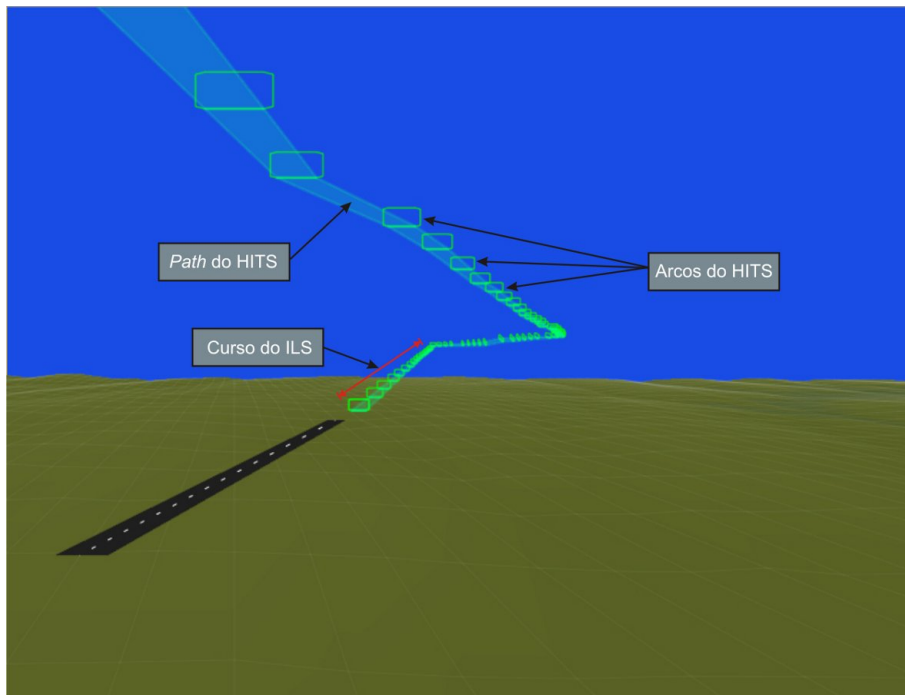


Figura 4. HITS aplicado ao procedimento de pouso, utilizando o procedimento *Charlie 1* da runway 15.

modelo 6-DOF mais realista é utilizado modelo atmosférico padrão, modelo da terra (WGS-84), modelo gravitacional e modelo do campo magnético. Deve-se observar que o padrão WGS-84 também é utilizado na obtenção do posicionamento de todos os itens contidos nas bases de dados. Isso se faz necessário para se obter uma relação coerente entre posição determinada pela simulação, e as informações apresentadas em tela pela visão sintética.

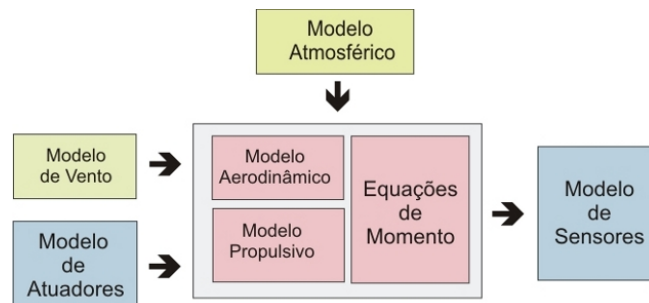


Figura 5. Diagrama do Simulador implementado.

O controle da simulação pode ser realizado de duas formas distintas, através de um *joystick* ou passando as referências diretamente para o autopiloto. No controle da simulação diretamente pelo *joystick*, cabe ao piloto manter a aeronave no centro dos arcos do HITS. Nesta forma de controle, o *joystick* envia sinais diretamente para os atuadores das superfícies primárias de controle da aeronave, sendo estas o *elevator*, *rudder* e *aileron*. O *throttle* também é controlado diretamente pelo piloto. Na outra forma de controle, são inseridos no sistema os *waypoints* que determinam a rota desejada, como descrito na seção anterior. A partir dos arcos e o estado da aeronave, são gerados os sinais de referência para o PA (piloto automático). O PA deverá atuar em apenas duas superfícies de controle, *elevator* e *aileron*, controlando também o *throttle*. A estrutura básica do guiamento é definida como apresentado em Hemerly *et al.* (2006).

O diagrama do ambiente de simulação pode ser observado na Fig (6). Este ambiente foi utilizado para realizar diversos voos, com o objetivo de validar o sistema de visão sintética. A validação consistiu em verificar se a visão sintética corretamente construiu o ambiente, bem como calculou os arcos e a disposição dos mesmos no ambiente virtual. As Fig. (2) e Fig. (4) apresentam o resultado de uma simulação.

Para as simulações, foi realizado um único planejamento de voo e inserido no sistema através de um arquivo. Com base nos dados contidos neste arquivo, o bloco de guiamento gerou os arcos do HITS. O guiamento também pode gerar as referências para o autopiloto, o qual deverá realizar o trajeto e as manobras apresentadas pelo HITS. Deve se observar no entanto, que o autopiloto não contempla funções de pouso. Desta forma, ao final do procedimento de pouso, o auto

pilo manterá a última referência recebida.

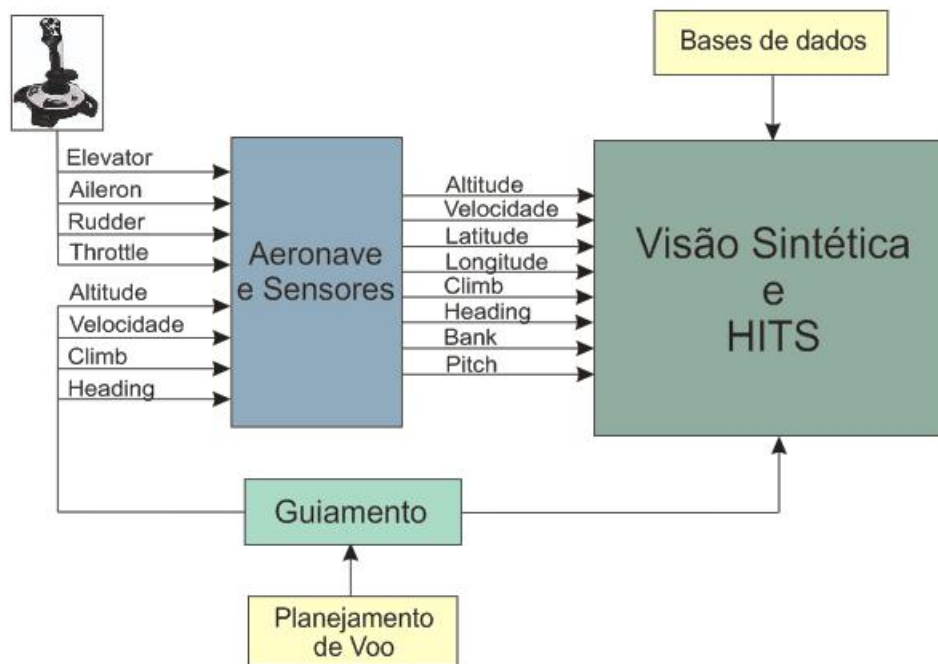


Figura 6. Esquema básico do ambiente de simulação.

4. CONCLUSÃO

Este artigo descreve a construção de um HITS, baseado em cartas de navegação e planejamento de voo sobre um ambiente 3D. Este sistema fornece à tripulação imagens tridimensionais e integra funções que disponibilizam ao piloto efetuar um bom guiamento. A Visão sintética utiliza diversas tecnologias, apresentando não somente informações de terreno, mas um ambiente dinâmico para voo, podendo conter informações de tráfego aéreo, plano de voo, obstáculos, informações regionais, culturais e outras. Este sistema fornece ao piloto informações geográficas, geo-referenciadas e em tempo real, que auxiliam na consciência situacional, consciência espacial e na tomadas de decisão.

Como pode ser observado em Barrows *et al.* (2000), Indriyatmoko *et al.* (2005) e Sachs *et al.* (1997), é notável a precisão vertical e horizontal obtida com o HITS, quando comparado a instrumentos de navegação convencionais (estações de rádio navegação) e instrumentos de navegação modernos (*mov map 2D*). Tal precisão implica a necessidade de dados precisos de navegação, que podem ser obtidos através da utilização de instrumentos de navegação com correção diferencial (DGPS), como descrito em Sachs *et al.* (1997).

O potencial benefício gerado através da visão sintética é dificultado pelos desafios impostos ao desenvolvimento e certificação do mesmo. O custo efetivo do produto final não favorece a difusão desta tecnologia em aeronave de pequeno porte e ultraleves, categorias mais propícias a acidentes, como pode ser observado em CENIPA (2009). A exigência de hardware certificado de acordo com a DO-254 e sistemas operacionais com certificação DO-178B nível A, constitui uma dificuldade de ordem financeira.

Trabalhos que explorem os processos e procedimentos necessários para se obter uma certificação DO-254, DO-178B nível A, são escassos.

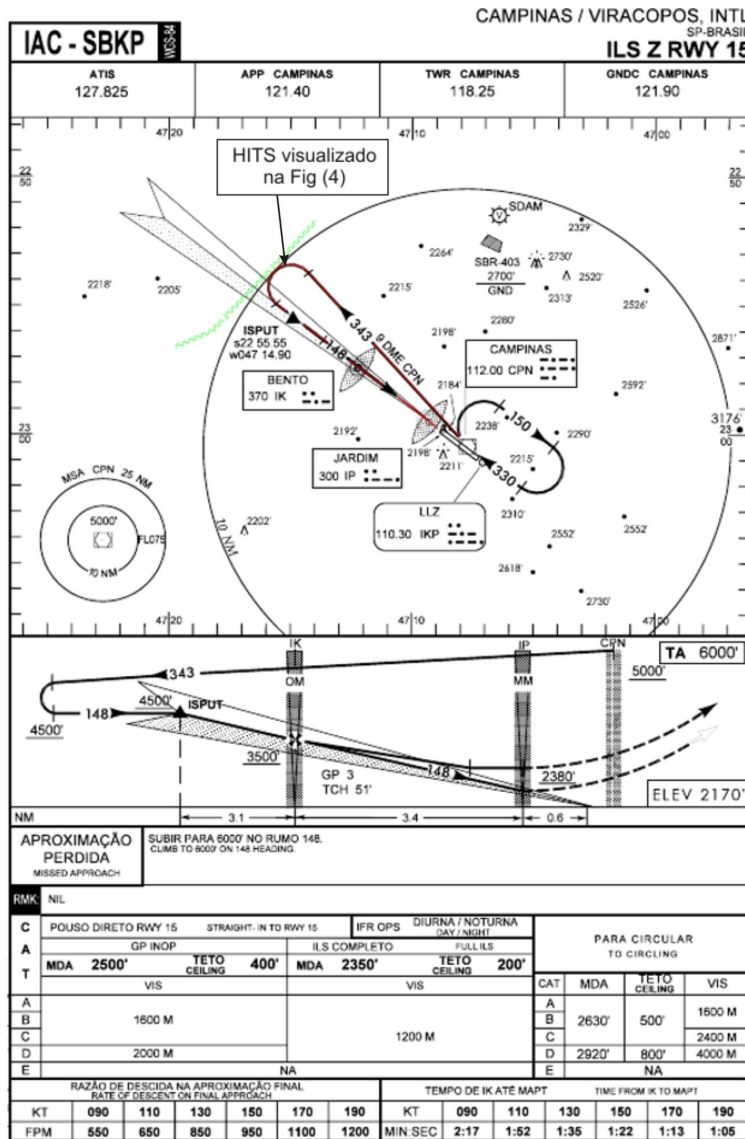


Figura 8. A) Procedimento padrão de pouso por ILS, denominado *Charlie 1*.

5. REFERÊNCIAS

- Aragon, C.R., 2004. *Improving Aviation Safety with Information Visualization: Airflow Hazard Display for Helicopter Pilots*. Ph.D. thesis, University of California, Berkley, USA.
- Barrows, A.K., Alter, K.W., Enge, Pen, P.B.W. and Powell, J.D., 2000. "Operational experience with and improvements to a tunnel-in-the-sky display for light aircraft". *Digital Avionics Systems Conferences*, Vol. Vol 1, pp. 2A2/1 – 2A2/8.
- CENIPA, 2009. "Disiño de investigação e pesquisa de acidentes aeronáuticos - relatórios finais". Disiño de Investigação e Pesquisa de Acidentes Aeronáuticos . 2009 <<http://www.cenipa.aer.mil.br/>>.
- Ertem, M.C., 2005. "An airborne synthetic vision system with hits symbology using x-plane for a head up display". *24th Digital Avionics System Conference*.
- FAA, 2004. "Instrument procedures handbook". Federal Aviation Administration. <http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/>.
- FAA, 2008. "Instrument flying handbook". Federal Aviation Administration. <http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/>.
- Hemerly, E.M., Brasil Neto, N.S., Maciel, B.C.O. and Góes, L.C.S., 2006. "Identificação e controle de veículos autônomos não tripulados com asa fixa". *CBA*.
- Indriyatmoko, A., Jenie, S.D., Madani, I. and Budiyo, A., 2005. "Design and implementation of landing guidance program with tunnel in the sky based on gps (study case at hussein airport, bandung-west java)". <<http://centrums-itb.org/papers/Paper2005/>>.

- Parrish, R.V., 2008. "Aspects of synthetic vision display system and the best practices of the nasa's svcs project". Technical report, National Aeronautics and Space Administration.
- Ramsey, J.W., 2004. "Synthetic vision: No longer futuristic". <http://www.aviationtoday.com/av/categories/military/Synthetic-VisionNoLongerFuturistic_731.html>.
- Sachs, G., Dobler, K. and Hermle, P., 1997. "Flight testing sythetic vision for precise guidance close to the ground". *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.*
- Spitzer, C.R., 2007. *Avionics: elements, software, and functions*. Tayloer & Francis Group.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores so os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluso no seu trabalho.

Development and analysis of synthetic vision and highway-in-the-sky applied to aircraft in IFR flight

Diego Palharini, dpalharini@gmail.com

Elder M. Hemerly, hemerly@ita.br

Division of Electronic Engineering, Department of Systems and Control, Instituto Tecnológico of Aeronáutica, ITA-IEE-IEES Square. Mar. Eduardo Gomes, 50 - Village of Acácias 12228-900 São José of Campos - SP

Abstract. *This paper develops and tests a synthetic vision system for HITS (Highway-In-The-Sky) applications. The attitude and navigations data are generated by Matlab/Simulink. The synthetic vision system is composed by an environment generator developed in OpenGL. The terrain, obstacle and navegation data used by the system are obtained from a proprietary database. The HITS arcs are computed from planing data, for assisting the pilot during all phases of the flight. Another potential use of HITS data is for setting the autopilot reference, aiming at maintaining the aircraft in the center of the HITS, moving along of actived route. Simulation results are presented and discussed.*

Keywords: *Highway-in-the-sky, Synthetic Vision, Aeronautical charts*