

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR



**Sistemas de aproximação RNAV e RNP AR.
Estudo para aeroporto da Ilha do Pico**



Duarte Manuel da Costa Medeiros

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em

Engenharia Aeronáutica

Covilhã, Junho de 2010

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR



**Sistemas de aproximação RNAV e RNP AR.
Estudo para o aeroporto da Ilha do Pico**

Duarte Manuel da Costa Medeiros

Dissertação orientada por:

Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em

Engenharia Aeronáutica

Covilhã, Junho de 2010

Resumo

Este trabalho estuda a possibilidade de implementação das aproximações RNAV e RNP AR ao aeroporto da Ilha do Pico no Arquipélago dos Açores.

O principal objectivo consiste em provar que estes novos tipos de tecnologias de aproximação podem ser implementados nos aeroportos das Ilhas do Arquipélago dos Açores de acordo com as regras da ICAO, providenciando um aumento na operacionalidade e reduzindo os custos associados à operação e manutenção dos sistemas de aproximação tradicionais.

Assim, procedeu-se a um estudo aprofundado sobre o desenho dos procedimentos RNAV e RNP AR de forma a averiguar se existiam restrições que impossibilitassem a implementação destes novos tipos de aproximações no aeroporto da Ilha do Pico. Utilizando a ferramenta de software MET do EUROCONTROL, calcularam-se também as altitudes mínimas de aproximação permitindo assim uma comparação entre os vários tipos de tecnologias de aproximação.

Deste modo, de acordo com regulamentos da ICAO, podemos desenhar novos tipos de procedimentos de aproximação ao aeroporto da Ilha do Pico, evidenciando as respectivas vantagens sobre os sistemas tradicionais já instalados.

Palavras-chave: Sistemas de Aproximação RNAV e RNP AR, Regras da ICAO, Aeroporto da Ilha do Pico

Abstract

This work deals with the possibility of the implementation of RNAV and RNP AR approaches to Pico Island airport in the Azorean archipelago.

The main objective is to prove that this new type of approach technology can be implemented in the Azorean islands airports in accordance with the ICAO rules, providing an increase in safety and lowering approach minima, thus reducing the costs associated with the operation and maintenance of others traditional approach systems.

So a study of the design procedures of RNAV and RNP AR systems will be conducted in order to find out if these new types of approaches can be fully implemented at Pico Island airport without any type of restrictions. Using the MET software tool from EUROCONTROL, the approach minima can be calculated allowing a comparison among the several types of approach technologies.

Then, a design of the particular approach procedures to Pico Island airport can be made in accordance with the ICAO standards and recommended practices.

Key words: RNAV and RNP-AR Approach Systems, ICAO Rules, Pico Island Airport

Agradecimentos

Em Primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva pelo acolhimento da ideia, motivação, constante disponibilidade e por todo o tempo que despendeu para me apoiar na elaboração desta dissertação.

Agradeço também à minha família pelo apoio incondicional durante toda a minha formação, sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho. Para todos eles fica o meu obrigado. Ainda um obrigado especial ao meu irmão Eng. Rui Medeiros pela sua preciosa ajuda no desenho das cartas de aproximação e cedência da foto de capa e à minha Mãe que reviu o texto final.

Índice Geral

Resumo	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos	iii
Índice Geral	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Gráficos.....	vi
Glossário.....	vii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do Tema.....	1
1.2. Objectivo do Trabalho.....	2
1.3. Estrutura da Dissertação	3
2. Estado da Arte.....	4
2.1. Introdução.....	4
2.2. Sistemas Actuais de Aproximação	4
2.2.1. Aproximações de não-Precisão.....	5
2.2.2. Aproximações de Precisão.....	6
2.3. Conceitos de RNAV, RNP e PBN	9
2.3.1. RNAV	9
2.3.2. RNP.....	12
2.3.3. PBN.....	13
2.4. Sistema GNSS	14
2.4.1. ABAS	19
2.4.2. SBAS	21
2.4.2.1. WAAS.....	23
2.4.2.2. EGNOS.....	24
2.4.3. GBAS.....	25
2.5. Novos Sistemas de Aproximação.....	26
2.5.1. RNP APCH.....	26
2.5.1.1. RNAV (GNSS).....	26
2.5.1.2. APV Baro-VNAV.....	28
2.5.1.3. APV SBAS	30
2.5.2. RNP AR APCH	31

2.5.2.1. Juneau	33
2.5.3. Aproximações Baseadas em GBAS.....	34
2.6. Conclusão	35
3. Aplicação no Pico	37
3.1. Introdução.....	37
3.2. Caracterização Geral da Ilha do Pico	37
3.3. Aeroporto do Pico	39
3.3.1 Nota Introdutória.....	39
3.3.2. Localização e Limitações.....	40
3.3.3. Aproximações RNAV no Pico.....	42
3.4. Conclusão	46
4. Desenho dos Procedimentos	48
4.1. Introdução.....	48
4.2. Construção dos Procedimentos	48
4.2.1. Áreas de Protecção.....	50
4.2.2. Procedimentos de não-Precisão RNAV (GNSS)	52
4.2.3. Procedimentos APV Baro-VNAV	54
4.2.4. Procedimentos RNP AR APCH.....	58
4.3. Determinação de Mínimos	59
4.4. Cartas de Aproximação	64
4.5. Conclusão	73
5. Conclusões	75
5.1. Síntese da Dissertação	75
5.2. Considerações Finais	77
5.3. Perspectivas de Investigação Futura.....	78
Bibliografia.....	79
Anexos.....	82
Anexo 1 Obstáculos considerados.....	83
Anexo 2 Representação planificada das superfícies de protecção	88
Anexo 3 Pontos utilizados para o desenho das cartas de aproximação.....	94
Anexo 4 Artigo Científico aceite para publicação na 14ª Conferência da ATRS...	96
Anexo 5 Artigo Científico a submeter para publicação em revista científica ISI.	110

Índice de Figuras

Figura 1 Sistema ILS	6
Figura 2 Comparação entre rotas RNAV e rotas convencionais	9
Figura 3 Corredor aéreo assegurado pelo RNP	12
Figura 4 Área de cobertura do sistema WAAS	23
Figura 5 Área de cobertura do sistema EGNOS.....	24
Figura 6 Comparação entre os dois perfis de descida	28
Figura 7 Protecção de obstáculos convencional e RNP AR.....	32
Figura 8 Localização da Ilha do Pico	37
Figura 9 Localização do aeroporto do Pico	41
Figura 10 Disponibilidade APV-I do sistema EGNOS	44
Figura 11 Segmentos de uma aproximação por instrumentos.....	49
Figura 12 Área de protecção.....	50
Figura 13 Área de protecção de obstáculos vista de cima.....	51
Figura 14 Protecção de obstáculos para a aproximação falhada	53
Figura 15 Superfícies OAS para APV Baro-VNAV	55
Figura 16 Perfil das superfícies OAS para APV Baro-VNAV.....	57
Figura 17 Largura dos segmentos RNP	58
Figura 18 Carta STAR.....	65
Figura 19 Carta de aproximação RNAV (GNSS)	67
Figura 20 Carta de aproximação RNAV (RNP).....	71

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Evolução do tráfego no aeroporto do Pico	40
--	----

Glossário

ABAS – Aircraft Based Augmentation System, sistema existente na aeronave que aumenta e/ou integra a informação obtida através do sistema GNSS com a informação disponível a bordo da aeronave

ADF – Automatic Direction Finder, sistema de ajuda rádio à navegação

ADS-B – Automatic Dependent Surveillance, sistema que permite uma melhor precisão e controlo da aeronave por parte dos controladores aéreos

AFIS – Aerodrome Flight Information Service, serviço de informação de voo fornecido ao tráfego de aeródromo

AIP – Aeronautical Information Publication, publicação elaborada pela autoridade aeronáutica de um estado, contendo informação de carácter permanente essencial para a navegação aérea

AOC – Aerodrome Obstacle Chart, carta de obstáculos de aeródromo

APV – Approach Procedure with Vertical guidance, procedimento por instrumentos que utiliza orientação vertical e lateral mas que não cumpre com os requisitos estabelecidos para as operações de aproximação e aterragem de precisão

APV Baro-VNAV – Approach Procedure with Vertical Guidance through Barometric Vertical Navigation, aproximação com orientação vertical obtida através de um altímetro barométrico

APV SBAS – Approach Procedure with Vertical Guidance through Satellite Based Augmentation System, aproximação com orientação vertical obtida através de um sistema SBAS

ATM – Air Traffic Management, controlo de tráfego aéreo

ATP – Advanced TurboProp, avião regional de 64 lugares

ATS – Air Traffic Services, termo genérico referente a vários sistemas terrestres que permitem a identificação das aeronaves

ATT – Along-Track Tolerance, uma tolerância fixa ao longo da rota resultante das tolerâncias associadas aos equipamentos terrestres e na aeronave

Baro-VNAV – Barometric Vertical Navigation, navegação com orientação vertical através de um altímetro barométrico

B-RNAV – Basic Area Navigation, requerimento de navegação

CAAP – Civil Aviation Advisory Publication, publicação emitida pela entidade governamental australiana responsável pela aviação civil

CDFA – Continuous Descent Flight Approach, perfil descida em aproximação

CFIT – Controlled Flight Into Terrain, condição de voo onde uma aeronave em perfeitas condições de voo e sobre o total controlo da tripulação embate com o terreno, obstáculos ou água, normalmente sem o conhecimento da tripulação

CIA – Circular de Informação Aeronáutica, relatório publicado pelo INAC contendo novas informações e regulamentos aeronáuticos referentes ao espaço aéreo português

DA/H – Decision Altitude/Height, altitude específica numa aproximação de precisão ou aproximação com orientação vertical na qual o procedimento de aproximação falhada tem de ser iniciado caso as referências visuais necessárias à aproximação não tenham sido estabelecidas

Nota – A DA (Decision Altitude) tem como referência o nível do mar enquanto que a DH (Decision Height) tem como referência a elevação da cabeceira da pista

DME – Distance Measuring Equipment, sistema de ajuda rádio à navegação

EASA – European Aviation Safety Agency, agência europeia para a segurança da aviação

EASA AMC – European Aviation Safety Agency Acceptable Means of Compliance for airworthiness of products, parts and appliances, publicação de legislação por parte da EASA

ECAC – European Civil Aviation Conference, organização intergovernamental que tem como objectivo a harmonização das políticas e práticas da aviação civil entre os seus estados membros e ao mesmo tempo a promoção e desenvolvimento contínuo de um sistema de transportes europeu seguro, eficiente e sustentável

EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service, sistema SBAS europeu

ESA – European Space Agency, agência especial europeia

ETSO – European Technical Standard Order, especificação técnica normalizada europeia

EUROCONTROL – European Organization for the Safety of Air Navigation, organização europeia para a segurança da navegação aérea

FAA – Federal Aviation Administration, entidade governamental dos Estados Unidos da América responsável pela aviação

FAA AC – Federal Aviation Administration Advisory Circular, circular de informação da FAA

FAF – Final Approach Fix, ponto que marca o final do segmento intermédio e o início do segmento final

FAP – Final approach Point, ponto de aproximação final

FAS – Final Approach Surface, superfície final de aproximação

FDE – Fault Detection and Exclusion, sistema que permite a detecção e eliminação de dados corrompidos provenientes de um satélite de um sistema GNSS

FMS – Flight Management System, computador de bordo

GAGAN – GPS and Geo Augmented Navigation, sistema SBAS indiano

GBAS – Ground Based Augmentation System, sistema que aumenta a informação obtida através do sistema GNSS utilizando transmissores baseados no solo

GLONASS – Global Navigation Satellite System

GLS – GNSS Landing System, sistema terrestre baseado em GNSS que possibilita aproximações de precisão

GNSS – Global Navigation Satellite System, sistema de posicionamento e determinação de tempo global que inclui uma ou mais constelações de satélites, receptores em aeronaves e sistemas de monitorização de integridade, aumentados de forma a suportar a performance de navegação requerida para determinada operação

GPS – Global Positioning System, sistema global de posicionamento

IAF – Initial Approach Fix, ponto que marca o início do segmento inicial e o final do segmento de chegada

IAS – Indicated Airspeed, velocidade indicada

ICAO – International Civil Aviation Organization, agência da Nações Unidas que regula os princípios e técnicas da navegação aérea internacional, de forma a garantir um crescimento seguro e ordenado do transporte aéreo internacional

IF – Intermediate Approach Fix, ponto que marca o final do segmento inicial e o início do segmento intermédio

IFR – Instrument Flight Rules, regras de voo por instrumentos

ILS – Instrument Landing System, sistema de ajuda rádio a aproximações de precisão

IM – Instituto de Meteorologia

INAC – Instituto Nacional de Aviação Civil, entidade governamental portuguesa responsável pela aviação

INS – Inertial Navigation System, sistema de ajuda à navegação

IRS – Inertial Reference System, sistema de ajuda à navegação

LNAV – Lateral Navigation, navegação lateral

LPV – Localizer Performance with Vertical guidance, acrónimo utilizado nas cartas de aproximação para indicar os mínimos associados a aproximações APV I e II

LTP – Landing Threshold Point, ponto de aterragem a partir da cabeceira da pista

MAPt – Missed Approach Point, ponto de aproximação falhada

MDA/H – Minimum Descent Altitude/Height, altitude específica numa aproximação de não-precisão ou circling abaixo da qual a descida não pode ser efectuada na ausência das referências visuais requeridas

Nota – A MDA (Minimum Descent Altitude) tem como referência o nível do mar enquanto que a MDH (Minimum Descent Altitude) tem como referência a elevação do aeroporto ou da cabeceira da pista

MET – Minima Estimation Tool

MLS – Microwave Landing System, sistema de ajuda rádio a aproximações de precisão

MOC – Minimum Obstacle Clearance, altitude mínima para um determinado segmento, que fornece a protecção de obstáculos requerida

MOCapp – Final approach MOC, altitude mínima para a aproximação final, que fornece a protecção de obstáculos requerida

MSA – Minimum Sector Altitudes, altitudes mínimas de sector

MSAS – Multi-functional Satellite Augmentation System, sistema SBAS japonês

NANU – Notice Advisory to Navstar Users, equivalente aos NOTAM's para o sistema GPS

NDB – Non-Directional Beacon, sistema de ajuda rádio à navegação

NOTAM – Notice To Airmen, aviso difundido por meios de telecomunicações contendo informação relativa ao estabelecimento, às condições ou alterações de qualquer instalação aeronáutica, serviço, procedimento ou perigo, cujo conhecimento atempado é essencial para o pessoal das operações de voo

NPA – Non-Precision Approach, aproximação de não-precisão

OAS – Obstacle Assessment Surface, superfície de estimação de obstáculos que tem como objectivo a determinação dos obstáculos que deverão ser considerados para o cálculo da OCA/H de uma aproximação de precisão APV ou convencional

OCA/H – Obstacle Clearance Area/Height, menor altitude ou altura, acima da elevação da cabeceira da pista ou da elevação do aeródromo, utilizada para estabelecer o comprimento dos critérios de protecção de obstáculos apropriados

PA - Precision Approach, aproximação de precisão

PBN – Performance Based Navigation, navegação de área baseada em requerimentos de performance para aeronaves a operar numa rota, numa aproximação por instrumentos ou num determinado espaço aéreo

P-RNAV – Precision Area Navigation, requerimento de navegação

RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring, forma mais comum de receptor ABAS

RF – Radius to Fix leg, segmentos especiais de aproximação existentes nos procedimentos RNP AR APCH

RIMS – Ranging and Integrity Monitoring Stations, estações terrestres de monitorização de alcance e integridade do sistema SBAS EGNOS

RNAV – Area Navigation

RNP – Required Navigation Performance, afirmação de performance de navegação necessária à operação dentro de um espaço aéreo definido

RNP APCH – Required Navigation Performance Approach, aproximação RNP

RNP AR APCH – Required Navigation Performance Authorization Required Approach, tipo especial de aproximação RNP cuja execução necessita de uma autorização para a aeronave e tripulação

ROC – Required Obstacle Clearance, protecção vertical contra obstáculos para a aproximação

RVR – Runway Visual Range, distância a que o piloto de uma aeronave, na linha central da pista, consegue ver e identificar as marcas existentes nesta

SATA – Serviço Açoreano de Transportes Aéreos

SBAS – Satellite Based Augmentation System, sistema que aumenta a informação obtida através do sistema GNSS utilizando transmissores baseados em satélites

SDF – Step Down Fixes, perfil de descida em aproximação

SOC – Start Of Climb, ponto de início de subida

SREA – Serviço Regional de Estatística dos Açores

STAR – Standard instrument Arrival Route, rota de chegada IFR que liga um ponto em rota com um ponto a partir do qual se pode iniciar um procedimento de aproximação por instrumentos

TF – Track to Fix leg, segmento de aproximação directo

TSE – Total System Error, erro total do sistema

TSO – Technical Standard Order, especificação técnica normalizada

UHF – Ultra High Frequency

VEB – Vertical Error Budget,

VFR – Visual Flight Rules, regras de voo visual

VHF – Very High Frequency

VOR – Very high frequency (VHF) Omni directional Range, sistema de ajuda rádio à navegação

WAAS – Wide Area Augmentation System, sistema SBAS americano

WGS84 – World Geodetic System, modelo geográfico terrestre adoptado para a navegação aeronáutica

XTT – Across-Track Tolerance, uma tolerância fixa medida perpendicularmente à rota, resultante das tolerâncias associadas aos equipamentos terrestres, na aeronave e à tolerância técnica de voo (FTT)

1. Introdução

1.1. Enquadramento do Tema

O sector da aviação encontra-se num estado permanente de desenvolvimento desde o seu nascimento nos princípios do século vinte até aos dias de hoje. O mesmo é verdadeiro para os seus sistemas de segurança (saftey), que se vêem obrigados a acompanhar esta evolução constante através do seu próprio desenvolvimento.

Uma das áreas mais problemáticas em termos de segurança é a do controlo de tráfego aéreo que tem assistido a um crescimento muito significativo ao longo das duas últimas décadas. Previsões mostram que, quando comparados com 2006, os movimentos de tráfego aéreo na Europa podem duplicar nos próximos 20 anos. Assim, existe uma pressão contínua no sentido de melhorar a capacidade geral do sistema de controlo de tráfego aéreo, com o objectivo de aliviar congestionamentos, atrasos e aumentar a segurança.

Uma das estratégias para a resolução destes problemas passa pela implementação do conceito de navegação por RNAV que já existe desde os finais da década de 60, mas que só começou a ser implementado na Europa em 1998. Antes desta data, o sistema de navegação no espaço aéreo do continente europeu era baseado na utilização de rotas fixas que se encontravam “ancoradas” às localizações das instalações de VOR/DME para voos domésticos, enquanto que para voos oceânicos eram utilizados sistemas de INS. À medida que as capacidades de navegação da população de aeronaves se tornaram cada vez mais precisas e sofisticadas, estes sistemas tornaram-se progressivamente caros, inflexíveis e ineficientes em relação à utilização do espaço aéreo disponível e à utilização da capacidade de navegação das aeronaves. Assim, nos princípios dos anos 80, existia um reconhecimento por todas as partes de que a navegação por RNAV formaria a base do futuro sistema de navegação.

A navegação por RNAV pode ser definida como um “método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer rota dentro da cobertura de ajudas à navegação referenciadas na estação ou dentro dos limites da capacidade de ajudas auto-contidas, ou uma combinação das duas” [ICAO, 2008: pp.I-A1-1].

O conceito de navegação por RNAV foi introduzido em paralelo com o conceito de RNP, que por sua vez é o predecessor do conceito actual de PBN e que pode ser

definido como um “sistema de navegação de área que suporta um requerimento para a monitorização e alerta de *performance* a bordo” [ICAO, 2008: pp. I-(xx)].

Os sistemas RNAV e RNP são fundamentalmente similares. A diferença chave consiste no requerimento para a monitorização e alerta de *performance* a bordo. Uma especificação de navegação que inclua este requerimento é referida como uma especificação RNP. Uma que não inclua este requerimento é referida como uma especificação RNAV.

Actualmente, o conceito de navegação utilizado pelo ICAO é o PBN que especifica que os requerimentos de *performance* dos sistemas RNAV das aeronaves sejam definidos em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade necessárias às operações propostas no contexto de um conceito particular de espaço aéreo. O conceito PBN representa uma mudança da navegação baseada em sensores para uma navegação baseada em *performance*. Englobado neste novo conceito de navegação, encontram-se as especificações RNP que dizem respeito à fase de aproximação. Assim, aos novos tipos de tecnologias de aproximação emergentes são atribuídos as designações de RNP APCH ou RNP AR APCH.

Para além destes, existem outros tipos de sistemas de aproximação que começaram a surgir nas últimas duas décadas, baseados no sistema de GNSS, assegurando deste modo a evolução contínua deste tipo de sistemas de segurança.

1.2. Objectivo do Trabalho

Este trabalho tem como objectivo o estudo da possibilidade da implementação das novas tecnologias de aproximação emergentes, aproximações RNAV e RNP AR APCH, ao aeroporto da Ilha do Pico no arquipélago dos Açores. Esperamos assim provar que estes novos tipos de tecnologias de aproximação poderão ser implementados nos aeroportos das Ilhas desta região de acordo com as regras da ICAO, providenciando um aumento na segurança e reduzindo as altitudes mínimas de aproximação, diminuindo assim, os custos associados à operação e manutenção dos sistemas de aproximação existentes.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação divide-se em cinco capítulos. O primeiro, onde nos situamos, dá a conhecer o enquadramento do tema, bem como os objectivos propostos para o trabalho. Em seguida, no segundo capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de aproximação, com destaque para as novas tecnologias disponíveis actualmente, as suas potencialidades e casos de estudo concretos. O terceiro dá a conhecer a Ilha do Pico, o seu aeroporto, bem como as condições para a implementação das novas tecnologias no terreno. No quarto descreve-se o processo de elaboração dos procedimentos, relativos ao aeroporto da Ilha do Pico, baseados nos novos tipos de aproximações e, finalmente, são apresentadas as conclusões no quinto capítulo.

2. Estado da Arte

2.1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma curta descrição dos sistemas de aproximações actuais, seguido de uma breve revisão bibliográfica sobre as novas tecnologias emergentes, as suas potencialidades e casos concretos de aplicação. Podemos assim elaborar uma análise comparativa entre as duas gerações de sistemas que nos permita perceber as vantagens inerentes à implementação dos novos sistemas no aeroporto da Ilha do Pico.

2.2. Sistemas Actuais de Aproximação

As origens dos sistemas de aproximação existentes na actualidade remontam aos finais da segunda guerra mundial, quando a aviação comercial atravessava uma fase de crescimento sem precedentes. Eram necessários novos sistemas que permitissem uma operação segura em todos os tipos de condições atmosféricas, e assim começou a dar-se importância e financiamento à pesquisa, nesta área específica de sistemas de navegação.

Tradicionalmente, podemos dividir os procedimentos de aproximação em dois tipos diferentes. Aproximações de precisão (PA) e aproximações de não-precisão (NPA). As aproximações de precisão utilizam sistemas de ILS e MLS enquanto que as aproximações de não-precisão fazem uso das ajudas de navegação à volta do aeroporto, tais como VOR, DME ou NDB, para trazer as aeronaves a um ponto onde a pista é visível, de forma a que seja possível efectuar uma aterragem em condições visuais com o terreno. As aproximações de precisão são conduzidas com orientação vertical para que se obtenha uma descida contínua e estabilizada, por oposição às aproximações de não-precisão, onde a descida não é feita com orientação vertical, requerendo muitas vezes múltiplos nivelamentos em pontos predeterminados na aproximação.

As aproximações de precisão são consideradas as mais seguras e praticamente todas as aeronaves equipadas para voos por instrumentos possuem sistemas de ILS. Contudo não é economicamente viável ou mesmo praticamente possível, instalar equipamentos de ILS em todas as pistas. Acontecem também várias ocasiões em que os sistemas de ILS se encontram fora de serviço devido a manutenção ou trabalhos no

aeroporto e conseqüentemente as aproximações de não-precisão têm de servir como solução, mesmo que isso signifique uma degradação na acessibilidade ao aeroporto devido ao aumento da altitude mínima de aproximação.

Hoje em dia, com a cada vez maior disponibilidade das capacidades de RNAV a bordo das aeronaves e em particular a utilização do GPS, a navegação convencional está a perder terreno para a navegação por área, onde as aproximações por RNAV fazem uso de uma série de *waypoints*, rotas e constrangimentos de altitude e velocidade existentes na base de dados de navegação, de forma a guiar as aeronaves em segurança durante a fase aproximação.

2.2.1. Aproximações de não-Precisão

Como já foi referido, as aproximações de não-precisão são “aproximações por instrumentos que fazem uso da orientação lateral não oferecendo qualquer tipo de orientação vertical” [ICAO, 2006: pp. I-1-1-4].

Estes tipos de aproximações, baseadas em ajudas à navegação como o VOR, NDB e DME não possuem um grau de precisão muito elevado. A pouca confiança na precisão destes sistemas, proveniente da sua falta de orientação vertical e, no caso do NDB, dos muitos erros e interferências associados ao seu sinal, fazem com que as margens de segurança aplicadas a estes sistemas sejam muito restritivas, levando a elevadas altitudes de decisão que tornam as operações em certos tipos de condições atmosféricas impossíveis.

Este tipo de aproximações são executadas pela leitura no *cockpit* de um instrumento que mostra a orientação lateral na aproximação ou no afastamento da estação, fornecendo a distância que falta ou que já decorreu desde que a aeronave passou pela rádio ajuda no terreno, através do sistema de DME. A aproximação é iniciada a uma determinada altitude que se encontra publicada nas cartas de aproximação, existindo também ao longo da descida outras altitudes que servem de referência ao piloto durante a aproximação. A aeronave está autorizada a descer até uma determinada altitude, chamada de altitude mínima de descida (MDA/H), após a qual, o piloto tem de iniciar uma aproximação falhada, caso não tenha obtido contacto visual com a pista.

As aproximações de não-precisão requerem muita habilidade por parte dos pilotos, pois em condições de voo por instrumentos (IFR) é muito importante confiar

nos instrumentos e nunca perder a *situational awareness*. Erros cometidos nesta fase crítica do voo podem tornar-se fatais. Como prova disso mesmo, os estudos mostram que uma grande percentagem dos acidentes CFIT ocorrem quando as aeronaves se encontravam a executar aproximações de não-precisão. Torna-se assim óbvio, a necessidade de novos sistemas de aproximação que sejam mais seguros que os sistemas de não-precisão e mais economicamente viáveis que os sistemas de precisão.

2.2.2. Aproximações de Precisão

As aproximações de precisão podem ser definidas como “procedimentos de aproximação por instrumentos que utilizam orientação lateral e vertical, possuindo altitudes mínimas determinadas pela categoria da operação. A orientação lateral e vertical é fornecida através de ajudas à navegação terrestres ou através de dados de navegação gerados por computador” [ICAO, 2006: pp. I-1-1-4].

No que diz respeito às aproximações de precisão convencionais, o ILS é claramente o sistema de aproximação mais utilizado a nível mundial. Este sistema está desenhado para fornecer ao piloto um caminho de aproximação exacto em alinhamento e descida. Na sua forma extrema, em conjunção com equipamento a bordo da aeronave, consegue providenciar uma aproximação e aterragem completamente automática. A Figura 1 mostra os elementos não visuais do sistema de ILS.

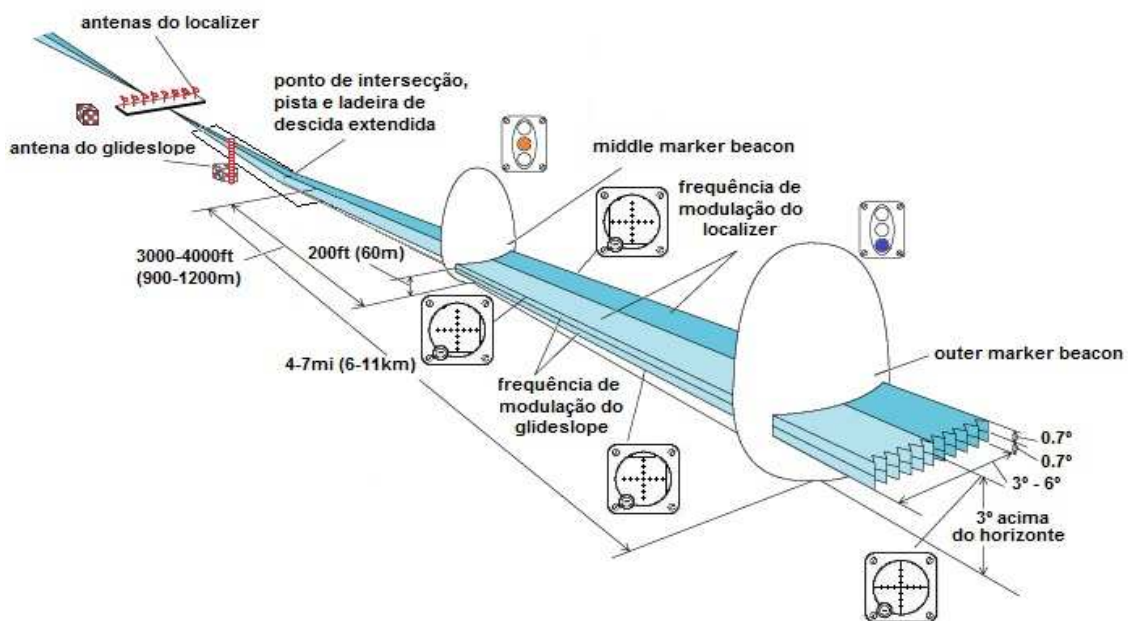


Figura 1 Sistema ILS (Adaptado de Niquette, 1996)

Os três componentes deste sistema são: a orientação providenciada pelo sinal VHF do *localizer* e pelo sinal UHF do *glideslope*; a distância fornecida pelos *marker beacons* ao longo da aproximação e as referências visuais dadas pelas luzes da pista. O equipamento do solo consiste em dois sistemas transmissores altamente direccionais e em pelo menos dois *marker beacons*. A informação direccional é interpretada no *cockpit* pelo receptor de ILS.

O alinhamento com o centro da pista é controlado pelo transmissor direccional *localizer*, que se encontra tipicamente afastado 300 metros do final da pista. Qualquer desvio à esquerda ou à direita da projecção da linha de centro de pista é mostrada no receptor de ILS, como apresentado na Figura 1. O transmissor UHF do *glideslope* emite um feixe direccional ao longo de um plano a ângulos rectos com o *localizer*, numa ladeira nominal de 3° em relação à horizontal; qualquer desvio acima ou abaixo desta ladeira é também mostrado no receptor, no *cockpit*. Assim, o piloto recebe uma indicação precisa e contínua acerca do azimuth correcto e posição na ladeira de descida. Informação adicional é providenciada ao piloto na forma de dois *markers* de baixa potência, sobre os quais a aeronave passa à medida que progride ao longo da aproximação: o *outer marker* (OM), localizado a aproximadamente 8 quilómetros da cabeceira da pista, e o *middle marker* (MM), situado a 1070 metros da cabeceira. No *cockpit* são dadas informações visuais à medida que a aeronave sobrevoa os *markers*.

No caso de sistemas de ILS de categoria II, existe ainda outra forma de identificação posicional na forma do *inner marker* (IM) que indica a posição na ladeira de descida correspondente à altura de decisão (DA/H), onde a aterragem tem de ser abortada, caso a visibilidade impossibilite a continuação da aproximação, com o uso das ajudas visuais apropriadas. A operação segura dentro dos alcances da RVR e altitudes de decisão correspondentes a categorias I, II e III, requer equipamentos de ILS cada vez mais sofisticados à medida que as condições de operação se tornam piores. Mesmo que o princípio de funcionamento do sistema ILS permaneça o mesmo, é necessário um grande aumento de precisão operacional, para ir de operações de categoria I para operações de categoria II e de categoria II para categoria IIIA, IIIB e IIIC. O próprio equipamento tem de ser mais preciso e as condições da sua operação mais controladas. À medida que a aproximação final é efectuada em condições cada vez mais restritivas, a aeronave tem de receber sinais mais precisos provenientes das antenas de *localizer* e de *glideslope*. Uma precisão extrema é necessária para as operações em todas as categorias III. O fornecimento de um sinal de *glideslope* suficientemente preciso para estas

operações nem sempre é economicamente viável, pois os sistemas de ILS dependem da reflexão do sinal no terreno em frente da antena.

Em muitos dos aeroportos comerciais as condições atmosféricas prejudicam seriamente as operações caso não exista nenhum sistema de aproximação por instrumentos. Contudo, uma decisão acerca do tipo de categoria a ser instalada deve ser tomada, tendo em consideração todos os parâmetros envolvidos, pois um aumento da categoria I para a categoria II, implica um custo elevado em ajudas visuais e de instrumentos. Um investimento muito mais avultado é necessário para um avanço da categoria II para a III. Nestes casos, o operador deve executar uma avaliação económica comparando o custo extra em providenciar operações com categoria elevada, contra o impacto de fechar o aeroporto a operações durante condições atmosféricas adversas.

Apesar de o ILS fornecer um aumento na operacionalidade de um aeroporto em más condições meteorológicas, este sistema apresenta também alguns problemas. Introduzido como o *standard* de aproximações por instrumentos em 1947, e baseado em tecnologia desenvolvida pelos militares, necessita de um grande número de antenas para radiar um feixe que seja suficientemente estreito nos comprimentos de onda utilizados. Estes sinais são afectados pela presença de edifícios, veículos e aeronaves a efectuar o *taxi*. Os melhores sinais são obtidos quando o sinal é reflectido a partir de um terreno liso e sem perturbações à frente da cabeceira da pista. Em área de topografia irregular, sistemas de ILS de alta *performance* tornam-se difíceis e até mesmo impossíveis de instalar.

A utilização de frequências mais altas de transmissão por microondas consegue ultrapassar os problemas associados ao ILS. As antenas de transmissão tornam-se menores e são mais facilmente instaladas. O sinal não é sensível à reflexão em objectos circundantes e não está dependente do terreno para a formação e propagação dos feixes de sinal. Ao contrário do sinal de dois feixes emitido pelo ILS, a orientação por MLS pode ser multi-direccional, permitindo múltiplos caminhos de aproximação. O sistema pode também fornecer ao piloto informação contínua de distância [Ashford, 1997].

O sistema MLS foi concebido com o objectivo de substituir o sistema de ILS, contudo os avanços ocorridos nos últimos anos nos sistemas de navegação por satélite, alteraram as prioridades de pesquisa e desenvolvimento neste sector. Assim, os sistemas de MLS foram ultrapassados pelos sistemas GNSS com as suas capacidades promissoras. Por outro lado, a entrada em serviço de sistemas de grande precisão (CAT II/III) baseados em sistema GNSS ainda não tem data marcada devido ao longo período

de desenvolvimento e certificação necessário a este tipo de tecnologias, existindo portanto um mercado reduzido para a tecnologia MLS. Actualmente, encontra-se instalado no aeroporto de Heathrow, um sistema de MLS de categoria IIIB, permitindo aproximações de precisão em todo o tipo de condições atmosféricas.

2.3. Conceitos de RNAV, RNP e PBN

2.3.1. RNAV

Como já foi referido anteriormente RNAV pode ser definido como um “método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer rota dentro da cobertura de ajudas à navegação referenciadas na estação ou dentro dos limites da capacidade de ajudas auto-contidas, ou uma combinação das duas” [ICAO, 2008: pp.I-A1-1]. Assim, as restrições impostas pelas rotas e procedimentos convencionais, onde a aeronave era forçada a passar directamente por cima das estações terrestres, são removidas, aumentando a flexibilidade e eficiência operacional. É esta comparação que se encontra ilustrada na Figura 2.

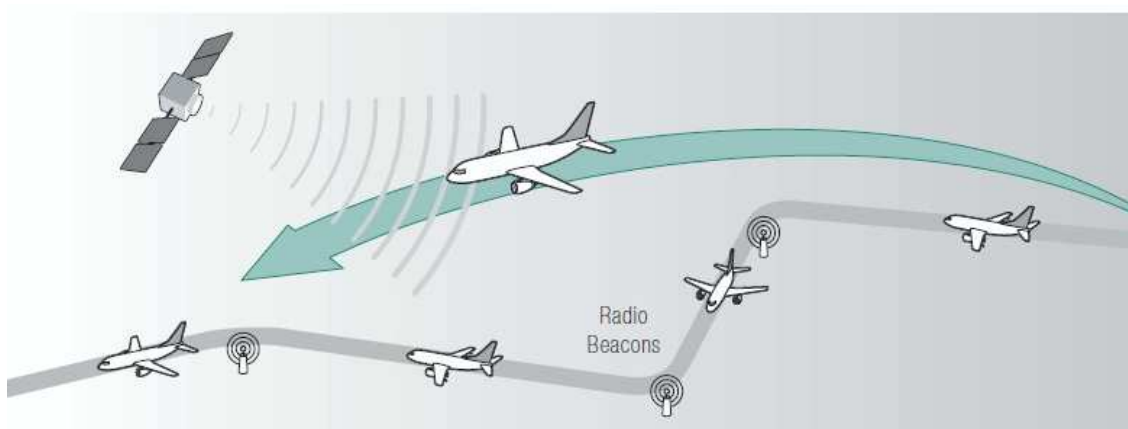


Figura 2 Comparação entre rotas RNAV e rotas convencionais (FAA, 2002)

Existe uma grande variedade de sistemas RNAV que podem ir desde sistemas baseados em apenas um sensor até sistemas com múltiplos tipos de sensores de navegação. Estes podem ou não, ser acoplados a outros sistemas como *auto-throttle* e piloto automático, permitindo assim uma operação de voo mais automatizada. Apesar

das diferenças na arquitectura e nos equipamentos, as funções efectuadas pelos sistemas de RNAV são comuns.

O sistema RNAV integra tipicamente informação proveniente de sensores, tais como: dados relativos ao ar, referências inerciais, navegação rádio e satélite, juntamente com informação existente na sua base de dados e informação introduzida pela tripulação de forma a executar tarefas de navegação, direcção e controlo, manejo do plano de voo e controlo de sistemas.

A função de navegação trabalha com dados que vão desde a posição da aeronave, velocidade, ângulo em relação à rota, ângulo vertical de descida, ângulo de *drift*, variação magnética, altitude barométrica corrigida, a direcção do vento. Embora a navegação possa ser baseada num único tipo de sensor de navegação como o GNSS, muitos sistemas são multi-sensores, pois utilizam uma variedade de sensores, incluindo GNSS, DME, VOR e IRS para calcular a posição e a velocidade da aeronave. A implementação pode variar entre os vários sensores, mas todos eles baseiam os seus cálculos nos sensores de posição mais precisos a cada momento.

O sistema RNAV confirma a validade e a consistência dos dados provenientes de cada sensor antes da sua utilização. Os dados fornecidos pelo sistema de GNSS são normalmente submetidos a testes de maior complexidade quando comparados aos testes efectuados aos dados dos sistemas DME e VOR, devido às características e capacidades embutidas na tecnologia de navegação por satélite. Para sistemas multi-sensor, caso os dados de GNSS não se encontrem disponíveis, o sistema pode seleccionar automaticamente um modo de actualização de baixa prioridade, como DME ou VOR.

À medida que a aeronave progride na sua rota, e no caso do sistema RNAV se encontrar a fazer uso das ajudas de navegação terrestres, este vai utilizar a estimativa actual da sua posição e a sua base de dados interna para sintonizar automaticamente as estações no solo de forma a obter a posição de rádio mais precisa. A orientação vertical e horizontal é disponibilizada ao piloto, no mostrador do próprio sistema RNAV, ou fornecida através de outros aparelhos de visualização. A forma mais avançada consiste num mostrador onde é possível observar um símbolo da aeronave, a rota planeada e as estações de importância no solo tais como ajudas à navegação e aeroportos.

Certos tipos de sistemas de RNAV possuem uma base de dados onde se encontra armazenada informação acerca das ajudas de navegação, *waypoints*, rotas e procedimentos terminais. O sistema utiliza toda esta informação de forma a planear o

voo, podendo também comparar a informação adquirida através dos sensores, com a existente na base de dados.

A função de planeamento de voo cria o plano de voo vertical e horizontal usado pela aeronave. Um aspecto chave do plano de voo é a especificação dos *waypoints* através da latitude e longitude, sem que seja necessária qualquer referência à localização das ajudas de navegação no solo. Os sistemas de RNAV mais avançados incluem a capacidade de gestão da *performance*, onde modelos aerodinâmicos e propulsivos são usados para calcular perfis de voo. Este tipo de capacidade é bastante complexa, utilizando o consumo de combustível, posição de *flaps*, dados dos motores, altitude, velocidade, número de Mach, temperatura, velocidade vertical e dados introduzidos pelo piloto. Os sistemas RNAV fornecem normalmente informação acerca do progresso do voo, dos procedimentos terminais e de aproximação a serem utilizados, e sobre a origem e destino do voo. A informação inclui tempos estimados de chegada e distâncias restantes para o *waypoint* seguinte; que pode ser bastante útil para a coordenação necessária com o controlo de tráfego aéreo.

Uma especificação de navegação dita os requerimentos de *performance* requeridos a um sistema de RNAV em termos de: precisão, integridade, disponibilidade e continuidade; funcionalidades de navegação necessárias; sensores de navegação necessários; e requerimentos exigidos às tripulações. Para operações oceânicas, remotas, em rota ou terminais, as especificações RNAV são designadas de RNAV X (exemplo: RNAV 1). A expressão “X” (quando utilizada) é referente à precisão de navegação lateral em milhas náuticas, que espera-se que seja atingida 95% do tempo de voo da população de aeronaves a operar dentro do espaço aéreo, rota ou procedimento. No passado, os Estados Unidos da América e Estados membros da ECAC usavam especificações RNAV regionais com designações diferentes. As aplicações P-RNAV e B-RNAV utilizadas nos Estados da ECAC, irão continuar a ser utilizadas apenas por estes Estados e espera-se que no futuro se convertam em RNAV 1 e RNAV 5 respectivamente; por sua vez os Estados Unidos da América já converteram o seu USRNAV tipo A e B em RNAV 1 [ICAO, 2008].

Para os pilotos, uma das maiores vantagens em utilizar sistemas RNAV reside no facto de a navegação ser efectuada por equipamentos precisos e sofisticados, permitindo uma redução da carga de trabalho e aumentando a segurança. Do ponto de vista dos controladores a principal vantagem é a facilidade em atribuir rotas pois estas já não estão sujeitas à localização dos equipamentos no solo.

2.3.2. RNP

O conceito de RNP pode ser definido como uma medida de *performance* de navegação necessária às operações, num determinado espaço aéreo. O sistema RNP é basicamente um sistema RNAV, cujas funcionalidades suportam alerta e monitorização de *performance* a bordo. Os seus requerimentos incluem a capacidade de seguir uma rota desejada de forma segura, repetível e previsível, incluindo rotas curvas. Quando perfis verticais são incluídos para orientação vertical, os requerimentos incluem também a utilização de ângulos verticais ou estrangimentos de altitude, especificados de forma a definir uma rota desejada.

A função de alerta e monitorização de *performance* a bordo é o elemento principal que determina se o sistema de navegação cumpre com o nível de segurança necessário associado a uma aplicação RNP. Está relacionado com a *performance* de navegação lateral e vertical e permite à tripulação a detecção, no caso do sistema de navegação não estar a atingir ou não conseguir garantir com 10^{-5} de integridade, a *performance* de navegação requerida para a operação.

No que diz respeito a especificações, para operações oceânicas, remotas, em rota e terminais, as especificações RNP são designadas de RNP X (exemplo: RNP 4), podendo também, no caso de partilharem o mesmo valor de X, ser distinguidas através de um prefixo, como por exemplo Advanced-RNP e Basic-RNP. Estas especificações são cumpridas graças aos sistemas RNP existentes a bordo, cuja função é a de manter a aeronave dentro de um determinado corredor aéreo. Uma especificação RNP 0.3 assegura que a aeronave irá permanecer a 0,3 milhas náuticas à esquerda ou à direita da linha central do corredor aéreo, 95% do tempo de voo da população de aeronaves a operar nesse espaço aéreo (Figura 3).

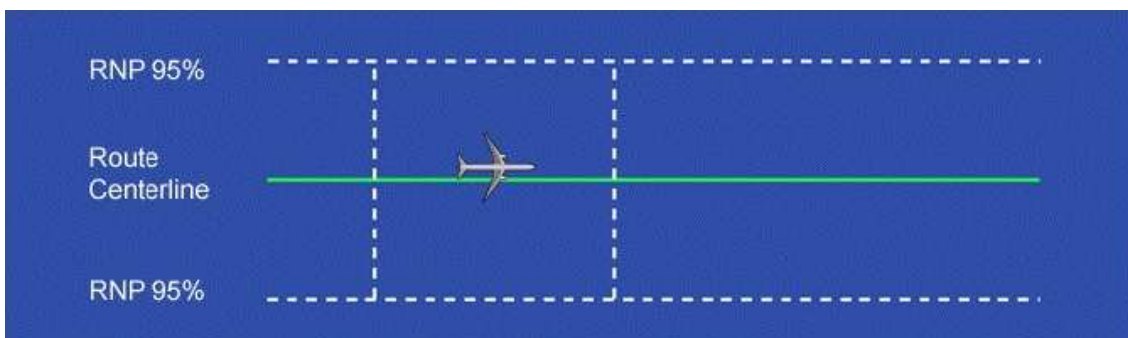


Figura 3 Corredor aéreo assegurado pelo RNP (Boeing, 2003)

A integridade do sistema assegura ao piloto que a aeronave não ultrapassará as 0,6 milhas náuticas à esquerda ou à direita da linha central do corredor aéreo 99.99999% (10^{-5}) do tempo.

Como existem requerimentos de *performance* específicos para cada especificação de navegação, uma aeronave aprovada para uma especificação RNP não está automaticamente aprovada para todas as especificações RNAV. De forma semelhante, uma aeronave aprovada para uma especificação RNAV ou RNP, com um nível de precisão maior (RNP 0.3), não está automaticamente aprovada para uma especificação de menor precisão (RNP 4) [ICAO, 2008].

Os sistemas RNP providenciam melhoramentos na integridade das operações. Isto pode permitir rotas aéreas mais próximas umas das outras fornecendo integridade suficiente de forma a permitir que apenas sistemas RNAV sejam usados para navegação num determinado espaço aéreo. Em espaço aéreo controlado, mínimos de separação e espaçamento de rotas baseados em especificações RNP constituem um grande benefício quando comparados com especificações RNAV, pois a função de alerta e monitorização de *performance* facilita o trabalho dos controladores de tráfego aéreo através do fornecimento de novos meios de mitigação de risco. A utilização de sistema RNP pode assim oferecer uma segurança significativa e grandes benefícios operacionais.

2.3.3. PBN

O conceito de PBN especifica que os requerimentos de *performance* dos sistemas RNAV das aeronaves sejam definidos em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade necessárias às operações propostas no contexto de um conceito particular de espaço aéreo. O conceito PBN representa uma mudança da navegação baseada em sensores para uma navegação baseada em *performance*. Os requerimentos de *performance* são identificados em especificações de navegação, que também identificam a escolha dos sensores de navegação e equipamento, que pode ser utilizado para cumprir com os requerimentos de *performance*. Estas especificações de navegação providenciam guias específicos de implementação para estados e operadores de forma a facilitar uma harmonização global.

O conceito PBN é um dos vários factores contribuintes para o conceito de espaço aéreo, sendo baseado na utilização de um sistema RNAV. Comunicações, vigilância ATS e ATM são também elementos essenciais a este conceito.

Por razões de legado associadas com o anterior conceito de RNP, o PBN encontra-se limitado a operações com requerimentos de *performance* lateral linear. Por esta razão, operações com requerimentos de *performance* lateral angular, ou seja, operações de aproximação e aterragem com orientação vertical com requerimentos de *performance* APV-I e APV-II, bem como operações de aproximação e aterragem de precisão ILS/MLS/GLS, não são consideradas PBN.

De uma perspectiva do PBN, é muito provável que as aplicações de navegação progridam de 2D para 3D/4D, apesar de ser difícil de determinar prazos concretos. Consequentemente a monitorização e alerta de *performance* a bordo está ainda para ser desenvolvida para o plano vertical (RNP vertical). É também possível que os requerimentos de *performance* angular associados com a aproximação e aterragem sejam incluídos nos objectivos do PBN no futuro. Contudo estas características ainda não estão disponíveis [ICAO, 2008] e como tal não serão abordadas neste trabalho.

2.4. Sistema GNSS

Existem duas constelações de sistemas GNSS em operação actualmente: o sistema GPS e o sistema GLONASS. Ambos os sistemas são constituídos por uma constelação de satélites em órbita, apoiados por estações no solo e pelos receptores nas aeronaves. Estes sistemas de constelações, originalmente desenhados para fins militares e fornecendo um nível de *performance* adequado a certas aplicações civis, necessitam de ser complementados ou aumentados através de sistemas adicionais, de forma a produzirem o tipo de *performance* adequado às operações aeronáuticas.

O GPS é um sistema operado pelo Departamento de Defesa norte-americano que providencia dois níveis de serviço conhecidos como *Standard Positioning Service* (SPS) e *Precise Positioning Service* (PPS). O SPS está disponível a todos os utilizadores e fornece posicionamento horizontal com uma precisão de 36 metros ou menos, com uma probabilidade de 95%. O PPS é mais preciso que o SPS, mas só pode ser acedido pelos serviços militares norte americanos e por um número limitado de utilizadores. O sistema GPS consiste em três elementos distintos: o elemento do espaço, o elemento de controlo terrestre, e o elemento do utilizador existente nas aeronaves. O elemento do espaço consiste em 24 satélites NavStar em seis planos orbitais (quatro em cada plano), localizados a aproximadamente 20200 km acima da Terra. O elemento de controlo terrestre consiste numa rede de estações de monitorização e controlo que garantem a

precisão da posição dos satélites e dos seus relógios. E o elemento do utilizador é constituído por uma antena de GPS e por processadores receptores a bordo da aeronave que fornecem posicionamento, velocidade e informação precisa de tempos ao piloto.

A operação do GPS é baseada no conceito de alcances e triangulações a partir de um grupo de satélites. Cada satélite emite um código pseudo-aleatório chamado de *Course Acquisition* (CA), que contém informação de órbita acerca de toda a constelação (*almanac*), detalhes sobre a posição da cada satélite individual (*ephemeris*), o tempo do sistema de GPS e o estado e precisão dos dados transmitidos. O receptor de GPS compara o código CA de cada satélite com uma cópia idêntica do código mantido na sua base de dados. Ao alterar a sua cópia do código do satélite, num processo de comparação e ao comparar esta alteração com o seu relógio interno, o receptor consegue calcular quanto tempo foi necessário para que o sinal viajasse desde o satélite até ao receptor. A distância derivada deste método de cálculo é chamada de pseudo-alcance, pois não é um resultado de uma medição directa de distância, mas sim uma medição baseada no tempo.

O receptor de GPS determina a sua posição através do pseudo-alcance calculado e da informação de posição fornecida pelo satélite. Pelo menos quatro satélites são necessários para produzir uma posição tridimensional e uma solução de tempo. O receptor calcula valores navegacionais, tais como distância e rumo para um *waypoint* ou velocidade sobre o solo, utilizando a latitude e longitude conhecida pela aeronave e referenciando estes à sua base de dados. Como modelo terrestre o GPS utiliza, assim como a ICAO, o sistema WGS84.

O sistema GLONASS é operado pelo Ministério da Defesa da Federação Russa e partilha os mesmos princípios de transmissão de dados e métodos de posicionamento utilizados pelo sistema GPS. É também baseado numa constelação de satélites orbitais e num segmento de controlo terrestre. Os satélites encontram-se posicionados em três planos orbitais, sendo a constelação composta por 24 satélites. O sistema GLONASS foi oficialmente declarado operacional em 1993, apesar de se encontrar a funcionar sem a totalidade da sua constelação; estão a ser feitos esforços para modernizar o sistema e lançar os restantes satélites.

O sistema Galileu será a terceira constelação de satélites aprovado para utilização pela aviação e é uma iniciativa conjunta entre a União Europeia, o EUROCONTROL e a ESA. Baseia-se numa constelação de 30 satélites, suportados por estações no solo e irá

fornecer informação posicional de forma semelhante aos sistemas GPS e GLONASS [CAAP, 2006].

Quando visto de uma forma global, o sistema GNSS é fundamentalmente diferente das formas tradicionais de ajudas à navegação. Tem o potencial de suportar todas as fases de voo através do fornecimento de elementos de navegação numa escala global, possuindo assim a capacidade de eliminar a necessidade de uma variedade de sistemas terrestres e aéreos, desenhados para cumprir com os requerimentos específicos de certas fases de voo.

As primeiras operações a serem certificadas para a utilização do sistema GNSS foram as operações em rota (domésticas e oceânicas), terminais e aproximações de não-precisão, em 1993. Estas certificações, baseadas no sistema de aumento ABAS, foram implementadas com restrições operacionais; contudo, ofereciam benefícios substanciais aos operadores de aeronaves. O sistema GNSS fornece orientação de precisão em áreas remotas e oceânicas onde não é prático, muito dispendioso ou impossível providenciar orientação através de ajudas à navegação tradicionais. Mesmo em áreas onde a cobertura por ajudas tradicionais não é problema, o sistema GNSS suporta operações de navegação por área, permitindo às aeronaves o seguimento de rotas mais eficientes. O GNSS trás esta capacidade ao alcance económico de todos os operadores de aeronaves, permitindo aos Estados desenhar o espaço aéreo em rota e terminal para uma capacidade máxima e um mínimo de atrasos. Este sistema consegue melhorar a utilização de um aeroporto através da implementação de mínimos mais baixos, sem a necessidade de instalar qualquer tipo de ajuda à navegação no aeroporto, pois consegue suportar procedimentos de aproximação com orientação vertical (APV) em todas as pistas, tendo em consideração os *standards* dos aeroportos para características físicas, marcas e iluminação. Em aeronaves devidamente equipadas, a disponibilidade dos dados mais precisos provenientes do sistema GNSS pode ser utilizada para suportar funções como ADS e comunicações *data link* entre pilotos e controladores.

A disponibilidade de orientação por GNSS irá permitir a desactivação de algumas das ajudas à navegação existentes, reduzindo assim os custos a longo prazo que se transformam em poupança para os utilizadores do espaço aéreo. O planeamento para a desactivação de ajudas tradicionais depende da disponibilidade do serviço de GNSS num determinado espaço aéreo e da proporção de aeronaves equipados com estes sistemas.

Apesar da tecnologia de GNSS trazer grandes benefícios, existem também limitações inerentes que devem ser tomadas em consideração. Uma transição para os sistemas GNSS representa um grande desafio para todos os membros da comunidade da aviação, afectando operadores das aeronaves, pilotos, controladores de tráfego aéreo e reguladores. A natureza global do sistema GNSS dita também a necessidade de uma boa coordenação entre os diversos estados [ICAO, 2005].

As interferências com os sinais de GNSS afectam directamente a disponibilidade do sistema. Mesmo os sistemas convencionais não se encontram livres de interferências, e têm volumes limitados de tráfego quando comparados com os sistemas GNSS; por isso, interferências entre os sinais destes sistemas afectam um maior número de aeronaves simultaneamente.

Os principais erros que provocam a redução de precisão do sistema de GNSS são os erros de *ephemeris*, de relógio, do receptor, da ionosfera e de *multipath*. Apesar das órbitas dos satélites serem bastante estáveis e previsíveis, existem algumas perturbações causadas pelos efeitos gravitacionais da Terra e da Lua e pela pressão da radiação solar. Estes são os erros de *ephemeris*. Os erros de tempo devido a incorrecções nos relógios do satélite e do receptor, bem como efeitos de relatividade, são os erros de relógio e podem resultar em discrepâncias posicionais de até 2 metros. Devido ao sinal fraco dos transmissores GNSS, os códigos de ruído pseudo-aleatórios do receptor encontram-se num nível inferior ao ruído ambiente presente no receptor. Isto resulta numa correlação distorcida entre o código do receptor e o código do satélite, e produz uma certa incerteza no relacionamento de um código com o outro. A diferença de posição resultante deste erro do receptor é de cerca de 1 metro. Um dos erros mais significativos nas medições de pseudo-alcance resulta da passagem do sinal do satélite através da ionosfera terrestre, cujas condições variam de acordo com a hora do dia, actividade solar e um vasto leque de outros factores. Atrasos relacionados com a ionosfera podem ser previstos e por isso é aplicada uma correcção média à posição do GPS, apesar de continuar a persistir um erro introduzido por este tipo de fenómeno. Erros na medição do pseudo-alcance resultam da reflexão e refacção do sinal de satélite por objectos e solo perto do receptor. Este fenómeno é conhecido por erro de *multipath*. Devido ao facto de o sistema GNSS ser um sistema de navegação tridimensional, os erros não se encontram todos ao mesmo nível e como tal não podem ser somados algebricamente. O erro total de alcance do sistema é calculado pelo método da raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros individuais.

A integridade do sistema de GNSS é a capacidade que o sistema possui de providenciar avisos atempados ao utilizador quando o equipamento se torna inutilizável em termos navegacionais. O conceito de integridade inclui a falha em avisar e os avisos falsos. No caso das ajudas convencionais, estas incorporam um equipamento de monitorização na estação terrestre que desliga o transmissor e alerta o utilizador através de um aviso de perda de identificação, caso o equipamento detecte uma condição fora da tolerância. A integridade do sistema GNSS relaciona-se com a confiança que pode ser colocada na precisão da informação total fornecida pelo sistema. Isto inclui a capacidade do sistema em notificar o piloto, na eventualidade de um satélite se encontrar a emitir sinais erróneos. Satélites individuais não são monitorizados continuamente, podendo assim passarem várias horas entre a ocorrência de um erro e a sua detecção e correcção. Sem a existência de alguns meios adicionais de monitorização da integridade, um erro de *ephemeris* de um relógio, por exemplo, pode ter um efeito significativo em qualquer sistema de navegação que utilize determinado satélite. Caso o receptor de GPS não possua uma função de monitorização da integridade, apresentará uma solução de navegação baseada em dados errados.

A disponibilidade do sistema GNSS é a capacidade que este tem de fornecer um número de satélites necessários para uma determinação de posição dentro da área de cobertura especificada. Uma técnica utilizada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América para limitar a precisão do sistema GPS a outros utilizadores era a chamada *Selective Availability* (SA). Esta era obtida através da criação de um erro de relógio ou de *ephemeris*; contudo a dependência cada vez maior no sistema de GPS por parte do sector civil fez com que em 2000 esta técnica fosse descontinuada pelo governo daquele país. Muitos dos primeiros receptores de GPS foram feitos para terem em conta este tipo de técnica. Assim, receptores antigos que não conseguem obter benefícios da descontinuidade do *Selective Availability* têm uma capacidade de detecção de erros de 99.7% para aproximações de não-precisão. Por contraste, receptores que conseguem tirar partido da desactivação desta técnica, conseguem fornecer uma capacidade de detecção de erros de 99.998% para este tipo de aproximações.

A continuidade do serviço do sistema GNSS é a capacidade que este sistema de navegação possui de continuar a executar a sua função durante a operação pretendida. A continuidade é fundamental sempre que a dependência num determinado sistema é elevada, como por exemplo durante uma aproximação por instrumentos. Apesar da constelação de GPS ter sido declarada totalmente operacional, existe a possibilidade de

ocorrerem situações onde os requisitos mínimos de operacionalidade não podem ser mantidos devido a avarias que reduzem o número de satélites operacionais e prejudicam a continuidade do sistema.

A vulnerabilidade é a medida qualitativa da susceptibilidade do sistema de navegação a interferências intencionais e não intencionais. Todos os sistemas de navegação têm vulnerabilidades e o efeito das trovoadas no sistema NDB/ADF é um exemplo bem conhecido. O problema da vulnerabilidade do sistema GNSS tem tido um papel destacado no âmbito das propostas de substituição dos múltiplos sistemas de navegação terrestres pelo sistema GPS. Uma variedade de estratégias de mitigação foi utilizada para resolver os riscos associados à vulnerabilidade associada à transição para um sistema dependente das infra-estruturas de navegação GNSS. Estas incluem avanços no desenho de antenas receptoras, sistemas de aumento, receptores integrados de GNSS/INS, retenção de uma rede de ajudas à navegação importantes e gestão cuidada do espectro de frequências de rádio [CAAP, 2006].

Como já foi referido, as constelações de satélites existentes, por si próprias, não são capazes de cumprir com os requerimentos mais restritos da indústria da aviação. Para cumprir os requerimentos operacionais necessários às diferentes fases do voo, estas constelações de satélites necessitam de um sistema de aumento. Surgiram assim os sistemas ABAS, SBAS e GBAS.

2.4.1. ABAS

No princípio dos anos 90 do século passado foram muitos os operadores que adoptaram os sistemas de GNSS, devido à sua disponibilidade e relativo baixo custo dos receptores de GPS. Os operadores utilizavam estes primeiros receptores como ajuda de navegação para voos VFR e IFR.

As constelações de satélites que constituem o sistema GNSS não foram desenvolvidas para satisfazer os requerimentos restritos da navegação em condições IFR. Por esta razão, os aviónicos utilizados em operações IFR, devem ser capazes de aumentar o sinal fornecido pelo sistema GNSS, de forma a garantir a sua integridade. O ABAS aumenta e/ou integra a informação GNSS com a informação disponível a bordo da aeronave de forma melhorar a *performance* das constelações de satélites.

A técnica de ABAS mais comum é chamada de Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM), que requer medições de alcance provenientes de satélites

redundantes para detectar sinais corruptos e alertar os pilotos. O requerimento de sinais redundantes de um satélite diferente, significa que a orientação de navegação com integridade fornecida por RAIM pode não estar disponível a 100% do tempo. A sua disponibilidade depende do tipo de operações, sendo menor para aproximações de não-precisão do que para operações terminais e menor para operações terminais do que para operações em rota. É por esta razão que aprovações GPS/RAIM têm normalmente restrições operacionais. Outras técnicas de ABAS envolvem a integração dos sistemas GNSS com outros sensores a bordo das aeronaves tais como sistemas de navegação por inércia.

Muitos Estados tomaram partido do GPS/RAIM para melhorar os serviços sem incorrerem em gastos associados a novas infra-estruturas. A utilização deste sistema é um primeiro passo na transição para a navegação por GNSS para todas as fases do voo. Em muitos Estados já existem novas aproximações por GPS, designadas por aproximações *GPS stand-alone*, que oferecem benefícios significativos, podendo ser desenhadas para fornecer uma rota de aproximação ao aeroporto mais eficiente, não sendo necessário o recurso a reversões de curso e fornecendo ao piloto a informação precisa de posição, ao longo de todo o procedimento. Em certos Estados os pilotos estão autorizados a executar aproximações de não-precisão existentes para outros sistemas de ajudas à navegação, como por exemplo aproximações NDB, utilizando orientação por GPS. Estas aproximações são designadas por aproximações *GPS overlay* e permitem aos operadores beneficiar de uma melhor precisão, sem que seja necessário desenhar um novo tipo de aproximação. Contudo algumas aproximações não são adequadas a este tipo de aproximação pois os seus procedimentos não podem ser adaptados para o sistema de código RNAV.

Existem algumas restrições operacionais que são consideradas de implementação necessária no caso dos procedimentos de não-precisão baseados em GPS. As razões para a existência destas restrições são: os efeitos de falhas do sinal de GPS em grandes áreas, a disponibilidade das ajudas à navegação tradicionais como sistemas de prevenção, a densidade do tráfego e as regulações para a redundância dos aviônicos.

Alguns países aprovaram o uso de sistemas GPS como o único serviço de navegação em áreas oceânicas e remotas. Neste caso, os aviônicos devem possuir a capacidade de detectar um satélite com falhas (através do RAIM), bem como de excluir esse satélite e de continuar a fornecer a capacidade de navegação. Esta capacidade é denominada de Fault Detection and Exclusion (FDE) e requer a utilização de uma nova

medição proveniente de mais um satélite diferente. Após a aprovação para a navegação por GPS nestas áreas, e, para que seja certificada para este tipo de voo, a aeronave tem de possuir sistemas em duplicado, devendo os operadores executar uma previsão antes do voo de forma a se certificarem de que existirão satélites suficientes em linha de vista que suportem o voo planeado. Este sistema oferece aos operadores uma alternativa de baixo custo aos sistemas de navegação por inércia, normalmente utilizados nestas rotas.

O Anexo 15 da ICAO requer que todos os sistemas de navegação forneçam um serviço de NOTAM. No caso do sistema GNSS, alguns Estados possuem sistemas de aviso NOTAM que informam os pilotos de quando a função de RAIM não se encontrará disponível. Para o GPS, estes NOTAM são emitidos pela guarda costeira norte-americana sobre a denominação de NANU's [ICAO, 2005].

2.4.2. SBAS

O sistema de SBAS aumenta os sinais das constelações de satélites, fornecendo informações de correção, medições de alcance e integridade através de satélites geoestacionários. Este sistema é composto por: uma rede de estações de referência terrestres com a função de monitorizar os sinais dos satélites; por estações *master* que adquirem e processam dados referentes às estações e geram mensagens SBAS; por estações de *uplink* que transmitem as mensagens para os satélites geoestacionários; e por *transponders* nestes satélites que emitem as mensagens SBAS.

Ao providenciar correções diferenciais, sinais extra de alcance a partir dos satélites geoestacionários e informações de integridade para cada satélite de navegação, o sistema SBAS fornece uma maior disponibilidade de que o sistema ABAS. Este sistema possui assim uma grande integridade e *performance*, que lhe permite suportar procedimentos de aproximação com orientação vertical ou Approach Procedures with Vertical guidance (APV). Existem dois níveis de APV: APV I e APV II. Ambos utilizam as mesmas superfícies de obstáculos laterais que os *localizers*; contudo o APV II pode ter mínimos menores devido a uma melhor *performance* vertical. Para uma determinada pista só poderá existir um tipo de aproximação APV, baseada no nível de serviço que o sistema SBAS consegue fornecer a essa pista. Os dois tipos de aproximações APV são idênticos da perspectiva dos aviônicos e dos procedimentos envolvidos.

Em muitos casos, o sistema SBAS consegue fornecer mínimos inferiores que aqueles associados às aproximações de não-precisão, resultando num aumento da utilização do aeroporto. Quase todas as aproximações baseadas em SBAS oferecem a capacidade de orientação vertical, aumentando assim a segurança de forma significativa. Os mínimos das aproximações APV (até uma altitude de decisão (DA/H) de 250 pés) são mais altos que os mínimos das aproximações de Categoria I, mas as aproximações APV não requerem estruturas no solo; assim este aumento na segurança está ao alcance financeiro de um maior número de aeroportos.

Este sistema pode suportar todas as operações RNAV terminais e em rota oferecendo uma capacidade de RNAV mais económica a uma grande variedade de operadores e permitindo aos Estados reorganizarem o espaço aéreo para uma eficiência e capacidade máxima, de modo a ser possível às aeronaves seguirem o caminho mais eficiente entre os aeroportos. Uma boa disponibilidade do serviço vai permitir aos Estados desactivarem as ajudas à navegação tradicionais, resultando numa redução de custos [ICAO, 2005].

As “pegadas” dos satélites geoestacionários definem a cobertura de um determinado sistema de SBAS. Dentro desta área de cobertura, os Estados estabelecem áreas onde as operações suportadas por SBAS são possíveis. Outros Estados, que não os fornecedores dos sinais de SBAS, podem também tirar partido deste sistema caso o seu espaço aéreo se encontre dentro da cobertura. Contudo, cabe ao Estado fornecedor do serviço a responsabilidade pelo sinal de SBAS dentro da área de serviço, incluindo a provisão de informação de NOTAM. Existe uma diferença entre as áreas de cobertura e as áreas de serviço de um sistema SBAS. As áreas de cobertura são definidas pela “pegada” do sinal de satélite e as áreas de serviço são estabelecidas pelo Estado operador do sistema SBAS, dentro da área de cobertura do mesmo.

No caso de apenas estarem aprovadas operações ABAS dentro de um determinada área de cobertura de sinal SBAS, os receptores aviónicos de SBAS conseguem suportar as operações ABAS e até mesmo apresentar melhores requerimentos de disponibilidade de serviço.

Existem três sistemas de SBAS a serem desenvolvidos: o European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), o indiano GPS And Geo Augmented Navigation (GAGAN), e o japonês Multi-functional Satellite-based Augmentation System (MSAS). E um sistema já operacional a partir do ano de 2003, o americano Wide Area Augmentation System (WAAS).

Apesar de as arquitecturas dos diversos tipos de SBAS serem diferentes, todos eles transmitem um formato de mensagem *standard* na mesma frequência (GPS L1) sendo assim interoperáveis do ponto de vista do utilizador, ou seja, é possível executar aproximações usando sinais de sistemas SBAS diferentes com o mesmo tipo de receptor a bordo. É esperado que estas redes de SBAS se expandam para além das suas áreas de serviço iniciais e que exista o desenvolvimento de mais sistemas SBAS.

Neste trabalho estamos particularmente interessados nos sistemas SBAS EGNOS e WAAS, devido à proximidade geográfica das suas áreas de cobertura com o arquipélago dos Açores.

2.4.2.1. WAAS

Em Agosto de 2000, após a finalização com sucesso de um teste de 21 dias, a FAA anunciou que o seu sistema de SBAS se encontrava a funcionar. A partir dessa data os testes efectuados mostraram uma boa precisão e disponibilidade do sinal, levando á certificação do sistema em Julho de 2003. Desde que se encontra a fornecer dados para a navegação aeronáutica, este sistema foi alvo de algumas mudanças na sua constelação de satélites e área de cobertura, tendo os dois satélites geoestacionários iniciais sido substituídos por outros dois novos. Um terceiro satélite deve-se-lhes juntar até ao ano de 2016. A “pegada” dos satélites do sistema WAAS encontra-se demonstrada na Figura 4, que no entanto, não apresenta a área de serviço deste sistema.



Figura 4 Área de cobertura do sistema WAAS (Pawlowicz, 2008)

Este sistema particular de SBAS possui estações terrestres no território continental dos Estados Unidos da América, no Alasca, no Havai e desde 2007 também no México e no Canadá, o que no futuro irá possibilitar o aumento da área de serviço do sistema.

2.4.2.2. EGNOS

O EGNOS é o sistema SBAS Europeu, desenvolvido através de um esforço conjunto entre a Agência Espacial Europeia (ESA), a Comissão Europeia (EC) e o EUROCONTROL, com o objectivo de servir os Estados membros da ECAC. Este sistema encontra-se em operação desde Outubro de 2009, sendo já possível captar o sinal de GPS, corrigido pelo EGNOS, em equipamentos receptores que possuem essas capacidades. Contudo, este sistema de SBAS ainda se encontra em fase de certificação e só deverá ficar totalmente operacional durante o ano de 2010, altura em que poderá ser utilizado para a navegação aeronáutica.

O sistema EGNOS possui de momento três satélites geoestacionários aos quais se juntará mais tarde um quarto, aumentando desta forma a área de cobertura e possibilitando a expansão deste sistema a países vizinhos da região da ECAC. De momento, existem estações terrestres distribuídas por vários países Europeus incluindo uma estação de recepção do sinal GPS (RIMS) na Ilha do Faial. A Figura 5 mostra a área de cobertura dos satélites geoestacionários do sistema EGNOS; no entanto, tal como no sistema WAAS, esta não corresponde à sua área de serviço. Esta área encontra-se actualmente restringida à superfície terrestre da região da ECAC, não abrangendo ainda a Região Autónoma dos Açores.

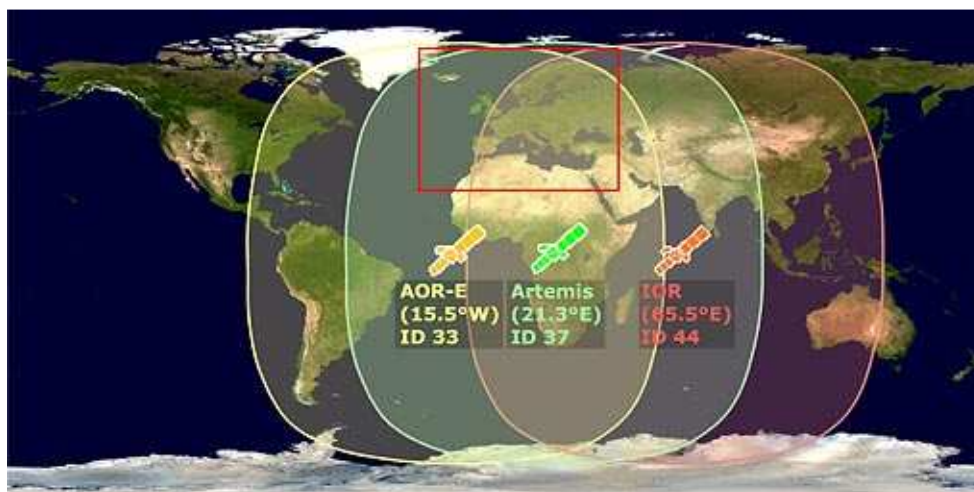


Figura 5 Área de cobertura do sistema EGNOS (Kowoma, 2009)

2.4.3. GBAS

O sistema GBAS foi criado com o objectivo de suportar aproximações de precisão de Categoria I e providenciar serviço de posicionamento em áreas terminais, tendo ainda o potencial de vir a fornecer operações de aproximação de precisão de Categoria II e III e algumas operações de superfície. O serviço de aproximação de precisão fornece orientação nos segmentos da aproximação final e o serviço de posicionamento fornece informação de posição horizontal, de forma a suportar operações RNAV bidimensionais em áreas terminais.

A estação terrestre do sistema GBAS monitoriza os sinais das constelações de satélites num aeroporto e emite mensagens de integridade localmente relevantes, correcções de pseudo-alcance e informação de aproximação através das emissões de dados VHF, para aeronaves dentro do alcance de 37 km na área de aproximação (quando se encontra a suportar operações de Categoria I) e dentro do alcance, dependendo das operações pretendidas (quando fornecendo serviço de posicionamento). O sistema GBAS pode também fornecer correcções para o sinal de medição de alcance do sistema SBAS quando este serviço se encontra disponível [ICAO, 2005].

Uma instalação GBAS consegue providenciar correcções que suportam aproximações a diferentes pistas de um aeroporto; em alguns casos os dados podem também ser utilizados por aeroportos e heliportos nas proximidades do sistema emissor. A infra-estrutura do sistema GBAS inclui equipamentos electrónicos, que podem ser instalados em qualquer edifício adequado do aeroporto e antenas, para emitir dados e receber sinais dos satélites. A localização das antenas é independente da configuração da pista, mas requer uma avaliação cuidada das fontes de interferência locais para prevenir o bloqueio de sinal e efeitos de *multipath*. A escolha do local para a antena emissora de dados VHF deve ser efectuada de forma a garantir que a área coberta por esta seja suficientemente abrangente para todo o tipo de operações pretendidas.

A complexidade e redundância da instalação da estação terrestre de GBAS depende do tipo de serviço providenciado por esta; encontram-se em processo de desenvolvimento sistemas GBAS capazes de suportar operações de aproximação de Categoria II e III. O custo e flexibilidade destes sistemas farão com que no futuro, um número cada vez maior de pistas seja equipada com aproximações de precisão, resultando em benefícios ao nível da segurança e eficiência.

2.5. Novos Sistemas de Aproximação

Em seguida apresentamos uma breve descrição dos novos tipos de aproximações RNAV e RNP, cujas características iremos analisar de forma a determinar o sistema que melhor se adequa à realidade do aeroporto do Pico.

O manual de PBN da ICAO classifica as aproximações RNAV como operações de RNP APCH. Esta especificação de navegação engloba aproximações de não-precisão RNAV (GNSS), operações APV Baro-VNAV e espera-se que num futuro próximo, inclua também as operações APV SBAS. Além desta especificação, existe também uma outra especificação de navegação denominada de RNP AR APCH, que engloba diferentes tipos de aproximação para uso específico em ambientes ricos em obstáculos ou onde existem requerimentos restritos de separação. Estes procedimentos encontram-se publicados nas cartas aeronáuticas como RNAV (RNP) e requerem uma autorização especial para a aeronave, bem como treino especial para a tripulação. Finalmente, existem ainda as aproximações de precisão de Categoria I (no futuro também serão de Categoria II e III), baseadas em sistemas GBAS que de momento não fazem parte de nenhuma das especificações mencionadas anteriormente.

2.5.1. RNP APCH

Como já foi referido anteriormente, fazem parte desta especificação de navegação três tipos de aproximações: de não-precisão RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e APV SBAS.

2.5.1.1. RNAV (GNSS)

As aproximações de não-precisão RNAV (GNSS) são aproximações de não-precisão bidimensionais que fornecem orientação lateral, mas não orientação vertical. Estas operações são conduzidas até uma altitude mínima de descida (MDA/H) a partir da qual os pilotos são forçados a executar os procedimentos de aproximação falhada, caso não obtenham condições visuais com a pista, ao atingirem precisamente o ponto de aproximação falhada (MAPt). Estas altitudes mínimas têm o nome de mínimos LNAV e variam consoante as condições físicas das pistas onde estes tipos de procedimentos são

implementados. Assim, as operações de RNAV (GNSS) são por vezes denominadas de aproximações LNAV.

Estas aproximações têm por objectivo melhorar a operação dos voos IFR, sobretudo em pequenos aeródromos utilizados pela aviação comercial, que carecem de qualquer tipo de serviços de rádio navegação e que desta forma são capazes de fornecer operações de aproximação de não-precisão, sem a necessidade de investirem em equipamentos terrestres. Deste modo, os requisitos necessários para executar aproximações RNAV (GNSS) referem-se apenas aos equipamentos a bordo das aeronaves. Estes receptores de bordo têm de possuir uma grande precisão e consistência, bem como a capacidade de suportar o sistema ABAS de RAIM, de forma a serem aprovados pelas agências reguladoras de cada país: no caso de serem sistemas autónomos de navegação GNSS têm de ser aprovados de acordo com as normas TSO/ETSO-129a Classe A1 ou TSO/ETSO-C146c; caso se trate de sistemas integrados com sensores de GNSS, as normas a cumprir são as TSO/ETSO-C129a Classe B1, C1, B3, C3 ou TSO/ETSO-C145c; e os sistemas multi-sensores com GNSS devem ser aprovados de acordo com o documento EASA AMC 20-5, FAA AC20-130a ou TSO/ETSO-C115b, bem como terem demonstrado o cumprimento da capacidade RNP. A necessidade de cumprir com todos estes requisitos faz com que não seja possível utilizar receptores portáteis de GPS para executar estas aproximações, para além destes não possuírem as funcionalidades de RAIM [INAC CIA 13/2009].

As descidas nas aproximações LNAV podem ser efectuadas de duas formas (Figura 6): descida com nivelamento a certas altitudes ou descida contínua. No primeiro caso, denominado de Step Down Fixes (SDF) a tripulação calcula a velocidade vertical a que é necessário voar de forma a respeitar todas as restrições de altitude presentes no perfil de descida. Esta velocidade vertical permite à aeronave fazer os vários nivelamentos antes de cada constrangimento de altitude do perfil vertical. Esta técnica é exigente pois requer vários ajustes de trajectória e velocidade por parte da tripulação de forma a cumprir com o perfil vertical. Deste modo, a carga de trabalho é muito alta ao executar este tipo de aproximação e, conseqüentemente, são muito frequentes erros no seguimento da ladeira de descida. No segundo caso, denominado de Continuous Descent Flight Approach (CDFA), a tripulação calcula um ângulo de voo que permita à aeronave chegar, numa posição adequada para a aterragem, ao MDA/H respeitando todos os constrangimentos intermédios de altitude. Este tipo de descida é preferível pois apresenta uma carga de trabalho menor para a tripulação, permite a poupança de

combustível, pois a descida é feita com os motores em potência mínima e permite a redução do ruído nas áreas sobrevoadas nas aproximações.

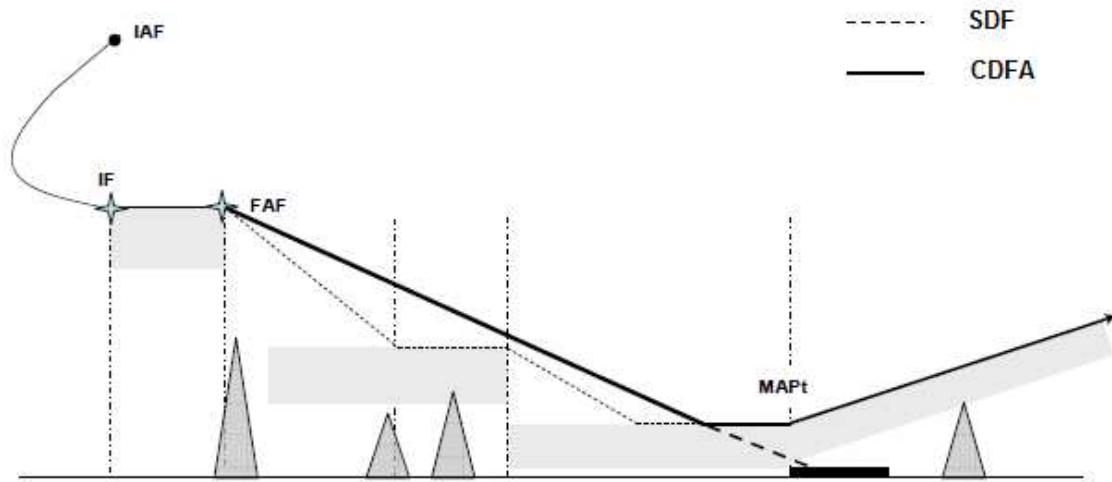


Figura 6 Comparação entre os dois perfis de descida (EUROCONTROL, 2009a)

Este tipo de aproximações de não-precisão é o primeiro passo a dar no caminho para a implementação de todos os outros tipos de aproximação por RNAV e encontra-se já em operação em vários países incluindo Portugal, que publicou já no AIP as cartas de aproximação por RNAV (GNSS) aos aeródromos do Corvo e de Vila Real.

2.5.1.2. APV Baro-VNAV

Dentro da especificação de navegação RNP APCH, inserem-se também as aproximações por APV Baro-VNAV que são aproximações com orientação vertical proveniente de um altímetro barométrico. Estas operações são conduzidas até uma altitude de decisão (DA/H) a partir da qual os pilotos têm de executar os procedimentos de aproximação falhada, caso não obtenham condições visuais com a pista, ao atingirem precisamente o ponto de aproximação falhada (MAPt). Estas aproximações são por vezes designadas por aproximações LNAV/VNAV, sendo esta a forma pela qual os seus mínimos se encontram disponíveis nas cartas de aproximação. Numa aproximação Baro-VNAV, a orientação lateral é baseada em sistemas GNSS (com RAIM), ou seja, é idêntica às aproximações de não-precisão RNAV (GNSS), e a orientação vertical é

baseada em dados barométricos processados pelo computador de bordo. Os segmentos iniciais e intermédios da aproximação para as operações APV Baro-VNAV são idênticos aos de RNAV (GNSS), apenas existindo diferença no segmento de aproximação final.

A navegação vertical (VNAV) através de uma informação de posição vertical fornecida por um altímetro barométrico foi inicialmente implementada para determinar o início da descida para que esta fosse executada de uma forma mais económica. Depois, os sistemas VNAV foram aprovados para serem utilizados como um sistema de aviso, permitindo assim descidas com ângulo constante em aproximações de não-precisão. Era agora possível aos operadores devidamente equipados, executar um procedimento independente de ajudas à navegação no solo, que evitava uma descida com nivelamentos em vários patamares até à altitude mínima de descida nas aproximações de não-precisão.

Finalmente, todo o potencial desta técnica de VNAV foi aproveitado com o desenvolvimento e certificação dos procedimentos de aproximação APV Baro-VNAV. Estas operações regem-se por diferentes normas que aquelas utilizadas quando o Baro-VNAV servia de sistema de aviso para as aproximações de não-precisão, com ângulo de descida constante até uma MDA/H e fornecem mínimos inferiores aos destas aproximações [Calvet, 2006].

Este tipo de aproximações tridimensionais apresentam uma melhor capacidade de cumprir com os requerimentos de segurança quando comparadas com as aproximações de não-precisão, pois a área livre de obstáculos inerente a estas operações e a existência de uma altitude de decisão em vez de uma altitude mínima de descida, aumentam as margens de segurança. Como são baseadas em altímetros barométricos, as aproximações Baro-VNAV não necessitam de qualquer infra-estrutura navegacional, fazendo destes procedimentos uma opção excelente para companhias aéreas que operam em aeroportos cujas características geográficas difíceis tornam impossível a utilização de aproximações de precisão convencionais. Estes aeroportos ficam assim equipados com uma aproximação, que apesar de ter mínimos mais altos que o ILS, consegue fornecer orientação de precisão às aeronaves devidamente equipadas.

Contudo, existem algumas limitações inerentes a estes sistemas de aproximação. Para as operações Baro-VNAV o factor humano encontra-se envolvido na obtenção da informação de navegação em tempo real, visto que é necessária a introdução da pressão local de altímetro no sistema. Assim, erros humanos que ocorram em qualquer lugar da

cadeia de transmissão, desde a medição dos parâmetros meteorológicos até à sua introdução manual pela tripulação no sistema de VNAV, podem criar problemas de segurança. Outro tipo de limitação reside nas condições atmosféricas adversas, particularmente extremos de temperatura, que podem induzir erros na ladeira de descida fornecida pelo Baro-VNAV. Por exemplo, uma ladeira de 3° pode estar mais perto dos 2.5° a temperaturas muito baixas. Do mesmo modo, a temperaturas muito superiores às normais, a ladeira de descida apresenta-se a um ângulo mais inclinado. Para compensar estes efeitos de temperatura, alguns sistemas de aviônicos permitem a introdução da temperatura do aeroporto e aplicam a compensação de temperatura, para que a ladeira de descida não seja afectada por esta. Infelizmente nem todos os sistemas têm esta capacidade de compensação e assim, existem temperaturas limite publicadas nas cartas de aproximação que impedem a utilização deste tipo de aproximação às aeronaves não equipadas, caso se verifiquem estas temperaturas extremas [EUROCONTROL, 2009b].

Em 2001 a ICAO publicou os critérios de desenho de procedimentos para as aproximações APV Baro-VNAV sendo que alguns países já implementaram estes procedimentos operacionais e outros iniciaram estudos baseados nestes critérios. Estas aproximações podem ser executadas por qualquer aeronave que possua o equipamento correcto e certificado.

2.5.1.3. APV SBAS

A especificação de navegação RNP APCH engloba ainda mais um tipo diferente de aproximações denominadas de APV SBAS. Este tipo de aproximações com orientação vertical proveniente de um sistema de SBAS, é conduzida até uma altitude de decisão (DA/H), disponível na caixa dos mínimos LPV, existente nas cartas de aproximação. Assim, estas aproximações são por vezes designadas de aproximações LPV, que significa Localizer Performance with Vertical guidance. A *performance* lateral é equivalente ao sistema *localizer* do ILS e a orientação vertical é fornecida através da utilização de um caminho geométrico no espaço, em vez de uma altitude barométrica. Estas orientações só são conseguidas devido à utilização de sistemas SBAS que, como já foi visto anteriormente, possuem a capacidade de aumentar a precisão dos sinais provenientes dos sistemas de GNSS. Os segmentos iniciais e intermédios da aproximação para as operações APV SBAS são também idênticos aos de RNAV (GNSS), apenas existindo diferença no segmento de aproximação final.

Estas aproximações têm um interesse especial para os utilizadores de aeronaves que não estão equipadas com aviónicos sofisticados, baseados num FMS que lhes permita executar aproximações APV Baro-VNAV, visto que ao utilizarem este tipo de aproximação conseguem descer até altitudes de decisão, normalmente menores que nas aproximações Baro-VNAV, sem grandes custos de equipamento. Os equipamentos necessários à execução de aproximações APV SBAS encontram-se descritos no documento EASA AMC 20-28, podendo ser sensores de GNSS/SBAS acoplados a um computador RNAV (por exemplo FMS) ou a equipamentos de navegação GNSS/SBAS não integrados. Qualquer um destes equipamentos tem a capacidade de disponibilizar aos pilotos os desvios angulares laterais e verticais, que são necessários efectuar durante a trajectória da aproximação, de uma forma semelhante à do sistema ILS [EASA, 2009].

As aproximações APV SBAS são uma grande mais-valia para o sector da aviação, pois conseguem providenciar aproximações até mínimos de 250 pés acima do terreno, sem que seja necessário qualquer tipo de ajudas à navegação no aeroporto. Contudo, como se encontram dependentes de sistemas SBAS, estas aproximações só podem ser executadas em áreas abrangidas pela cobertura deste sistema. Assim, neste momento só é possível executar aproximações APV SBAS no território continental dos Estados Unidos da América, (coberto pelo sistema WAAS), facto que se irá alterar aquando da entrada em operação do sistema EGNOS na região da ECAC, prevista para 2010. Estas aproximações encontram-se em franca expansão e desde 22 de Outubro de 2009 que existem nos Estados Unidos da América 1884 procedimentos LPV publicados, sendo que a FAA planeia adicionar cerca de mais 300 por ano [FAA, 2010].

No futuro, a entrada em serviço de outros sistemas de SBAS, bem como das suas capacidades de interoperabilidade, irão permitir uma maior área de cobertura na qual será possível implementar este tipo de aproximações.

2.5.2.RNP AR APCH

RNP AR APCH é uma especificação de navegação que permite um maior nível de *performance* de navegação, com melhor capacidade de resolver problemas de acessibilidade a aeroportos localizados em ambientes ricos em obstáculos, e facilitando melhorias na gestão de tráfego aéreo. Requer aos operadores o cumprimento de normas adicionais em relação às aeronaves e tripulações, e a obtenção de uma autorização operacional da autoridade reguladora do Estado.

Os procedimentos RNP AR fornecem vantagens operacionais e de segurança sobre os outros procedimentos RNAV ao incorporarem capacidades adicionais de precisão, integridade e funcionalidade, de modo a permitirem operações que utilizam tolerâncias reduzidas de separação de obstáculos, tornando assim possível a implementação de procedimentos de aproximação e partidas, em circunstâncias onde outros tipos de procedimentos seriam operacionalmente impossíveis ou insatisfatórios. Estes procedimentos permitem a exploração de capacidades de navegação vertical e lateral de alta qualidade, providenciando melhoramentos na segurança operacional e reduzindo os riscos de CFIT.

As operações RNP AR APCH estão classificadas como procedimentos de aproximação com orientação vertical de acordo com o Anexo 6 da ICAO. Este tipo de operação requer um sistema de orientação de navegação vertical para o segmento final da aproximação. As implementações actuais de RNP AR APCH utilizam um sistema de navegação vertical barométrico (Baro-VNAV) que obedece a requerimentos de aeronavegabilidade especiais. Outros tipos de orientação vertical podem também ser utilizados em operações RNP AR APCH, contudo os procedimentos existentes actualmente referem-se a sistemas Baro-VNAV [ICAO, 2009a].

Os procedimentos de aproximações convencionais são baseados em assumções ultrapassadas que prevêm um aumento da precisão à medida que nos aproximamos da pista do aeroporto (Figura 7). Este facto pode ser verdade para sistemas como o ILS ou VOR mas não o é para os sistemas de navegação por satélite. Assim, o conceito de protecção angular usado pelos sistemas de navegação convencionais é substituído nas aproximações RNP AR pelo conceito de protecção linear, sendo este um elemento básico destas aproximações.

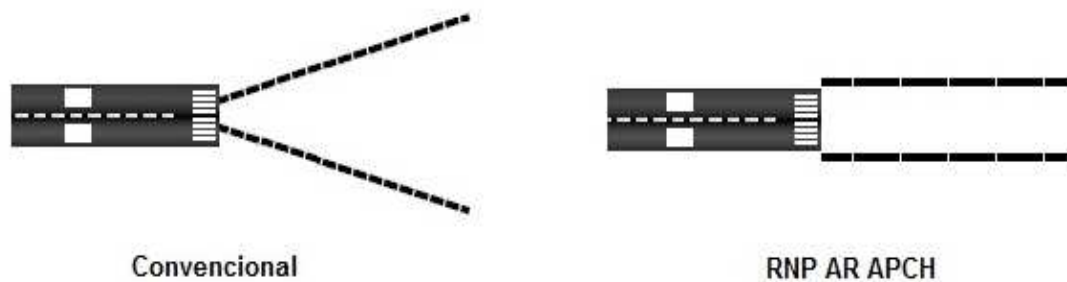


Figura 7 Protecção de obstáculos convencional e RNP AR (Rockwell Collins, 2006)

A distância entre as linhas a tracejado da Figura 7 está directamente relacionada com a *performance* da aeronave que executa o procedimento. Este conceito é conhecido como especificação de navegação ou valor RNP (subcapítulo 2.3.2.) que na fase de aproximação apresenta tipicamente valores entre RNP 0.3 e RNP 0.1. Uma aeronave que cumpra com um valor de RNP 0.1 tem acesso a mínimos menores que outra que apenas cumpra com um valor de RNP 0.3, visto que um valor de RNP 0.1 fornece uma rota com 0,4 milhas náuticas de largura contra as 1,2 milhas de um valor RNP 0.3. Estes procedimentos requerem uma grande precisão, razão pela qual as aproximações RNP AR têm altos *standards* de certificação.

A protecção vertical, conhecida como Required Obstacle Clearance (ROC), é menor quando comparada com os procedimentos convencionais; logo, a certificação de procedimentos RNP AR requer uma precisão de altímetro melhor que aquela necessária para operações normais de voo, uma vez que todas as aeronaves certificadas para operações RNP AR necessitam de ser equipadas com navegação vertical baseada em altímetros barométricos. Uma outra (grande) vantagem da especificação de navegação RNP AR APCH é a capacidade de utilizar rotas curvas em qualquer segmento do procedimento, incluindo a aproximação final e a falhada. São denominadas de Radius-to-Fix (RF) Legs e encontram-se armazenadas na base de dados de navegação, tal como qualquer outra parte do procedimento, sendo utilizadas quando é necessário seguir um caminho específico ao longo do terreno de forma a evitar obstáculos ou a manter separação de tráfego proveniente de um espaço aéreo adjacente.

A grande precisão fornecida por este tipo de aproximação faz com que seja necessário uma maior quantidade de sistemas de redundância. Para obter a certificação necessária, a aeronave tem de ter pelo menos dois sensores de GNSS, dois sistemas FMS, dois sistemas de recolha de dados do ar, dois pilotos automáticos e um sistema de inércia. Deste modo, mesmo que exista a perda do sinal proveniente do sistema GNSS, o procedimento de aproximação falhada pode ser executado através do sistema de inércia [ICAO, 2008].

2.5.2.1. Juneau

Começando em 1994, a Alasca Airlines foi pioneira na utilização de aproximações baseadas no conceito de RNP em Juneau, no Alasca, tendo os actuais procedimentos de instrumentos por RNP aí existentes, sido os primeiros a serem

utilizados operacionalmente em todo o mundo. Juneau é um candidato ideal para os procedimentos de aproximação RNP AR devido ao terreno nas imediações do aeroporto, às constantes condições meteorológicas adversas e à limitada disponibilidade de ajudas à navegação tradicionais. Antes da implementação da tecnologia RNP, os procedimentos de instrumentos existentes forneciam uma utilidade limitada, visto que as aeronaves não eram orientadas directamente para a pista, e os pilotos tinham de obter condições visuais com o terreno a 3,2 milhas náuticas da cabeceira da pista a uma altitude de 2000 pés acima do terreno, de forma a ser possível aterrar. Isto representava um fardo operacional pesado para a Alasca Airlines, pois as condições atmosféricas encontravam-se muitas vezes abaixo destes valores, forçando as tripulações a executar aproximações falhadas e a ter de divergir para outros locais a grande distância.

Os procedimentos RNP AR em Juneau foram os primeiros numa série de procedimentos que esta companhia implementou no Alasca nos anos 90, providenciando assim um aumento no acesso, na operacionalidade e reduzindo o consumo de combustível assim como as emissões de gases com efeito de estufa, quando comparados com os procedimentos tradicionais. Agora é possível fazer aproximações a Juneau com mínimos de 318 pés (para a pista 26) e 687 pés (para a pista 08) antes de ser necessário obter condições visuais com o terreno.

2.5.3. Aproximações Baseadas em GBAS

Como já foi referido no subcapítulo 2.4.3., o GBAS é um sistema de aproximação de precisão que aumenta os sinais provenientes dos sistemas GNSS, de modo a fornecer às aeronaves uma orientação de precisão horizontal e vertical extremas, durante as fases de aproximação e aterragem do voo, permitindo um aumento na segurança e eficiência destas operações.

O sistema GBAS é reconhecido pelo ICAO como sucessor do ILS devido à sua capacidade de suportar operações de Categoria I e eventualmente de Categoria II e III. O GBAS permite também suportar aproximações a várias pistas em simultâneo em aeroportos onde seriam necessários vários sistemas de ILS, reduzindo o custo de aquisição e manutenção dos equipamentos.

Esta tecnologia, quando conjugada com os conceitos de navegação RNP, tem o potencial de fornecer uma grande capacidade, eficiência, segurança e benefícios ambientais para companhias aéreas, aeroportos e serviços de gestão do tráfego aéreo. As

companhias aéreas beneficiam através da poupança de combustível, redução de ruído e emissões poluentes, devido a rotas mais eficientes e flexíveis. Para os aeroportos existe agora a possibilidade de instalar aproximações de precisão onde antes era impossível, devido às condições do terreno circundante ou devido a questões financeiras. Estes sistemas tornam também possível um aumento na utilização dos terrenos do aeroporto, que antes eram necessários para proteger os sinais de ILS de fontes de interferência. E, finalmente, os serviços de gestão de tráfego aéreo beneficiam através de uma redução nos atrasos e congestionamentos de tráfego, resultantes de aproximações mais precisas, eficientes e previsíveis. Os custos de manutenção dos equipamentos vão também ser menores e as frequências dos períodos de inspecção vão poder ser maiores.

Os estudos relativos à implementação dos sistemas GBAS tiveram início na Austrália em meados dos anos 90 através de um esforço coordenado entre a Honeywell e a Airservices Austrália, resultando na obtenção de experiência operacional com este tipo de sistemas. Assim, em Novembro de 2006 e após 1600 aproximações bem sucedidas, efectuadas por aviões da Qantas, devidamente equipados, ao aeroporto internacional de Sidney, a Airservices Australia certificou o primeiro sistema de aproximação por GLS neste aeroporto. Em 2009, este sistema foi substituído pelo Honeywell SmartPath SLS-4000, que é o único sistema GBAS certificado pela FAA existente actualmente.

Hoje em dia, encontram-se a ser testadas instalações de sistemas protótipos de GBAS em Bremen (Alemanha), Málaga (Espanha) e Memphis (EUA). Sendo que todas estas instalações têm por base o sistema SmartPath da Honeywell.

2.6. Conclusão

Os novos tipos de tecnologias de aproximação emergentes têm a potencialidade de disponibilizar procedimentos de precisão e de não-precisão com níveis de segurança iguais ou superiores aos sistemas utilizados actualmente, por apenas uma fracção dos custos destes, uma vez que se trata de procedimentos baseados em satélites. Com excepção do GBAS, que ainda se encontra em fase experimental, estes sistemas de aproximação já se encontram implementados em vários aeroportos um pouco por todo o globo, tendo provado o seu valor ao longo de toda a sua operação. Assim, tendo em consideração a transição gradual existente actualmente na aviação no sentido da navegação baseada em satélite, podemos concluir que o aeroporto do Pico beneficiaria

com a instalação dos novos tipos de aproximação RNAV, em detrimento dos procedimentos convencionais.

3. Aplicação no Pico

3.1. Introdução

O capítulo seguinte apresenta a caracterização geral da Ilha do Pico, bem como do seu aeroporto e respectiva morfologia de terreno circundante. Torna-se assim possível efectuar uma análise que permite estabelecer quais os benefícios inerentes à implementação, neste local, dos novos tipos de aproximações RNAV e RNP, tendo por base de comparação os sistemas de navegação actualmente em uso.

3.2. Caracterização Geral da Ilha do Pico

A Ilha do Pico faz parte do arquipélago dos Açores que se situa em pleno Atlântico Norte a uma distância de aproximadamente 1600 km do continente Europeu (Figura 8). Os Açores são compostos por 9 Ilhas, divididas em três grupos de acordo com a sua proximidade geográfica, fazendo o Pico parte do grupo central onde também se incluem as Ilhas do Faial, São Jorge, Graciosa e Terceira. As restantes Ilhas fazem parte dos grupos Oriental (Santa Maria e São Miguel) e Ocidental (Flores e Corvo). A Ilha do Pico encontra-se ladeada a oeste pelo Faial, a uma distância de apenas 6 km, e a norte por São Jorge a uma distância aproximada de 18 km.

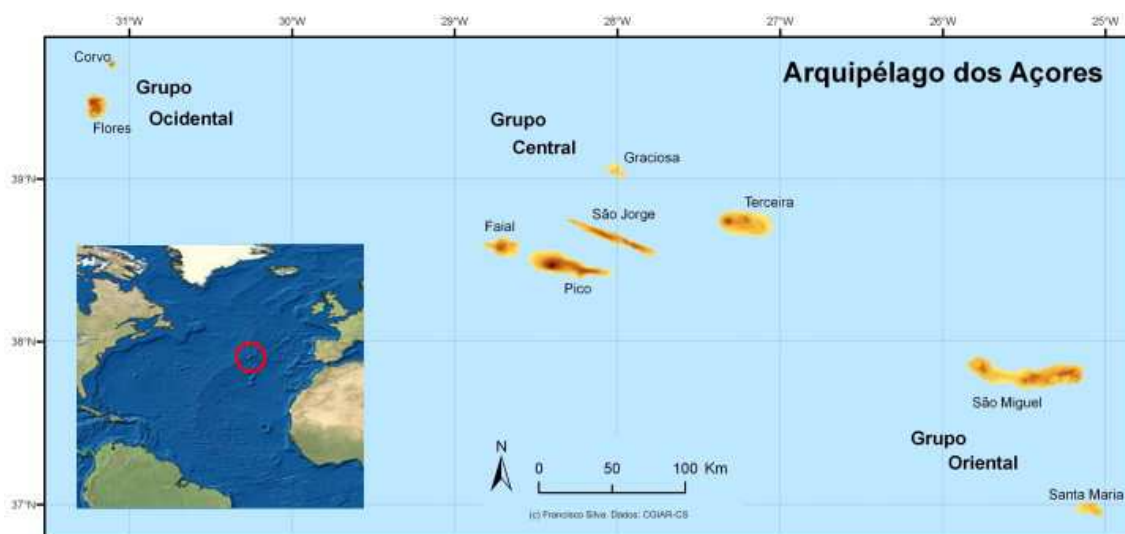


Figura 8 Localização da Ilha do Pico (Silva, 2008)

A Ilha do Pico apresenta um comprimento máximo de 46,35 km sendo a sua largura máxima de 16,05 km. A Ilha possui um perímetro de cerca de 119 km, ocupando uma área planificada de 446,4 km². O relevo da Ilha do Pico é dominado em grande parte pela imponente Montanha que lhe dá o nome. O seu ponto mais alto é Pico Pequeno, localizado no cume a 2351 metros. A restante parte da Ilha (central e oriental), é caracterizada por uma cadeia de montes cujas alturas por vezes ultrapassam os 1000 metros.

A Ilha do Pico divide-se administrativamente em três concelhos; Madalena, São Roque e Lajes, tendo sido neste último que se iniciou o povoamento, por volta do ano de 1482. Actualmente a Ilha possui uma população de cerca de 15 mil habitantes, segundo o Censos de 2001.

Em termos genéricos e à semelhança do resto do arquipélago, o clima da Ilha do Pico é temperado oceânico, caracterizando-se por temperaturas amenas com pequenas amplitudes térmicas anuais, precipitação ao longo de todo o ano, elevada humidade relativa do ar, céu geralmente nublado e ventos fortes frequentes. O nível de precipitação é mais significativo nos meses de Inverno, chegando a perfazer cerca de 75% da precipitação anual. Esta apresenta valores mais elevados para as vertentes norte da Ilha relativamente às encostas viradas a sul. No que diz respeito à temperatura, esta varia ao longo de todo o ano, sendo que os valores mais elevados oscilam entre 22°C e 23°C e os mais baixos entre 13°C e 14°C, com uma temperatura média anual de 17,4°C.

Os ventos predominantes na Ilha são os do quadrante sudoeste, embora nos meses de Outubro a Dezembro sejam mais comuns ventos do quadrante sul e nos meses de Maio e Julho haja uma predominância dos ventos do quadrante noroeste. Os dados disponibilizados pelo Instituto Meteorologia, recolhidos entre 1983 e 1993 no aeroporto do Pico, mostram que as velocidades médias mensais variam entre 11,4 km/h em Julho e 20,9 km/h em Janeiro. Os valores mais elevados de velocidades médias são atingidos com ventos do quadrante sudoeste, com 28,3 km/h em Dezembro e 27,4 km/h em Fevereiro e com ventos do quadrante noroeste em Janeiro, atingindo os 27,3 km/h.

Existem ainda dois fenómenos climáticos de alguma relevância na Ilha do Pico: a queda de neve e a presença de nevoeiros. A queda de neve é mais significativa nos meses de Inverno e ocorre principalmente a partir dos 1500 metros de altitude. Por sua vez, o nevoeiro é mais frequente nos meses de Verão, resultando de um complexo sistema de circulação do ar provocado pelo relevo da Montanha. Para além das zonas

mais elevadas da montanha, é usual a existência de nevoeiros ou cobertura nebulosa na zona oriental da Ilha [Nunes, 1999].

3.3. Aeroporto do Pico

3.3.1 Nota Introdutória

A história do aeroporto do Pico remonta ao ano de 1946, época em que foram efectuados os primeiros estudos relativos à construção de uma pista de aviação nesta Ilha de forma a servir o então distrito da Horta; contudo a proximidade do Pico com a Ilha do Faial e a inexistência de uma infra-estrutura aeroportuária na antiga capital de distrito levaram a que a pista destinada ao Pico fosse construída no Faial em 1971. Desta forma, é apenas por iniciativa do exército português que se dá início, a 5 de Maio de 1976, às obras que acabam por ser concluídas mais tarde pelo Governo Regional do Açores. A pista é finalmente inaugurada no dia 25 de Abril de 1982, apresentando na altura 1200 metros de comprimento.

Com a aquisição por parte da SATA dos novos aviões ATP em 1990, foram feitos melhoramentos em vários aeroportos da região, incluindo o do Pico, de forma a melhorar a operacionalidade deste tipo de aeronave. Assim, depois de concluídos os trabalhos, o aeroporto passou a dispor de uma pista com 1520 metros de comprimento por 30 de largura [Dias, 1999].

Posteriormente, no Outono de 2002, o aeroporto do Pico foi alvo de uma nova intervenção desta feita com o objectivo de permitir a operação de aeronaves de médio curso, possibilitando assim, ligações directas com o continente. Esta ampliação não se ficou apenas pelo aumento da pista para um comprimento máximo utilizável de 1745 metros de comprimento; incluiu também uma nova aerogare, placa de estacionamento, torre de controlo, serviço de socorro e combate a incêndios, armazém de material de placa e armazém de cargas. É então, em Abril de 2005, que o Pico recebe o primeiro voo directo de Lisboa efectuado pela TAP Portugal.

Actualmente o aeroporto possui ligações regulares com Lisboa, Terceira e São Miguel, tendo em 2009 movimentado cerca de 59 mil passageiros. Segundo o Serviço Regional de Estatística do Açores (SREA) o Pico foi, em 2009, um dos poucos aeroportos regionais que apresentou um aumento do número de passageiros em relação ao ano anterior, confirmando assim a tendência de crescimento que se tem mantido

desde o ano de 2003¹. Analisando o Gráfico 1, torna-se fácil perceber que o aeroporto do Pico se encontra em crescimento em relação ao número de movimento de passageiros, sendo o ligeiro decréscimo do tráfego inter-ilhas em relação ao ano de 2008, suportado pelo aumento do número de passageiros nos voos para Lisboa.

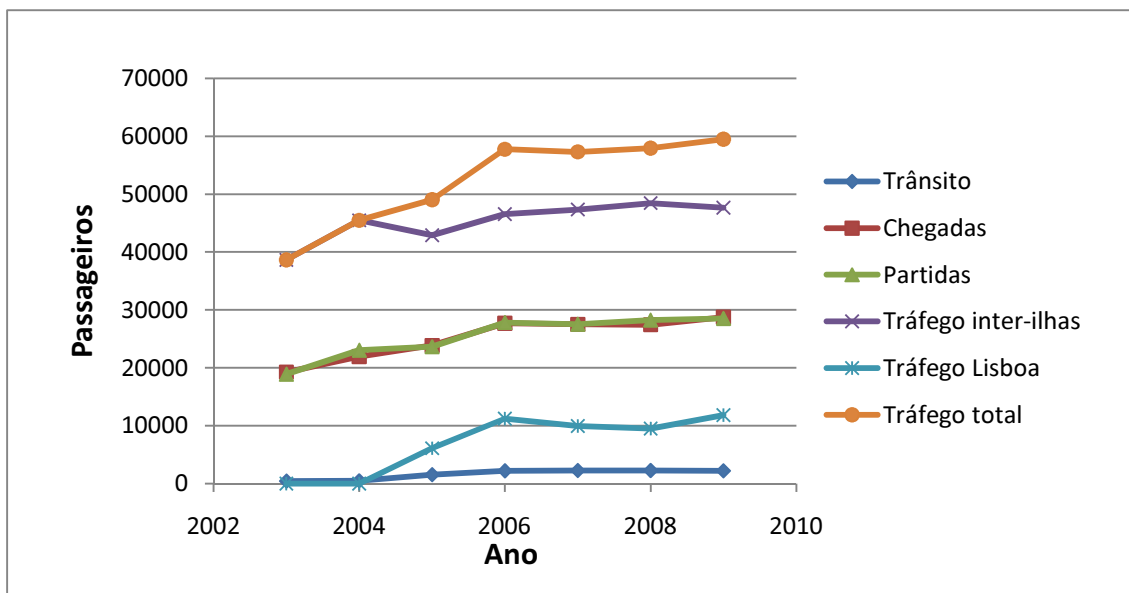


Gráfico 1 Evolução do tráfego no aeroporto do Pico (SREA, 2010)

3.3.2. Localização e Limitações

O aeroporto do Pico fica situado no “Lugar do Cachorro” a aproximadamente 8 km da Vila da Madalena (Figura 9). É gerido pela empresa SATA Gestão de Aeródromos e possui uma pista com orientação 09/27 com 1745 metros de comprimento por 45 metros de largura que se encontra a uma altitude de 34 metros. A pista tem iluminação certificada para voos nocturnos sendo o tráfego VFR e IFR permitidos. Actualmente o único procedimento de aproximação por instrumentos é baseado no *locator* PI, que se encontra no enfiamento da pista 27 a 1,4 milhas da cabeceira. O aeroporto do Pico é não controlado, uma vez que todas as autorizações de aproximação e de torre são fornecidas pela torre da Horta. Esta situação advém da grande proximidade existente entre o aeroporto do Pico e da Horta, que torna impraticável a existência de dois serviços de controlo de tráfego. Assim, torre de controlo do Pico funciona apenas como serviço de AFIS.

¹ Ano a partir do qual os dados se encontram disponíveis no site do SREA

O aeroporto do Pico foi construído num local onde a morfologia do terreno circundante apenas permite a existência de uma pista com orientação aproximada de Este/Oeste, fazendo com que esta seja penalizada com ventos do quadrante Sul. Como já foi referido anteriormente, esses são precisamente os ventos predominantes, o que nos leva a concluir que na escolha do local inicial, não se teve em consideração estes factores. Assim, a maior restrição ao tráfico IFR do Pico e de toda a região do triângulo (Pico, Faial e São Jorge), é sem dúvida a montanha do Pico com os seus 2351 metros de altura.



Figura 9 Localização do aeroporto do Pico (JOG, 1974)

Este ambiente geográfico, acrescido da construção do aeroporto na costa norte da Ilha, sujeitam as aeronaves a frequentes fenómenos de turbulência e *windshear*, provocados pela influência do terreno no escoamento de ar. Estes fenómenos meteorológicos causados pela morfologia do terreno envolvente são comuns a muitas Ilhas do arquipélago dos Açores, uma vez que se tratam de Ilhas com relevos bastantes acidentados. Como exemplos extremos temos os dos aeroportos das Ilhas de São Jorge e Flores, onde as elevações próximas das respectivas pistas implicam restrições operacionais, quando o vento sopra de cima da Ilha. No caso do Pico, o terreno não é muito acidentado nas imediações da pista, mas em compensação a altura da montanha é

maior, assim como o impacto nas operações do aeroporto provocado pelos efeitos desta no escoamento [Medeiros, 2009].

Além das limitações impostas pela orografia do terreno circundante e pelas condições meteorológicas predominantes, o aeroporto do Pico carece também de um sistema de aproximação por instrumentos de precisão. Esta lacuna encontra-se neste momento em fase de resolução, uma vez que já se encontra adjudicada a instalação de um sistema ILS. Este sistema, quando se encontrar operacional, tornará obsoleta a actual aproximação de não-precisão, baseada no NDB *locator* PI, que actualmente permite aproximações até uma MDA de 1000 pés, para aeronaves de classe A e B, e 1020 pés para aeronaves de classe C. Também do ponto de vista da navegação aérea na região do “triângulo”, existe a necessidade de implementar novos sistemas, que forneçam um maior nível de precisão, uma vez que o VOR/DME existente na ilha do Faial, no qual são baseados todos os procedimentos por instrumentos naquela região, se encontra impossibilitado de exercer a função de VOR para níveis de voo abaixo dos 5000 pés, causando assim uma lacuna em termos de precisão de navegação.

As novas tecnologias de aproximação emergentes apresentam a capacidade de mitigar estas limitações associadas ao aeroporto do Pico. São as chamadas aproximações RNAV que englobam as especificações de navegação RNP APCH, RNP AR APCH e as aproximações baseadas em GBAS. Assim, existe um grande interesse em estudar os novos tipos de aproximações RNAV, mais concretamente a sua possível aplicação específica ao aeroporto do Pico.

3.3.3. Aproximações RNAV no Pico

Como foi visto no Capítulo 2 existem três tipos e aproximações que constituem a especificação de navegação RNP APCH: as de não-precisão RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e APV SBAS.

As aproximações de não-precisão RNAV (GNSS) são os únicos tipos de aproximações RNAV que se encontram implementados em Portugal, desde o dia 19 de Novembro de 2009. Neste momento estão em vigor as aproximações aos aeródromos de Vila Real e da Ilha do Corvo, que equipam infra-estruturas onde dantes não existiam qualquer tipo de aproximações por instrumentos; com este novo tipo de procedimento, torna-se possível às aeronaves, devidamente equipadas, a execução de aproximações em condições de voo IFR sem recurso a ajudas de navegação convencionais. Em Portugal,

o documento que divulga os requisitos necessários para a implementação e utilização de procedimentos de aproximação por instrumentos de não-precisão baseados em RNAV (GNSS) é a CIA nº13/2009, que entrou em vigor a 21 de Agosto.

No caso do Pico, a implementação deste tipo de aproximação de não-precisão não trará necessariamente grandes vantagens uma vez que já existe uma aproximação NPA ao aeroporto; contudo existe algum interesse em comparar os dois tipos de aproximações de não-precisão em termos de facilidade de execução dos procedimentos, altitudes mínimas de decisão e custos associados. Estes dois tipos de aproximações NPA podem também coexistir sem causar interferências. Apesar de esta situação não ser muito usual nos aeroportos, nada impede portanto a sua ocorrência no Pico.

As aproximações por APV Baro-VNAV, assim como todos os restantes tipos de aproximações RNAV, ainda não se encontram de momento implementados em Portugal; contudo em 2007 a ICAO aprovou a resolução A36-23, que compromete os países membros a desenvolver um plano nacional de implementação de PBN no final de 2009, que incluía a elaboração de procedimentos APV para todas as pistas do país, como único tipo de aproximação ou como apoio às aproximações de precisão existentes, em fins de 2016 [ICAO, 2007].

O aeroporto do Pico é um bom candidato à implementação deste tipo de aproximações APV, uma vez que a grande maioria das aeronaves que constituem o seu tráfego regular encontra-se devidamente equipada (altímetro barométrico) para as poder executar. Outra vantagem diz respeito à localização geográfica da Ilha do Pico e ao seu clima que não regista grandes extremos de temperatura, minimizando assim os erros associados a estes fenómenos nas aproximações APV Baro-VNAV. Este tipo de aproximação parece-nos que seria bastante vantajoso para o Pico, permitindo uma aproximação de precisão com todas as vantagens inerentes e sem a necessidade de grandes investimentos no terreno.

Como foi visto no segundo Capítulo as aproximações APV SBAS permitem efectuar aproximações de precisão a altitudes de decisão menores que as aproximações Baro-VNAV, com maiores margens de segurança de obstáculos e com menores requisitos em termos de equipamentos a bordo das aeronaves. Este tipo de procedimentos torna as aproximações de CAT I disponíveis a qualquer utilizador que possua um receptor de GNSS/SBAS devidamente certificado. Contudo, a dependência destas aproximações dos sistemas SBAS, fazem com que estes procedimentos possam apenas ser executados em áreas abrangidas pela cobertura deste sistema.

O sistema SBAS que apresenta as melhores condições de providenciar este tipo de serviço ao aeroporto do Pico é o sistema EGNOS; no entanto, devido ao facto dos Açores se situarem numa zona periférica do volume de serviço deste sistema, a sua *performance* na região é bastante má, não cumprindo portanto com os requisitos necessários às operações APV-I. Também devido às dificuldades técnicas impostas pela falta de locais adequados à instalação de estações RIMS, complementares à estação já existente na Ilha do Faial, não é esperado que as capacidades do EGNOS consigam suportar aproximações de nível APV-I nos Açores num futuro próximo. As limitações do sistema EGNOS nos Açores podem ser visualizadas na Figura 10 referente à disponibilidade de APV-I fornecida pelo sistema durante um dia típico, ou seja, sem actividades de manutenção.

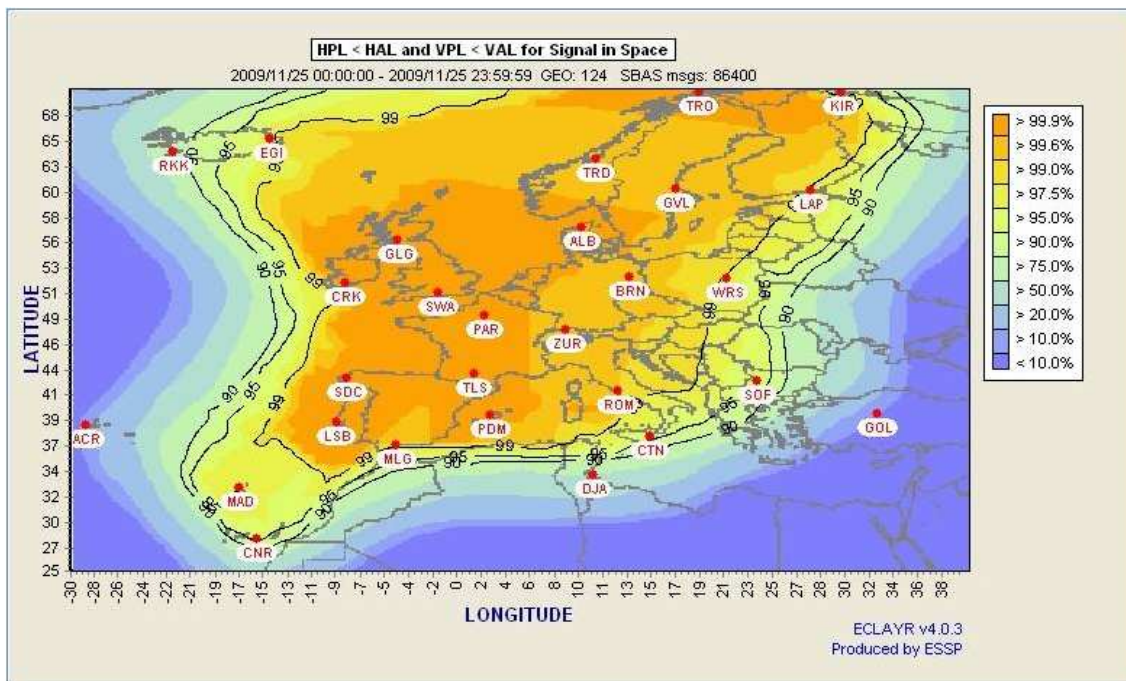


Figura 10 Disponibilidade APV-I do sistema EGNOS (EGNOS, 2009)

De momento é então impossível implementar aproximações LPV a qualquer aeroporto dos Açores existindo planos apenas para a implementação de uma estação RIMS em Las Palmas, que aumentará a *performance* do sistema sobre os arquipélagos da Madeira e Canárias, não afectando portanto a área dos Açores. No entanto existe uma hipótese (remota) de utilização dos sistemas SBAS nos Açores, que funciona se se tirar partido da interoperabilidade dos sistemas SBAS americano e europeu. Esta alternativa encontra-se ainda a dar os primeiros passos e consiste em aproveitar as “pegadas” dos

satélites geostacionários de cada sistema SBAS de forma a providenciar um nível mínimo de serviço às regiões situadas entre as áreas abrangidas pelos sistemas SBAS. Desta forma toda a aérea do Oceano Atlântico, incluindo os Açores, beneficiaria da interoperabilidade entre os sistemas EGNOS e WAAS, através da implementação de algumas estações de referência adicionais.

Estudos efectuados através das plataformas de teste dos sistemas WAAS e EGNOS mostram que a interoperabilidade de sistemas permitiria fornecer níveis de serviço NPA nesta zona que nunca poderiam ser obtidos com apenas um sistema SBAS. Assim, mesmo que não sejam possíveis as aproximações LPV, toda esta região poderá também usufruir das vantagens navegacionais inerentes aos sistemas SBAS [Ventura-Traveset, 2000].

Após a análise das especificações RNP APCH iremos agora considerar a especificação RNP AR APCH. O aeroporto do Pico com as suas características morfológicas envolventes é um excelente candidato à implementação deste tipo de aproximação RNP que foi especialmente desenvolvida para estes tipos de terreno. Ainda que o Pico não seja um caso extremo de aplicação como são, por exemplo, os aeroportos de Juneau no Alasca, de Linzhi na China ou Innsbruck na Áustria, as vantagens inerentes à aplicação desta aproximação não podem ser ignoradas (Capítulo 2).

Este tipo de aproximações permite não só o desenho de novos procedimentos de aproximação ao aeroporto do Pico como também possibilita o estruturamento das rotas aéreas em toda a zona do “triângulo”, de forma a otimizar o espaço aéreo; para além de que, apesar da morfologia especial do terreno, actualmente esta zona apenas dispõe de uma estação VOR/DME no Faial e de um NDB no Pico em que as aeronaves baseiam toda a sua navegação por instrumentos.

Uma aproximação com valores de RNP 0.1 no Pico permitiria às aeronaves executarem aproximações de precisão com um elevado nível de segurança, mesmo em condições meteorológicas adversas, bem como reduzir a quantidade de emissões através da optimização das rotas de aproximação. Contudo, para que tal seja possível, é necessário que se introduza legislação que regule a execução destes procedimentos por parte dos operadores que assim seriam obrigados a cumprir com requisitos adicionais, em relação às aeronaves e às tripulações, de forma a serem autorizados a voar estas aproximações. Assim como os pilotos, também os controladores de tráfego aéreo

necessitam de ter formação especial neste tipo de aproximações. Em Portugal, esta legislação não existe de momento, embora já hajam planos para a sua elaboração.

Os procedimentos RNP AR APCH já se encontram implementados um pouco por todo o globo, desde a Austrália aos Estados Unidos da América, fazendo desta especificação de navegação um conceito com provas dadas e cuja hipótese de implementação no aeroporto do Pico merece ser estudada.

Finalmente, temos as aproximações baseadas em GBAS que de momento se encontram em fase experimental com equipamentos certificados pela FAA. Este tipo de sistema de aproximação não apresenta o problema de falta de cobertura no Açores, uma vez que o aumento dos sinais provenientes do sistema GNSS pode ser efectuado por uma estação localizada nas imediações do aeroporto. Esta estação, cuja instalação e manutenção fazem das aproximações GLS as mais caras de entre as aproximações RNAV, possui a capacidade de fornecer aproximações de categoria I e eventualmente de categoria II e III. No caso do Pico não existe a necessidade de uma aproximação superior à categoria I, o que significa uma redução nos custos da estação associada.

Estudos realizados na Alemanha demonstraram a capacidade deste sistema de fornecer dados de aproximação, não só ao aeroporto no qual a estação de GBAS se encontra instalada, como também a aeroportos vizinhos dentro de um determinado raio distância. A experiência foi realizada nos aeroportos de Frankfurt e Egelsbach, que se encontram separados por cerca de 20 km, o que significa que uma estação GBAS instalada no aeroporto do Pico poderá ter a capacidade de suportar aproximações de categoria I ao aeroporto da Horta e vice-versa, uma vez que estes estão separados por cerca de 25 km [Bestmann, 2006]. Caso se verifique esta possibilidade, e não existindo qualquer interferência provocada pelo terreno no sinal fornecido pela estação de GBAS, é seguro dizer que este seria um dos tipos de aproximação RNAV que mais beneficiaria a região do triângulo em apreço.

3.4. Conclusão

O aeroporto do Pico encontra-se situado numa zona rica em obstáculos; contudo o único procedimento por instrumentos disponível é uma aproximação *Locator* com mínimos elevados. Esta situação, além de não ser a ideal em termos de operacionalidade, é também constrangedora aquando da ocorrência de condições meteorológicas adversas que obrigam ao cancelamento de voos. Assim, ao analisarmos

as condições existentes para a aplicação das novas tecnologias RNAV, podemos constatar que das especificações RNP APCH, são os procedimentos por Baro-VNAV que mais vantagens trazem ao aeroporto do Pico, uma vez que conseguem um nível de segurança maior com mínimos menores que os procedimentos de não-precisão RNAV (GNSS); apresentando ao mesmo tempo todas as condições para serem implementados ao contrário dos procedimentos APV SBAS. No que se refere à especificação RNP AR APCH vimos que a sua implementação no Pico traria grandes vantagens não só ao sector da aproximação, mas também a toda a navegação naquela área. Finalmente constatámos que após o seu completo desenvolvimento e certificação, as aproximações por GLS possuem o grande potencial de fornecer o tipo de aproximações de precisão necessárias àquela zona do Açores.

4. Desenho dos Procedimentos

4.1. Introdução

Neste quarto capítulo são apresentados os processos de construção e respectivas cartas de aproximação referentes aos novos tipo de procedimentos RNAV e RNP passíveis de serem implementados no aeroporto do Pico. O desenho destas cartas de aproximação, mesmo que desprovidas de qualquer valor oficial, permitirá aprofundar o estudo das condições existentes no Pico para a implementação futura destes tipos de sistemas de aproximação.

4.2. Construção dos Procedimentos

Após a análise dos vários procedimentos RNAV e RNP existentes, torna-se possível seleccionar os mais adequados à implementação no aeroporto do Pico. Assim procedeu-se à construção de procedimentos NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e RNP AR APCH. Optando-se por não elaborar procedimentos APV SBAS devido às limitações deste nos Açores.

As aproximações por instrumentos são definidas por determinadas manobras que permitem a uma aeronave voar por instrumentos numa progressão racional, com margens verticais específicas, ao longo da aproximação ao aeroporto. Estas aproximações são normalmente compostas por cinco segmentos diferentes. Estes são a chegada, aproximação inicial, aproximação intermédia, aproximação final e aproximação falhada. Além destes, considera-se também uma área destinada ao *circling*. Estes segmentos de aproximação começam e terminam em pontos específicos designados de “fixes”, cuja nomenclatura reflecte o tipo de segmento ao qual precedem. Assim, temos o Initial Approach Fix (IAF), o Intermediate Fix (IF), o Final Approach Fix (FAF) e o Missed Approach Point (MAPt).

O segmento da chegada, que consiste na transição do voo em rota para a aproximação por instrumentos, termina normalmente no IAF. Este segmento encontra-se representado nas cartas STAR's, onde a ligação entre o caminho em rota e a aproximação é estabelecida por um ponto como o IAF. De seguida temos o segmento inicial de aproximação que se inicia no IAF e termina normalmente no IF. O objectivo

deste segmento é o de fornecer um método de alinhamento da aeronave com o segmento intermédio da aproximação (IF-FAF) no qual a configuração da aeronave, velocidade e ajuste de posição são efectuados de forma a esta entrar correctamente no segmento final de aproximação. No segmento final de aproximação são executados os alinhamentos e a descida para aterragem sendo que a parte de instrumentos deste segmento começa no FAF e termina no MAPt. Finalmente temos o segmento de aproximação falhada cujo ponto inicial e final depende do tipo de aproximação a ser executada. No caso de uma aproximação de precisão, este procedimento tem início na DA/H, mas para uma aproximação de não-precisão este inicia-se no MAPt. O ponto final deste segmento é diferente para cada aproximação; contudo, tem de se encontrar a uma altitude que permita o início de uma nova aproximação, o regresso ao procedimento de espera inicial ou o resumo do voo em rota. Na Figura 11 encontram-se representados os vários segmentos e pontos de uma típica aproximação por instrumentos.

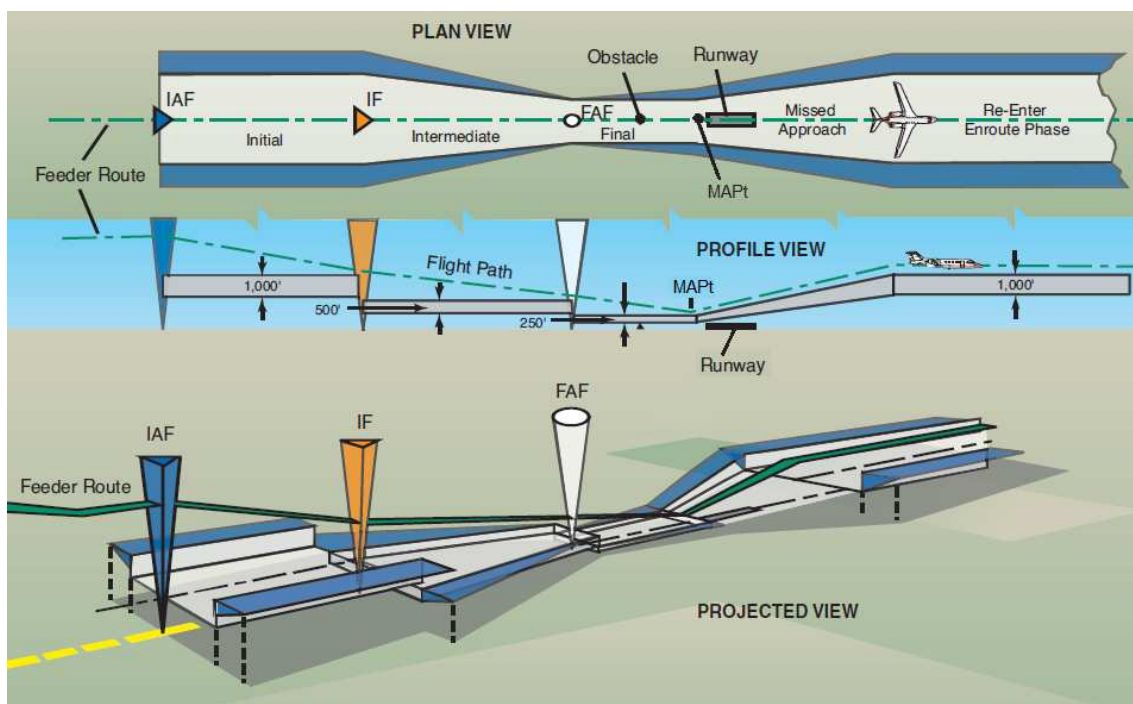


Figura 11 Segmentos de uma aproximação por instrumentos (FAA, 2004)

Para que seja possível construir procedimentos de aproximação por instrumentos, torna-se necessário reconhecer as diferenças de *performance* existentes entre os diversos tipos de aeronaves que as irão executar. O factor de *performance* mais significativo é a velocidade, e como tal foram estabelecidas cinco categorias de aeronaves típicas que fornecem uma base estandardizada para relacionar as capacidades de manobra das

aeronaves com procedimentos de aproximação por instrumentos específicos. A velocidade utilizada nesta classificação das aeronaves por categorias é a velocidade indicada na cabeceira (V_{at}) que é igual à velocidade de perda (V_{so}) multiplicada por 1.3 ou igual à velocidade de perda em configuração para aterragem (V_{slg}) multiplicada por 1.23. Assim, as categorias são:

Categoria A < 169 km/h (91 kt) *Indicated AirSpeed* (IAS)

169 km/h (91 kt) ≤ Categoria B < 224 km/h (121 kt) IAS

224 km/h (121 kt) ≤ Categoria C < 261 km/h (141 kt) IAS

261 km/h (141 kt) ≤ Categoria D < 307 km/h (166 kt) IAS

307 km/h (166 kt) ≤ Categoria E < 391 km/h (211 kt) IAS

Como a única pista existente no aeroporto do Pico apenas suporta aeronaves até à categoria C, as categorias D e E não serão consideradas neste trabalho.

4.2.1. Áreas de Protecção

Cada segmento de aproximação possui uma área de protecção em ambos os lados da rota definida pelo segmento. Na Figura 12 encontra-se representada uma área de protecção típica.

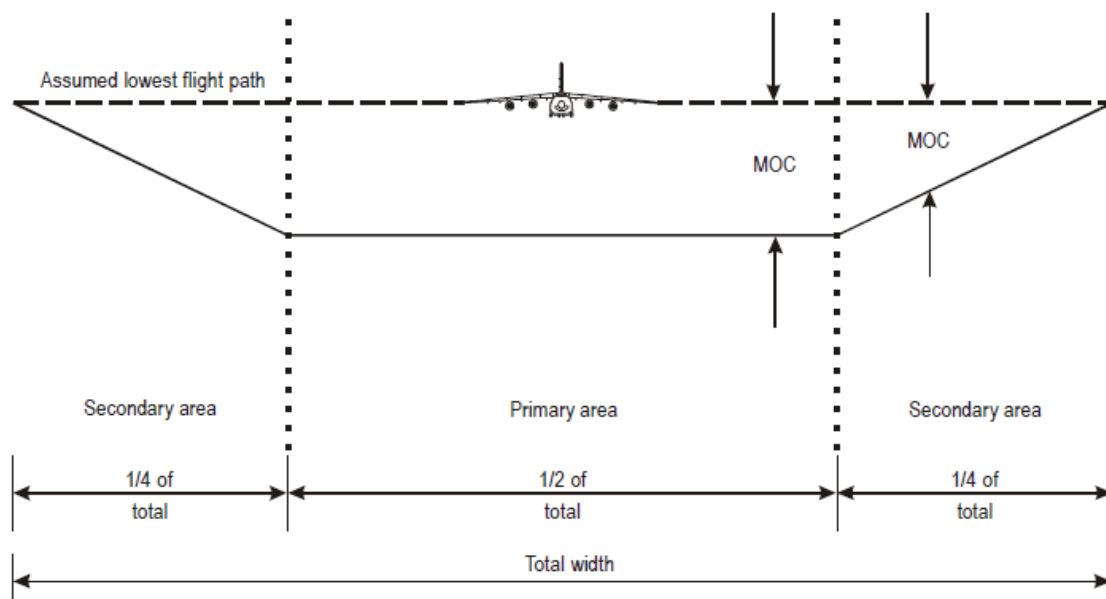


Figura 12 Área de protecção (ICAO, 2006)

Estas áreas encontram-se normalmente divididas entre áreas primárias e secundárias, sendo que as áreas secundárias constituem a metade exterior de cada área de protecção perfazendo normalmente 25% da largura total. A protecção de obstáculos é garantida ao longo de toda a área primária enquanto que na área secundária esta reduz-se linearmente desde o limite interior até o limite exterior.

Para as aplicações RNAV e RNP com a excepção das RNP AR, a largura destas áreas de protecção de obstáculos são definidas em termos de metade da área através da seguinte fórmula:

$$\frac{1}{2}A/W = 1.5 * XTT + BV \quad (1)$$

Onde A/W é a largura da área, XTT a *cross-track tolerance* e BV é o *Buffer Value* que tem o valor de 1 milha náutica para os segmentos de chegada e aproximação falhada, 2 milhas náuticas para o segmento em rota e 0,5 milhas náuticas para o segmento da aproximação final. Este valor BV é adicionado para corrigir o possível erro existente no cálculo do XTT .

Quando a largura da área de protecção do segmento seguinte é menor do que a do segmento precedente, a ligação é feita através de uma linha a 30° com a rota definida pelo segmento. Na Figura 13 encontra-se representada a vista de cima de uma área típica de protecção.

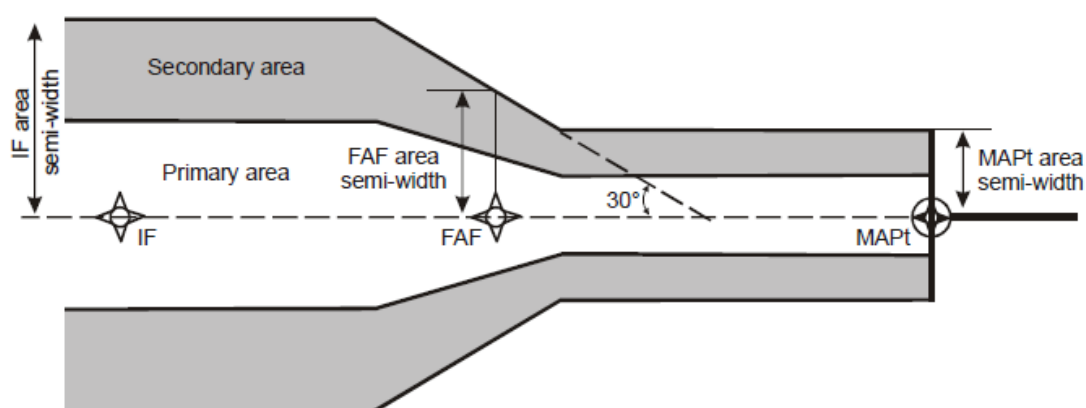


Figura 13 Área de protecção de obstáculos vista de cima (ICAO, 2006)

Os diferentes tipos de aproximações RNAV têm muitos processos de construção comuns; contudo, existem também situações de grandes discrepâncias. Assim, torna-se necessário estudar de forma separada os três tipos de aproximações consideradas.

4.2.2. Procedimentos de não-Precisão RNAV (GNSS)

Os procedimentos de não-precisão RNAV são executados com recurso a receptores básicos de GNSS, que fornecem ao piloto orientação lateral durante a aproximação. Estes têm de garantir que o erro total do sistema lateral (TSE) e o erro ao longo da rota não exceda 1 milha náutica, 95% do tempo total de voo durante os segmentos iniciais, intermédios e de aproximação falhada, e 0,3 milhas náuticas na aproximação final.

Os segmentos de chegada que servem estas aproximações de não-precisão são obrigados a fornecer uma protecção de obstáculos na sua área primária de 300 metros (ou 984 pés). Na área secundária o valor é o mesmo para o limite interior, decrescendo linearmente até zero no limite exterior. Para o segmento inicial de aproximação o comprimento ideal é de 5 milhas náuticas; contudo, se este for precedido de um segmento de chegada, o comprimento passa para 6 milhas náuticas, de forma a facilitar a transição. No que diz respeito à largura da área de protecção para este segmento, esta necessita de ter 2,5 milhas náuticas para cada lado da rota nas áreas primária e secundária. A protecção de obstáculos é idêntica à do segmento de chegada.

Para este tipo de procedimentos o segmento intermédio de aproximação deve estar, sempre que possível, alinhado com o segmento final de aproximação, sendo que o seu comprimento não deve ultrapassar as 15 milhas náuticas ou ficar aquém das 5 milhas náuticas. A área de protecção de obstáculos deverá apresentar, na sua área primária, uma altitude mínima de protecção de 150 metros (ou 492 pés). Esta área, que inclui também a área secundária, tem uma largura máxima de 10 milhas náuticas no IF que se mantém constante até 2 milhas náuticas do FAF, precisamente onde a área começa a diminuir linearmente até ao FAF. Neste ponto, a largura da protecção de obstáculos está dependente das características de cada aproximação.

O segmento final de aproximação tem de estar alinhado com o centro da pista devendo apresentar, sempre que possível, um comprimento de 5 milhas náuticas. Este comprimento nunca deverá exceder as 10 milhas náuticas, nem ser inferior a 3 milhas náuticas. O gradiente de descida óptimo para este tipo de aproximações é de 5.2%. A

largura da área de protecção de obstáculos que começa no FAF e se estende até ao MAPt, tem de ser calculada para cada aproximação específica, sendo derivada da largura da área publicada no MAPt. Neste segmento a atitude de segurança é definida pela Altitude/Altura de Transposição de Obstáculos ou Obstacle Clearance Altitude/Height (OCA/H), que é baseada na transposição de obstáculos por uma altitude denominada de Minimum Obstacle Clearance (MOC). Para as aproximações de não-precisão a OCA/H refere-se à altitude ou altura mínima abaixo da qual a aeronave não pode descer sem infringir os critérios de protecção de obstáculos. Assim, para aproximações NPA, a MOC, na área primária, será de 75 metros (ou 246 pés).

Após o segmento final de aproximação existe o segmento de aproximação falhada que é constituído por três fases: a fase inicial, que tem início no MAPt e fim no começo da subida (SOC); a fase intermédia, que se inicia no começo da subida (SOC) e vai até ao ponto onde possa ser obtida e mantida uma protecção de obstáculos de 50 metros (ou 167 pés), e a fase final, que se estende até ao ponto onde uma nova aproximação, espera ou retorno para o voo em rota possa ser iniciado. A Figura 14 permite a visualização das fases da aproximação falhada bem como das suas altitudes mínimas de protecção de obstáculos.

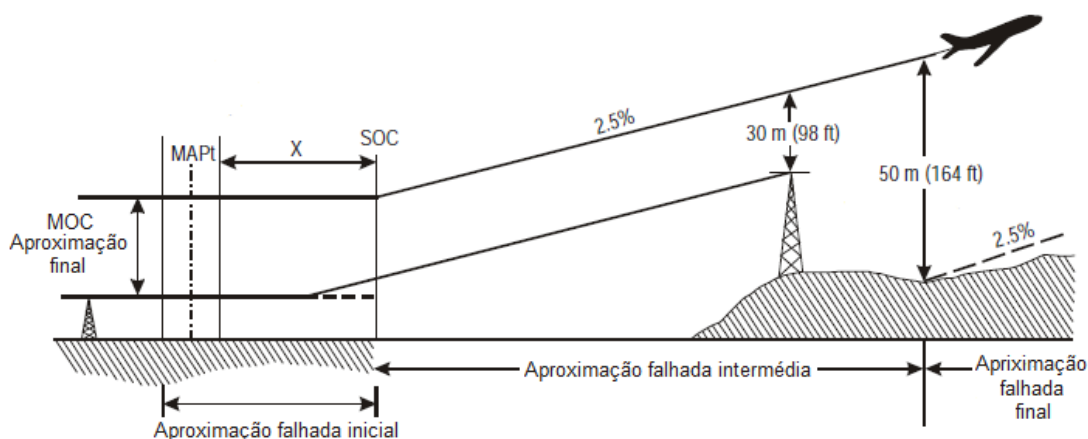


Figura 14 Protecção de obstáculos para a aproximação falhada (ICAO, 2006)

A área de protecção de obstáculos considerada para este segmento, tem início no MAPt com uma largura idêntica à existente no segmento final de aproximação. A subsequente forma desta área está dependente do tipo de procedimento de aproximação falhada utilizado. A localização óptima para o MAPt, que só se aplica às aproximações

de não-precisão, é na cabeceira da pista; contudo, este pode encontrar-se chegado ao FAF quando as condições assim o exigirem. Durante a fase inicial da aproximação falhada, a aeronave encontra-se num plano de voo horizontal onde a MOC é idêntica à última parte da aproximação final. Na fase intermédia o gradiente de subida óptimo é de 2.5%; contudo, podem também ser utilizados gradientes superiores de forma a baixar a OCA/H. Nesta fase da aproximação falhada a MOC é de 30 metros (ou 98 pés) na área primária e no limite interior da área secundária, decrescendo linearmente até zero no limite exterior desta. Para a fase final, o gradiente de subida mantém-se idêntico à fase anterior, existindo apenas um aumento na MOC para 50 metros (ou 164 pés).

Após completar um procedimento de não-precisão a uma das pistas do aeroporto, no qual o piloto obteve contacto visual com o terreno, este pode optar por executar uma manobra visual chamada *circling*, de forma a posicionar a aeronave para uma aterragem numa pista que não possua uma localização que permita aproximações directas. Para este procedimento define-se uma área de *circling*, que varia de acordo com a categoria da aeronave e onde a OCA/H deve fornecer uma MOC sobre o maior obstáculo dentro desta área. Esta não deverá ser menor que a OCA/H, calculada para o procedimento por instrumentos, que leva ao *circling*. Como se trata de um procedimento visual é necessário estabelecer um limite mínimo de visibilidade para o qual esta manobra possa ser executada. Este limite encontra-se também dependente da categoria da aeronave. Por exemplo, para uma aeronave de categoria C, a MOC para executar uma manobra de *circling* é de 120 metros (ou 394 pés), o limite inferior para a OCH (acima da altitude do aeroporto) é de 180 metros (ou 591 pés) e a visibilidade mínima é de 2 milhas náuticas.

4.2.3. Procedimentos APV Baro-VNAV

Nos procedimentos de aproximação APV Baro-VNAV, a orientação lateral baseada nos sistemas GNSS é complementada pela orientação vertical baseada em dados provenientes do altímetro barométrico, que são processados pelo computador de bordo de forma a apresentar ao piloto um caminho vertical. Assim, nestes procedimentos, os critérios associados à orientação vertical irão ser idênticos aos critérios já vistos para as aproximações de não-precisão RNAV.

Os procedimentos APV Baro-VNAV são considerados procedimentos de aproximação de precisão e como tal apresentam uma DA/H em vez de uma MDA/H. Do

mesmo modo, os pontos FAF e MAPt não fazem parte do procedimento VNAV, sendo utilizados apenas como parte do procedimento LNAV. As superfícies de protecção de obstáculos vão ser semelhantes às superfícies utilizadas pelo sistema ILS; contudo, baseiam-se em sistemas de orientação lateral diferentes.

A construção dos procedimentos APV Baro-VNAV consiste na determinação do ângulo da descida vertical e superfície final de aproximação (FAS), construção das superfícies de estimacão de obstáculos (OAS) e cálculo da OCA/H com base nos obstáculos que penetram a OAS. Durante este processo considera-se que o menor limite da OCA/H será de 75 metros, caso as superfícies finais de aproximação não tenham sido penetradas. O ângulo da descida óptimo é de 3° , sendo que todas as alturas dos obstáculos devem ter como referência a elevação da cabeceira da pista.

O segmento APV das aproximações Baro-VNAV, representado na Figura 15, encontra-se alinhado com o centro da pista, consistindo no segmento de descida final para aterragem e em todos os segmentos da aproximação falhada.

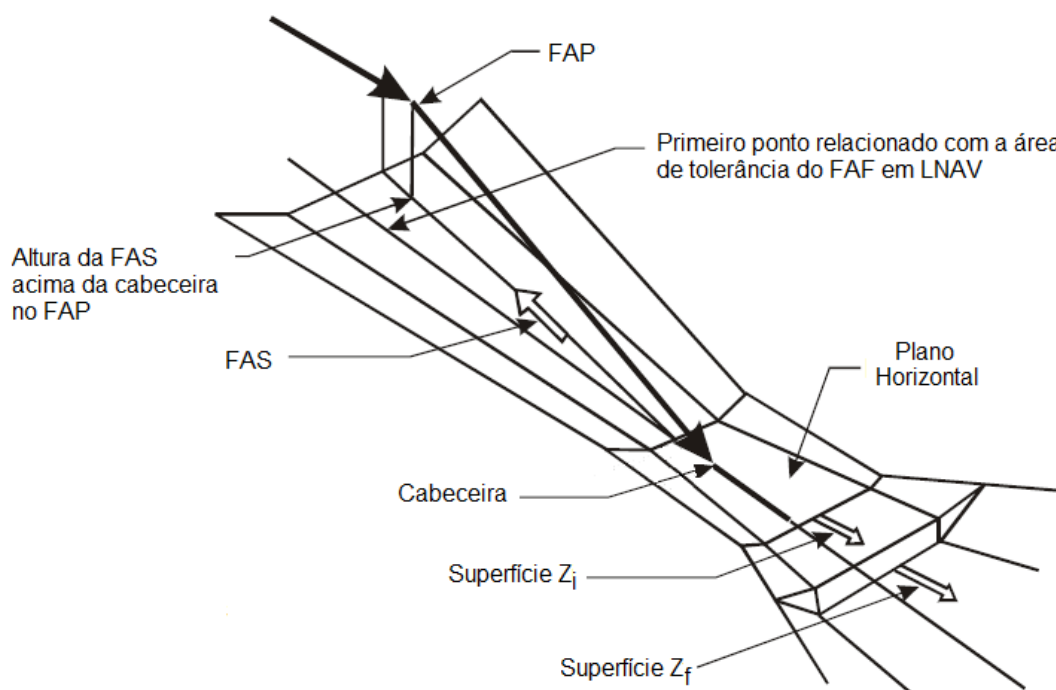


Figura 15 Superfícies OAS para APV Baro-VNAV (ICAO, 2006)

A superfície de estimacão de obstáculos tem início no Final Approach Point (FAP), localizado na intersecção no ângulo de descida vertical com a altitude mínima especificada para o segmento que o precede. Este ponto é característico das aproximações de precisão, encontrando-se normalmente a 10 milhas náuticas da

cabeceira. A OAS termina no final da aproximação falhada. Durante a construção deste tipo de aproximações, os pontos FAF e MAPt são utilizados para definir a geometria das áreas e superfícies envolvidas. Após o desenho estes pontos, associados aos procedimentos LNAV, são utilizados pelas bases de dados para definir procedimentos que possam existir juntamente com as aproximações APV Baro-VNAV como, por exemplo, aproximações de não-precisão RNAV (GNSS).

Para estes procedimentos a OAS é constituída pela FAS, pelo plano horizontal e pelas superfícies intermédias e final da aproximação falhada. A superfície final de aproximação tem origem num ponto ao nível da cabeceira da pista, localizado a uma distância antes da cabeceira igual ao ponto onde o ângulo de descida atinge a altura de MOC_{app} , mais a distância longitudinal (ATT) de 444 metros (Figura 16). A FAS é delimitada lateralmente pelas margens da área primária de protecção de obstáculos LNAV, sendo o seu ângulo de descida determinado por:

$$\tan\alpha_{FAS} = \frac{(Altura\ no\ FAP - Correção\ temp. - MOC_{app}) \times \tan VPA}{(Altura\ no\ FAP - MOC_{app})} \quad (2)$$

A origem da FAS ao nível da cabeceira é determinada por:

$$X_{FAS} = \frac{MOC_{app} - RDH}{\tan VPA} + ATT \quad (3)$$

Onde VPA é o ângulo de descida vertical, MOC_{app} a MOC da aproximação, RDH a altura de referencia do caminho de descida vertical em metros, ATT a tolerância longitudinal de 444 metros, e a Correção de Temperatura o valor utilizado para corrigir o ângulo de descida quando este é afectado por temperaturas extremas.

O plano horizontal é definido por uma superfície ao nível da cabeceira, delimitada pela área primária LNAV, existente entre a origem da FAS e o começo da superfície de aproximação falhada. O segmento intermédio da aproximação falhada (Z_i) tem início ao nível da cabeceira à distância X_{Z_i} desta, terminando no ponto onde uma MOC de 50 metros consegue ser obtida e mantida (Figura 16). Possui um gradiente de subida de 2.5%, sendo a sua área de protecção de obstáculos limitada lateralmente pela área primária LNAV. O segmento final de aproximação falhada (Z_f), que começa no ponto onde o segmento intermédio acaba, é definido por uma superfície com origem ao nível

da cabeceira, à distância X_{Zf} desta, que termina no fim do segmento APV (Figura 16). O seu gradiente de subida e área de protecção de obstáculos são idênticos aos do segmento intermédio.

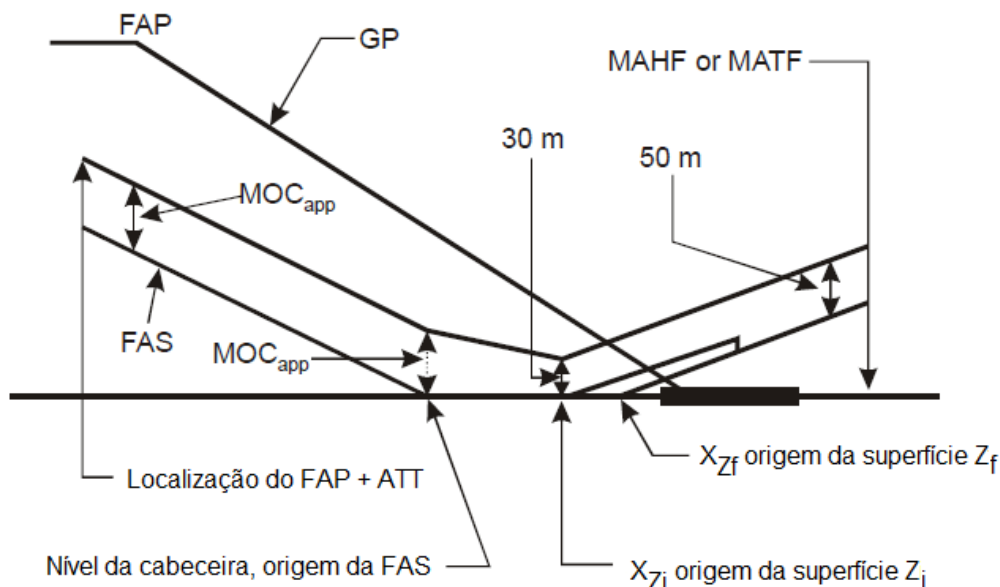


Figura 16 Perfil das superfícies OAS para APV Baro-VNAV (ICAO, 2006)

Nas aproximações APV Baro-VNAV, a MOC para a aproximação final, caso não existam obstáculos que penetrem a OAS, é de 75 metros enquanto que para os segmentos intermédios e final da aproximação falhada estes valores são respectivamente de 30 e 50 metros. Os obstáculos que ultrapassam as OAS dividem-se entre obstáculos na aproximação final, que se situam entre o FAP e X_{Zi} , e obstáculos na aproximação falhada, que se encontram depois do X_{Zi} . No caso de existirem obstáculos que ultrapassem as OAS, o cálculo da OCA/H é executado adicionando o valor da MOC_{app} à altura do maior obstáculo da aproximação. Após a determinação do maior obstáculo, é necessário reduzir a altura dos obstáculos da aproximação falhada, para a altura equivalente dos obstáculos da aproximação, final através da fórmula:

$$h_a = \frac{h_{ma} \cot Z + (X - X_z)}{\cot Z + \cot VPA} \quad (4)$$

Onde h_a é a altura equivalente do obstáculo de aproximação, h_{ma} a altura do obstáculo de aproximação falhada, Z o ângulo Z da superfície, VPA o ângulo de descida

vertical, X_z a origem da superfície intermédia ou final de aproximação falhada e X a distancia do obstáculo à cabeceira da pista.

Os procedimentos Baro-VNAV são afectados por temperaturas extremas. Assim, para calcular a temperatura mínima para a qual a ladeira de descida não será menor que 2.5° , é necessário descobrir a menor temperatura provável para a localização do aeroporto, arredondar esse valor para o menor incremento de 5° mais próximo e utilizar esse valor de forma a calcular a ladeira de descida.

4.2.4. Procedimentos RNP AR APCH

Os procedimentos de aproximação RNP AR APCH tiram partido do nível elevado de performance disponibilizado pela tecnologia RNP, de modo a fornecer aproximações de precisão e segurança extremas a aeroportos localizados em ambientes ricos em obstáculos. Estes procedimentos requerem que o erro total do sistema lateral, em determinados segmentos de certas aproximações, não ultrapasse as 0,1 milhas náuticas à esquerda ou à direita da linha central do corredor aéreo, em 95% do tempo total de voo.

Os segmentos RNP devem ser desenhados utilizando o tipo de rota melhor apropriado (TF ou RF) para ultrapassar a obstrução e satisfazer os requerimentos operacionais dos segmentos iniciais, intermédios e finais da aproximação, bem como da aproximação falhada. A largura dos segmentos RNP é definida como $4xRNP$, uma vez que a metade deste é definido por $2xRNP$ como mostra a Figura 17.

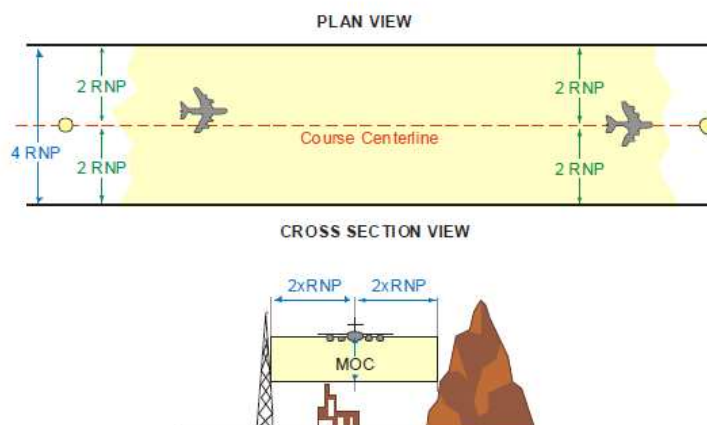


Figura 17 Largura dos segmentos RNP (ICAO, 2009a)

A aeronave chega até ao segmento inicial de aproximação através de uma rota RNAV ou RNP. Neste segmento, o valor de precisão lateral óptimo é de 1 milha náutica, a MOC é de 300 metros (ou 984 pés) e o gradiente de descida óptimo de 4%. No segmento intermédio, o gradiente altera-se para 2.5%, a MOC desce para 150 metros (ou 492 pés); contudo, o valor de precisão lateral óptimo mantém-se.

No segmento final de aproximação a orientação lateral é baseada em RNP, enquanto que a orientação vertical é fornecida por Baro-VNAV. Assim, a protecção de obstáculos é baseada no Vertical Error Budget (VEB) do altímetro barométrico. Neste segmento a precisão lateral óptima é de 0,3 milhas náuticas, contudo, caso de justifique, esta pode assumir valores de 0,1 milhas. O FAP localiza-se na intersecção da altitude do segmento intermédio com o ângulo vertical de descida, que se estende a partir da cabeceira. Este ângulo óptimo é de 3°.

O segmento de aproximação falhada tem início no ponto onde a OCA/H intersecta o ângulo de descida vertical e fim no ponto que permite o começo de uma nova aproximação, o regresso ao procedimento de espera ou o retorno ao voo em rota. Neste segmento o valor da precisão lateral volta à 1 milha náutica, aumentando a um ângulo de 15° a partir das 0,3 milhas náuticas no segmento final de aproximação até atingir aquele valor. O gradiente de subida é de 2.5%. O cálculo da OCA/H é efectuado de forma semelhante ao dos procedimentos APV Baro-VNAV.

4.3. Determinação de Mínimos

As altitudes mínimas de a aproximação que se encontram publicadas nas cartas de aproximação por instrumentos, definem a altitude/altura a partir da qual os pilotos são obrigados a executar os segmentos de aproximação falhada, caso não consigam obter condições visuais com o terreno directamente ou com ajudas luminosas da pista. Estas altitudes possuem assim uma grande importância para a operacionalidade de um aeroporto, sobretudo em condições meteorológicas adversas.

Ao estudarmos a aplicação dos vários tipos de aproximações RNAV ao aeroporto do Pico, um dos parâmetros que nos permite determinar qual o procedimento que melhor se adequa aquela infra-estrutura é precisamente a altitude/altura mínima de aproximação. Para tal, recorreu-se ao software Minima Estimation Tool (MET), disponibilizado pela EUROCONTROL, que permite efectuar um estudo comparativo entre as várias altitudes mínimas operacionais disponibilizadas pelos diferentes tipos de

aproximações. Este programa compara as aproximações APV I, APV II, Baro-VNAV, LNAV e ILS categoria I, sendo normalmente utilizado para efectuar análises de custo/benefício. De entre estas aproximações estamos apenas interessados nos procedimentos LNAV e Baro-VNAV, uma vez que as aproximações APV I/II não se encontram ainda disponíveis na região dos Açores (Capítulo 3). Quanto ao sistema ILS, este simplesmente não faz parte deste estudo uma vez que não se trata de uma aproximação RNAV. Dito isto, será no entanto interessante comparar os mínimos obtidos para esta aproximação, com os mínimos das aproximações por RNAV, uma vez que já se encontra adjudicada a instalação de um sistema ILS ao aeroporto do Pico.

O estudo dos mínimos LNAV relacionados com a aproximação de não-precisão RNAV (GNSS), irá permitir efectuar uma comparação directa entre esta e a aproximação de não-precisão por NDB existente actualmente para a pista 27. Do mesmo modo, a determinação dos mínimos associados à aproximação por Baro-VNAV permitir-nos-á comparar esta com as restantes aproximações em termos de altitudes mínimas possíveis de aproximação.

Para que o programa calcule a altitude/altura de transposição de obstáculos (OCA/H), é necessário fornecer os obstáculos de maior relevância que se encontram nas imediações do aeroporto. Assim, foi elaborada uma lista que contém os obstáculos existentes no AIP PORTUGAL para o aeroporto do Pico, bem como outros obstáculos considerados importantes devido às suas características e que não se encontram publicados neste documento. As coordenadas destes obstáculos foram determinadas através de uma análise meticulosa das cartas militares de Portugal do Instituto Geográfico do Exército para Ilha do Pico à escala de 1/25000. A lista de obstáculos completa pode ser consultada no Anexo 1.

Após a inserção no programa dos obstáculos e dos parâmetros físicos associados à cabeceira da pista para a qual se realizará o estudo, torna-se necessário definir os restantes parâmetros para os diferentes tipos de aproximações. Assim, começando pela aproximação de não-precisão LNAV, foi seleccionada a temperatura ISA, uma vez que a temperatura média anual no aeroporto é de 17,4°C. Apenas foram consideradas aeronaves de categoria A, B e C com uma velocidade máxima IAS de 160 nós. Foram assumidos o ângulo de descida e o gradiente de aproximação falhada óptimos, ou seja, 3° e 2.5% respectivamente. Finalmente, definiu-se o MAPt, que foi considerado coincidente à cabeceira da pista, e o FAF, considerado à distância ideal de 5 milhas náuticas da cabeceira.

Na aproximação Baro-VNAV, mantiveram-se muitos dos parâmetros utilizados para o procedimento LNAV, tais como: a categoria das aeronaves, o ângulo de descida, o gradiente de aproximação falhada e a localização do MAPt e do FAF. Para a variação da temperatura, considerou-se como valor máximo ISA+10°C, uma vez que a temperatura máxima no aeroporto é de 23°C. Para o valor mínimo a temperatura seleccionada foi ISA-5°C, visto que a temperatura mínima no aeroporto é de 13°C. Estes valores permitem-nos afirmar que o ângulo de descida das aproximações Baro-VNAV, obtido através do altímetro barométrico, não estará sujeito a alterações significativas normalmente associadas a grandes extremos de temperatura, uma vez que a amplitude térmica verificada no aeroporto do Pico não é suficientemente relevante. Finalmente, considerou-se a distância de 5,3 milhas náuticas entre o IF e o FAF.

Para as aproximações APV e ILS não é necessário especificar os parâmetros utilizados, visto que estes procedimentos apenas serão estudados como comparação. Será bastante dizer que os ângulos, gradientes, categorias, alturas de referência, temperaturas e pontos são os mais idênticos possíveis aos dos procedimentos anteriores.

Após a introdução no programa de todos os parâmetros referentes às diferentes aproximações, este efectua o cálculo das respectivas OCA/H apresentando os resultados num ficheiro de Word. Os resultados obtidos para a pista 27 encontram-se reproduzidos na página seguinte.

Minima Estimation Tool Results

All Rights Reserved EUROCONTROL © 2007

-- Aerodrome --

Name : LPPI
Altitude : 112.0 Ft

-- Threshold --

Name : 27
Altitude : 105.0 Ft
Latitude : 38°33'18.860"N
Longitude : 028°25'56.880"W

-- Study n°1 : Pico APV.apv --

Type : APV I
OCA : 220 Ft
OCH : 115 Ft
Most Significant Obstacle
Description : Tree
Coordinates : X = -1318.52 M | Y = -571.51 M | Altitude = 76.00 M

-- Study n°2 : Pico LNAV.lna --

Type : L-NAV
OCA : 567 Ft
OCH : 462 Ft
Most Significant Obstacle
Description : Tree
Coordinates : X = 3360.94 M | Y = -899.79 M | Altitude = 87.00 M

-- Study n°3 : Pico Baro-VNAV.bna --

Type : Baro-VNAV
OCA : 474 Ft
OCH : 369 Ft
Most Significant Obstacle
Description : Tree
Coordinates : X = 2283.91 M | Y = -946.27 M | Altitude = 75.00 M

-- Study n°4 : Pico ILS.ils --

Type : ILS
OCA : 158 Ft
OCH : 53 Ft
Most Significant Obstacle
Description : Tree
Coordinates : X = -417.11 M | Y = -190.49 M | Altitude = 48.00 M

Convém mencionar que a OCA tem como referência a altitude relativa do nível do mar, enquanto que a OCH tem como referência a altura da cabeceira da pista. As coordenadas que definem o obstáculo de maior significância têm como origem a cabeceira da pista sobre a qual o estudo de aproximação é feito.

A obtenção destes resultados permite-nos retirar algumas ilações sobre os vários tipos de aproximações que podem ser executadas à pista 27 do aeroporto do Pico.

Analisando os dados obtidos para a aproximação LNAV constatamos que existe uma grande diferença entre o valor da OCA deste procedimento e o valor para a aproximação de não-precisão já existente. Para o procedimento LNAV a OCA é de 567 pés, enquanto que, para o procedimento NDB a OCA é de 1000 pés. Assim, além de não requerer qualquer tipo de infra-estrutura terrestre, esta aproximação consegue reduzir para cerca de metade os mínimos de operação. O estudo mostra-nos também que o obstáculo mais significativo se encontra na aproximação e tem uma altura de 87 metros.

Para a aproximação por Baro-VNAV, o obstáculo que afecta o procedimento anterior, não transpõe as superfícies OAS deste. Contudo, estas superfícies são transpostas a cerca de 2284 metros da cabeceira por um obstáculo de 75 metros de altura. Assim, a OCH irá apresentar uma altura de 369 pés. Adicionando a altura da elevação da cabeceira da pista obtemos a OCA de 474 pés. Esta altitude é, ainda que não muito significativamente, menor que a altitude do procedimento por LNAV, sendo também inferior à da aproximação NDB existente. Como o Baro-VNAV só depende dos equipamentos de bordo da aeronave, as vantagens da implementação desta aproximação ao aeroporto do Pico são bastante evidentes.

Para as altitudes mínimas das aproximações APV e ILS chegou-se aos valores de 220 pés e 158 pés, respectivamente. Estes resultados confirmam assim, o que já foi referido anteriormente sobre as altitudes de decisão destes dois procedimentos, pois os valores para o sistema ILS são menores que os valores para o sistema SBAS. Os valores obtidos através do programa referem-se à altitude de protecção de obstáculos necessária ao procedimento; contudo, estas aproximações possuem altitudes mínimas estabelecidas, relativas às próprias limitações dos sistemas. Assim, no caso do Pico o valor da OCA para os procedimentos APV e ILS seriam de 250 pés e 200 pés, respectivamente, uma vez que não existem obstáculos que limitem as altitudes mínimas destes sistemas. O nível de APV considerado neste estudo é de APV I. Não foram efectuados estudos para os níveis de APV II, uma vez que para efeitos de comparação é

suficiente conhecer a altitude mínima do nível de precisão inferior. O estudo APV não possui, no entanto, qualquer valor prático devido à impossibilidade de operação deste sistema nos Açores. O valor de 200 pés para a altitude mínima da aproximação por ILS assume que não existem quaisquer tipos de interferências prejudiciais provocadas pelo terreno circundante no sinal emitido pelas antenas de *localizer* ou *glideslope*. Contudo, a morfologia do terreno que envolve o aeroporto do Pico não apresenta as condições ideais para a correcta reflexão do sinal o que muito provavelmente irá levar a um aumento da OCA associada a este sistema, como forma de aumentar também as margens segurança.

O programa MET permite ainda a representação planificada das superfícies, pontos e áreas de protecção de obstáculos para cada tipo diferente de aproximação. Estas representações encontram-se disponíveis no Anexo 2. Após uma análise do AIP referente ao aeroporto do Pico, convém mencionar que os obstáculos que se encontram sobre a designação de *tower* não são na realidade torres, nem se encontram iluminados como é indicado neste documento. Tratam-se apenas de elevações e não possuem qualquer tipo de iluminação.

4.4. Cartas de Aproximação

A partir da obtenção das altitudes/alturas mínimas de aproximação, procedeu-se à construção das possíveis cartas de aproximação para os procedimentos de chegada, NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e RNP AR APCH ao aeroporto do Pico. Assim, optou-se pelo desenho de três cartas diferentes. Uma carta STAR, onde se encontra o segmento das chegadas, que disponibiliza a ligação entre os pontos em rota e o IAF para todas as aproximações estudadas. Uma carta de aproximação por instrumentos RNAV (GNSS), onde se encontram os procedimentos baseados em LNAV e Baro-VNAV ao aeroporto do Pico. E finalmente uma carta RNAV (RNP), contendo o procedimento RNP AR APCH.

A carta STAR, que se encontra representada na Figura 18, foi elaborada com recurso às aplicações Google Earth e PhotoShop, permitindo a visualização de rotas de chegada que estabelecem a ligação entre a estrutura em rota e o segmento inicial das aproximações. Assim, são estabelecidas rotas de chegada ao IAF provenientes do VOR das Flores (FRS), Terceira (LM), São Miguel (VMG) e Santa Maria (VSM).

STANDART ARRIVAL CHART(RNAV) PICO (LPPI)

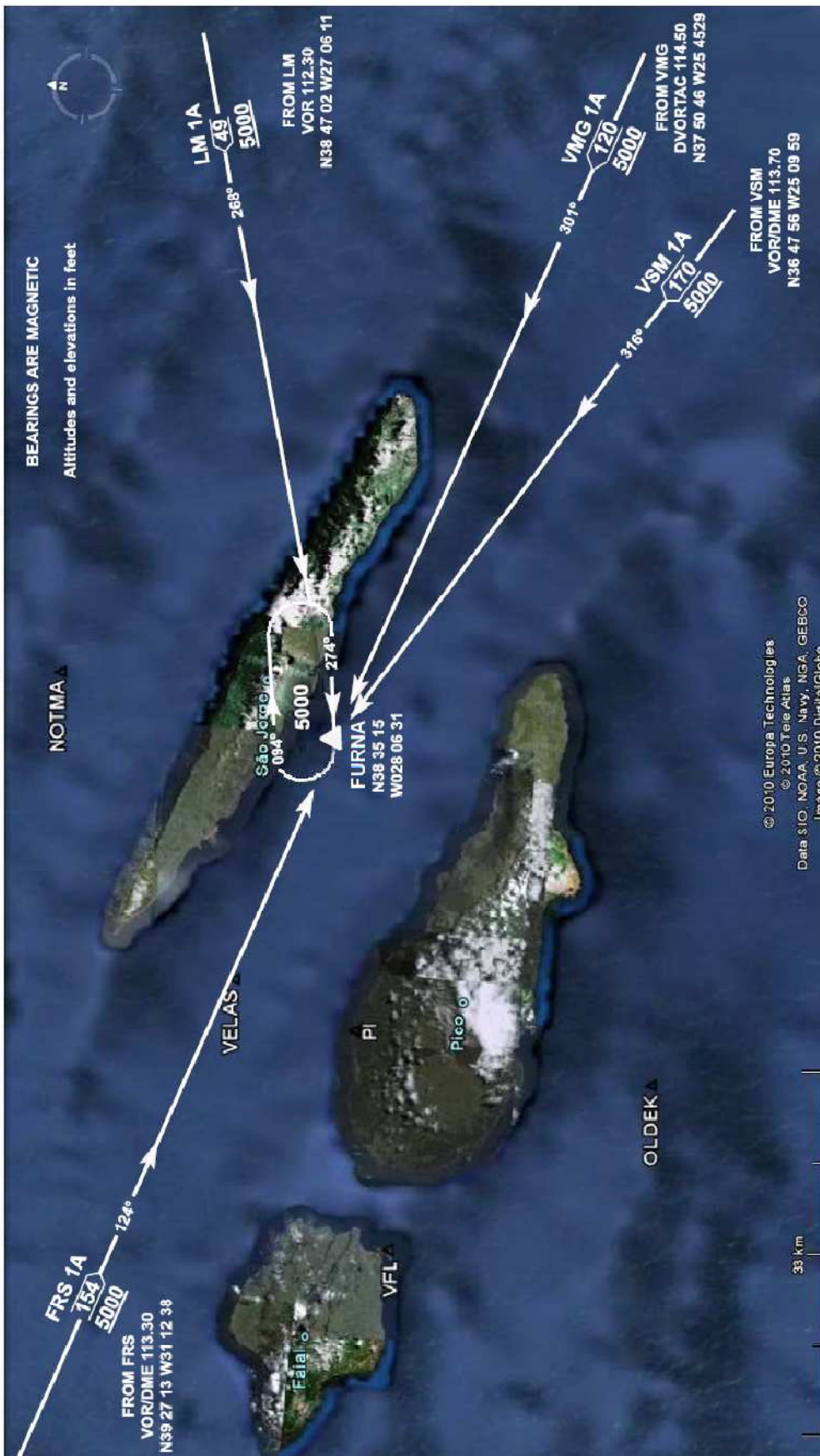


Figura 18 Carta STAR

Quanto ao IAF, houve a necessidade de criar um novo ponto (Fix) ao qual se atribuiu a designação de FURNA, visto que nenhum dos pontos já existentes reúne as condições ideais para servir como IAF a quaisquer procedimentos de aproximação ao aeroporto do Pico. O ponto (SOLGI), em que actualmente se baseia a aproximação de não-precisão existente, fornece um caminho de aproximação que se encontra desviado de aproximadamente 5° do caminho estendido da linha do centro de pista. Esta situação está prevista nos manuais de construção de procedimentos, contudo não é a ideal. A criação do ponto FURNA, com as coordenadas de N38°35'15" e W028°06'31", permite que as aproximações realizadas a partir deste, se encontrem perfeitamente alinhadas com a linha central de pista. Esta localização é também ideal em termos de distância à cabeceira da pista, pois permite um caminho de descida óptimo a partir dos 5000 pés para todas as aproximações que serve. Como se trata de um ponto que não existe actualmente, as rotas de chegada são também inexistentes. Assim, surgiu a necessidade de elaborar esta carta STAR. A nomenclatura deste ponto foi escolhida de acordo com o Anexo 11 da ICAO e através do sistema *Five-Letter Name-Code* disponível na página de internet da EUROCONTROL, onde se encontram registados todos os pontos a nível mundial que obedecem a esta nomenclatura e de forma a confirmar a inexistência de qualquer outro ponto com a mesma designação.

Estes procedimentos de chegada, bem como o procedimento de espera com origem no novo ponto FURNA, cumprem com as OCA/H estabelecidas para estes tipos de manobras, uma vez que se encontram a mais de 450 metros (ou 1476 pés) acima de qualquer tipo de obstáculo. É utilizada uma OCA/H de 450 metros em vez dos habituais 300 metros (ou 1000 pés), pois elevações entre os 3000 pés e os 5000 pés são consideradas áreas montanhosas, requerendo assim um aumento na altitude de protecção. O procedimento de espera que é efectuado por cima da Ilha de São Jorge a 5000 pés tem como obstáculo principal um monte nesta Ilha que apenas atinge os 3455 pés. Nesta carta todos os rumos apresentados são magnéticos e todas as altitudes estão em pés.

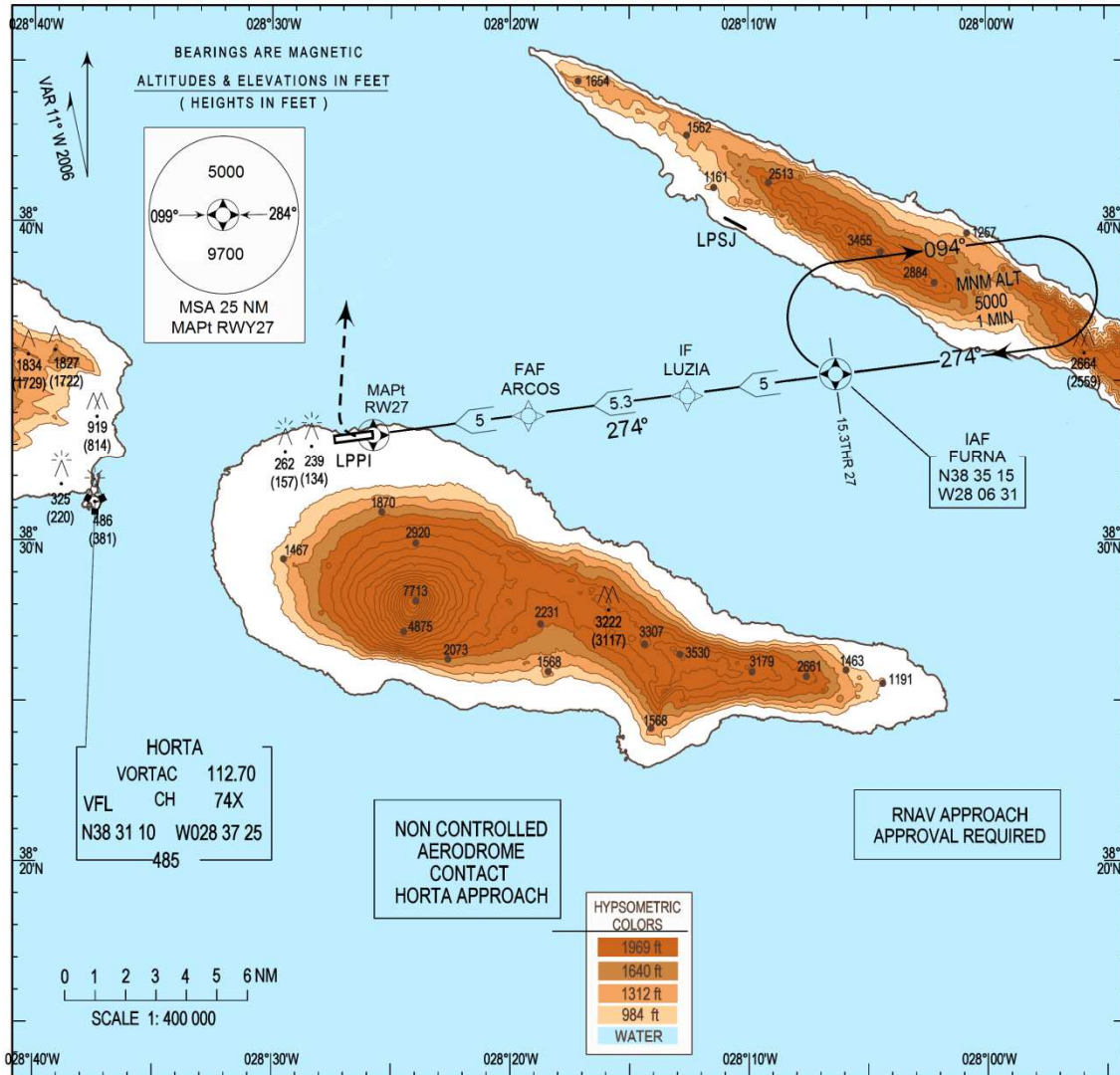
A carta de aproximação por instrumentos RNAV (GNSS), que se encontra representada na Figura 19, engloba os procedimentos LNAV e Baro-VNAV, uma vez que os segmentos de aproximação utilizados são idênticos entre estes, existindo diferenças apenas para as altitudes mínimas de aproximação, assim como para certos pontos que apenas dizem respeito às aproximações de não-precisão LNAV.

**INSTRUMENT
APPROACH
CHART**

AD ELEV 112 ft
HEIGHTS RELATED
THR RWY 27 - ELEV 105 ft

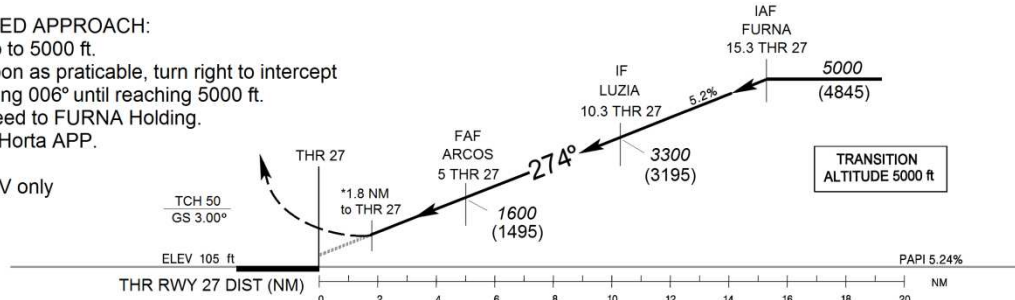
PICO AFIS - 122.700
HORTA APP - 120.600
SANTA MARIA TMA - 132.150

PICO / LPPI
RNAV (GNSS)
RWY27
CAT A / B / C



MISSED APPROACH:
Climb to 5000 ft.
As soon as practicable, turn right to intercept heading 006° until reaching 5000 ft.
Proceed to FURNA Holding.
CTC Horta APP.

*LNAV only



CATEGORY	A	B	C
LNAV/VNAV DA(H)		480 (375)	
LNAV MDA(H)		570 (465)	
CIRCLING	NORTH RWY 27	730 (625)	830 (725)
	SOUTH RWY 27	NOT AUTHORIZED	

SPEED	kt	80	100	120	140	160	180
Rate of descend (5.2%)	ft/min	420	525	630	735	840	945

CATEGORY	CATEGORY		
	A	B	C
VISIBILITY			
WITH 420 m APP LIGHTS	2400 m		3300 m

Figura 19 Carta de aproximação RNAV (GNSS)

Caso fossem possíveis aproximações APV a este aeroporto, seria nesta carta que se encontrariam disponíveis as informações relativas a este procedimento, sendo que os mínimos se encontrariam sob a denominação de LPV.

Os procedimentos representados nesta carta à cabeceira da pista 27 do aeroporto do Pico, têm início no IAF FURNA, que já foi referido na STAR. Assim, os segmentos inicial, intermédio e final encontram-se alinhados com a linha central da pista, sendo que a ladeira de descida apresenta o gradiente óptimo de 3°. Ambas as aproximações têm início a 5000, pés a uma distância de 15,3 milhas náuticas da cabeceira da pista. Esta distância permite definir um comprimento aceitável de 5 milhas náuticas e 5,3 milhas náuticas para os segmentos de aproximação inicial e intermédios, respectivamente e um comprimento óptimo de 5 milhas náuticas para o segmento final. A nomenclatura dos pontos IF (LUZIA) e FAF (ARCOS) obedece ao mesmo processo efectuado para o IAF. Os valores apresentados para as altitudes destes pontos encontram-se arredondados para o valor de centena mais próximo, de acordo com o documento 8168 da ICAO.

O procedimento de espera com início no FURNA é o mesmo que se encontra representado na carta STAR, onde o troço que vem em direcção ao ponto possui a orientação do centro de pista e o troço que se afasta do ponto é paralelo a este. Esta espera cumpre com os critérios de construção e é definida pelo tempo de 1 minuto. Ambos os troços possuem a distância de 5 milhas náuticas.

Nesta carta existem dois tipos diferentes de pontos. Os pontos que se encontram a cheio e dentro de uma circunferência são denominados de Fly-over e os pontos não preenchidos são denominados de Fly-by. A principal diferença entre estes reside no facto de ser obrigatório passar pelos pontos Fly-over enquanto que nos pontos Fly-by a curva pode ser iniciada mais cedo, de forma a permitir uma melhor interceptação do próximo segmento uma vez que não é necessário passar directamente por estes. Neste procedimento os pontos IF e FAF são Fly-by e os pontos IAF e MAPt são Fly-over. Os critérios de construção de procedimentos ditam que todos os pontos MAPt têm de ser Fly-over; contudo, tal não é necessário para o IAF. Este ponto apenas está classificado como Fly-over na carta de aproximação ao Pico devido à existência do procedimento de espera RNAV, o qual requer um ponto desta natureza.

Para esta carta, as altitudes mínimas são aquelas obtidas com recurso ao programa MET, encontrando-se disponíveis na caixa dos mínimos. Os valores destas altitudes foram arredondados para cima até ao valor de dezena mais próximo. Tal não é

absolutamente necessário; contudo, considerou-se que deste modo pode ser efectuada uma melhor leitura dos mínimos sem que para isso exista uma diferença significativa de altitude. Para o procedimento de *circling* as altitudes não foram calculadas através do programa MET. Consideraram-se os critérios existentes no documento 8168 da ICAO para a MOC deste procedimento à qual se adicionou a altitude do maior obstáculo presente na zona de *circling*. Este é o Cabeço Brasil, que se encontra na aproximação à pista 09 e que possui uma altura de 132 metros (ou 433 pés). Assim, para as aeronaves de categoria A e B foi calculada uma OCA com cerca de 730 pés. Para as aeronaves de categoria C este valor sobe para os 830 pés de acordo com aquele documento. A execução deste procedimento só é permitida pelo lado norte da pista 27 uma vez que para o lado sul o terreno sobe muito rapidamente, o que impossibilita valores exequíveis de MOC. Como este procedimento está dependente da visibilidade, encontra-se disponível uma caixa com os mínimos referentes às condições de visibilidade na carta de aproximação. Assim, tendo em conta as luzes de aproximação, para aeronaves de categoria A e B, os valores de visibilidade são de 2400 metros enquanto que para as de categoria C são de 3300 metros.

O Procedimento de aproximação falhada, que tem início no MAPt para as aproximações LNAV e na DA/H para as aproximações Baro-VNAV, consiste em iniciar uma subida para 5000 pés. Assim que possível, deve efectuar-se uma curva à direita, de forma a interceptar e manter a direcção 006° até se atingir os 5000 pés. Após atingida esta altitude deve prosseguir-se para a espera existente no ponto FURNA e contactar a torre da Horta. Desta forma, o procedimento de aproximação falhada evita todos os obstáculos presentes na região do triângulo, uma vez que fica assegurada uma altitude de 5000 pés antes que a aeronave sobrevoe a Ilha de São Jorge.

A Minimum Sector Altitude (MSA), que define as altitudes acima das quais não se encontram quaisquer tipos de obstáculos, tem de ser estabelecida para todos os aeroportos que possuam procedimentos de aproximação por instrumentos e como tal é necessário estabelecer uma para a carta de aproximação RNAV (GNSS). Normalmente, para as aproximações baseadas em infra-estruturas terrestres, este sector de altitudes mínimas, encontra-se centrado numa rádio ajuda perto do aeroporto. Para os procedimentos RNAV tal não é possível pois existe uma total independência destes sistemas e, assim, é usual definir-se como centro destes sectores de altitudes a cabeceira da pista, à qual se efectua a aproximação. Deste modo, para a carta RNAV (GNSS) o círculo com 25 milhas náuticas de raio encontra-se localizado na cabeceira da pista 27.

As altitudes são calculadas através da adição de pelo menos 450 metros (ou 1476 pés) à maior elevação presente naquele sector. No caso do aeroporto do Pico torna-se necessário dividir este sector de altitudes em dois, sendo que no sector norte a altitude mínima considerada é de 5000 pés enquanto que para o sector sul a altitude mínima é de 9700 pés. Este sector sul possui elevações que ultrapassam os 5000 pés, nomeadamente a Montanha do Pico e como tal, a altitude que é necessária adicionar a este obstáculo sobe para os 600 metros (ou 1969 pés).

Finalmente temos a carta de aproximação RNAV (RNP), que contém o procedimento RNP AR APCH e que se encontra representada na Figura 20. Como é possível observar nesta figura, os segmentos inicial, intermédio e final correspondentes à aproximação RNP AR são muito semelhantes aos segmentos existentes para as aproximações representadas na carta RNAV (GNSS). Esta configuração deve-se ao facto de não existirem obstáculos significativos ao longo da aproximação à pista 27 que justifiquem a utilização de outros caminhos de aproximação. Ao iniciarmos este procedimento de aproximação no IAF FURNA, torna-se desnecessário a elaboração de novos procedimentos de chegada, uma vez que as rotas de chegada RNAV existentes na carta STAR, representada na Figura 18, podem ser utilizadas por este procedimento. Quando a aproximação é iniciada no IAF FURNA, a altitude de 5000 pés fornece uma MOC com mais de 1000 pés acima de qualquer obstáculo. Esta protecção mantém-se através de todo o segmento inicial uma vez que este se encontra sobre o mar. O mesmo é verdade para o segmento intermédio onde não existem quaisquer obstáculos que comprometam o cumprimento da necessária MOC de 500 pés. A largura de ambos estes segmentos é definida pelo valor de RNP 1, o que significa que a sua largura total é de 4 milhas náuticas. Quanto à localização dos pontos utilizados, optou-se por manter a mesma que foi calculada para a carta RNAV (GNSS), uma vez que o gradiente de descida óptimo de 5.2% (3^o), bem como a distância para os diferentes segmentos, podem ser utilizadas para esta aproximação. A nomenclatura destes permanece também igual e, assim, temos o IAF FURNA, o IF LUZIA e o FAF ARCOS.

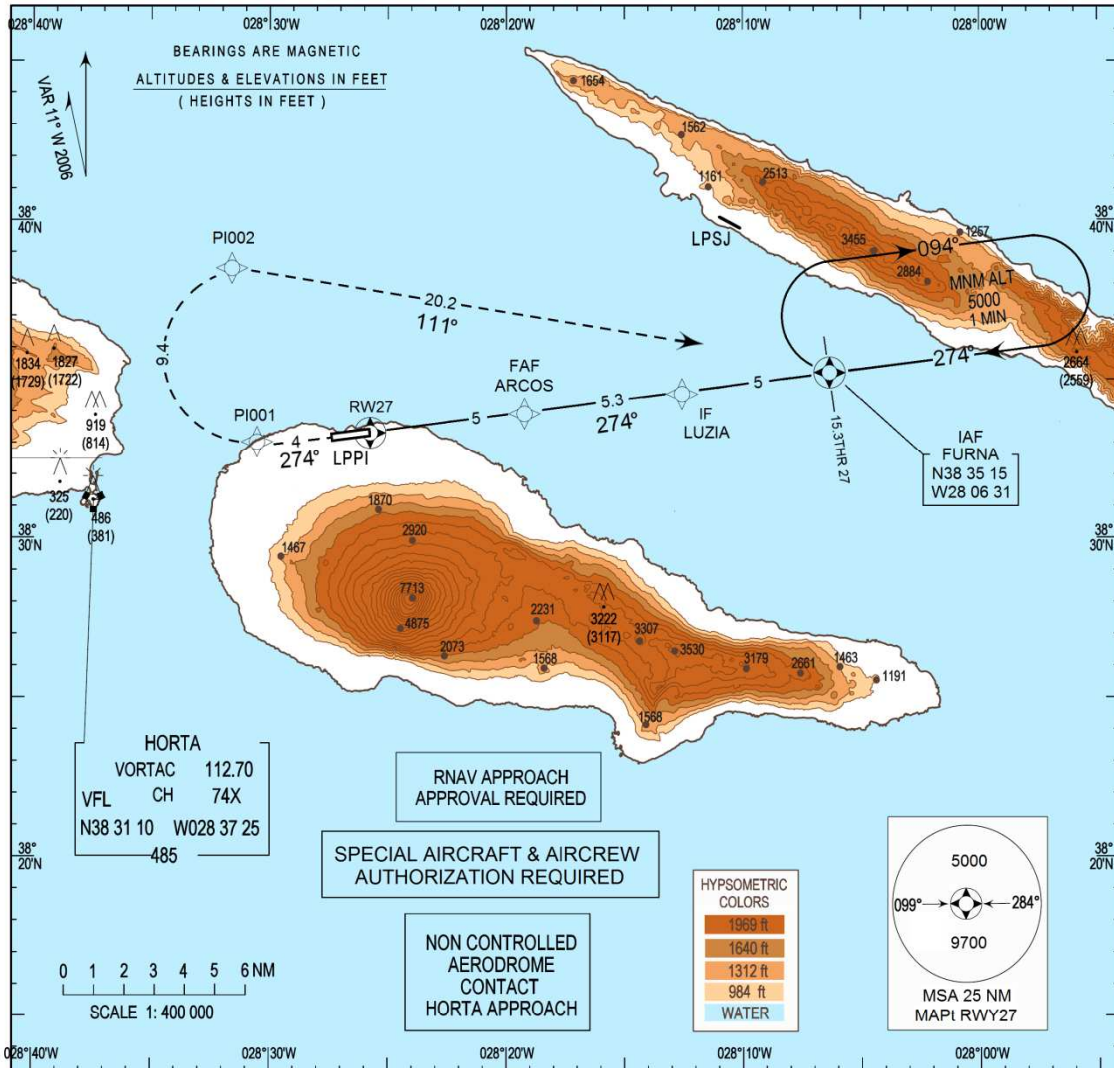
Para o segmento final de aproximação, que tem início no ponto ARCOS, considerou-se um valor de RNP 0.3. Com este valor de protecção lateral o segmento horizontal existente entre a LTP e o início da superfície OAS é transposto por um obstáculo de 59 metros (ou 194 pés) localizado muito próximo do limite exterior desta área de protecção. Assim, de acordo com o Anexo 14 da ICAO, a OCA/H necessita de sofrer um ligeiro aumento.

**INSTRUMENT
APPROACH
CHART**

AD ELEV 112 ft
HEIGHTS RELATED
THR RWY 27 - ELEV 105 ft

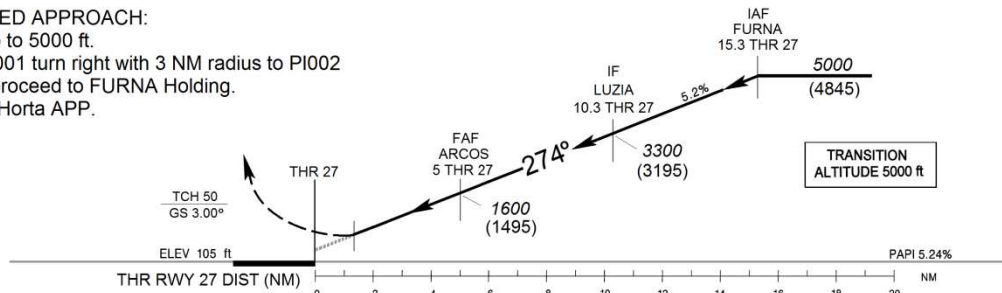
PICO AFIS - 122.700
HORTA APP - 120.600
SANTA MARIA TMA - 132.150

PICO / LPPI
RNAV (RNP)
RWY27
CAT A / B / C



MISSED APPROACH:

Climb to 5000 ft.
At PI001 turn right with 3 NM radius to PI002
and proceed to FURNA Holding.
CTC Horta APP.



CATEGORY	A	B	C
RNP 0.30 DA(H)		400 (295)	

RF and GNSS Required

CATEGORY	A	B	C
VISIBILITY			
WITH 420 m APP LIGHTS	1900 m		

Figura 20 Carta de aproximação RNAV (RNP)

Uma opção que permitiria não se incorrer neste aumento seria baixar o valor RNP para RNP 0.1. Contudo, optou-se por não se utilizar esta alternativa pois este valor de protecção extremo requer o cumprimento, por parte das aeronaves e tripulações, de requisitos adicionais que acabam por não justificar a redução na altitude de decisão proveniente da isenção de transposições por obstáculos na sua superfície OAS. Uma vez que a orientação vertical deste procedimento é obtida através de um altímetro barométrico, o valor para a pressão atmosférica presente no aeroporto tem de ser inserido antes de se iniciar este tipo de aproximação.

Para o segmento inicial, intermédio e final optou-se por utilizar apenas rotas TF (Track-to-Fix), em detrimento das rotas RF (Radius-to-Fix), pois estas só devem ser utilizadas quando os obstáculos presentes na aproximação obrigam a execução de rotas curvas. Para a aproximação à pista 27 do aeroporto do Pico não existem, com já foi referido, obstáculos restritivos à aproximação, não existindo assim qualquer motivo para a utilização deste tipo de rotas.

Tendo em conta que a superfície OAS é transposta por um obstáculo, a OCA/H considerada para esta aproximação é 90 metros (ou 295 pés) e assim a altitude de decisão (DA) obtida para este procedimento vai ser de 400 pés, enquanto que a altura de decisão (DH) será de 295 pés. Caso fosse utilizado o valor de RNP 0.1 no segmento final de aproximação, estas altitudes/alturas de decisão desceriam para 350 pés e 246 pés, respectivamente. Como podemos constatar, a diferença não é muito significativa.

Neste procedimento, considerou-se como o limite mínimo de visibilidade horizontal a distância necessária para que uma aeronave, que se encontre no ponto onde a DA/H é atingida, seja capaz de manter o contacto visual com as luzes de pista. Assim, chegou-se ao valor de 1900 metros que é igual para as categorias A, B e C.

Nas aproximações RNP AR as aeronaves devem executar o procedimento de aproximação falhada, caso não obtenham condições visuais com o terreno ao atingir a DA/H. Para o caso da aproximação à pista 27, a aproximação falhada é constituída por duas rotas TF e uma rota RF que têm como objectivo guiar a aeronave para o procedimento de espera localizado no ponto FURNA. Este, consiste em iniciar a subida para 5000 pés, sendo que no ponto PI001 deve-se iniciar uma curva para a direita, com um raio de 3 milhas náuticas até se atingir o ponto PI002. De seguida prossegue-se directamente para a espera do ponto FURNA. A utilização de rotas RF obriga a um aumento das capacidades requeridas ao sistema RNP presente a bordo das aeronaves, existindo aeronaves cujo sistema RNP apenas permite a execução de aproximações

RNP AR que não apresentem rotas RF. Contudo, para esta aproximação RNP AR ao Pico, a rota RF utilizada no segmento de aproximação falhada é a melhor opção, pois a curva que é necessário executar, de forma a evitar o terreno de Ilha do Faial é superior a 90°, justificando assim o recurso a este tipo de rota. Uma outra opção passava pela utilização de um maior número de pontos de forma a permitir apenas rotas TF; contudo, optou-se pelo uso da rota RF que simplifica o desenho do procedimento e reduz o número de pontos necessários ao segmento de aproximação falhada a apenas dois (PI001 e PI002). O declive de 2.5% utilizado para a ladeira de aproximação falhada neste procedimento permite uma subida que não é transposta por qualquer obstáculo.

Convém mencionar que a MSA é idêntica à que foi encontrada para as aproximações existentes na carta RNAV (GNSS).

Para que seja possível executar os procedimentos RNP AR APCH apresentados nesta carta de aproximação é necessário o cumprimento de vários tipos de requisitos. Assim, na própria carta pode ler-se “Special Aircraft and Aircrew Authorization Required” advertindo os possíveis utilizadores deste procedimento de que é necessária uma autorização especial para a aeronave, assim como para a tripulação que necessita de ser devidamente treinada neste tipo de procedimentos. É também possível observar a seguinte frase “RF and GNSS Required”, que adverte para a existência de rotas RF no procedimento e para o facto de ser necessário a existência de receptores GNSS a bordo da aeronave. Uma aeronave que não cumpra com estes requisitos, não poderá efectuar esta aproximação.

4.5. Conclusão

Após o estudo e desenho dos procedimentos de aproximação RNAV passíveis de serem implementados ao aeroporto do Pico, podemos concluir que os procedimentos NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e RNP AR APCH possuem a capacidade de fornecer aproximações por instrumentos a este aeroporto, melhorando a sua operacionalidade, quando comparada com os sistemas de aproximação por instrumentos actualmente existentes.

De entre os procedimentos estudados, o RNP AR APCH é o que possui uma menor altitude de decisão seguido da aproximação por APV Baro-VNAV. Contudo a diferença de altitudes existente entre estas aproximações não é significativa e tendo em conta todas as certificações e equipamentos necessários para de efectuar os

procedimentos RNP AR podemos afirmar que, para o aeroporto do Pico, a implementação de aproximações por Baro-VNAV seria suficiente para preencher a lacuna existente em termos de procedimentos de aproximação por instrumentos.

Quando comparadas com o único procedimento por instrumentos existente ao aeroporto do Pico, estes novos tipos de aproximações fornecem grandes vantagens pois não só melhoram a operacionalidade do aeroporto, através de altitudes de decisão menores, como também não se encontram dependentes de quaisquer equipamentos no terreno, eliminando assim os custos associados à instalação e manutenção destas estações. Deste modo, o aumento de precisão disponibilizado por estes procedimentos melhora as condições de operacionalidade na fase de aproximação ao aeroporto Pico para todas as aeronaves que se encontrem devidamente equipadas.

No procedimento NPA RNAV (GNSS), a única desvantagem para as aeronaves consiste na obrigatoriedade de possuir um sistema receptor de GNSS que seja aumentado por um sistema ABAS. Este requerimento não é bem uma desvantagem uma vez que este equipamento é bastante comum às aeronaves actuais. Deste modo, esta aproximação ao aeroporto do Pico é a que mais vantagens fornece em termos de equipamentos necessários, pois reduz para metade a altitude de descida mínima existente na NPA convencional, sem a necessidade de muito equipamento de bordo.

O procedimento APV Baro-VNAV possui um maior número de requisitos que a aproximação anterior pois trata-se de uma aproximação de precisão. A orientação vertical fornecida pelo altímetro barométrico requer a capacidade de integração dos dados provenientes do altímetro com o computador de bordo. Contudo, este sistema encontra-se presente em grande parte da população de aeronaves comerciais incluindo aquelas que operam no aeroporto do Pico. Assim, a maior dificuldade de implementação deste sistema no Pico passa pela elaboração e aprovação das normas de utilização destes procedimentos que actualmente não existem em Portugal.

O mesmo é verdade para as aproximações RNP AR. Antes que seja possível a implementação deste tipo de aproximações, o INAC tem que elaborar normas para a sua implementação no espaço aéreo português. Para além desta desvantagem de aplicação ao aeroporto do Pico estes procedimentos impõem, como já foi referido, o cumprimento de vários tipos de requisitos adicionais que apenas podem ser cumpridos por aeronaves devidamente equipadas e por tripulações devidamente treinadas. Ao contrário dos procedimentos Baro-VNAV, estes requerimentos não são cumpridos pela maioria da população de aeronaves comerciais.

5. Conclusões

5.1. Síntese da Dissertação

A existência de novos tipos de tecnologias de aproximação não é novidade para o sector da aviação. De facto, a *Assembly Resolution A36-23*, adoptada pelos Estados membros durante a 36ª sessão da assembleia da ICAO realizada em Montreal em Setembro de 2007, incita todos os Estados a implementar rotas e procedimentos de aproximação baseados em RNAV e RNP, de acordo com o conceito de PBN da ICAO, explícito no documento 9613. Para este efeito, um plano de implementação de PBN deveria ser elaborado até 2009 de forma a se atingir, entre outros, a implementação de procedimentos com orientação vertical a todas as pistas, como aproximação primária ou como sistema de reserva para aproximações de precisão, até ao final do ano de 2016.

Estes tipos de aproximações por RNAV e RNP possuem a potencialidade de disponibilizar procedimentos de precisão e de não-precisão com níveis de segurança superiores aos sistemas utilizados actualmente, por apenas uma fracção dos custos destes, uma vez que se tratam de procedimentos baseados em satélites. Com a excepção do GBAS que ainda se encontra em fase experimental, estes sistemas de aproximação já se encontram implementados em vários aeroportos um pouco por todo o globo, tendo já provas dadas em termos de operacionalidade, condições de utilização, facilidade de execução e fornecimento de zonas de abatimento de ruído e de rotas que permitem uma redução no consumo de combustíveis.

Considerando a transição gradual existente actualmente no sector da aviação no sentido da navegação baseada em satélite, aliada às condições de aproximação existentes para o aeroporto do Pico e à morfologia do seu terreno envolvente, temos reunidas todas as condições para elaborar um estudo que permita avaliar a possibilidade de implementação destes novos tipos de aproximação neste aeroporto, bem como comparar a suas características com as do actual sistema de aproximação de não-precisão.

A actual aproximação por instrumentos baseada no NDB PI possui mínimos elevados, devido à fraca capacidade de precisão que pode ser garantida por este tipo de ajuda à navegação. Esta situação, além de não ser a ideal em termos de operacionalidade, é também constrangedora aquando da ocorrência de condições

meteorológicas adversas que obrigam ao cancelamento de voos. Assim, ao analisarmos as condições existentes para a aplicação das novas tecnologias RNAV, constatámos que das especificações RNP APCH são os procedimentos de aproximação de precisão por Baro-VNAV os que apresentam as melhores condições para equipar o aeroporto do Pico, com uma aproximação segura e que garanta uma melhor operacionalidade, visto que as aproximações de não-precisão RNAV (GNSS), ainda que apresentem condições para serem implementadas ao contrário dos procedimentos APV SBAS, não são capazes de garantir a orientação vertical existente no sistema Baro-VNAV. No que se refere à especificação RNP AR APCH ficou claro que a sua implementação no Pico traria grandes vantagens, não só ao sector da aproximação, mas também a toda a navegação naquela área. Contudo é preciso ter em consideração que as aproximações por RNP AR são apropriadas para aeroportos que se localizam em zonas onde o terreno envolvente apresenta condições mais restritivas que aquelas existentes nas imediações do aeroporto do Pico levando assim à obrigação do cumprimento, por parte dos operadores, de requerimentos adicionais em relação às aeronaves e às tripulações de forma a serem autorizados a voar estas aproximações. Finalmente constatámos que após a seu completo desenvolvimento e certificação, as aproximações por GLS (GBAS) possuem um grande potencial para fornecer o tipo de aproximações de precisão necessárias aquela zona do Açores.

O estudo, cálculo de altitudes mínimas e desenho dos procedimentos de aproximação RNAV, passíveis de serem implementados ao aeroporto do Pico, permitem-nos concluir que de entre os procedimentos estudados o RNP AR APCH é o que possui uma menor altitude de decisão, seguido da aproximação por APV Baro-VNAV. Contudo, a diferença de altitudes existente entre estas aproximações não é significativa e tendo em conta todas as certificações e equipamentos necessários para se efectuar os procedimentos RNP AR podemos afirmar que, para o aeroporto do Pico, a implementação de aproximações por Baro-VNAV seria suficiente para preencher a lacuna existente em termos de procedimentos de aproximação por instrumentos. Para o procedimento NPA RNAV (GNSS) é-nos possível concluir que, mesmo que este não disponibilize orientação vertical, consegue ser melhor que a aproximação NPA existente actualmente, uma vez que providencia altitudes mínimas de descida menores e segmentos de aproximação perfeitamente alinhados com a linha de centro de pista.

Quando comparadas com o único procedimento por instrumentos existente ao aeroporto do Pico, estes novos tipos de aproximações fornecem grandes vantagens pois

não só melhoram a operacionalidade do aeroporto, através de altitudes de decisão menores, como também não se encontram dependentes de quaisquer equipamentos no terreno, eliminando assim os custos associados à instalação e manutenção destas estações. Deste modo, o aumento de precisão disponibilizado por estes procedimentos melhora as condições de operacionalidade na fase de aproximação ao aeroporto do Pico, para todas as aeronaves que se encontrem devidamente equipadas.

5.2. Considerações Finais

A realização deste trabalho permitiu-nos cumprir com os objectivos traçados no seu início de estudar a viabilidade de implementação das novas tecnologias de aproximação RNAV e RNP AR APCH ao aeroporto da Ilha do Pico, no arquipélago dos Açores. Foi também possível realizar o estudo das aproximações passíveis de serem implementadas a este aeroporto, tendo sido desenhadas cartas exemplificativas de procedimentos NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV e RNP AR APCH que nos permitem visualizar o modo como estas aproximações poderiam eventualmente ser ali operacionalizadas.

Contudo, devido à falta de tempo, não foi possível explorar outras configurações possíveis para ambos os tipos de procedimentos estudados. Seria interessante estudar a possibilidade de uma aproximação RNP AR à pista 09 pelo sul da Ilha, com a utilização de várias rotas RF que permitissem um caminho livre de obstáculos à volta da montanha do Pico. Poderia também ter algum interesse o estudo da possibilidade de criação de um outro ponto IAF a meio do canal Pico/São Jorge que permitisse uma aproximação RNP AR com apenas uma troço RF para o segmento inicial de aproximação e de forma a fornecer um caminho de aproximação, que não sobrevoasse a Ilha de São Jorge. Neste caso, podia também ser efectuada uma aproximação à pista 09 pelo lado norte na Ilha do Pico que implicasse a utilização de rotas TF em todos os segmentos, com a excepção de uma curva RF no segmento final de aproximação a esta pista.

Contudo, devido à utilização preferencial dada à pista 27 pelo tráfego que chega normalmente das Ilhas de São Miguel e Terceira optou-se por focar os procedimentos a esta pista em detrimento da 09.

Convém ainda referir que não foram efectuados quaisquer estudos para as aproximações GLS disponibilizadas pelo sistema GBAS, uma vez que este ainda se

encontra em fase de certificação, enquanto que todos os outros sistemas de aproximações estudados já se encontram implementados em vários países.

5.3. Perspectivas de Investigação Futura

Em relação ao aeroporto do Pico seria de interesse a criação de procedimentos de partida por RNAV (cartas SID) que permitissem rotas de saídas pelo norte e sul da Ilha e de forma a complementar os procedimentos de chegada representados na carta STAR, apresentada neste trabalho.

No futuro pode-se aprofundar o estudo sobre a implementação destes novos tipos de aproximações RNAV e RNP não só ao aeroporto da Ilha do Pico mas também a todos os restantes aeroportos das Ilhas do Arquipélago dos Açores, uma vez que a maioria destes se encontra localizado em locais onde a morfologia do terreno envolvente limita de certo modo a operação das aeronaves.

Seria também de muito interesse estudar a possibilidade de tornar toda a navegação na área do triângulo (Faial-Pico-São Jorge), e até mesmo de todo o Arquipélago dos Açores, independente de quaisquer rádio ajudas terrestres de forma a permitir uma transição eficiente para o conceito de PBN da ICAO, aumentando a capacidade operacional deste sistema e simultaneamente reduzindo os custos associados à manutenção das estações.

Bibliografia

AIP PORTUGAL (2010) LPPI (Aeroporto do Pico) LPHR (Aeroporto da Horta), NAV Portugal, E.P.E

Ashford, N., Stanton, H. P. and Moore, C. A. (1997) Airport Operations, Second Edition McGraw-Hill, pp. 132-138

Calvet, M., and Roturier, B. (2006) Analysis of Baro-VNAV Safety issues, Navigation System Panel, 8-19 May, Brussels, Belgium

Civil Aviation Advisory Publication (2006) CAAP 179A-1(1) Navigation using Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Civil Aviation Safety Authority, Australian Government

Dias, F. (1997) Diário de Navegação. 50 anos de operação da SATA, Edição da Sata Air Açores, Ponta Delgada, Portugal

EASA AMC 20-27 (2008) Airworthiness Approval and Operational Criteria for RNP APPROACH (RNP APCH) Operations Including APV Baro-VNAV Operations, EASA, Cologne, Germany

EASA AMC 20-28 (2009) Airworthiness Approval and Operational Criteria for RNAV GNSS approach operation to LPV minima using SBAS, EASA, Cologne, Germany

EGNOS (2009) Helpdesk, Disponível: egnos-helpdesk@essp-sas.eu (9/12/09)

EUROCONTROL (2009a) APV Baro Safety Assessment, First Edition, Brussels, Belgium

EUROCONTROL (2009b) APV Baro Approach Operations Concept of Operations (CONOPS), Forth Edition, Brussels, Belgium

EUROCONTROL (2010) Five-Letter Name-Code System for Designated Points, Disponível: http://www.eurocontrol.int/icard/public/standard_page/5lnc.html (9/6/10)

Federal Aviation Administration (2002) Aviation Capacity Enhancement (ACE) Plan, Chapter 5 Operational Procedures, U.S. Department of Transportation, Office of System Capacity

Federal Aviation Administration (2004) FAA Instrument Procedures Handbook, U.S. Department of Transportation, Flight Procedures Standards Branch, Washington DC, United States of America

Federal Aviation Administration (2010) NextGen Implementation Plan, NextGen integration and implementation office, Washington DC, United States of America

ICAO (2001a) Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation, Operation of Aircraft, Part I International Commercial Air Transport – Aeroplanes, Eighth Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2001b) Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation, Air Traffic Services, Air Traffic Control Service Flight Information Service Alerting Service, Thirteenth Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2004) Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Information Services, Twelfth Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2005) Doc 9849 Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, First Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2006) Doc 8168 OPS/611 Aircraft Operations Volume II Construction of Visual and Instruments Flight Procedures, Fifth Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2007) Assembly Resolution A36-23 on Performance Based Navigation Global goals, 36th Session of the ICAO Assembly, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2008) Doc 9613 AN/937 Performance-Based Navigation (PBN) Manual, Third Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2009a) Doc 9905 AN/471 Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual, Advance Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2009b) Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I Aerodrome Design and Operation, Fifth Edition, Montréal, Quebec, Canada

ICAO (2009c) Annex 4 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Charts, Eleventh Edition, Montréal, Quebec, Canada

INAC (2009) Circular de Informação Aeronáutica nº 13/2009, Procedimentos de Aproximação por Instrumentos de não-precisão baseados em RNAV (GNSS), Lisboa, Portugal

Instituto Geográfico do Exército (2001) Carta Militar de Portugal, Série M889, Folhas 7 e 8, Escala 1:25000, Segunda edição, Lisboa

Joint Operations Graphic (1974) Ilha Terceira Azores Portugal, Defense Mapping Agency Aerospace Center, St. Louis Air Force Station, USA

Kowoma.de (2009) Disponível: http://www.kowoma.de/en/gps/waas_egnos.htm, (16/6/10)

Medeiros, R.F. (2009) *Escoamento do ar em torno da Ilha do Pico e a operacionalidade do seu aeroporto*, Tese de Mestrado em Engenharia Aeronáutica, Departamento de Ciências Aeroespaciais, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

MET (2009) Minima Estimation Tool, Software Package, Ver. 2.23 ENAC, Nexua

Nakamura, D. A. (2003) Required Navigation Performance, Boeing Air Traffic Management – Emerging Programs, the Boeing Company, Seattle, Washington

Niquette, P. (1996) Resource Books, Chapters in the Sky, Disponível: <http://www.niquette.com/books/chapsky/glossfly.htm> (15/06/10)

Nunes, J.C. (1999) *A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*, Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, Especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

Pawlowicz, L. (2008) Free Geography Tools, Disponível: <http://freegeographytools.com>, (16/6/10)

Rockwell Collins (2006) Required Navigation Performance Special Aircraft Aircrew Authorization Required (RNP SAAAR), Cedar Rapids, Iowa, USA

Serviço Regional de Estatística dos Açores (2010) Disponível: <http://estatistica.azores.gov.pt> (12/04/10)

Silva, F. (2008) ZoomAzores Project, Disponível: www.zoomazores.net (29/5/10)

Ulf, B., Schachtebeck, P. M., Feuerle, T., Hecker, P. (2006) Making the case for GBAS experimental aircraft approaches in Germany, Technical University of Braunschweig, Institute of Flight Guidance, Braunschweig, Germany

Ventura-Traveset, J., de Mateo, J. C., Nieto, J., García, I., Delfour, H., Pieplu, J. M., Dai, D., Walter, T., Enge, P. and David, J. D. (2000) Interoperability between EGNOS and WAAS: Tests Using ESTB and NSTB EGNOS, Navigation Conference Publications, GNSS 2000

Anexos

Anexo 1

Obstáculos considerados

Tipo de Obstáculo	Altura [m]	Coordenadas	
AIP			
Torre	37.8	38°33'10.4''N	028°27'13.8''W
Torre	51.1	38°33'09.2''N	028°28'09.4''W
Torre	80	38°32'48.6''N	028°29'27.5''W
Torre	71.2	38°32'58.4''N	028°28'20.6''W
Torre	72.8	38°33'09.9''N	028°28'15.0''W
Torre	76.4	38°33'01.7''N	028°28'47.8''W
Árvore	66.	38°33'05.5''N	028°28'33.9''W
Torre	54.8	38°33'07.6''N	028°28'07.4''W
Árvore	59.4	38°33'07.3''N	028°28'11.2''W
Torre	57.4	38°33'11.9''N	028°28'16.4''W
Torre	59.1	38°32'56.0''N	028°28'30.5''W
Árvore	35	38°33'17.0''N	028°25'50.7''W
Carta Militar de Portugal			
Árvore	56	38°33'03.0''N	028°25'49.0''W
Árvore	73	38°32'54.0''N	028°25'46.0''W
Árvore	67	38°32'59.0''N	028°25'42.0''W
Árvore	59	38°33'04.0''N	028°25'40.1''W
Árvore	48	38°33'08.0''N	028°25'39.0''W
Árvore	44	38°33'05.0''N	028°25'30.0''W
Árvore	67	38°32'56.0''N	028°25'32.0''W
Árvore	64	38°32'54.0''N	028°25'25.0''W
Árvore	75	38°32'53.0''N	028°25'37.0''W
Árvore	46	38°33'08.0''N	028°25'25.0''W
Árvore	56	38°32'55.0''N	028°25'20.0''W
Árvore	58	38°32'55.0''N	028°25'11.0''W
Árvore	38	38°33'07.0''N	028°25'18.0''W
Árvore	38	38°33'07.0''N	028°25'09.0''W
Árvore	44	38°33'03.0''N	028°25'09.0''W
Árvore	49	38°33'02.0''N	028°25'03.0''W
Árvore	47	38°33'11.0''N	028°24'53.0''W
Árvore	47	38°33'06.0''N	028°24'59.0''W
Árvore	64	38°32'54.0''N	028°25'02.0''W
Árvore	55	38°33'03.0''N	028°24'55.0''W
Árvore	75	38°32'55.0''N	028°24'47.0''W
Árvore	57	38°33'07.0''N	028°24'46.0''W
Árvore	53	38°33'06.0''N	028°24'38.0''W
Árvore	67	38°33'01.0''N	028°24'43.0''W
Árvore	66	38°32'56.0''N	028°24'35.0''W
Árvore	34	38°33'16.0''N	028°24'58.0''W
Árvore	34	38°33'14.0''N	028°24'31.0''W
Árvore	34	38°33'15.0''N	028°24'40.0''W
Árvore	56	38°33'04.0''N	028°24'33.0''W
Árvore	69	38°32'56.0''N	028°24'29.0''W

Árvore	45	38°33'07.0''N	028°24'29.0''W
Árvore	55	38°33'02.0''N	028°24'25.0''W
Árvore	38	38°33'14.0''N	028°24'20.0''W
Árvore	75	38°32'58.0''N	028°24'18.0''W
Torre	86	38°32'53.0''N	028°24'17.0''W
Árvore	69	38°33'03.0''N	028°24'15.0''W
Árvore	58	38°33'07.0''N	028°24'14.0''W
Árvore	83	38°32'56.0''N	028°24'12.0''W
Árvore	76	38°33'00.0''N	028°24'09.0''W
Árvore	57	38°33'07.0''N	028°24'05.0''W
Árvore	69	38°33'05.0''N	028°24'04.0''W
Árvore	48	38°33'10.0''N	028°24'02.0''W
Árvore	75	38°33'13.0''N	028°24'01.0''W
Torre	89	38°32'59.0''N	028°24'00.0''W
Árvore	94	38°32'55.0''N	028°24'00.0''W
Árvore	35	38°33'14.0''N	028°23'59.1''W
Árvore	57	38°33'07.0''N	028°23'58.0''W
Árvore	45	38°33'14.0''N	028°23'55.0''W
Árvore	68	38°33'05.0''N	028°23'54.0''W
Árvore	83	38°33'00.0''N	028°23'54.0''W
Árvore	92	38°32'56.0''N	028°23'53.0''W
Árvore	78	38°33'03.0''N	028°23'48.0''W
Torre	96	38°32'56.0''N	028°23'45.0''W
Árvore	43	38°33'13.0''N	028°23'44.0''W
Árvore	67	38°33'06.0''N	028°23'42.0''W
Árvore	78	38°33'03.0''N	028°23'40.0''W
Árvore	87	38°33'04.0''N	028°23'34.0''W
Árvore	107	38°32'48.0''N	028°23'33.0''W
Árvore	56	38°33'00.2''N	028°23'35.0''W
Árvore	75	38°32'59.0''N	028°23'26.0''W
Árvore	87	38°32'54.0''N	028°23'22.0''W
Árvore	85	38°32'54.0''N	028°23'12.5''W
Árvore	77	38°32'56.0''N	028°23'04.5''W
Árvore	87	38°32'54.0''N	028°22'56.0''W
Árvore	68	38°32'59.0''N	028°23'03.0''W
Árvore	118	38°32'43.0''N	028°22'39.0''W
Árvore	78	38°32'53.0''N	028°22'48.0''W
Árvore	36	38°33'12.0''N	028°25'53.0''W
Árvore	44	38°33'09.0''N	028°25'56.0''W
Árvore	67	38°32'58.0''N	028°25'52.0''W
Árvore	57	38°33'04.0''N	028°25'58.0''W
Árvore	63	38°32'57.0''N	028°26'01.0''W
Árvore	35	38°33'13.0''N	028°26'05.0''W
Árvore	55	38°33'04.0''N	028°26'04.5''W
Árvore	48	38°33'07.0''N	028°26'05.5''W

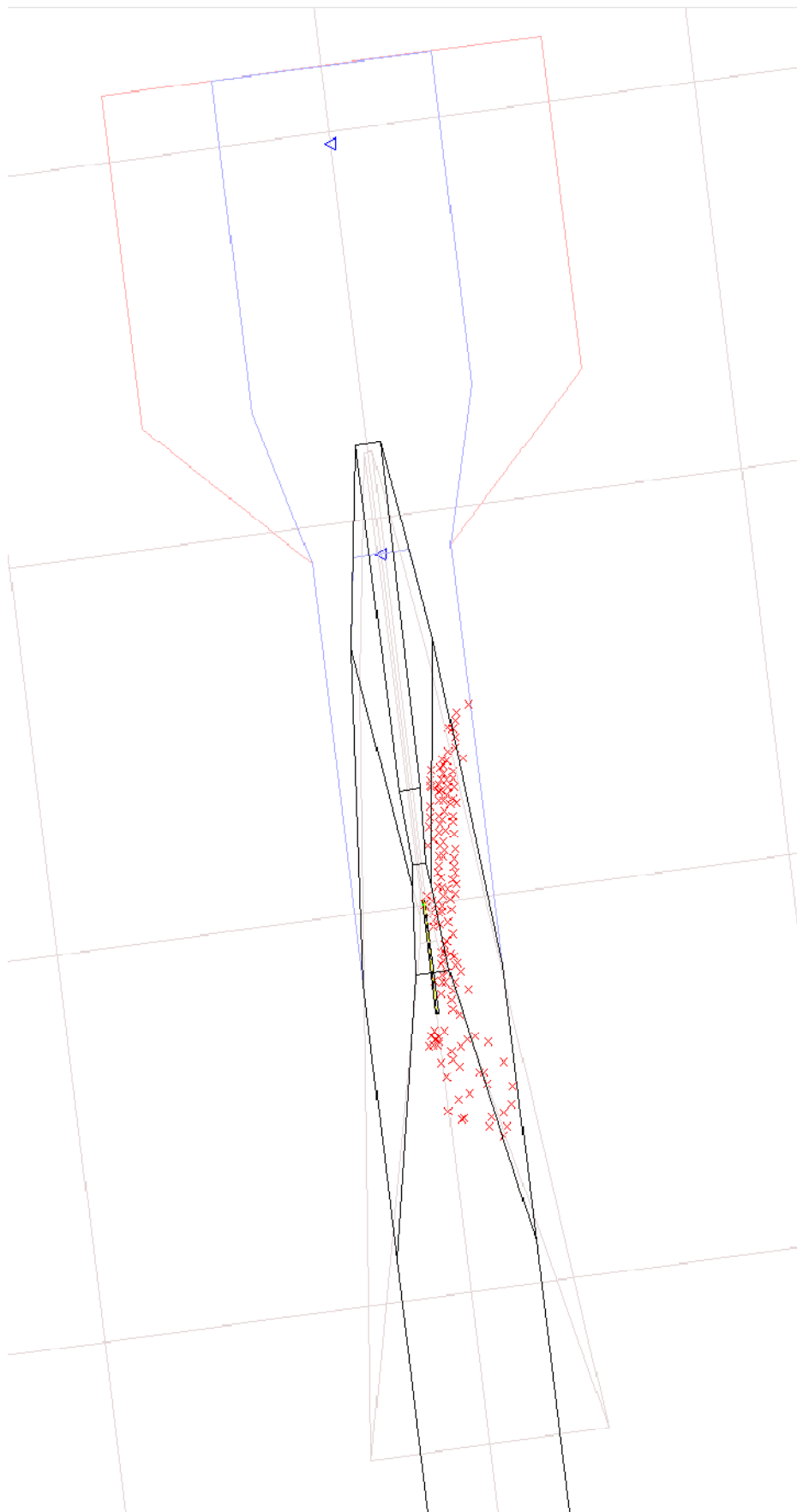
Árvore	48	38°33'11.0''N	028°26'13.0''W
Árvore	64	38°32'59.5''N	028°26'14.0''W
Árvore	55	38°33'06.0''N	028°26'16.0''W
Árvore	46	38°33'11.5''N	028°26'19.5''W
Árvore	64	38°32'56.5''N	028°26'26.0''W
Árvore	56	38°33'00.0''N	028°26'33.0''W
Árvore	45	38°33'02.0''N	028°26'36.0''W
Árvore	38	38°33'05.5''N	028°26'44.5''W
Árvore	44	38°33'02.5''N	028°26'44.5''W
Árvore	55	38°32'58.0''N	028°26'45.5''W
Árvore	76	38°32'55.0''N	028°26'48.0''W
Árvore	43	38°33'03.0''N	028°26'52.0''W
Árvore	71	38°32'52.0''N	028°26'55.0''W
Árvore	66	38°32'54.5''N	028°26'57.0''W
Árvore	36	38°33'05.0''N	028°26'56.5''W
Árvore	53	38°33'00.0''N	028°27'04.0''W
Árvore	44	38°33'04.5''N	028°27'06.0''W
Árvore	73	38°32'49.0''N	028°27'03.0''W
Árvore	54	38°33'01.0''N	028°27'13.5''W
Árvore	48	38°33'04.0''N	028°27'13.0''W
Árvore	64	38°32'54.0''N	028°27'13.0''W
Árvore	56	38°32'56.0''N	028°27'21.0''W
Árvore	38	38°33'05.5''N	028°27'25.0''W
Árvore	48	38°32'57.0''N	028°27'31.5''W
Árvore	46	38°32'56.0''N	028°27'40.0''W
Árvore	62	38°32'50.0''N	028°27'45.0''W
Torre	95	38°32'38.0''N	028°28'05.0''W
Árvore	89	38°32'44.0''N	028°28'09.0''W
Árvore	54	38°33'02.0''N	028°28'01.3''W
Árvore	48	38°33'10.0''N	028°28'01.0''W
Árvore	96	38°32'43.0''N	028°27'20.5''W
Árvore	45	38°33'13.0''N	028°28'05.5''W
Árvore	86	38°32'49.0''N	028°28'16.0''W
Árvore	43	38°33'15.9''N	028°28'16.0''W
Árvore	81	38°32'50.0''N	028°28'36.0''W
Árvore	122	38°32'34.0''N	028°28'41.0''W
Árvore	122	38°32'27.0''N	028°28'11.0''W
Árvore	121	38°32'28.0''N	028°28'53.0''W
Árvore	132	38°32'42.0''N	028°29'02.0''W
Árvore	85	38°32'51.0''N	028°29'08.0''W
Árvore	196	38°32'07.0''N	028°28'55.0''W
Árvore	61	38°32'59.0''N	028°29'20.0''W
Árvore	97	38°32'30.0''N	028°28'41.0''W
Árvore	119	38°32'14.0''N	028°29'21.0''W
Árvore	97	38°32'24.0''N	028°29'25.5''W

Árvore	74	38°32'49.0''N	028°29'28.0''W
Árvore	88	38°32'26.0''N	028°29'35.5''W
Árvore	143	38°32'14.0''N	028°28'31.0''W
Árvore	127	38°32'08.0''N	028°29'13.0''W
Árvore	109	38°32'11.0''N	028°29'35.0''W
Árvore	95	38°32'14.0''N	028°29'44.0''W

Anexo 1.1 Características dos obstáculos considerados

Anexo 2

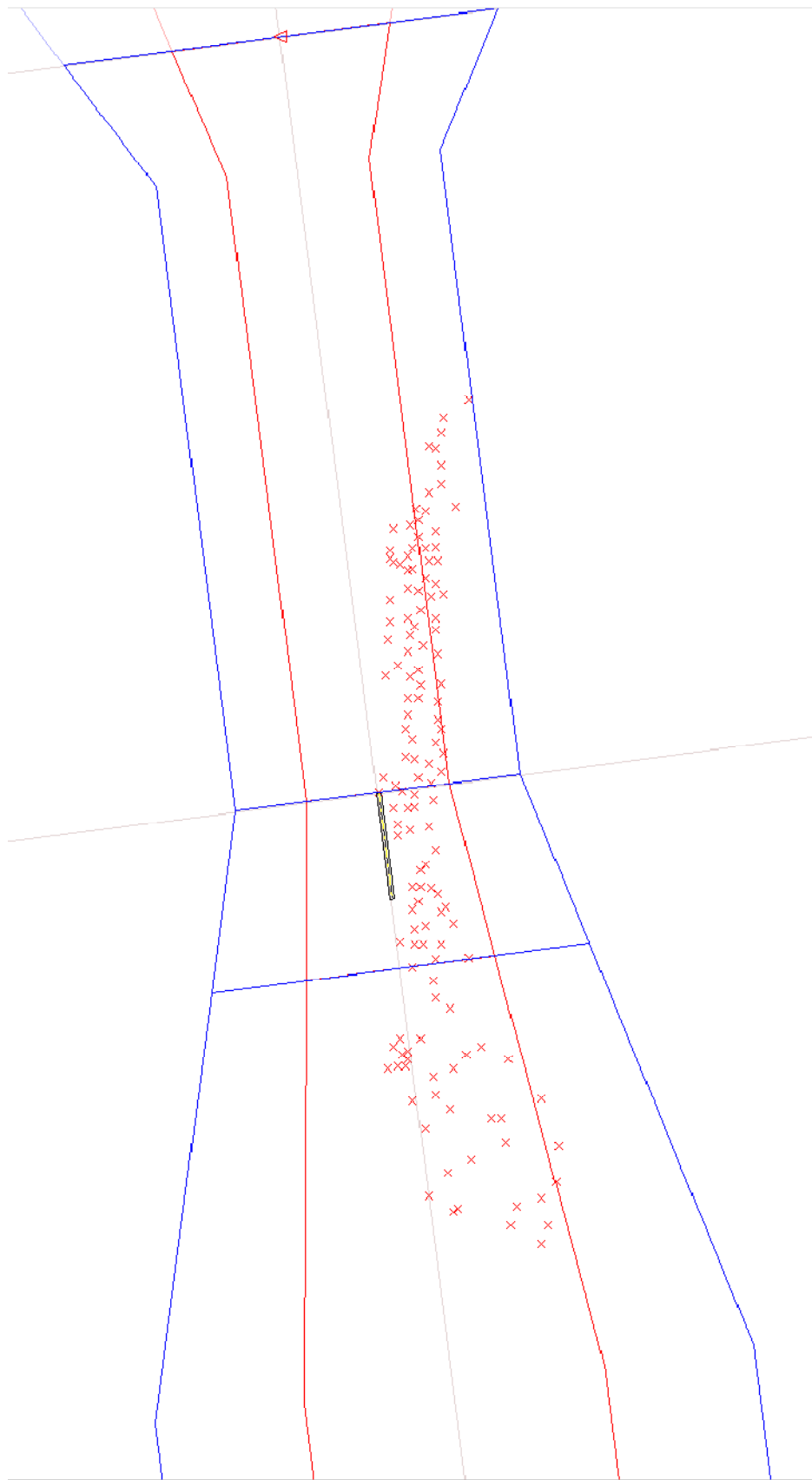
Representação planificada das
superfícies de protecção



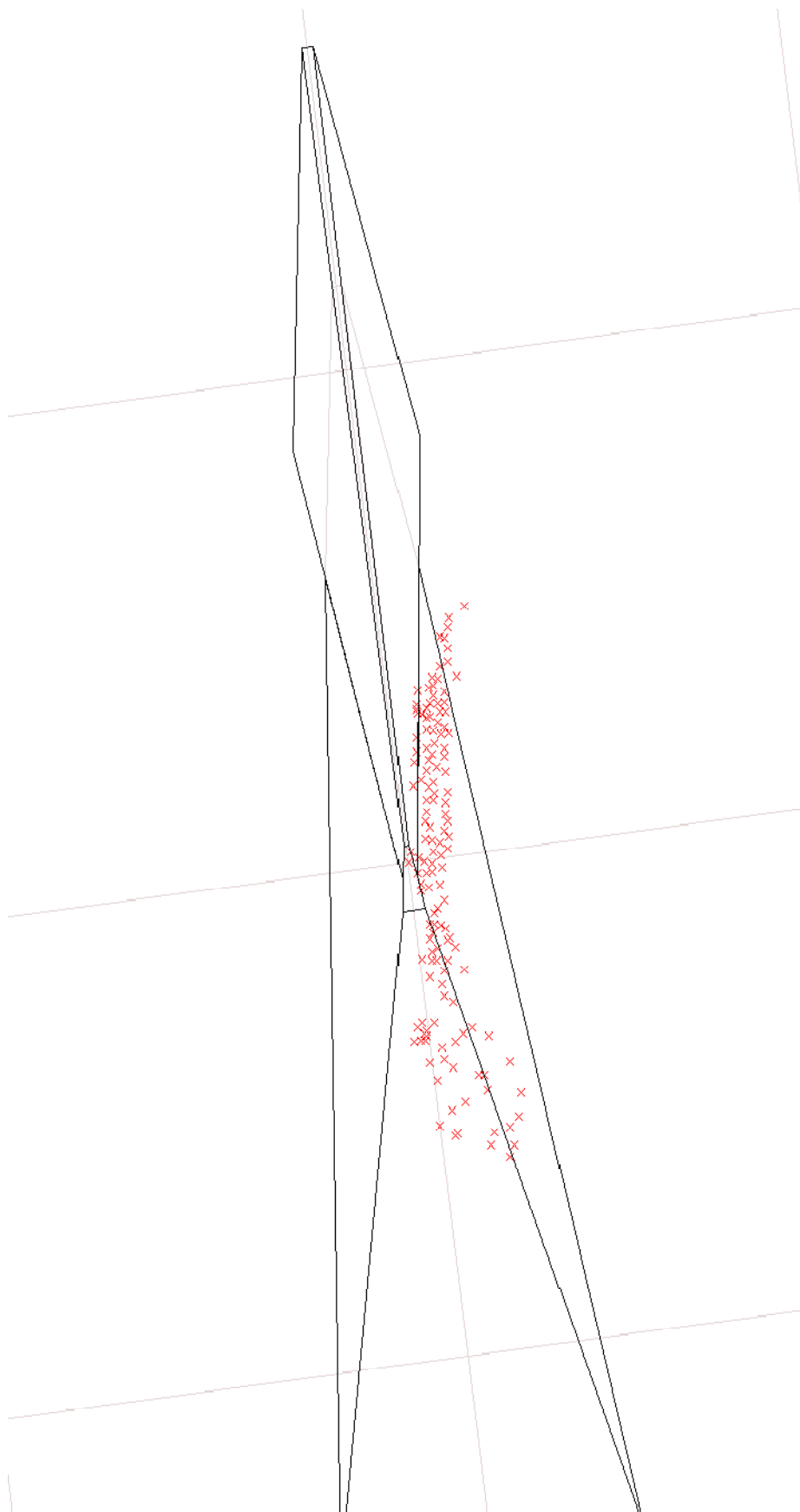
Anexo 2.1 Superfícies APV para a cabeceira da pista 27



Anexo 2.2 Superfícies LNAV e Baro-VNAV para a cabeceira da pista 27



Anexo 2.3 Vista dos obstáculos, com as superfícies LNAV e Baro-VNAV



Anexo 2.4 Superfícies ILS para a cabeceira da pista 27

NOTA: As linhas apresentadas a vermelho representam a área primária, as linhas a azul marcam a área secundária e as cruces a vermelho os obstáculos que foram considerados para efeito do cálculo. De referir também que a pista representada, apenas serve de marcador genérico, não possuindo as características da pista do aeroporto do Pico.

Anexo 3

Pontos utilizados para o desenho das
cartas de aproximação

<i>Fix</i>	Ponto	Tipo	Coordenadas		Notas
IAF	FURNA	Fly Over	38°35'15.28"N	028°06'31.14"W	
IF	LUZIA	Fly By	38°34'37.34"N	028°12'53.69"W	
FAF	ARCOS	Fly By	38°33'57.08"N	028°19'36.34"W	
MAPt	RW27	Fly Over	38°33'18.86"N	028°25'56.88"W	
MATF1	PI001	Fly By	38°32'47.84"N	028°30'59.72"W	Apenas para RNAV (RNP)
MATF2	PI002	Fly By	38°38'45.79"N	028°31'59.13"W	Apenas para RNAV (RNP)

Anexo 3.1 Pontos utilizados no desenho das cartas de aproximação

Anexo 4

Artigo Científico aceite para
publicação na 14^a Conferência
da ATRS

RNP-AR and RNAV Approach Systems. The Case for Pico Island Airport

Duarte Medeiros and Jorge Silva
Aerospace Sciences Department
Beira Interior University, Covilhã, Portugal
+ 351 275 329 732; + 351 275 329 768
duartemed@gmail.com and jmiguel@ubi.pt

This work deals with the possibility of the implementation of RNAV and RNP AR approaches to Pico island airport in the Azorean archipelago.

The main objective is to prove that this new type of approach technology can be implemented in the Azorean islands airports in accordance with the ICAO rules, providing an increase in safety and lowering approach minima, thus reducing the costs associated with the operation and maintenance of others traditional approach systems.

So a study of the design procedures of RNAV and RNP AR systems will be conducted in order to find out if these new types of approaches can be fully implemented at Pico Island airport without any type of restrictions. Using the MET software tool from EUROCONTROL, the approach minima can be calculated allowing a comparison among the several types of approach technologies. Then, a design of the particular approach procedures to Pico Island airport can be made in accordance with the ICAO standards and recommended practices.

Key words: RNAV and RNP AR Approach Systems, ICAO Rules, Pico Island Airport

I. Introduction

The aviation sector is in a constant state of development. The same is true for its systems of safety, which are forced to adapt to this evolution through its own development.

Studies show that, when compared with 2006, Europe's air traffic movements will probably double in the next 20 years, creating the need to improve the air traffic control system, in order to relieve overcrowded areas, prevent delays and increase safety.

One of the solutions to this problem is the application of area navigation (RNAV) techniques that have been around since the late 1960's, but only begun to be implemented in Europe in 1998. Before then, the European air navigation system was based on fixed routes that were anchored to the locations of the ground-based radio navigation aids such as VOR/DME for domestic flights and INS systems for oceanic flights. As the navigation capacity of the aircraft population grew more precise and sophisticated, these systems became more expensive, inflexible and inefficient in terms of used airspace and aircraft navigation capacity. So, at the beginning of the 80's there was an overall understanding that RNAV navigation would form the basis of the future navigation system.

RNAV navigation is defined as "a method of navigation which permits aircraft operation on any desired flight path within the coverage of station-referenced navigation aids or within the limits of the capability of self-contained aids, or a combination of these [1].

The concept of area navigation was introduced at the same time as the concept of RNP, which is the predecessor of the actual PBN concept, and can be defined as "an area navigation system which supports on-board performance monitoring and alerting. [1]. The RNAV and RNP system are very similar. The key difference lies with the

requirement for on-board performance monitoring and alerting. If the navigation specification has this requirement, it is referred to as an RNP specification. If it hasn't then it is an RNAV specification.

Nowadays, the navigation concept used by the ICAO is PBN, that specifies that aircraft RNAV system performance requirements be defined in terms of accuracy, integrity, availability, continuity and functionality required for the proposed operations in the context of a particular airspace concept [1].

In this new navigation concept, we find RNP specifications that relate to the approach segment of the flight. These are the RNP APCH and RNP AR APCH. Apart from these there are other types of approach systems that emerged on the last two decades which take advantage of the GNSS system, assuring the continuous evolution of these safety systems.

In this work we study the possibility of implementing the new approach technologies to Pico island airport in the Azorean archipelago. We hope to prove that this new type of approach technologies can be installed in the islands airports of this region in compliance with all the ICAO rules, providing an increase in safety, minimizing the approach minimums and cutting back on the operational and maintenance costs associated with the existing approach systems.

II. Approach Systems

The origins of the approach systems that exist today go back to the end of World War II when commercial aviation was experiencing an unprecedented rate of expansion. New systems were needed that would allow operations in all kinds of atmospheric conditions. Thus, importance and funding was given to research in this specific area of navigation systems.

Traditionally, we can separate approach procedures in two different types. Precision approach (PA) and non-precision approach (NPA). Precision approaches utilize systems such as the ILS and MLS, and non-precision approaches use ground-based radio navigation aids such as the VOR, NDB or DME to guide the aircraft to a point where the runway is visible so that a landing can be made in visual conditions with the terrain. Precision approach are executed with vertical guidance in order to obtain a continuous descent profile as opposed to non-precision approaches where a descent is made without vertical guidance, requiring sometimes several altitude levels in predetermined points on the approach.

Precision approaches provide the highest level of safety and practically every aircraft equipped with IFR instruments has ILS systems. However, it isn't economically viable or even practically possible to install ILS equipments on every runway. Sometimes the ILS system can be out of service due to maintenance work on the system or on the airport and consequently, non-precision approaches have to provide alternatives, even if it means the degradation of airport accessibility.

Nowadays, with the increasing availability of RNAV capabilities on-board aircraft and in particular the use of GPS, conventional navigation is losing ground to area navigation, where RNAV approaches depend on a series of waypoints, routes, altitude and speed constrains, available on the navigation data base, to guide the aircraft during the approach segment.

A. RNAV

When the navigation is based on RNAV systems, the restrictions imposed by the routes and conventional procedures, where the aircraft are forced to overfly the ground

stations, are removed, increasing the flexibility and operational efficiency as seen in

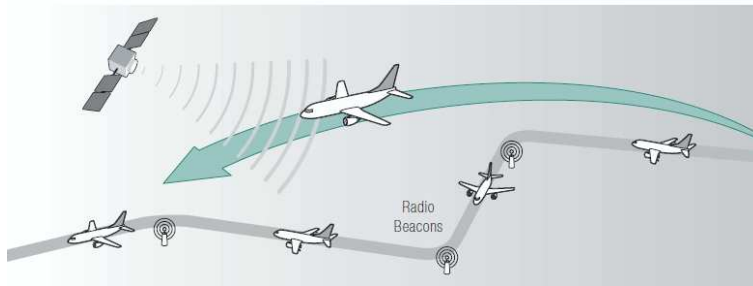


Figure 1. RNAV routes vs conventional routes [2].

Figure 1. There are a great number of RNAV systems that range from systems based on only one sensor to systems that need the input from multiple navigation sensors which may or may not be connected to the auto-throttle or auto-pilot,

allowing for more automatic flight operation. Despite the differences in architecture and equipments, the basic types of functions provided by RNAV equipment are similar.

The navigation function works with data that can include aircraft position, velocity, vertical flight path angle, drift angle, magnetic variation, barometric corrected altitude and wind direction and magnitude. Although the navigation can be based on a single type of navigation sensor like the GNSS, many systems are multi-sensor, since they use a variety of navigation sensors including GNSS, DME, VOR, and ILS to calculate the aircraft position and speed.

As the aircraft progresses along its flight path and if the RNAV system is using ground nav aids, it uses its current estimate of the aircraft position and its database to automatically tune the ground stations to obtain the most accurate radio position. The vertical and horizontal guidance is shown to the pilot in the RNAV system or provided through other information displays systems.

Some types of RNAV systems have a database where information regarding nav aids, waypoints, flight paths and terminal procedures are stored. The system uses all this information in order to plan the flight, and can also compare the information acquired from the sensors with the one in its database. RNAV systems can provide information about the flight progression, terminal and approach procedures to be used and the origin and destination of the flight. This information includes estimated time of arrival and distance to the next waypoint which are useful in coordination with air traffic control.

A navigation specification defines the performance required of the RNAV system in terms of precision, integrity, availability and continuity; which navigation functionalities needed; which navigation sensors needed; and which requirements are placed on the flight crew. For oceanic, remote, en-route and terminal operations, the RNAV specifications are designated as RNAV X (example: RNAV 1). The expression X refers to the lateral navigation precision in nautical miles, which is expected to be achieved at least 95% of the flight time by the population of aircraft operating within the airspace, route or procedure.

For pilots, the main advantage in using RNAV systems resides in the fact that the navigation is done by sophisticated and precise equipments, allowing a reduction in the cockpit workload and an increase in safety. From a controller point of view, the main advantage is in the easy way in which he attributes routes, since they no longer are subjected to the location of the ground nav aids [1].

B. RNP

The RNP system is basically an RNAV system whose functionalities support on-board performance monitoring and alerting. Its requirements include the capacity to follow a desired ground track with reliability, repeatability and predictability, including curved paths. When vertical profiles are included for vertical guidance, the requirements

also include the use of vertical angles or specified altitude constraints to define a desired flight path.

The on-board alerting and monitoring function is the principal element that determines if the navigation system complies with the necessary safety level associated with the RNP application. It relates to the lateral and longitudinal navigation performance, and it allows the crew detection, that the navigation system is not achieving or cannot guarantee with 10^{-5} integrity, the navigation performance required for the operation.

The RNP specifications are kept thanks to the RNP on-board system, whose function is to keep the aircraft in a determined route. A RNP 0.3 specification, guarantees that the aircraft will remain at 0.3 nautical miles to the left or right of the route central line, 95% of the flight time of the population of aircraft operating within that airspace as shown in Figure 2. The system integrity assures the pilot that the aircraft will not deviate more than 0.6 nautical miles to the left or right of the route center line 99.99999% (10^{-5}) of that time [1].

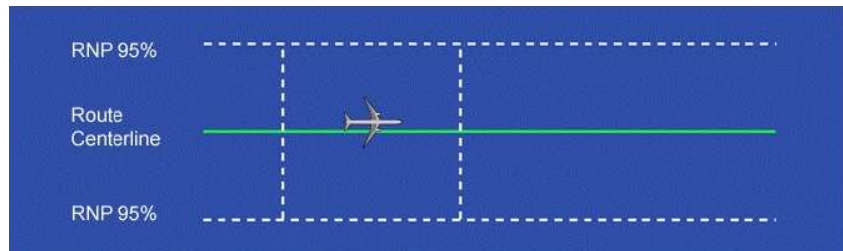


Figure 2. Air corridor assured by RNP [3].

The RNP systems provide improvements in the integrity of operations. This allows for flight paths with less separation between them providing sufficient integrity in order to allow only the use of RNAV systems for navigation in a determined airspace. In controlled airspace, separation minima and route spacing based on RNP specifications provide a great benefit when compared to the RNAV specifications thanks to the on-board performance alerting and monitoring system that makes it easy for the controllers by providing new means of risk mitigation.

C. PBN

The PBN concept specifies that the RNAV systems performance requirements be defined in terms of precision, integrity, availability, continuity and functionality needed for the proposed operations in the context of particular airspace concept. The PBN concept represents a change from sensor based navigation to performance based navigation. Performance requirements are identified in navigations specifications, that also identify the choice of navigation sensors and equipment that can be used to comply with the performance requirements. These navigation specifications provide specific implementations guides lines to states and operators in order to facilitate global harmonization [1].

D. GNSS system

There are two constellations of GNSS systems in operation today, the GPS and the GLONASS. Both systems are made of a constellation of orbiting satellites, supported by ground stations and by receptors on-board the aircraft. This constellations systems, originally design for military use and providing a certain level of performance to some civilian applications, need to be complemented or augmented through additional systems in order to provide the required performance for aeronautical operations. A future third GNSS system approved for the use in aviation will be the Galileo, which consists in an initiative from the European Union, ESA and EUROCONTROL. It will

be based on a constellation of 30 satellites supported by ground stations and provide positional information in a similar way to that of the GPS and GLONASS systems.

When seen in a global way, the GNSS system is fundamentally different from the traditional navigational aids. It has the potential to support every flight segment by providing navigational elements in a global scale, thus having the possibility of eliminating the dependency on a series of terrestrial and aerial systems designed to comply with the specific requirements of the several flight segments.

The first operations to be certified for GNSS system utilization were en-route (domestic and oceanic), terminal and non-precision approach operations, in 1993. These certifications, based on the ABAS augmentation system, were implemented with operational restrictions. However, they provided substantial benefits to the aircraft operators. The GNSS system provides precision guidance in remote and oceanic areas where it is impractical, very expensive or impossible to provide guidance through conventional nav aids. Even in areas where the coverage by conventional nav aids isn't a problem, the GNSS system can support area navigation operations allowing aircraft to follow more efficient flight paths. The GNSS brings this capacity to economic reach of all aircraft operators, allowing states to design en-route and terminal airspace for maximum capacity and a minimum of delays. This system can improve airport utilization by implementing lower approach minima without installing any type of nav aids at the airport location, because it can support Approach Procedures with Vertical guidance (APV) in all runways.

The availability of guidance through GNSS will lead to the deactivation of some existing nav aids, lowering the long term costs that translate into savings by the airspace user. Planning for conventional nav aids deactivation is dependent on the availability of GNSS service in a specific airspace and in the proportion of the aircraft equipped with these systems.

Despite the benefits associated with GNSS technology, there are some inherent limitations that should be taken into consideration. A transition to GNSS systems represents a great challenge to all the members of the aviation community, affecting the aircraft operators, pilots, ATC and airspace regulators. The global nature of GNSS systems also requires a great level of coordination between the states involved [4].

E. ABAS

The satellite constellations that constitute the GNSS system weren't developed to satisfy the special requirements of IFR navigation. For this reason, the avionics used in these operations must be able to augment the signal provided by the GNSS system in order to guarantee its integrity. The ABAS system augments and/or integrates the GNSS information with the information available on-board the aircraft in order to enhance the performance of the satellites constellations.

The most common technique of ABAS is denominated Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) that requires range measurements from redundant satellites in order to detect corrupt signals and alert the pilots.

F. SBAS

The SBAS system augments the signal from the satellites constellations, providing correction information, range measurements and integrity through signals from geostationary satellites.

When providing differential corrections, extra range signals from the geostationary satellites and integrity information to each navigation satellite, the SBAS system provides a greater availability than the ABAS system. This system possesses a great

integrity and performance which allows it to support Approach Procedures with Vertical guidance (APV).

In many cases, the SBAS systems can provide lower minimums than the ones associated with non-precision approaches, resulting in an increase in airport utilization. Almost every SBAS based approach offers the capability of vertical guidance, thus increasing safety significantly. The APV approach minima (to decision altitudes/height (DA/H) of 250 feet) are higher than the approach minima for category I; however, APV approaches do not need ground structures, which means that this increase in safety is at the financial reach of a larger number of airports [4].

There are currently three SBAS systems being developed, the European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), the Indian GPS e Geostationary Earth Orbit (GEO) Augmented Navigation (GAGAN) and the Japanese Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) Satellite-based Augmentation System (MSAS). Only one system, the American Wide Area Augmentation System (WAAS), is fully operational.

In this work we are particularly interested in EGNOS and WAAS due to their coverage area geographical proximity to the Azorean archipelago.

G. RNP APCH RNAV (GNSS)

The RNP APCH specification is defined by RNAV (GNSS) non-precision approaches, APV Baro-VNAV and APV SBAS precision approaches.

RNAV (GNSS) non-precision approaches are bi-dimensional, non-precision approaches that provide lateral but not vertical guidance. These operations are conducted to a minimum descent altitude/height (MDA/H) from which the pilots are forced to execute a missed approach if visual conditions with the terrain cannot be obtained when reaching the missed approach point (MAPt). These minimum altitudes are defined as LNAV minima and vary with the physical conditions of each runway. RNAV (GNSS) operations can also be referred to as LNAV approaches.

These approaches have the capability to improve IFR flight operations, especially in small aerodromes used by commercial aviation that do not have any kind of radio navigation services, and thus are capable of providing non-precision approaches, without the need to invest in ground equipment. As such, the requisites to perform an RNAV (GNSS) approach only concern the aircraft on-board equipment.

These types of non-precision approaches are the first step in the road to the implementation of all the other types of RNAV approach. Several countries, including Portugal, have already approved these operations.

H. RNP APCH APV Baro-VNAV

Baro-VNAV approaches are approaches with vertical guidance provided by a barometric altimeter. These operations are conducted to a decision altitude/height (DA/H) instead of a MDA/H and can be referred to as LNAV/VNAV approach. In a Baro-VNAV approach, lateral guidance is based on GNSS systems (with RAIM), which means it is identical to LNAV non-precision approach and vertical guidance is based on barometric data processed by the on-board computer. The initial and intermediate approach segments for APV Baro-VNAV operations are identical to RNAV (GNSS), the only difference between them being the final approach segment.

This type of tri-dimensional approach has an improved capacity of fulfilling the safety requirements when compared to non-precision approaches, since the obstacle clearance altitude and the presence of a decision altitude, instead of minimum descent altitude, increases the safety margins. Because they are based on barometric altimeters, Baro-VNAV approaches do not require any type of navigational infrastructure,

making these procedures an excellent option for air carriers that operate to airports whose difficult geographic characteristics make it impossible to install conventional precision approaches. These airports can now be equipped with an approach procedure that despite having higher minima than ILS can provide precision guidance to properly equipped aircraft.

However, there are some limitations inherent to these approach systems. For Baro-VNAV operations, the human factor is involved in the gathering of real time navigation information, since the local altimeter pressure needs to be inserted in the system. Human error can occur in any step of this information chain. Starting with the measurements of meteorological parameters and ending in its manual introduction in the VNAV system by the pilots. Other limitation factors reside in adverse meteorological conditions, particularly in temperature extremes, which can induce errors on the vertical descent path provided through the Baro-VNAV system.

I. RNP APCH APV SBAS

APV SBAS approaches are also part of the RNP APCH navigation specification. These types of approaches with vertical guidance provided by an SBAS system are made to a DA/H, depicted on the LPV minima box, available on the approach charts. Lateral performance is equivalent to that of the ILS localizer system and vertical guidance is provided through a geometric path instead of the barometric altimeter. This guidance is made possible by the SBAS systems, which possess the ability to augment the signals from the GNSS system. The initial and intermediate approach segments for APV SBAS operations are also identical to RNAV (GNSS), with the same exception for the final approach segment.

APV SBAS approaches are of great importance for the aviation sector, since they make it possible establish approaches to minima of only 250 feet at airports that do not have or need any type of ground nav aids. However, their dependency on SBAS systems, limits them to specific coverage areas. Therefore, at the moment it is only possible to execute APV SBAS approaches in the continental United States of America (which is covered by WAAS). This is bound to change in late 2010, when EGNOS is scheduled to become operational in the ECAC region.

J. RNP AR APCH

RNP AR APCH is a navigation specification that allows a higher level of navigation performance, with the improved capacity to solve accessibility problems to airports located in obstacle rich environments and facilitate advances in air traffic management. It requires from operators the fulfillment of additional requirements regarding aircraft and crew and also a special operational authorization from the state regulatory agency.

RNP AR procedures provide operational and safety advantages over all the others RNAV approaches, because they incorporate additional precision, integrity and functional capacities in order to provide operations that have reduced obstacle separation tolerances, thus making it possible to implement approach and departure procedures in conditions where other types of procedures would be operational impossible or unsatisfactory.

Conventional approach procedures are based in old assumptions that account for an increase in precision as the aircraft approaches the runway. This may be true for systems like the ILS or VOR, but it is not for satellite navigation systems. Therefore, the angular concept used for conventional approach systems is replaced in the RNP AR approaches by the linear protection concept.

Another great advantage of the RNP AR APCH specification is the possibility to use curved flight paths in any segment of the procedure including the final and missed

approach. They are referred to as Radius-to-Fix (RF) legs and can be stored in the navigation database in the same way as any other part of the procedure. These legs are used when it's necessary to follow a specific path in order to avoid obstacles or to maintain traffic separation from an adjacent airspace.

The great precision provided by this type of approach requires the existence of a higher quantity of redundant systems. In order to obtain the necessary certification, the aircraft has to have at least dual GNSS sensors, dual FMS systems, dual air data systems, dual autopilots and a single inertial reference unit [1].

III. Application in Pico Island

Pico Island is part of the Azorean archipelago which is situated in the North Atlantic at a distance of approximately 1600 km from the European continent. The Azores are a group of 9 islands, which are divided into three smaller groups in accordance with their geographical proximity (see Figure 3). Pico Island constitutes the central group together with Faial, São Jorge, Graciosa and Terceira Island. The terrain is dominated by the great volcanic mountain that gives name to the Island. Its higher point is Pico Pequeno, located at the summit of Pico Mountain at an altitude of 2351 meters. The rest of the Island (central and oriental), is characterized by a chain of hills whose heights sometimes surpass 1000 meters.

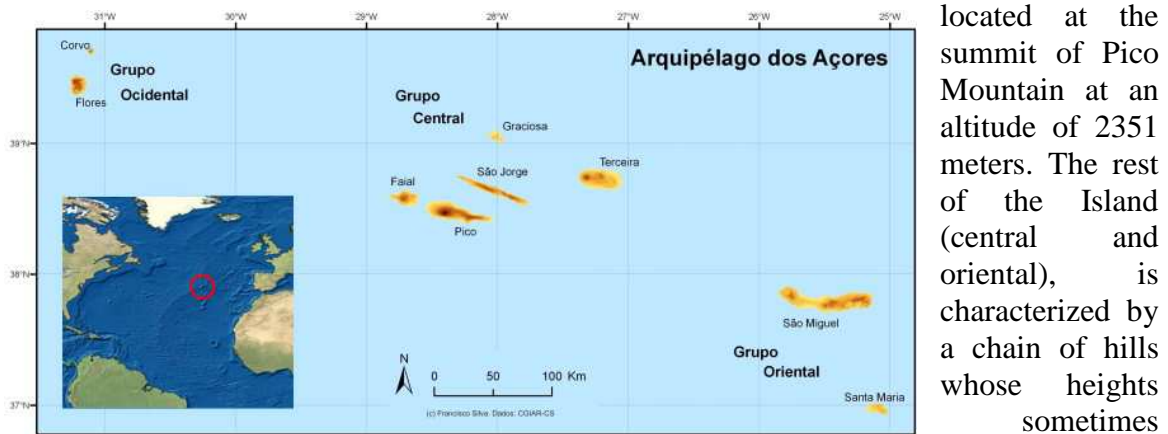


Figure 3. Pico Island location [5].

In generic terms, the Island climate is characterized by good temperatures with small annual thermal amplitude, precipitation all year, high relative air humidity, clouded skies and frequent strong winds [6].

A. Localization and Limitations

Pico's airport is located in Cachorro at approximately 8 km from the town of Madalena. It is operated by SATA Gestão de Aeródromos and has a runway with the orientation 09/27 with 1745 meters length by 45 meters width at an elevation of 34 meters. The runway has certified lighting for night operations and both VFR and IFR traffic is permitted. The only instrument approach procedure available is based on the NDB locator PI located in the approach to runway 27 at 1.4 nautical miles from the threshold. It is an uncontrolled aerodrome and all the authorizations are provided by Horta tower in Faial Island.

The airport was constructed in a place where the morphology of the surrounding terrain only permits the existence of an approximately East/West orientated runway, making it vulnerable to Southern winds which happen to be the predominant winds in the archipelago. The greatest restriction to IFR traffic in the entire triangle region (Pico, Faial and São Jorge Islands) is without doubt Pico Mountain with its 2351 meters. This geographical environment, coupled with the construction of the airport on the northern

shore of the Island, subject the aircraft to frequent turbulence and windshear caused by the influence of the terrain in the air flow. These weather phenomenon caused by the surrounding terrain morphology are quite common in all the archipelago Islands due to their irregular terrain [7].



Figure 4. Location of Pico airport [8].

Besides the limitations imposed by the surrounding terrain and predominant meteorological conditions, the Island's airport is in need of a precision approach system. This is being taken care of with the adjudication of an ILS system installation. When operational, this system will turn obsolete the actual non-precision approach based on the NDB locator PI, which

allow approaches to a MDA of 1000 feet for category A and B aircraft, and 1020 feet for category C aircraft. Also from an aerial navigation point of view, there is the need to implement, in the triangle, new systems that would provide a higher level of precision. The Faial Island VOR/DME, where all the instruments procedures for that region are based, is unusable as a VOR below 5000 feet, creating a hole in the precision navigation capacity. The new approach technologies have the ability to mitigate these limitations that affect Pico Island airport.

B. RNAV Approaches

RNAV (GNSS) non-precision approaches are the only type of RNAV approaches that have already been implemented in Portugal. Today, these procedures are implemented to Corvo and Vila Real aerodromes, providing dully equipped aircraft with the option to execute non-precision approach procedures to aerodromes where there isn't any type ground nav aids.

In Pico's case, the implementation of this type of approach procedures won't necessarily bring great advantages since one NPA approach to the airport already exists. However, there is some interest in comparing these two different types of NPA in terms of procedure execution, minima altitude and associated costs. These two types of non-precision approach can also coexist without any interference from each other.

Pico airport is a good candidate for the implementation of APV Baro-VNAV approaches since a major part of the aircraft that constitute its regular traffic are properly equipped (barometric altimeter) in order to execute these types of approaches. Another advantage has to do with the geographic location of the Island and its climate, which does not allow for great temperature variations, thus minimizing the errors associated with these phenomena in the Baro-VNAV approaches. This type of approach would be benefic to the Island's airport, allowing for the implementation of a precision approach with all its inherent advantages, without the necessity for big investments on ground equipment.

The APV SBAS approaches allow the execution of precision approaches with lower minima than the Baro-VNAV approaches. However, their dependency on SBAS systems means that they can only be carried out on this system coverage area. The SBAS system that has the best conditions for providing this type of service to Pico airport is EGNOS, but unfortunately, due to the fact that the Azorean archipelago lies

on a peripheral zone of this system service volume, its performance in the region is quite bad, making it impossible to fulfill the necessary requisites to support APV-I operations. The EGNOS system limitations in the Azores can be observed in Figure 5, referent to the availability of APV-I provided by the system, on a typical day.

Studies made through the test platforms of the WAAS and EGNOS systems, show that the interoperability of these systems has the potential to provide NPA service levels in this area that would not be possible with only one of the SBAS systems. Therefore, even if LPV approaches are out of the question, all of that region can still have the navigational advantages provided by the SBAS systems [9].

Pico airport with all its surrounding morphological characteristics is a perfect

candidate to the implementation of RNP AR approaches which have been specially developed for these types of terrain. Even if Pico isn't an extreme example such as Juneau airport in Alaska, Linzhi in China or Innsbruck in Austria, the inherent advantages to the application of this approach cannot be ignored.

This type of approach provides not only new procedures to Pico airport but also facilitates the implementation of air routes in all of the triangle region in order to optimize this airspace, that despite its special morphology only possess one VOR/DME station in Faial Island and one NDB in Pico, in which to base all its instrument navigation.

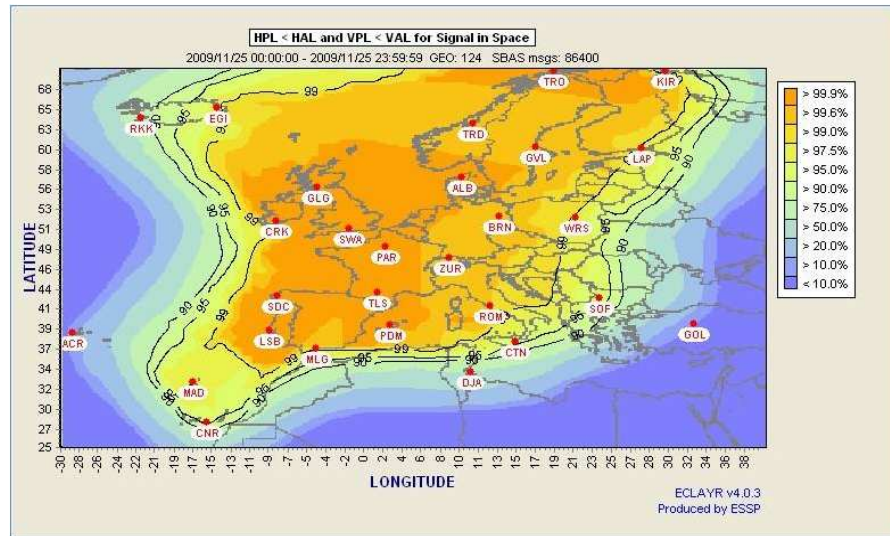


Figure 5. EGNOS system availability in a typical day [10].

IV. New Procedure Design

After the analyses of the several existent RNAV and RNP procedures, it becomes possible to select the ones fitted to implement in Pico airport. Thus, the following procedures were constructed: NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV and RNP AR APCH. We opted not to create APV SBAS procedures due to its limitations in the Azores.

Instrument approaches are defined by types of maneuvers that allow the instrument flying aircraft, a rational progression with specific vertical margins, throughout the approach. These approaches are normally composed of five different segments. They are; arrival, initial approach, intermediate approach, final and missed approach. There is also an area destined for circling. These approach segments start and end at specific points called fixes, whose name reflect the type of preceding segment. There are the Initial Approach Fix (IAF), the Intermediate Fix (IF), the Final Approach Fix (FAF) and the Missed Approach Point (MAPt).

A. Minima Determination

The published approach minima in the instrument approach charts sets an altitude/height from which the crew is forced to execute the missed approach segment if visual conditions with the terrain or the runway lighting cannot be obtained. These altitudes have a great impact on airport operations especially in adverse meteorological conditions.

When studying the several types of RNAV approaches to Pico airport, one of the parameters that allows for the determination of what procedure better serves that infrastructure is precisely the approach minimum altitude/height. Therefore, use was made of the Minima Estimation Tool (MET) software, available through EUROCONTROL, which allows for elaboration of a comparative study of minimum operational altitudes provided by the different types of approach. This program evaluates APV I/II, Baro-VNAV, LNAV and ILS category I approaches and it is intended to be used in support of cost benefit analyses [11]. Of these approaches, we are particularly interested in the LNAV and Baro-VNAV procedures, since APV I/II approaches aren't available in the Azores region. As for the ILS system, it simply isn't included in this study because it is not an RNAV approach. That said, it will be interesting to compare the minima obtained for this approach with minima for the RNAV approaches, since an installation is already adjudicated to the Island airport.

For Obstacle Clearance Altitude/Height (OCA/H) calculation it is necessary to input the more relevant obstacles surrounding the airport. Thus, a list containing these obstacles was made and their parameters were inserted in the program, along with the physical parameters of the runway to which the study was made and the parameters associated with the different types of approach.

The obtained results allow some conclusions to be made about the various types of approaches that can be executed to runway 27 at Pico. For the LNAV approach, there is a great difference between the OCA values of this procedure (567 ft) when compared to the OCA of the existing NPA (1000 ft).

For the Baro-VNAV approach, the OAS surfaces are penetrated at about 2284 meters from the threshold by an obstacle at 75 meters. In this case the value for the OCH will be 369 feet. Adding the threshold elevation height to this value we get an OCA of 474 feet. This altitude is lower than the one found for the LNAV procedure.

The minima results for APV and ILS approaches are 220 and 158 feet respectively. These values relate to the protection altitude required by the procedure; however these types of approaches have established minima altitudes due to their own system limitations. Therefore, if these approaches were to be implemented in Pico, their DA/H values would be 250 and 200 feet respectively, since there aren't any obstacles that require an increase of their minima values.

The level of APV considered in this study is APV I. APV II levels weren't considered since for comparison purposes it is sufficient to know the minima of the inferior precision level. This APV study does not have any practical value due to the impossibility of its operation in the Azores. The 200 feet minima presented by this study for the ILS does not take into account the interference effects that the terrain surrounding Pico airport will most likely cause on the reflection signals need for this system.

For RNP AR APCH procedures, the minimum altitude will correspond to the 90 meters or 295 feet, since the surfaces describe in Annex 14 are penetrated by an obstacle present in the approach [12].

B. Procedure Construction

After studying the decision altitude/height, construction of the approach charts was initiated for the NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV and RNP AR APCH approach procedures. Three charts were made. A STAR, which has the arrival segment for all of the study approaches. A RNAV (GNSS) instrument approach chart, depicting the LNAV and Baro-VNAV procedures to Pico airport. And a RNAV (RNP) chart, with the RNP AR APCH procedure.

The STAR was made with help from Google Earth and PhotoShop and allows for the visualization of arrival routes that make the connection between the en-route structures to the initial segment of the approaches. Arrival routes to the IAF are established from Flores VOR (FRS), Terceira VOR (LM), São Miguel VOR (VMG) and Santa Maria VOR (VSM). As for the IAF, a new fix was created since none of the existing fixes had the ideal conditions to serve as and IAF for the approach procedures to Pico airport. The IAF for the existent non-precision approach (SOLGI) provides an approach path that is approximately 5° offset from runway 27 extended center line. This situation is predicted in the approach constructions manuals, however it is not ideal. The creation of an IAF with coordinates N38°35'15" and W028°06'31" guarantees that approaches initiated at this fix have a perfectly aligned flight path with the extension of the runway center line. This location is also perfect in terms of distance to the threshold, since it provides an optimum vertical descent path angle to all of the approaches. These arrival procedures, as well as the holding procedure with origin in this new IAF, comply with the established OCA/H for these types of maneuvers since the minimum vertical distance of 450 meters or 1476 feet is kept from any type of obstacle [13]. The holding procedure, which is carried out above São Jorge Island at 5000 feet, has as most significant obstacle a hill that only reaches 3455 feet.

The RNAV (GNSS) instrument approach chart has both LNAV and Baro-VNAV procedures. This is due to the fact that both procedures have identical approach segments. The only difference being in the minimum altitudes and in some specific points that only apply to LNAV procedures. If APV procedures could be implemented at Pico, they would be depicted on this chart along with their minima under the definition of LPV. The approach procedures depicted in this chart start at the already discussed IAF. The initial, intermediate and final approach segments are aligned with the runway 27 extended center line, and the vertical descent path has the optimum angle of 3°. For this chart, the minimum altitudes are those found through the program and can be found in the minima box. The missed approach segment that starts at the MAPt for LNAV approaches and at the DA/H for Baro-VNAV approaches is flown by turning into the channel between Faial and São Jorge Islands until reaching 5000 feet, after that the aircraft can proceed directly to the holding point at the IAF.

The RNAV (RNP) chart also depicts an approach to runway 27. This runway was chosen because there is no need for RF legs if the procedure starts at the IAF. In this procedure, segments with lateral protection values of RNP 1 are used in the initial, intermediate and missed approach, and segments with RNP values of 0.3 are used in the final approach. We opted to use the standard values since the obstacles present in the immediate vicinity of the airport do not represent a serious threat. The missed approach segment is the only segment in this approach procedure that requires a RF leg in order to execute a turn that would successfully avoid the terrain in Faial Island. It provides an optimum climb gradient of 2.5% that allows clearance from all the obstacles in the missed approach segment and it ends with when the aircraft arrives at the IAF holding procedure.

V. Conclusion

This study allows us to conclude that new instrument approach procedures exist that can improve the operability not only of Pico airport but also of all the airports of the Azorean region. This new RNAV technology improves the safety of operations and has a very low installation and maintenance cost when compared with the conventional equipments. The advantages inherent to the implementation of systems such as APV Baro-VNAV approaches and RNP navigation in the Azores greatly surpass the disadvantages.

References

- [1] ICAO (2008) *Doc 9613 AN/937 Performance-Based Navigation (PBN) Manual*. 3rd ed., Montreal, Quebec
- [2] Federal Aviation Administration (2002) *Aviation Capacity Enhancement (ACE) Plan*, Chapter 5 Operational Procedures, U.S. Department of Transportation, Office of System Capacity
- [3] Boeing (2003), *Required Navigation Performance*, Seattle, Washington
- [4] ICAO (2005) *Doc 9849 Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. 1st ed., Montreal, Quebec
- [5] Silva, F. (2008) ZoomAzores Project, Available: www.zoomazores.net (29/5/10)
- [6] Nunes, J.C. (1999) “A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico”, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada
- [7] Medeiros, R.F. (2009) “Escoamento do ar em torno da Ilha do Pico e a operacionalidade do seu aeroporto”, Master's Degree Thesis in Aeronautical Engineering, Aerospace Sciences Department, Beira Interior University, Covilhã
- [8] Adapted from the Joint Operations Graphic (1974) Ilha Teiceira Azores Portugal, Defense Mapping Agency Aerospace Center, St. Louis Air Force Station
- [9] Ventura-Traveset, J., de Mateo, J. C., Nieto, J., García, I., Delfour, H., Pieplu, J. M., Dai, D., Walter, T., Enge, P. and David, J. D., (2000) “Interoperability between EGNOS and WAAS: Tests Using ESTB and NSTB”, EGNOS Navigation Conference Publications, GNSS 2000
- [10] EGNOS (2009) Helpdesk, Available: egnos-helpdesk@essp-sas.eu (9/12/09)
- [11] MET (2009) Minima Estimation Tool, Software Package, Ver. 2.23 ENAC, Nexua
- [12] ICAO (2009) *Doc 9905 AN/471 Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual*. Advance Edition, Montreal, Quebec
- [13] ICAO (2006) *Doc 8168 OPS/611 Aircraft Operations Volume II Construction of Visual and Instruments Flight Procedures*. 5th ed., Montreal, Quebec

Anexo 5

Artigo Científico a submeter para
publicação em revista Científica ISI

RNAV and RNP AR Approach Systems. The Case for Pico Island Airport

Duarte Medeiros and Jorge Silva
Aerospace Sciences Department
Beira Interior University, Covilhã, Portugal
+ 351 275 329 732; + 351 275 329 768
duartemed@gmail.com and jmiguel@ubi.pt

This work deals with the possibility of the implementation of RNAV and RNP AR approaches to Pico Island airport in the Azorean archipelago. The main objective is to prove that this new type of approach technology can be implemented in the Azorean islands airports in accordance with the ICAO rules, providing an increase in safety and lowering approach minima, thus reducing the costs associated with the operation and maintenance of others traditional approach systems.

I. Introduction

THE aviation sector is in a constant state of development. The same is true for its systems of safety, which are forced to adapt to this evolution through its own development.

Studies show that, when compared with 2006, Europe's air traffic movements will probably double in the next 20 years, creating the need to improve the air traffic control system, in order to relieve overcrowded areas, prevent delays and increase safety.

One of the solutions to this problem is the application of area navigation (RNAV) techniques that have been around since the late 1960's, but only begun to be implemented in Europe in 1998. Before then, the European air navigation system was based on fixed routes that were anchored to the locations of the ground-based radio navigation aids such as VOR/DME for domestic flights and INS systems for oceanic flights. As the navigation capacity of the aircraft population grew more precise and sophisticated, these systems became more expensive, inflexible and inefficient in terms of used airspace and aircraft navigation capacity. So, at the beginning of the 80's there was an overall understanding that RNAV navigation would form the basis of the future navigation system.

RNAV navigation is defined as "a method of navigation which permits aircraft operation on any desired flight path within the coverage of station-referenced navigation aids or within the limits of the capability of self-contained aids, or a combination of these¹."

The concept of area navigation was introduced at the same time as the concept of RNP, which is the predecessor of the actual PBN concept, and can be defined as "an area navigation system which supports on-board performance monitoring and alerting¹". The RNAV and RNP system are very similar. The key difference lies with the requirement for on-board performance monitoring and alerting. If the navigation specification has this requirement, it is referred to as an RNP specification. If it hasn't then it is an RNAV specification.

Nowadays, the navigation concept used by the ICAO is PBN, that specifies that aircraft RNAV system performance requirements be defined in terms of accuracy, integrity, availability, continuity and functionality required for the proposed operations in the context of a particular airspace concept¹.

In this new navigation concept, we find RNP specifications that relate to the approach segment of the flight. These are the RNP APCH and RNP AR APCH. Apart from these there are other types of approach systems that emerged on the last two decades which take advantage of the GNSS system, assuring the continuous evolution of these safety systems.

In this work we study the possibility of implementing the new approach technologies to Pico island airport in the Azorean archipelago. We hope to prove that this new type of approach technologies can be installed in the islands airports of this region in compliance with all the ICAO rules, providing an increase in safety, minimizing the approach minimums and cutting back on the operational and maintenance costs associated with the existing approach systems.

II. Approach Systems

The origins of the approach systems that exist today go back to the end of World War II when commercial aviation was experiencing an unprecedented rate of expansion. New systems were needed

that would allow operations in all kinds of atmospheric conditions. Thus, importance and funding was given to research in this specific area of navigation systems.

Traditionally, we can separate approach procedures in two different types. Precision approach (PA) and non-precision approach (NPA). Precision approaches utilize systems such as the ILS and MLS, and non-precision approaches use ground-based radio navigation aids such as the VOR, NDB or DME to guide the aircraft to a point where the runway is visible so that a landing can be made in visual conditions with the terrain. Precision approach are executed with vertical guidance in order to obtain a continuous descent profile as opposed to non-precision approaches where a descent is made without vertical guidance, requiring sometimes several altitude levels in predetermined points on the approach.

Precision approaches provide the highest level of safety and practically every aircraft equipped with IFR instruments has ILS systems. However, it isn't economically viable or even practically possible to install ILS equipments on every runway. Sometimes the ILS system can be out of service due to maintenance work on the system or on the airport and consequently, non-precision approaches have to provide alternatives, even if it means the degradation of airport accessibility.

Nowadays, with the increasing availability of RNAV capabilities on-board aircraft and in particular the use of GPS, conventional navigation is losing ground to area navigation, where RNAV approaches depend on a series of waypoints, routes, altitude and speed constrains, available on the navigation data base, to guide the aircraft during the approach segment.

A. RNAV

When the navigation is based on RNAV systems, the restrictions imposed by the routes and conventional procedures, where the aircraft are forced to overfly the ground stations, are removed, increasing the flexibility and operational efficiency as seen in Figure 1.

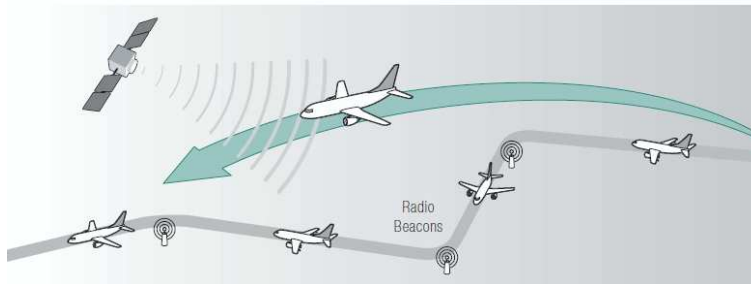


Figure 1. RNAV routes vs conventional routes².

There are a great number of RNAV systems that range from systems based on only one sensor to systems that need the input from multiple navigation sensors which may or may not

be connected to the auto-throttle or auto-pilot, allowing for more automatic flight operation. Despite the differences in architecture and equipments, the basic types of functions provided by RNAV equipment are similar.

The navigation function works with data that can include aircraft position, velocity, vertical flight path angle, drift angle, magnetic variation, barometric corrected altitude and wind direction and magnitude. Although the navigation can be based on a single type of navigation sensor like the GNSS, many systems are multi-sensor, since they use a variety of navigation sensors including GNSS, DME, VOR, and ILS to calculate the aircraft position and speed.

As the aircraft progresses along its flight path and if the RNAV system is using ground navaids, it uses its current estimate of the aircraft position and its database to automatically tune the ground stations to obtain the most accurate radio position. The vertical and horizontal guidance is shown to the pilot in the RNAV system or provided through other information displays systems.

Some types of RNAV systems have a database where information regarding navaids, waypoints, flight paths and terminal procedures are stored. The system uses all this information in order to plan the flight, and can also compare the information acquired from the sensors with the one in its database. RNAV systems can provide information about the flight progression, terminal and approach procedures to be used and the origin and destination of the flight. This information includes estimated time of arrival and distance to the next waypoint which are useful in coordination with air traffic control.

A navigation specification defines the performance required of the RNAV system in terms of precision, integrity, availability and continuity; which navigation functionalities needed; which navigation sensors needed; and which requirements are placed on the flight crew. For oceanic, remote, en-route and terminal operations, the RNAV specifications are designated as RNAV X (example: RNAV 1). The expression X refers to the lateral navigation precision in nautical miles, which is expected to be achieved at least 95% of the flight time by the population of aircraft operating within the airspace, route or procedure.

For pilots, the main advantage in using RNAV systems resides in the fact that the navigation is done by sophisticated and precise equipments, allowing a reduction in the cockpit workload and an increase in

safety. From a controller point of view, the main advantage is in the easy way in which he attributes routes, since they no longer are subjected to the location of the ground nav aids¹.

B. RNP

The RNP system is basically an RNAV system whose functionalities support on-board performance monitoring and alerting. Its requirements include the capacity to follow a desired ground track with reliability, repeatability and predictability, including curved paths. When vertical profiles are included for vertical guidance, the requirements also include the use of vertical angles or specified altitude constraints to define a desired flight path.

The on-board alerting and monitoring function is the principal element that determines if the navigation system complies with the necessary safety level associated with the RNP application. It relates to the lateral and longitudinal navigation performance, and it allows the crew detection, that the navigation system is not achieving or cannot guarantee with 10^{-5} integrity, the navigation performance required for the operation.

The RNP specifications are kept thanks to the RNP on-board system, whose function is to keep the aircraft in a determined route. A RNP 0.3 specification, guarantees that the aircraft will remain at 0.3 nautical miles to the left or right of the route central line, 95% of the flight time of the population of aircraft operating within that airspace as shown in Figure 2. The system integrity assures the pilot that the aircraft will not deviate more than 0.6 nautical miles to the left or right of the route center line 99.99999% (10^{-5}) of that time¹.

The RNP systems provide improvements in the integrity of operations. This allows for flight paths with less separation between them providing sufficient integrity in order to allow only the use of RNAV systems

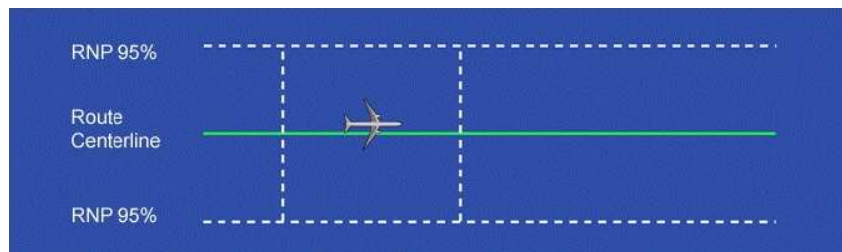


Figure 2. Air corridor assured by RNP³.

for navigation in a determined airspace. In controlled airspace, separation minima and route spacing based on RNP specifications provide a great benefit when compared to the RNAV specifications thanks to the on-board performance alerting and monitoring system that makes it easy for the controllers by providing new means of risk mitigation.

C. PBN

The PBN concept specifies that the RNAV systems performance requirements be defined in terms of precision, integrity, availability, continuity and functionality needed for the proposed operations in the context of particular airspace concept. The PBN concept represents a change from sensor based navigation to performance based navigation. Performance requirements are identified in navigations specifications, that also identify the choice of navigation sensors and equipment that can be used to comply with the performance requirements. These navigation specifications provide specific implementations guides lines to states and operators in order to facilitate global harmonization¹.

D. GNSS system

There are two constellations of GNSS systems in operation today, the GPS and the GLONASS. Both systems are made of a constellation of orbiting satellites, supported by ground stations and by receptors on-board the aircraft. This constellations systems, originally design for military use and providing a certain level of performance to some civilian applications, need to be complemented or augmented through additional systems in order to provide the required performance for aeronautical operations. A future third GNSS system approved for the use in aviation will be the Galileo, which consists in an initiative from the European Union, ESA and EUROCONTROL. It will be based on a constellation of 30 satellites supported by ground stations and provide positional information in a similar way to that of the GPS and GLONASS systems.

When seen in a global way, the GNSS system is fundamentally different from the traditional navigational aids. It has the potential to support every flight segment by providing navigational elements in a global scale, thus having the possibility of eliminating the dependency on a series of terrestrial and aerial systems designed to comply with the specific requirements of the several flight segments.

The first operations to be certified for GNSS system utilization were en-route (domestic and oceanic), terminal and non-precision approach operations, in 1993. These certifications, based on the ABAS

augmentation system, were implemented with operational restrictions. However, they provided substantial benefits to the aircraft operators. The GNSS system provides precision guidance in remote and oceanic areas where it is impractical, very expensive or impossible to provide guidance through conventional nav aids. Even in areas where the coverage by conventional nav aids isn't a problem, the GNSS system can support area navigation operations allowing aircraft to follow more efficient flight paths. The GNSS brings this capacity to economic reach of all aircraft operators, allowing states to design en-route and terminal airspace for maximum capacity and a minimum of delays. This system can improve airport utilization by implementing lower approach minima without installing any type of nav aids at the airport location, because it can support Approach Procedures with Vertical guidance (APV) in all runways.

The availability of guidance through GNSS will lead to the deactivation of some existing nav aids, lowering the long term costs that translate into savings by the airspace user. Planning for conventional nav aids deactivation is dependent on the availability of GNSS service in a specific airspace and in the proportion of the aircraft equipped with these systems.

Despite the benefits associated with GNSS technology, there are some inherent limitations that should be taken into consideration. A transition to GNSS systems represents a great challenge to all the members of the aviation community, affecting the aircraft operators, pilots, ATC and airspace regulators. The global nature of GNSS systems also requires a great level of coordination between the states involved⁴.

E. ABAS

The satellite constellations that constitute the GNSS system weren't developed to satisfy the special requirements of IFR navigation. For this reason, the avionics used in these operations must be able to augment the signal provided by the GNSS system in order to guarantee its integrity. The ABAS system augments and/or integrates the GNSS information with the information available on-board the aircraft in order to enhance the performance of the satellites constellations.

The most common technique of ABAS is denominated Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) that requires range measurements from redundant satellites in order to detect corrupt signals and alert the pilots.

F. SBAS

The SBAS system augments the signal from the satellites constellations, providing correction information, range measurements and integrity through signals from geostationary satellites.

When providing differential corrections, extra range signals from the geostationary satellites and integrity information to each navigation satellite, the SBAS system provides a greater availability than the ABAS system. This system possesses a great integrity and performance which allows it to support Approach Procedures with Vertical guidance (APV).

In many cases, the SBAS systems can provide lower minimums than the ones associated with non-precision approaches, resulting in an increase in airport utilization. Almost every SBAS based approach offers the capability of vertical guidance, thus increasing safety significantly. The APV approach minima (to decision altitudes/height (DA/H) of 250 feet) are higher than the approach minima for category I; however, APV approaches do not need ground structures, which means that this increase in safety is at the financial reach of a larger number of airports⁴.

There are currently three SBAS systems being developed, the European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), the Indian GPS e Geostationary Earth Orbit (GEO) Augmented Navigation (GAGAN) and the Japanese Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) Satellite-based Augmentation System (MSAS). Only one system, the American Wide Area Augmentation System (WAAS), is fully operational.

In this work we are particular interested in EGNOS and WAAS due to their coverage area geographical proximity to the Azorean archipelago.

G. RNP APCH RNAV (GNSS)

The RNP APCH specification is defined by RNAV (GNSS) non-precision approaches, APV Baro-VNAV and APV SBAS precision approaches.

RNAV (GNSS) non-precision approaches are bi-dimensional non-precision approaches that provide lateral but not vertical guidance. These operations are conducted to a minimum descent altitude/height (MDA/H) from which the pilots are forced to execute a missed approach if visual conditions with the terrain cannot be obtained when reaching the missed approach point (MAPt). These minimum altitudes are defined as LNAV minima and vary with the physical conditions of each runway. RNAV (GNSS) operations can also be referred to as LNAV approaches.

These approaches have the capability to improve IFR flight operations, especially in small aerodromes used by commercial aviation that do not have any kind of radio navigation services, and thus are capable of providing non-precision approaches, without the need to invest in ground equipment. As such, the requisites to perform an RNAV (GNSS) approach only concern the aircraft on-board equipment.

These types of non-precision approaches are the first step in the road to the implementation of all the other types of RNAV approach. Several countries, including Portugal, have already approved these operations.

H. RNP APCH APV Baro-VNAV

Baro-VNAV approaches are approaches with vertical guidance provided by a barometric altimeter. These operations are conducted to a decision altitude/height (DA/H) instead of a MDA/H and can be referred to as LNAV/VNAV approach. In a Baro-VNAV approach, lateral guidance is based on GNSS systems (with RAIM), which means it is identical to LNAV non-precision approach and vertical guidance is based on barometric data processed by the on-board computer. The initial and intermediate approach segments for APV Baro-VNAV operations are identical to RNAV (GNSS), the only difference between them being the final approach segment.

This type of tri-dimensional approach has an improved capacity of fulfilling the safety requirements when compared to non-precision approaches, since the obstacle clearance altitude and the presence of a decision altitude, instead of minimum descent altitude, increases the safety margins. Because they are based on barometric altimeters, Baro-VNAV approaches do not required any type of navigational infrastructure, making these procedures an excellent option for air carriers that operate to airports whose difficult geographic characteristics make it impossible to install conventional precision approaches. These airports can now be equipped with an approach procedure that despite having higher minima than ILS can provide precision guidance to properly equipped aircraft.

However, there are some limitations inherent to these approach systems. For Baro-VNAV operations, the human factor is involved in the gathering of real time navigation information, since the local altimeter pressure needs to be inserted in the system. Human error can occur in any step of this information chain. Starting with the measurements of meteorological parameters and ending in its manual introduction in the VNAV system by the pilots. Other limitation factors reside in adverse meteorological conditions, particularly in temperature extremes, which can induce errors on the vertical descent path provided through the Baro-VNAV system.

I. RNP APCH APV SBAS

APV SBAS approaches are also part of the RNP APCH navigation specification. These types of approaches with vertical guidance provided by an SBAS system are made to a DA/H, depicted on the LPV minima box, available on the approach charts. Lateral performance is equivalent to that of the ILS localizer system and vertical guidance is provided through a geometric path instead of the barometric altimeter. This guidance is made possible by the SBAS systems, which possess the ability to augment the signals from the GNSS system. The initial and intermediate approach segments for APV SBAS operations are also identical to RNAV (GNSS), with the same exception for the final approach segment.

APV SBAS approaches are of great importance for the aviation sector, since they make it possible establish approaches to minima of only 250 feet at airports that do not have or need any type of ground nav aids. However, their dependency on SBAS systems, limits them to specific coverage areas. Therefore, at the moment it is only possible to execute APV SBAS approaches in the continental United States of America (which is covered by WAAS). This is bound to change in late 2010, when EGNOS is scheduled to become operational in the ECAC region.

J. RNP AR APCH

RNP AR APCH is a navigation specification that allows a higher level of navigation performance, with the improved capacity to solve accessibility problems to airports located in obstacle rich environments and facilitate advances in air traffic management. It requires from operators the fulfillment of additional requirements regarding aircraft and crew and also a special operational authorization from the state regulatory agency.

RNP AR procedures provide operational and safety advantages over all the others RNAV approaches, because they incorporate additional precision, integrity and functional capacities in order to provide operations that have reduced obstacle separation tolerances, thus making it possible to implement approach and departure procedures in conditions where other types of procedures would be operational impossible or unsatisfactory.

Conventional approach procedures are based in old assumptions that account for an increase in precision as the aircraft approaches the runway. This may be true for systems like the ILS or VOR, but it

is not for satellite navigation systems. Therefore, the angular concept used for conventional approach systems is replaced in the RNP AR approaches by the linear protection concept.

Another great advantage of the RNP AR APCH specification is the possibility to use curved flight paths in any segment of the procedure including the final and missed approach. They are referred to as Radius-to-Fix (RF) legs and can be stored in the navigation database in the same way as any other part of the procedure. These legs are used when it's necessary to follow a specific path in order to avoid obstacles or to maintain traffic separation from an adjacent airspace.

The great precision provided by this type of approach requires the existence of a higher quantity of redundant systems. In order to obtain the necessary certification, the aircraft has to have at least dual GNSS sensors, dual FMS systems, dual air data systems, dual autopilots and a single inertial reference unit¹.

III. Application in Pico Island

Pico Island is part of the Azorean archipelago which is situated in the North Atlantic at a distance of approximately 1600 km from the European continent. The Azores are a group of 9 islands, which are divided into three smaller groups in accordance with their geographical proximity (Figure 3). Pico Island constitutes the central group together with Faial, São Jorge, Graciosa and Terceira Island. The terrain is

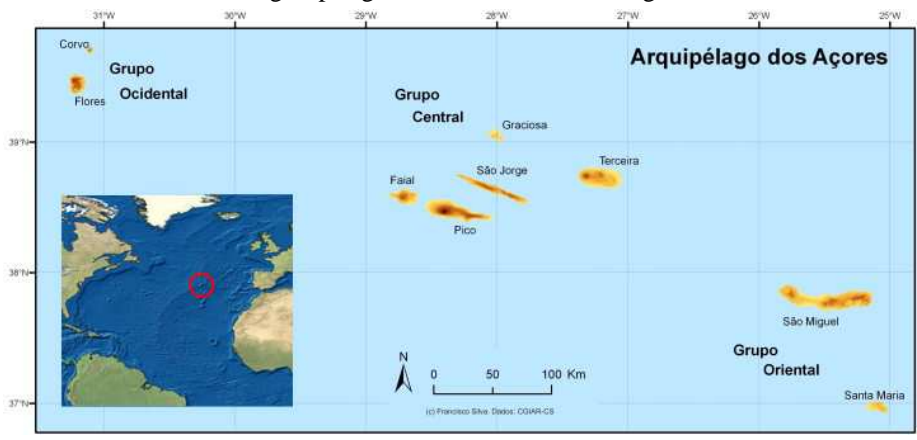


Figure 3. Pico Island location⁵.

dominated by the great volcanic mountain that gives name to the Island. Its higher point is Pico Pequeno, located at the summit of Pico Mountain at an altitude of 2351 meters. The rest of the Island (central and oriental), is characterized by a chain of hills whose heights sometimes surpass

1000 meters.

In generic terms, the Island climate is characterized by good temperatures with small annual thermal amplitude, precipitation all year, high relative air humidity, clouded skies and frequent strong winds⁶.

A. Localization and Limitations

Pico's airport is located in Cachorro at approximately 8 km from the town of Madalena (Figure 4). It is operated by SATA Gestão de Aeródromos and has a runway with the orientation 09/27 with 1745 meters length by 45 meters width at an elevation of 34 meters. The runway has certified lighting for night operations and both VFR and IFR traffic is permitted. The only instrument approach procedure available is based on the NDB locator PI located in the approach to runway 27 at 1.4 nautical miles from the threshold. It is an uncontrolled aerodrome and all the authorizations are provided by Horta tower in Faial Island.

The airport was constructed in a place where the morphology of the surrounding terrain only permits the existence of an approximately East/West orientated runway making it vulnerable to Southern winds which happen to be the predominant winds in the archipelago. The greatest restriction to IFR traffic in the entire triangle region (Pico, Faial and São Jorge Islands) is without doubt Pico Mountain with its 2351 meters. This geographical environment, coupled with the construction of the airport on the northern shore of the Island, subject the aircraft to frequent turbulence and windshear caused by the influence of the terrain in the air flow. These weather phenomenon caused by the surrounding terrain morphology are quite common in all the archipelago Islands due to their irregular terrain⁷.



Figure 4. Location of Pico airport adapted from⁸.

Besides the limitations imposed by the surrounding terrain and predominant meteorological conditions, the Island's airport is in need of a precision approach system. This is being taken care of with the adjudication of an ILS system. When operational, this system will turn obsolete the actual non-precision approach based on the NDB locator PI, which allow approaches to a MDA of 1000 feet for category A and B aircraft, and 1020 feet for category C aircraft. Also from an aerial navigation point of view, there is the need to implement, in the triangle, new systems that would provide a higher level of precision. The Faial Island VOR/DME, where all the instruments procedures for that region are based, is unusable as a VOR below 5000 feet, creating a hole in the precision navigation capacity. The new approach technologies have the ability to mitigate these limitations that affect Pico Island airport.

B. RNAV Approaches

RNAV (GNSS) non-precision approaches are the only type of RNAV approaches that have already been implemented in Portugal. Today, these procedures are implemented to Corvo and Vila Real aerodromes, providing dully equipped aircraft with the option to execute non-precision approach procedures to aerodromes where there isn't any type ground nav aids.

In Pico's case, the implementation of this type of approach procedures won't necessarily bring great advantages since one NPA approach to the airport already exists. However, there is some interest in comparing these two different types of NPA in terms of procedure execution, minima altitude and associated costs. These two types of non-precision approach can also coexist without any interference from each other.

Pico airport is a good candidate for the implementation of APV Baro-VNAV approaches since a major part of the aircraft that constitute its regular traffic are properly equipped (barometric altimeter) in order to execute these types of approaches. Another advantage has to do with the geographic location of the Island and its climate, which does not allow for great temperature variations, thus minimizing the errors associated with these phenomena in the Baro-VNAV approaches. This type of approach would be benefic to the Island's airport, allowing for the implementation of a precision approach with all its inherent advantages, without the necessity for big investments on ground equipment.

The APV SBAS approaches allow the execution of precision

approaches with lower minima than the Baro-VNAV approaches. However, their dependency on SBAS systems means that they can only be carried out on this system coverage area. The SBAS system that has the best conditions for providing this type of service to Pico airport is EGNOS, but unfortunately, due to the fact that the Azorean archipelago lies on a peripheral zone of this system service volume, its

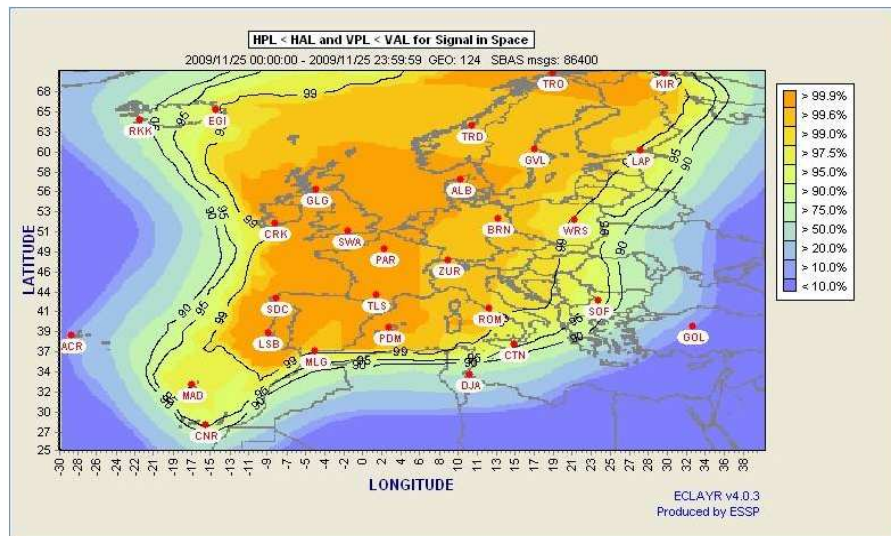


Figure 5. EGNOS system availability in a typical day⁹.

performance in the region is quite bad, making it impossible to fulfill the necessary requisites to support APV-I operations. The EGNOS system limitations in the Azores can be observed in Figure 5, referent to the availability of APV-I provided by the system on a typical day.

Studies made through the test platforms of the WAAS and EGNOS systems, show that the interoperability of these systems has the potential to provide NPA service levels in this area that would not be possible with only one of the SBAS systems. Therefore, even if LPV approaches are out of the question, all of that region can still have the navigational advantages provided by the SBAS systems¹⁰. Pico airport with all its surrounding morphological characteristics is a perfect candidate to the implementation of RNP AR approaches which have been specially developed for these types of terrain. Even if Pico isn't an extreme example such as Juneau airport in Alaska, Linzhi in China or Innsbruck in Austria, the inherent advantages to the application of this approach cannot be ignored.

This type of approach provides not only new procedures to Pico airport but also facilitates the implementation of air routes in all of the triangle region in order to optimize this airspace, that despite its special morphology only possess one VOR/DME station in Faial Island and one NDB in Pico, in which to base all its instrument navigation.

IV. New Procedure Design

After the analyses of the several existent RNAV and RNP procedures, it becomes possible to select the ones fitted to implement in Pico airport. Thus, the following procedures were constructed: NPA RNAV (GNSS), APV Baro-VNAV and RNP AR APCH. We opted not to create APV SBAS procedures due to their limitations in the Azores.

A. Minima Determination

The published approach minima in the instrument approach charts sets an altitude/height from which the crew is forced to execute the missed approach segment if visual conditions with the terrain or the runway lighting cannot be obtain. These altitudes have a great impact on airport operations especially in adverse meteorological conditions.

When studying the several types of RNAV approaches to Pico airport, one of the parameters that allows for the determination of what procedure better serves that infrastructure is precisely the approach minimum altitude/height. Therefore, use was made of the Minima Estimation Tool (MET) software, available through EUROCONTROL, which allows for elaboration of a comparative study of minimum operational altitudes provided by the different types of approach. This program evaluates APV I/II, Baro-VNAV, LNAV and ILS category I approaches and it is intended to be used in support of cost benefit analyses¹¹. Of these approaches, we are particularly interested in the LNAV and Baro-VNAV procedures, since APV I/II approaches aren't available in the Azores region. As for the ILS system, it simply isn't included in this study because it is not an RNAV approach. That said, it will be interesting to compare the minima obtained for this approach with minima for the RNAV approaches, since an installation is already adjudicated to the Island airport.

For Obstacle Clearance Altitude/Height (OCA/H) calculation it is necessary to input the more relevant obstacles surrounding the airport. Thus, a list containing these obstacles was made and their parameters were inserted in the program, along with the physical parameters of the runway to which the study was made and the parameters associated with the different types of approach.

The obtained results allow some conclusions to be made about the various types of approaches that can be executed to runway 27 at Pico. For the LNAV approach, there is a great difference between the OCA values of this procedure (567 ft) when compared to the OCA of the existing NPA (1000 ft).

For the Baro-VNAV approach, the OAS surfaces are penetrated at about 2284 meters from the threshold by an obstacle at 75 meters. In this case the value for the OCH will be 369 feet. Adding the threshold elevation height to this value we get an OCA of 474 feet. This altitude is lower than the one found for the LNAV procedure.

The minima results for APV and ILS approaches are 220 and 158 feet respectively. These values relate to the protection altitude required by the procedure; however these types of approaches have established minima altitudes due to their own system limitations. Therefore, if these approaches were to be implemented in Pico, their DA/H values would be 250 and 200 feet respectively, since there aren't any obstacles that require an increase of their minima values.

The level of APV considered in this study is APV I. APV II levels weren't considered since for comparison purposes it is sufficient to know the minima of the inferior precision level. This APV study does not have any practical value due to the impossibility of its operation in the Azores. The 200 feet minima presented by this study for the ILS does not take into account the interference effects that the terrain surrounding Pico airport will most likely cause on the reflection signals need for this system.

For RNP AR APCH procedures, the minimum altitude will correspond to the 90 meters or 295 feet, since the surfaces describe in Annex 14 are penetrated by an obstacle present in the approach¹².

B. Procedure Construction

After studying the decision altitude/height, three charts were made. A STAR, containing the arrival segment for all of the studied approaches. A RNAV (GNSS) instrument approach chart, depicting the LNAV and Baro-VNAV procedures to Pico airport. And a RNAV (RNP) chart, with the RNP AR APCH procedure.

The STAR, depicted in Figure 6, was made with help from Google Earth and PhotoShop and allows for the visualization of arrival routes that make the connection between the en-route structures to the

STANDART ARRIVAL CHART(RNAV) PICO (LPPI)

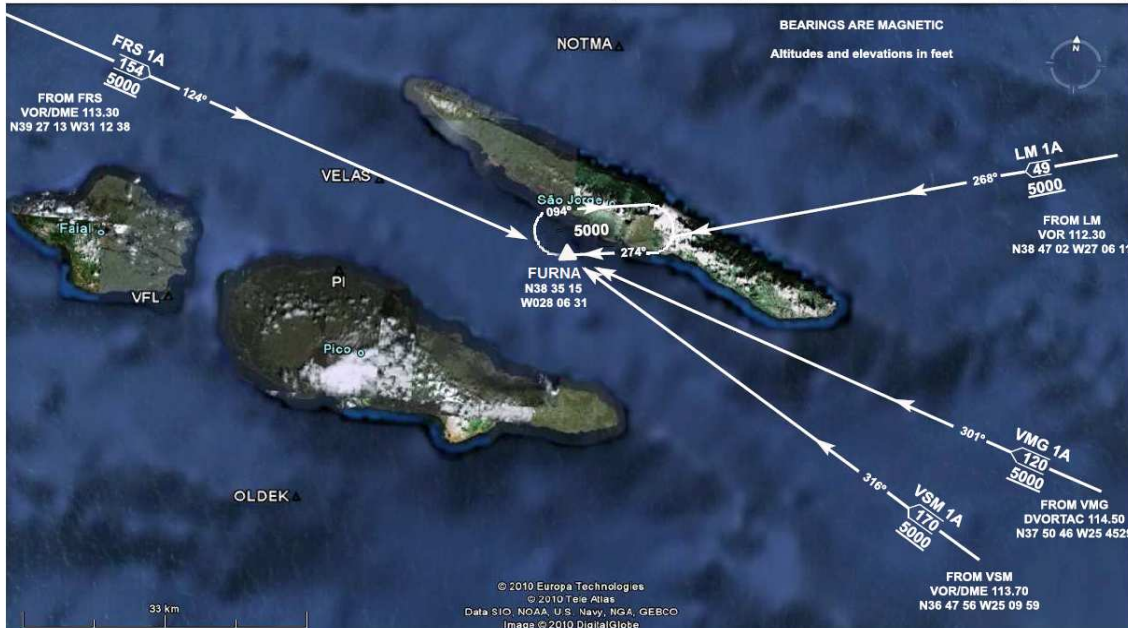


Figure 6. STAR chart.

initial segment of the approaches. Arrival routes to the IAF FURNA are established from Flores VOR (FRS), Terceira VOR (LM), São Miguel VOR (VMG) and Santa Maria VOR (VSM). As for the FURNA point, a new fix was created since none of the existing fixes had the ideal conditions to serve as an IAF for the approach procedures to Pico airport. The IAF used for the actual non-precision approach (SOLGI) provides an approach path that is approximately 5° offset from runway 27 extended center line. This situation is predicted in the approach construction manuals, however it is not ideal. The creation of FURNA with coordinates N38°35'15" and W028°06'31" guarantees that approaches initiated at this fix have a perfectly aligned flight path with the extension of the runway center line. This location is also perfect in terms of distance to the threshold, since it provides an optimum vertical descent path angle to all of the approaches. These arrival procedures, as well as the holding procedure with origin in FURNA comply with the established OCA/H for these types of maneuvers since the minimum vertical distance of 450 meters or 1476 feet is kept from any type of obstacle¹³. The holding procedure, which is carried out above São Jorge Island at 5000 feet, has as most significant obstacle a hill that only reaches 3455 feet.

The RNAV (GNSS) instrument approach chart, depicted in Figure 7, has both LNAV and Baro-VNAV procedures. This is due to the fact that both procedures have identical approach segments. The only difference being in the minimum altitudes and in some specific points that only apply to LNAV procedures. If APV procedures could be implemented at Pico, they would be depicted on this chart along with their minima under the definition of LPV. The approach procedures depicted in this chart starts at the already discussed IAF FURNA. The initial, intermediate and final approach segments are aligned with the runway 27 extended center line, and the vertical descent path has the optimum angle of 3°. For this chart, the minimum altitudes are those found through the program and can be found in the minima box. The missed approach segment that starts at the MAPt for LNAV approaches and at the DA/H for Baro-VNAV approaches is flown by turning right into the channel between Faial and São Jorge Islands until reaching 5000 feet, after that the aircraft can proceed directly to the holding point at FURNA. For the circling procedure the minimum altitudes weren't provided by the MET program, instead the criteria available on the ICAO document 8168 was considered in order to determine the MOC which was then

added to the height of the most restrictive obstacle in the circling zone. A value of 730 feet was found for the OCA concerning category A and B aircraft and 830 feet for category C aircraft. This procedure can only be executed for the northern part of the runway since the rapid increase in terrain altitude prevents a good MOC value for the southern circling.

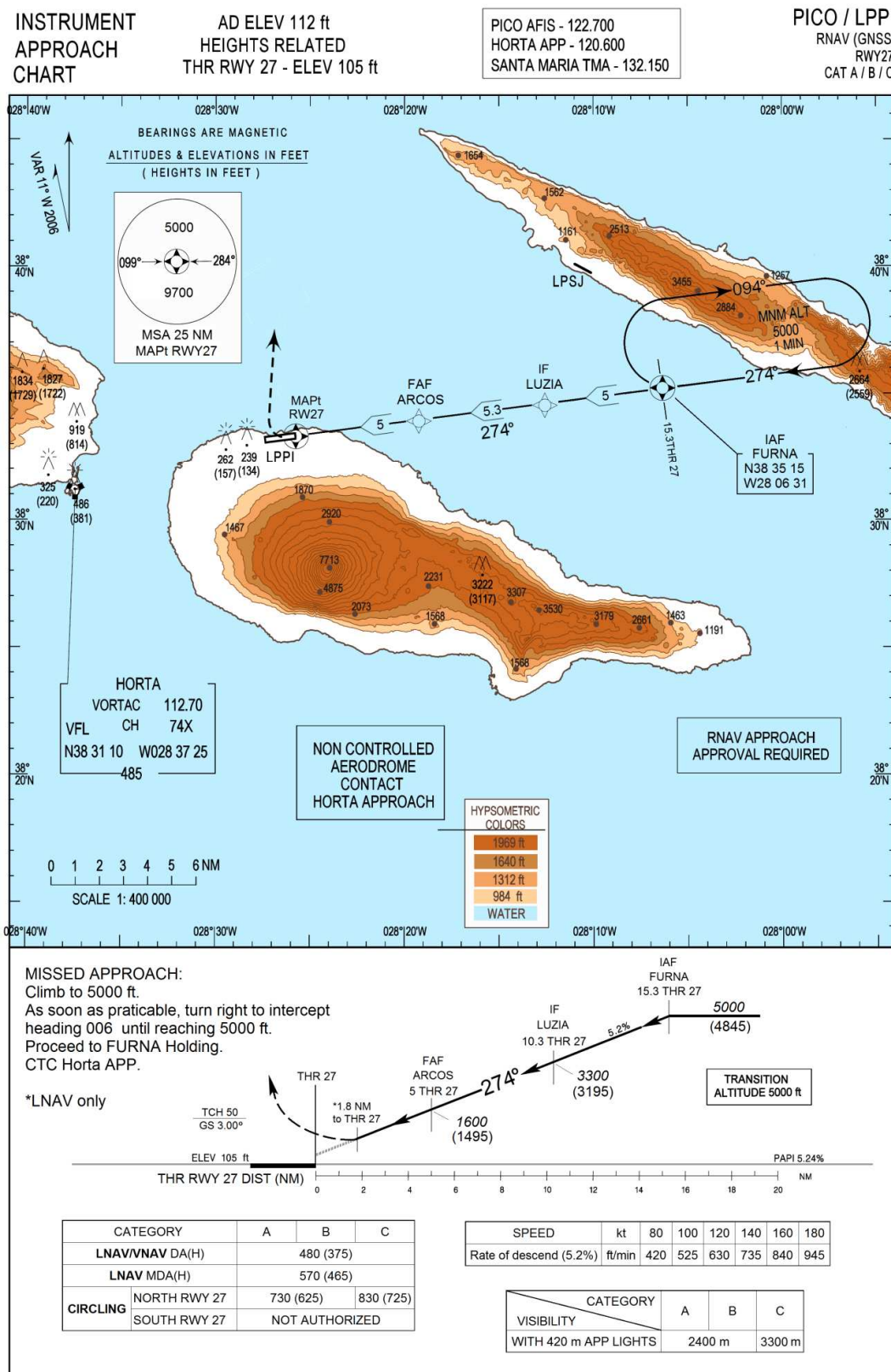


Figure 7. RNAV (GNSS) approach chart.

The RNAV (RNP) chart also depicts an approach to runway 27 (See Figure 8). The initial, intermediate and final approach segments are very similar to the ones used in the RNAV (GNSS) approaches and the same points are used. In this procedure, lateral protection values of RNP 1 are used in the initial, intermediate and missed approach, and RNP 0.3 is used in the final approach.

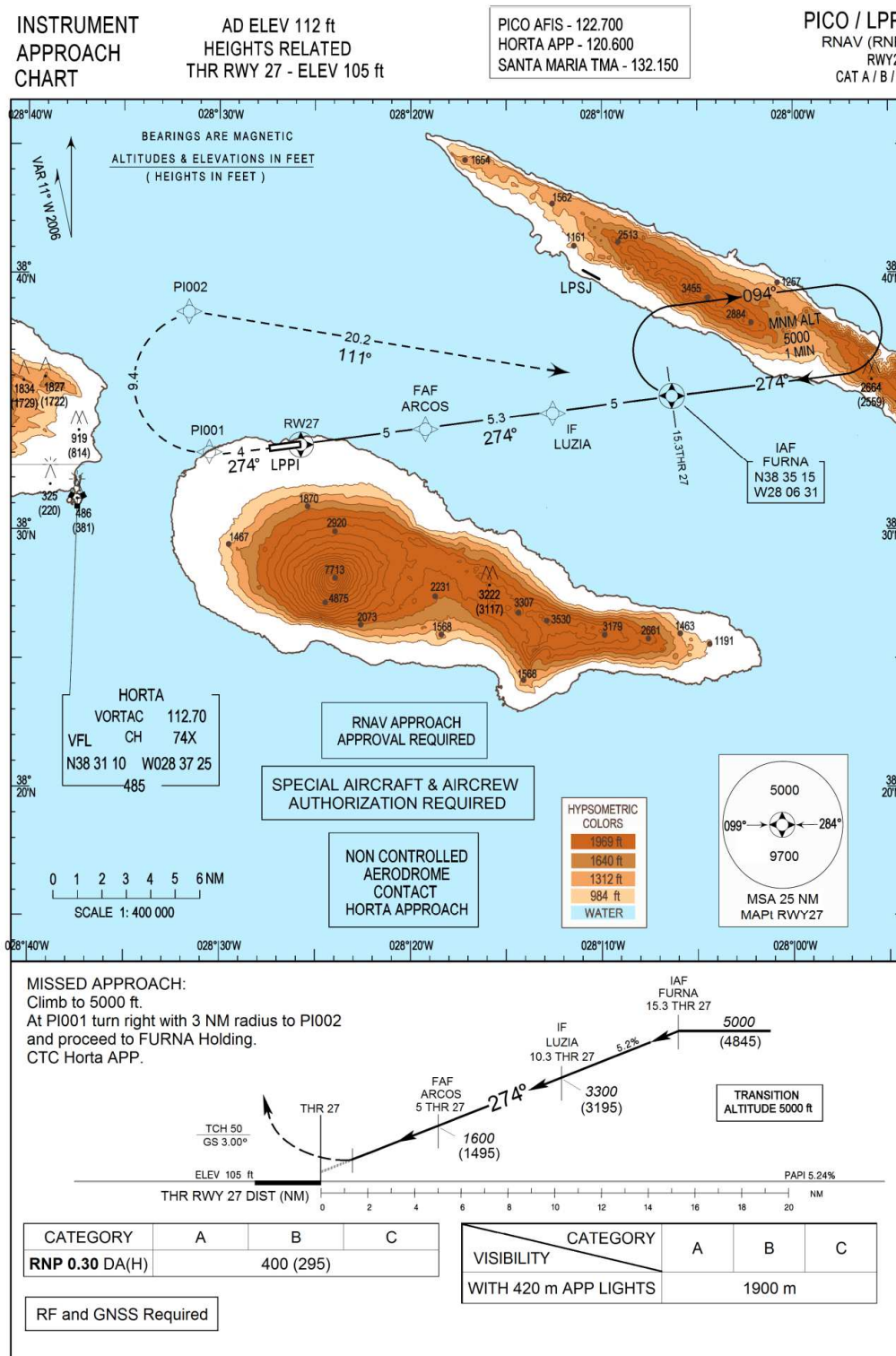


Figure 8. RNAV (RNP) approach chart.

We opted to use the standard values since the obstacles present in the immediate vicinity of the airport do not represent a serious threat. However there is transposition near one of the outer limits of the OAS suffices in the final approach segment that requires an increase in the DA/H. This increase would not happen if the values for the lateral protection were to be RNP 0.1 but it was concluded that the inherent

requirements for the use of this type of precision would not compensate for the minimum increase felt in the value of the DA/H. Therefore the value of 400 feet was used for the DA in accordance with ICAO Annex 14. The missed approach segment is the only segment in this approach procedure that requires a RF leg in order to execute a turn that would successfully avoid the terrain in Faial Island. It provides an optimum climb gradient of 2.5% that allows clearance from all the obstacles in the missed approach segment and it ends with when the aircraft arrives at the FURNA holding procedure. The inclusion of an RF leg augments the requirements needed to fly this type of approach.

V. Conclusion

This study allows us to conclude that new instrument approach procedures exist that can improve the operability not only of Pico airport but also of all the airports of the Azorean region. This new RNAV technology improves the operability and has a very low installation and maintenance cost when compared with the conventional equipments. The advantages inherent to the implementation of systems such as APV Baro-VNAV approaches and RNP navigation in the Azores greatly surpass the disadvantages.

References

- ¹ ICAO *Doc 9613 AN/937 Performance-Based Navigation (PBN) Manual*. 3rd ed., Montreal, Quebec, 2008
- ² Federal Aviation Administration *Aviation Capacity Enhancement (ACE) Plan*, Chapter 5 Operational Procedures, U.S. Department of Transportation, Office of System Capacity, 2002
- ³ Boeing, *Required Navigation Performance*, Seattle, Washington, 2003
- ⁴ ICAO *Doc 9849 Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. 1st ed., Montreal, Quebec, 2005
- ⁵ Silva, F. ZoomAzores Project, Available: www.zoomazores.net (29/5/10)
- ⁶ Nunes, J.C. “A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico”, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 1999
- ⁷ Medeiros, R.F. “Escoamento do ar em torno da Ilha do Pico e a operacionalidade do seu aeroporto”, Master's Degree Thesis in Aeronautical Engineering, Aerospace Sciences Department, Beira Interior University, Covilhã, 2009
- ⁸ Joint Operations Graphic, Ilha Terceira Azores Portugal, Defense Mapping Agency Aerospace Center, St. Louis Air Force Station, 1974
- ⁹ EGNOS, Helpdesk, Available: egnos-helpdesk@essp-sas.eu (9/12/09)
- ¹⁰ Ventura-Traveset, J., de Mateo, J. C., Nieto, J., García, I., Delfour, H., Pieplu, J. M., Dai, D., Walter, T., Enge, P. and David, J. D. “Interoperability between EGNOS and WAAS: Tests Using ESTB and NSTB”, EGNOS Navigation Conference Publications, GNSS 2000, 2000
- ¹¹ MET, Minima Estimation Tool, Software Package, Ver. 2.23 ENAC, Nexua, 2009
- ¹² ICAO *Doc 9905 AN/471 Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual*. Advance Edition, Montreal, Quebec, 2009
- ¹³ ICAO *Doc 8168 OPS/611 Aircraft Operations Volume II Construction of Visual and Instruments Flight Procedures*. 5th ed., Montreal, Quebec, 2006