



Academia da Força Aérea



**Construção do modelo de comunicação de dados por
ARINC 429 das aeronaves C295M da Força Aérea
Portuguesa**

David Freire Lazera

134724-B

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Aeronáutica Militar na Especialidade de Engenharia
Eletrotécnica**

Júri

Presidente: MGen/EngEl/036605-G/Joaquim Gonçalves Coelho Lopes

Orientador: TCor/EngEl/083356-J/Delfim Zambujo das Dores

Co-Orientador: Cap/EngEl/128698-G/Ricardo José Ferreira Peralta

Vogal: Maj/EngEl/111524-D/Maria de Fátima Alves Nunes Bento

Sintra, Outubro 2014

**Construção do modelo de comunicação de dados por
ARINC 429 das aeronaves C295M da Força Aérea
Portuguesa**

David Freire Lazera

134724-B

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Aeronáutica Militar na Especialidade de Engenharia
Eletrotécnica**

Júri

Presidente: MGen/EngEl/036605-G/Joaquim Gonçalves Coelho Lopes

Orientador: TCor/EngEl/083356-J/Delfim Zambujo das Dores

Co-Orientador: Cap/EngEl/128698-G/Ricardo José Ferreira Peralta

Vogal: Maj/EngEl/111524-D/Maria de Fátima Alves Nunes Bento

Sintra, Outubro 2014

ISBN:

Este trabalho foi elaborado com finalidade essencialmente escolar, durante a frequência do Curso de Engenharia Electrotécnica cumulativamente com a atividade escolar normal. As opiniões do autor, expressas com total liberdade académica, reportam-se ao período em que foram escritas, mas podem não representar doutrina sustentada pela Academia da Força Aérea.

Agradecimentos

Desejo colocar neste espaço os agradecimentos e todos os que me ajudaram na realização deste trabalho de Dissertação de Mestrado, assim como a todos os que me ajudaram e estiveram presentes durante a frequência do meu curso na Academia da Força Aérea.

Quero agradecer:

Ao Capitão Ricardo Peralta por me ter orientado na realização deste trabalho. A disponibilidade e paciência facultadas foram essenciais para conseguir atingir todos os objetivos.

Ao Tenente-Coronel Delfim Dores pelo constante interesse e disponibilidade facultada para a elaboração desta dissertação.

Ao Tenente-Coronel Carlos Lourenço pelo interesse demonstrado neste trabalho, nomeadamente pela indicação de pontos de vista diferentes e pertinentes.

Ao Capitão António Silva pela criação da proposta de tema de dissertação, tendo em conta o meu interesse na área.

Ao Capitão Bruno Carreiro pelo interesse demonstrado no decorrer dos trabalhos e boleias para a Base Aérea N°6.

A Capitão Daniel Coutinho por me ter despertado interesse no tema desta Dissertação de Mestrado, no 3º Estágio de Especialidade.

Aos Sargentos da Esquadra de Manutenção da 502 pelo auxílio durante o trabalho efectuado na aeronave C295M.

Aos meus Camaradas pela companhia e camaradagem ao longo de todos anos de curso.

À minha família pelo apoio para querer sempre mais e pela oportunidade de frequentar a Academia da Força Aérea.

À Sara pela apoio que me deu nestes últimos anos, especialmente em momentos menos bons. Sem a sua ajuda e paciência, este último passo teria sido mais difícil.

Resumo

Esta dissertação tem como objectivo o desenvolvimento de uma metodologia de recolha de dados que circulam nos barramentos ARINC 429 da aeronave CASA C295M da Força Aérea Portuguesa.

A compreensão do protocolo ARINC 429, dado o seu elevado leque de aplicação na aeronáutica, atribuirá à Força Aérea Portuguesa a capacidade para tomar decisões técnicas nos sistemas aviónicos que utilizem este protocolo numa variedade de sistemas de armas. O conhecimento destes barramentos e a determinação dos seus pontos de acesso permite investigar a origem física de falhas, quer seja em equipamentos intermédios, quer nas cablagens da aeronave.

Em termos práticos, com o conhecimento de quais os equipamentos que comunicam nesta linguagem sabe-se, em termos genéricos, o tipo de informação que transmitem. Contudo desconhece-se especificamente quais os dados que são transmitidos.

Desta forma, o método de trabalho foi orientado no sentido de localizar barramentos ARINC 429 da aeronave e fazer o levantamento dos mesmos. Esse processo passou pelo desenvolvimento de uma metodologia, com recurso a uma plataforma, que descodificasse os barramentos ARINC 429.

É apresentado em primeiro lugar é estudado o protocolo em questão para compreensão da sua estrutura. Este processo foi essencial para etapa seguinte que consistiu na realização de testes à plataforma escolhida no sentido de avaliar a sua capacidade de resposta em ambientes operacionais semelhantes aos presentes nos sistemas de armas.

Posteriormente é apresentado o processo efectuado para o levantamento dos barramentos existentes no sistema de armas C295M, nomeadamente as suas localizações e informação expectável de circularem nesses barramentos.

No final apresenta-se a informação digital que foi possível descodificar em cada barramento. Apresentam-se também alguns projetos que necessitam da informação compilada e os resultados obtidos neste trabalho.

Palavras Chave: ARINC 429, C295M

Abstract

This Master's Thesis has as objective the development of a methodology to collect the data that runs in the ARINC 429 buses of the CASA C295M aircraft of the Portuguese Air Force.

The comprehension of the ARINC 429 protocol, given its array of applications in aeronautics, will give the Portuguese Air Force the capability to make technical decisions regarding the avionic systems that use this protocol, that are used in a variety of aircrafts. The knowledge of this buses and the determination of its access points allows the ability to investigate the source of failures, either their origin is in the intermediate equipment or it is originated in the aircraft cables.

In practical terms, with the knowledge of which equipment communicate in this language it is known, generically, which kind of information they transmit. However it is unknown specifically which data is transmitted.

As so, the work method was oriented in order to localize the ARINC 429 buses of the aircraft and collect the data in them. This process went through the development of a methodology, using a platform, that can decode the ARINC 429 buses.

Firstly the protocol in question is studied in order to comprehend its structure. This step was essential for the following one which consisted in tests applied to the platform in order to evaluate its responsiveness in operational environments similar to the ones presented in the aircraft.

After this step, the steps followed to the theoretical analysis of the buses in the C295M are presented, namely its locations and the information that it is expected to run in those buses.

In the end, the digital information that was able to decode in each bus is presented. It is also suggested some projects that in order to go forward need the information concluded in this work.

Keywords: ARINC 429, C295M

Índice

Lista de Figuras.....	xvii
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Acrónimos	xxi
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2 Revisão da literatura	5
2.1 Comunicação Digital na Indústria Aeronáutica	5
2.1.1 Transferência Digital de Dados	6
2.1.2 Protocolo ARINC 429.....	6
2.1.2.1 Origens.....	6
2.1.2.2 Especificação DITS.....	7
2.1.2.3 Standards do Sistema de Transferência de Informação Digital.....	7
2.1.2.3.1 Informação básica	8
2.1.2.3.2 Campo <i>Information Identifier</i>	8
2.1.2.3.3 Campo <i>Source/Destination Identifier</i>	9
2.1.2.3.4 Campo <i>Data</i>	9
2.1.2.3.5 Campo <i>Sign/Status Matrix</i>	9
2.1.2.3.6 Parâmetros das <i>labels</i>	12
2.2 Sistema de Armas <i>Airbus Military C295M</i>	13
2.2.1 C295M na Força Aérea Portuguesa.....	14
2.2.2 Protocolo ARINC 429 no Sistema de Armas	15
2.2.2.1 Sistema HIAS	15

2.2.2.2	Arquitetura do Sistema	17
2.2.2.3	Equipamentos e sistemas em comunicação ARINC 429.....	18
2.2.2.3.1	Sistema ADS	18
2.2.2.3.2	Sistema AHRS	19
2.2.2.3.3	Sistema FDS	20
2.2.2.3.4	Sistema FMS.....	22
2.2.2.3.5	Sistema AFCS	23
2.2.2.3.6	Sistema DCF	25
3	Desenvolvimento da metodologia de aplicação da Plataforma de Comunicação.....	27
3.1	Software <i>CoPilot</i> e placa USB 429.....	28
3.1.1	Interação com o equipamento	29
3.2	Validação do método	33
3.2.1	Simulação interna	33
3.2.2	Simulação externa	34
3.2.2.1	Datatrak 200	35
3.2.2.2	Testes	37
3.2.2.2.1	Codificação e teste das mensagens em BCD	37
3.2.2.2.2	Codificação e teste das mensagens em BNR	39
3.3	Recolha de dados.....	42
3.3.1	Levantamento teórico dos barramentos	42
3.3.2	Processo de recolha.....	43
3.3.3	Resultados.....	45
4	Resultados	47
4.1	Acesso aos barramentos ARINC 429	47
4.2	Descodificação de barramentos	48
4.2.1	Barramento ADU.....	49
4.2.2	Barramento AHRS	50
4.2.3	Barramento DME	51

4.2.4	Barramento EEC	51
4.2.5	Barramento EGPWS	52
4.2.6	Barramento FGCP	52
4.2.7	Barramento FMM	53
4.2.8	Barramento GAMA	55
4.2.9	Barramento IRS/GPS	57
4.2.10	Barramento IOP	59
4.2.11	Barramento RALT	59
4.2.12	Barramento ADF	59
4.2.13	Barramento TCAS	60
4.3	Análise de resultados	60
5	Conclusões e trabalhos futuros	61
5.1	Resumo	61
5.2	Conclusões	62
5.3	Trabalhos futuros	62
6	Bibliografia	63
	Anexos	I

Lista de Figuras

Figura 2-1 – Diagrama dos dispositivos <i>Synchro</i> [1]	5
Figura 2-2 – Airbus A-310 [3]	6
Figura 2-3 – Boeing B-757 [4]	6
Figura 2-4 – Boeing B-767 [5]	6
Figura 2-5 – Formato generalizado das palavras ARINC 429 [7]	8
Figura 2-6 – C295M [8]	13
Figura 2-7 – CN235 [9]	13
Figura 2-8 – C212 <i>Aviocar</i> [12]	14
Figura 2-9 – Aeronave C295M da Força Aérea Portuguesa [8]	14
Figura 2-10 – <i>Integrated Flight Cabinet</i> [14]	15
Figura 2-11 – Estrutura do HIAS [14]	16
Figura 2-12 – Arquitetura do Sistema [14]	17
Figura 2-13 – Sistema ADS [14]	18
Figura 2-14 – Sistema AHRS [14]	19
Figura 2-15 – LCD [14]	20
Figura 2-16 – PFD [14]	20
Figura 2-17 – ND [14]	20
Figura 2-18 – Painel EFCP [14]	20
Figura 2-19 – Painel ICP [14]	20
Figura 2-20 – Sistema FDS [14]	21
Figura 2-21 – Ligações dos sensores ao FDS [14]	21
Figura 2-22 – Sistema FMS [14]	22
Figura 2-23 – Controlador MCDU [14]	23
Figura 2-24 – Sistema AFCS [14]	23
Figura 2-25 – Painel FGCP (esquerda), unidade MMR (centro) e unidade CEU (direita) [14]	25
Figura 2-26 – Sistema DCF [14]	26
Figura 3-1 – Placa USB 429 [16]	28

Figura 3-2 – Janela de apresentação do <i>CoPilot</i>	29
Figura 3-3 – Menu de arranque do projeto	30
Figura 3-4 – Janela de projeto	30
Figura 3-5 – Comandos de ação	31
Figura 3-6 – Janela de escolha de equipamento.....	31
Figura 3-7 – Janela para escolha das <i>labels</i>	32
Figura 3-8 – Ligações placa USB 429 para simulação interna.....	33
Figura 3-9 – Resultado da simulação interna.....	34
Figura 3-10 – Painel frontal do <i>Datatrak</i> 200 [17].....	36
Figura 3-11 – Menu de transmissão de dados no <i>Datatrak</i> 200 [17]	37
Figura 3-12 – Esquema da ligação	42
Figura 3-13 – Ligação <i>Datatrak</i> -USB 429	42
Figura 4-1 – Substituição do equipamento MMR1 pela plataforma de comunicação	47
Figura 4-2 – Ligação da plataforma à interface do sistema de armas	47
Figura 4-3 – Interfaces do IFC2	48

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 – Codificação do campo SDI	9
Tabela 2-2 – Codificação do campo SSM para palavras BCD	10
Tabela 2-3 – Codificação do campo SSM para palavras BNR.....	10
Tabela 2-4 – Codificação do bit 29 para palavras BNR.....	11
Tabela 2-5 – Estado da precisão	11
Tabela 2-6 – Codificação do campo SSM para <i>Discrete Data Words</i>	12
Tabela 2-7 – Palavras predefinidas para a <i>label 056</i>	12
Tabela 3-1 – Mensagem de teste da simulação interna	34
Tabela 3-2 – Mensagens de teste	37
Tabela 3-3 – Codificação do campo <i>label</i> das mensagens BCD	38
Tabela 3-4 – Subcampos do campo <i>data</i> para mensagens BCD	38
Tabela 3-5 – Mensagens BCD para <i>Datatrak</i>	39
Tabela 3-6 – Codificação do campo <i>data</i> quando bit 31 é "1" binário	39
Tabela 3-7 – Codificação do campo <i>label</i> das mensagens BNR.....	39
Tabela 3-8 – Rácios para a <i>label 101</i>	40
Tabela 3-9 – Mensagens BNR para <i>Datatrak</i>	41
Tabela 3-10 – Mensagens de testes BNR finais.....	41
Tabela 3-11 – Equipamentos e localização.....	44
Tabela 3-12 – Barramentos recolhidos.....	45
Tabela 4-1 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento ADU	49
Tabela 4-2 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento AHRS	50
Tabela 4-3 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento DME.....	51
Tabela 4-4 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento EEC.....	52
Tabela 4-5 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento EGPWS.....	52
Tabela 4-6 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento FGCP	53
Tabela 4-7 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento FMM	53
Tabela 4-8 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento GAMA	55

Tabela 4-9 – <i>Labels</i> decodificadas de dados GPS	57
Tabela 4-10 – <i>Labels</i> decodificadas de dados IRS	58
Tabela 4-11 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento RALT	59
Tabela 4-12 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento ADF.....	59
Tabela 4-13 – <i>Labels</i> decodificadas do barramento TCAS	60

Lista de Acrónimos

ADF	<i>Automatic Direction Finder</i>
ADS	<i>Air Data System</i>
ADU	<i>Air Data Unit</i>
AFCS	<i>Automatic Flight Control System</i>
AHRS	<i>Attitude and Heading Reference System</i>
AHRU	<i>Attitude and Heading Reference Unit</i>
AIM	<i>Acknowledgement, ISO Alphabet Number 5 and Maintenance</i>
AP	<i>Auto Pilot</i>
ARINC	<i>Aeronautical Radio, Inc.</i>
ASC	<i>Avionics System Core</i>
BCD	<i>Binary Coded Decimal</i>
BNR	<i>Binary Notation</i>
CARP	<i>Computed Air Release Point</i>
CDS	<i>Centralized Diagnostic System</i>
CEU	<i>Control and Engagement Unit</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CSDB	<i>Commercial Standard Digital Bus</i>
CVR	<i>Cockpit Voice Recorder</i>
DASU	<i>Digital Acquisition and Storage Unit</i>
DEP	<i>Direção de Engenharia e Programas</i>
DCF	<i>Data Concentration Function</i>
DF	<i>Direction Finder</i>
DITS	<i>Digital Information Transfer System</i>
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i>
DMSA	<i>Direção de Manutenção de Sistemas de Armas</i>
EEC	<i>Electronic Engine Controller</i>
EFCP	<i>EFIS Control Panel</i>

EFIS	<i>Electronic Flight Instrument System</i>
EGPWS	<i>Enhanced Ground Proximity Warning System</i>
ELT	<i>Emergency Locator Transponder</i>
ETCAS	<i>Enhanced Traffic alert and Collision Avoidance System</i>
FD	<i>Flight Director</i>
FDR	<i>Flight Data Recorder</i>
FDS	<i>Flight Deck System</i>
FDU	<i>Flux Detector Unit</i>
FGCP	<i>Flight Guidance Control Panel</i>
FGM	<i>Flight Guidance Module</i>
FMC	<i>Flight Management Computer</i>
FMM	<i>Flight Management Module</i>
FMS	<i>Flight Management System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HIAS	<i>Highly Integrated Avionics System</i>
ICP	<i>Index Control Panel</i>
IESI	<i>Integrated Electronic Standby Instrument</i>
IFC	<i>Integrated Flight Cabinet</i>
IFF	<i>Identify Friend or Foe</i>
ILS	<i>Instruments Landing System</i>
IRS	<i>Inertial Reference System</i>
IOM	<i>Input/Output Module</i>
IOP	<i>Input/Output Processor</i>
IRS	<i>Inertial Reference System</i>
LCD	<i>Liquid-crystal Display</i>
LSB	<i>Least Significant Bit</i>
MCDU	<i>Multifunction Control display Unit</i>
MedEvac	<i>Medical Evacuation</i>

MKR	<i>Markers</i>
MLS	<i>Microwave Landing System</i>
MMR	<i>Multimode Receiver</i>
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
ND	<i>Navigation Display</i>
P	<i>Parity</i>
PFD	<i>Primary Flight Display</i>
PPSM	<i>Primary Power Supply Module</i>
PRS	<i>Primary Reference System</i>
RALT	<i>Radio Altimeter</i>
RMS	<i>Radio Management System</i>
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SDI	<i>Source/Destination Identifier</i>
SOE	<i>Set Of Equipment</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SSM	<i>Signal/Status Matrix</i>
TACAN	<i>Tactical Air Navigation</i>
TAWS	<i>Terrain Avoidance Warning System</i>
TCAS	<i>Traffic alert and Collision Avoidance System</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VIP	<i>Very Important Person</i>
VIMAR	<i>Vigilância Marítima</i>
VOR	<i>VHF Omni-directional Range</i>
WXR	<i>Meteorological Radar</i>

1 Introdução

A presente dissertação tem como objectivo a atribuição do Grau de Mestre em Ciências Militares Aeronáuticas na Engenharia Electrotécnica, ramo de Aviónica, e é o culminar da formação inicial para Oficial Engenheiro Electrotécnico do Quadro Permanente da Força Aérea Portuguesa.

A possibilidade de realização deste trabalho num Sistema de Armas da Força Aérea Portuguesa permite em avanço uma compreensão dos modos de operação nos projetos de Engenharia praticados pelos membros do quadro, assim como uma ambientação com os sistemas de armas, que estarão presentes nos projetos desenvolvidos durante a carreira.

1.1 Motivação

Neste capítulo apresenta-se a razão da escolha do tema que deu origem a este trabalho, nomeadamente a importância que este tem para o autor assim como o possível interesse para a Força Aérea Portuguesa.

A Força Aérea Portuguesa possibilita que, durante a formação académica e militar na Academia da Força Aérea, os alunos frequentem Estágios de Especialidade, durante os últimos três anos de formação. Estes permitem aos alunos uma familiarização com as tarefas desenvolvidas pelas direcções onde decorrem os estágio, nomeadamente a Direcção de Engenharia e Programas (DEP) e a Direcção de Manutenção de Sistemas de Armas (DMSA), e que estão directamente relacionadas com as funções que um futuro Oficial Engenheiro da Força Aérea Portuguesa irá ter após a conclusão do curso.

No último Estágio de Especialidade surgiu ao autor a oportunidade de um primeiro contacto com sistemas aviónicos, nomeadamente com o protocolo de comunicação ARINC 429. Atualmente, este protocolo é largamente utilizado, quer em aeronaves civis quer em aeronaves militares, e como tal surgiu o interesse na obtenção da capacidade de decodificação dos barramentos onde circula informação codificada em ARINC 429.

O sucesso desse estágio levou a que fosse apresentada uma proposta para desenvolver um método que permitisse fazer o levantamento de todos os barramentos ARINC 429 existentes na aeronave C295M.

Presentemente não existe uma compilação da informação que circula neste tipo de barramentos no sistema de armas. Contudo são conhecidos quais os equipamentos que utilizam o protocolo em questão, o que permite, em conjunto com os pré-requisitos existentes do protocolo, presumir o conteúdo da informação. Assim, o objectivo de fazer o levantamento desses barramentos é compilar toda essa informação e disponibiliza-la às Direcções Técnicas tendo em

conta que o seu conteúdo pode ser utilizado para análise de falhas e, dada a circulação de informação em tempo real, fazer a recolha de dados em voo para posterior análise.

Por fim, o facto de se pretender criar uma plataforma não específica, permite a sua utilização noutros Sistemas de Armas e desta forma usufruir das mesmas capacidades.

Assim, tendo em conta as vantagens apresentadas, resultantes do desenvolvimento deste trabalho, e a possibilidade de interagir diretamente com os sistemas aviónicos de uma aeronave, resultam na escolha deste tema por parte do autor.

1.2 Objectivos

Este trabalho tem como objectivo desenvolver uma metodologia de aplicação de uma plataforma de comunicação ARINC 429 que permita a aquisição, gravação e descodificação de dados provenientes dos sistemas aviónicos de uma aeronave. Como meio de demonstração do método realizar-se-á o levantamento, descodificação e compilação dos barramentos ARINC 429 da aeronave C295M.

Dado o conhecimento prévio dos sistemas que constituem a plataforma de comunicação, e do protocolo em si, espera-se operacionalizar uma plataforma que permita o levantamento dos dados dos sistemas da aeronave C295M, assim como de qualquer sistema aviónico, de qualquer sistema de armas, que comunique através deste protocolo.

1.3 Metodologia

De forma a definir um método de trabalho, foram definidas três fases de trabalho.

A primeira fase aborda a familiarização com o protocolo ARINC 429 e com os sistemas da aeronave que comunicam neste protocolo.

A segunda fase consiste no desenvolvimento da metodologia, nomeadamente na apresentação dos equipamentos utilizados, validação da plataforma, simulações e finalmente recolha de dados no sistema de armas.

A terceira fase consiste na análise dos resultados recolhidos da aeronave através do sistema desenvolvido, nomeadamente na compilação da informação levantada dos barramentos e sua descodificação.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos que seguem a linha estrutural apresentada no subcapítulo anterior.

O capítulo 2 apresenta o estudo efectuado para o desenvolvimento da plataforma. Este estudo inicia-se com a introdução da comunicação digital na indústria aeronáutica, que culmina na criação do protocolo ARINC 429. Este protocolo é analisado em termos de estruturação para a aquisição da capacidade de manipulação do mesmo. De seguida é estudado o Sistema de Armas C295M, com um breve enquadramento na Força Aérea Portuguesa, sendo posteriormente analisados os seus sistemas aviónicos que utilizam o protocolo ARINC 429.

O capítulo 3 dedica-se ao desenvolvimento da plataforma de comunicação, onde são descritos os sistemas que constituem a plataforma e os passos efectuados para os testes da mesma. Posteriormente, é descrito o processo de validação feito à plataforma, processo este com a finalidade de verificar a capacidade da mesma para comunicar com sistemas aviónicos desconhecidos. O capítulo termina com uma compilação teórica dos dados que se espera recolher experimentalmente dos barramentos da aeronave, com uma descrição dos passos efectuados.

No capítulo 4 apresentam-se os dados recolhidos e efectua-se uma análise dos mesmos, assim como uma descrição de quais as adversidades encontradas no acesso físico aos barramentos e no processo de descodificação.

No capítulo 5 faz-se um resumo do trabalho, apresentando-se as conclusões e eventuais desenvolvimentos futuros.

2 Revisão da literatura

Este capítulo tem como objectivo a descrição do estudo teórico relacionado com a temática da presente dissertação, que permitiu a aquisição do conhecimento necessário para o desenvolvimento do trabalho proposto.

Este capítulo inicia-se com um enquadramento da comunicação digital nas aeronaves e uma apresentação do protocolo de comunicação ARINC 429, nomeadamente a sua estrutura e modo de transmissão. De seguida é feita uma apresentação do Sistema de Armas C295M, especificando as suas características e as razões que levaram à sua aquisição pela Força Aérea Portuguesa. Apresentam-se ainda os sistemas aviónicos do Sistema de Armas que utilizam o protocolo ARINC 429.

2.1 Comunicação Digital na Indústria Aeronáutica

Desde os primórdios da integração de eletricidade nas aeronaves que a maior parte da instrumentação do cockpit era eletromecânica, com a informação a ser apresentada no cockpit através de agulhas rotacionais e mostradores. A forma utilizada para mostrar as informações recorria a dispositivos denominados de *synchros* (Figura 2-1), que eram essencialmente transformadores rotacionais e motores.

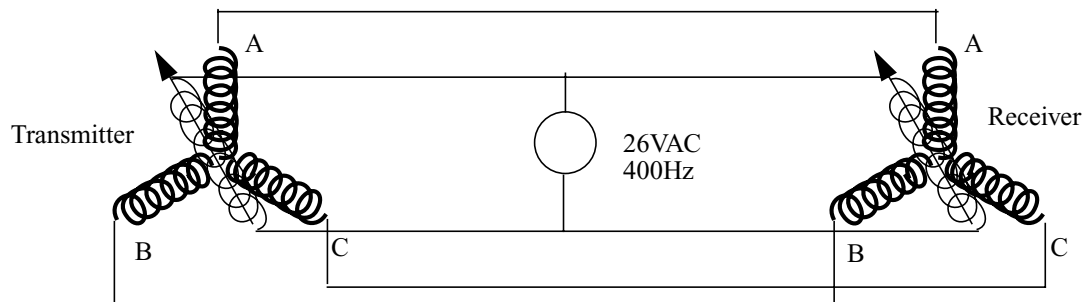


Figura 2-1 – Diagrama dos dispositivos *Synchro* [1]

Cada *synchro*, consiste em três enrolamentos estáticos, com um ângulo de 120° entre cada um, e um enrolamento rotacional. Quando aplicada uma tensão ao enrolamento rotacional, é induzida uma tensão em cada enrolamento estático, sendo essas tensões determinadas pelo ângulo de rotação do enrolamento rotacional. Quando os *synchros* se encontram ligados como na Figura 2-1, o enrolamento rotacional do receptor mantém o ângulo de rotação do enrolamento rotacional do transmissor.

A transmissão digital de dados trouxe uma nova realidade à aviação, além de uma maior flexibilidade nos dados a transmitir, originou uma redução enorme na quantidade de cabos necessários de instalar numa aeronave [1].

2.1.1 Transferência Digital de Dados

A transmissão digital de dados consiste no envio de “zeros e uns” binários com valores de tensão específicos. Contudo, o ambiente dentro das aeronaves está sujeito a muitos campos magnéticos, o que pode levar à alteração dos sinais que circulam nos barramentos de transmissão de dados. Para tal, dependendo do tipo de codificação, os níveis de tensão que representam os “zeros” e “uns” encontram-se suficientemente afastados um do outro ou têm uma representação que tendem a evitar a influência externa. A introdução desta tecnologia na aviação foi feita com recurso a pares de cabos entrelaçados e blindados para fazer a ligação entre dois equipamentos, de forma a reforçar a sua imunidade.

A utilização de pares de cabos entrelaçados e blindados é o mais comum de se encontrar hoje em dia nas aeronaves. A forma como este par de cabos funciona consiste na emissão de sinal num, sendo o outro utilizado como referência. Anteriormente a comunicação era analógica existindo apenas um cabo para a emissão de sinal e outro para a referência que era utilizado para vários sinais. Esta forma tornava o sinal de referência ruidoso e causar interferência. A razão pela qual se optou por entrelaçar os cabos foi com a intenção de reduzir os efeitos de interferência magnética. A blindagem vem reforçar esse efeito. [1]

2.1.2 Protocolo ARINC 429

2.1.2.1 Origens

No início dos anos 70 já se tinham implementado alguns equipamentos digitais. Contudo, três novas aeronaves de transporte, o Airbus-A310 (Figura 2-2), o Boeing B-757 (Figura 2-3) e o Boeing B-767 (Figura 2-4), justificaram a procura de um novo pacote de tecnologia digital aviónica. [2]



Figura 2-2 – Airbus A-310 [3]

Figura 2-3 – Boeing B-757 [4]

Figura 2-4 – Boeing B-767 [5]

Na altura a *Society of Automotive Engineers* (SAE) tinha recrutado engenheiros do sector militar e do sector privado da aviação e estava a desenvolver um protocolo de transmissão de dados capaz de efetuar a transferência de informação entre vários sistemas aviónicos militares, simultaneamente. Esse trabalho culminou no Mil-Std 1553. Inicialmente, os fabricantes de aeronaves de transporte consideraram adoptar este protocolo, mas a sua elevada complexidade levou a que essa ideia fosse posta de parte. Consequentemente, optou-se por desenvolver um protocolo com as mesmas capacidades mas que refletisse as necessidades da aviação comercial.

Analisando os protocolos de comunicação digital existentes na altura, a Especificação ARINC 419 “*Digital Data System Compendium*” era a maior candidata para servir de base para este novo standard, uma vez que exibia características desejáveis e adequadas para o objectivo final. O resultado foi a especificação ARINC 429. [2]

Desde a sua publicação, em 1978, o *standard* ARINC 429 tornou-se o mais utilizado pelos fabricantes de aeronaves, uma vez que foi desenvolvido de forma a combinar um elevado nível de eficiência, com extrema fiabilidade e facilidade de certificação. Na especificação desenvolvida são definidas as normas standard da indústria do transporte aéreo para a transferência digital de informação entre os elementos dos equipamentos aviónicos, e é definida pelos seguintes documentos:

- *ARINC Specification 429 Part 1-18: Functional Description, Electrical Interfaces, Label Assignments and Word Formats* (publicada em 2012). Este documentos define os parâmetros físicos do equipamento (cablagem, níveis de tensão, codificação, etc).
- *ARINC Specification 429 Part 2-16: Discrete Data Standards* (publicada em 2004). Este documento define os formatos das palavras com codificação *discrete bit*.
- *ARINC Specification 429 Part 3-19: File Data Transfer Techniques* (publicada em 2009). Este documento define as especificações do protocolo *data link layer*.

2.1.2.2 Especificação DITS

O protocolo ARINC 429 utiliza a especificação *Mark 33 Digital Information Transfer System* (Sistema de Transferência de Informação Digital - DITS) como filosofia básica. Esta define que quando um equipamento transmite informação necessária a outros equipamentos, o processo é feito através de uma porta definida com recurso a um cabo constituído por um par de fios entrelaçados e blindados. A função de bidirecionalidade não é permitida, o que significa que, no protocolo ARINC 429, uma porta definida para transmissão não recebe informação. É utilizado um cabo para cada direcção caso seja necessária a troca de informações entre dois sistemas.

Na *Mark 33 DITS* os dados são transmitidos a frequências suficientemente altas de forma a garantir que as alterações dos valores nas atualizações de informação sejam feitas em pequenos incrementos. A esta característica é acrescentado o bit de paridade que é enviado na palavra binária e que contém informação que permite a detecção de um erro que possa ter ocorrido no envio da palavra. Estas características permitem a prevenção da utilização de palavras erróneas ou suspeitas. [6]

2.1.2.3 Standards do Sistema de Transferência de Informação Digital

Nesta secção são apresentados detalhadamente os elementos das mensagens ARINC 429, nomeadamente os grupos que estruturam as palavras e a forma como são codificados.

2.1.2.3.1 Informação básica

As palavras em ARINC 429 são constituídas por 32 bits e existem 5 grupos de aplicação: *Binary Notation data* (BNR), *Binary Coded Decimal data* (BCD), *Discrete data*, *Maintenance data* e *Acknowledgement, ISO Alphabet Number 5 and Maintenance Data* (AIM Data). Quando a informação que se pretende transmitir não ocupa todos os bits da palavra, os restantes são preenchidos com zeros binários.

De uma forma geral, as palavras utilizam o formato exemplificado na Figura 2-5 que inclui cinco campos primários:

- *Parity* (P);
- *Sign/Status Matrix* (SSM);
- *Data*;
- *Source/Destination Identifier* (SDI);
- *Information Identifier* (Label).

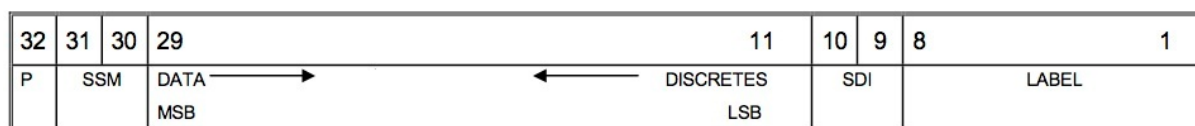


Figura 2-5 – Formato generalizado das palavras ARINC 429 [7]

2.1.2.3.2 Campo *Information Identifier*

O tipo de informação que está escrita na palavra é identificada através de uma etiqueta de 6 (seis) caracteres.

Os primeiros três caracteres são hexadecimais e codificados em binário nos primeiros 8 (oito) bits da palavra, sendo que estes:

- Identificam a informação contida na palavra;
- Identificam a aplicação da palavra para os casos de *Discrete*, *Maintenance* e *AIM data*.

Os últimos três caracteres da etiqueta são também caracteres hexadecimais, codificados no campo *Data*, que transmitem a informação “*Equipment ID*”. A especificação ARINC estabelece uma designação hexadecimal para cada equipamento aviónico, conforme exemplificado no ponto 2.1.2.3.6. Isto permite que quando um equipamento receba informação de outro, saiba de que equipamento provém, e consiga decodificar essa informação. A transmissão desta informação é opcional, não dependendo os receptores da mesma para funcionarem corretamente. Quando é desejada a transmissão do *Equipment ID* é utilizada uma *Label* específica para identificar que é essa informação que está a ser transmitida.

2.1.2.3.3 Campo *Source/Destination Identifier*

O parâmetro SDI, que utiliza os bits 9 e 10 da palavra, é utilizado quando determinadas palavras precisam de ser direcionadas para um equipamento específico, no caso de uma instalação de múltiplos sistemas, ou então para quando é necessário identificar um transmissor, também numa instalação de múltiplos sistemas.

Esta função está disponível apenas para as palavras BCD e BNR, embora no caso de maior resolução na informação a transmitir estes bits podem ser utilizados para prolongamento do campo “*Data*”.

Quando estes bits são utilizados, o campo SDI é codificado de acordo com a Tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Codificação do campo SDI

Número de bit		Número da instalação
10	9	
0	0	<i>All-call</i>
0	1	1
1	0	2
1	1	3

O “*all-call*” existe na situação de a informação ser transmitida para todos os receptores, ou então, se estiver predefinido, pode ser utilizado como número da instalação “4”. No caso da utilização dos bits para transmissão de informação BNR e BCD, estes devem conter informação válida.

2.1.2.3.4 Campo *Data*

No campo Data é codificado o valor do parâmetro, codificado em BCD ou BNR. No capítulo 3.2.2.2 a codificação deste campo é aprofundada e é apresentada juntamente com exemplos práticos.

2.1.2.3.5 Campo *Sign/Status Matrix*

O campo SSM é utilizado para reportar a condição de hardware do equipamento (falha/normal), o modo de operação (teste funcional), ou validar a informação contida na palavra (verificado/sem informação). Note-se que quando é detectada uma falha num sistema que possa causar transmissão de uma ou mais palavras não fiáveis, esse sistema deverá parar a transmissão das palavras afetadas.

Em todos os casos este campo utiliza os bits 30 e 31, sendo que para o caso de palavras codificadas em BNR o bit 29 também é utilizado.

Cada tipo de palavra de dados tem a sua própria forma de utilização do campo SSM. Nos subcapítulos seguintes descrevem-se esses vários formatos.

2.1.2.3.5.1 Formato BCD

Quando é transmitida informação nas palavras codificadas em BCD, os bits 30 e 31 apresentam informações de sinal (positivo/negativo, Norte/Sul, etc.) (Tabela 2-2), sendo que no caso de não ser necessário transmitir nenhum sinal, a palavra destes dois bits deve ser "zero".

Tabela 2-2 – Codificação do campo SSM para palavras BCD

Número de bit		Significado
31	30	
0	0	<i>Plus, North, East, Right, To, Above</i>
0	1	<i>No Computed Data</i>
1	0	<i>Functional Test</i>
1	1	<i>Minus, South, West, Left, From, Below</i>

O código de "*No Computed Data*" deve ser anunciado quando o transmissor é incapaz de transmitir informação viável por razões que não a de falha de sistema.

No caso de existir a codificação "*Functional Test*" numa palavra de instrução por *input*, esta informação deve ser interpretada como uma ordem para proceder a um teste funcional. No caso de a codificação de "*Functional Test*" aparecer como o *output* de um sistema, esta palavra deve ser interpretada como um aviso de que a informação contida é resultado da execução de um teste funcional.

2.1.2.3.5.2 Formato BNR

O estado do hardware de transmissão deve ser codificado no campo SSM das palavra BNR conforme apresentado na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 – Codificação do campo SSM para palavras BNR

Número de bit		Significado
31	30	
0	0	<i>Failure Warning</i>
0	1	<i>No Computed Data</i>
1	0	<i>Functional Test</i>
1	1	<i>Normal Operation</i>

Um sistema deve anunciar qualquer falha detectada que cause a corrupção de palavras através do envio da informação "*Failure Warning*" codificada no campo SSM. Palavras que contenham este código devem continuar a ser fornecidas durante toda a condição de falha.

O código "*No Computed Data*" deve ser utilizado, nas palavras BNR afectadas, quando um sistema é incapaz de fornecer informação fiável, por razões que não a de falha do sistema.

Quando aparece como output de um sistema, o código "*Functional Test*" deve ser interpretado como um aviso de que a informação facultada na palavra é resultado de um teste de funcionalidade.

O sinal (positivo, negativo, norte, sul, etc.) nas palavras BNR deve ser codificado no bit 29, da forma apresentada na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 – Codificação do bit 29 para palavras BNR

Número de bit	Significado
29	
0	<i>Plus, North, East, Right, To, Above</i>
1	<i>Minus, South, West, Left, From, Below</i>

No caso de não ser necessário sinal, este bit deve ser preenchido com zero binário.

Adicionalmente alguns sistemas aviónicos são capazes de detectar uma condição de falha que resulta na degradação da precisão. Quando uma falha deste género acontece, como por exemplo a perda parcial de um sensor, o equipamento deve continuar a reportar a situação de "*Normal Operation*", enquanto indica no bit 11 o estado da precisão, da forma apresentada na Tabela 2-5. Neste caso o bit 11 não transmite dados.

Tabela 2-5 – Estado da precisão

Número de bit	Significado
11	
0	<i>Normal Accuracy</i>
1	<i>Degraded Accuracy</i>

2.1.2.3.5.3 *Formato Discrete Data Words*

Neste tipo de palavras o código de "*No Computed Data*" deve ser utilizado quando um sistema é incapaz de transmitir informação fiável, por razões que não a de falha do equipamento.

Quando é utilizado o código de "*Functional Test*", interpreta-se que o conteúdo da palavra em questão é produto de um teste de funcionalidade.

Existem três métodos de atuação para anunciar que é detectada uma falha que provoque a transmissão de uma ou mais palavras que não sejam fiáveis. O primeiro método é definir os bits 30 e 31, das palavras afetadas, com o código de "*Failure Warning*". Estas palavras continuam a ser transmitidas durante esta condição de falha. O segundo método é o equipamento deixar de transmitir as palavras afetadas. Este método deve ser utilizado quando não se deseja que as palavras afetadas sejam apresentadas ao operador ou utilizadas para outras funções. O terceiro método é transmitir a informação de falha no campo *data*.

Na Tabela 2-6 estão apresentadas as codificações do campo SSM deste tipo de palavras.

Tabela 2-6 – Codificação do campo SSM para *Discrete Data Words*

Número de bit		Significado
31	30	
0	0	<i>Verified Data, Normal Operation</i>
0	1	<i>No Computed Data</i>
1	0	<i>Functional Test</i>
1	1	<i>Failure Warning</i>

2.1.2.3.6 Parâmetros das *labels*

Consoante o equipamento de origem das palavras, uma *label* pode codificar uma informação diferente, como se pode observar na Tabela 2-7 que exemplifica a informação codificada pela *label* 056 para 4 equipamentos diferentes. Deste modo, para cada *Equipment ID* a *label* é definida por uma série de parâmetros, sendo eles:

- Nome do parâmetro;
- Unidade de medida;
- Alcance (Factor de Escala);
- Bits significativos;
- Resolução;
- Período mínimo de transmissão (msec);
- Período máximo de transmissão (msec);
- Atraso máximo (se aplicável).

Também na Tabela 2-7 encontram-se exemplificados esses parâmetros para os 4 equipamentos.

Tabela 2-7 – Palavras predefinidas para a *label* 056

Label (Octal)	Eqpt ID (Hex)	Parameter Name	Units	Range (Scale)	Sig Bits	Resolution	Min Transit Interval (msec)	Max Transit Interval (msec)
056	002	Estimated Time of Arrival	Hr:Min	0-23.59.9	5	0,1	250	500
	005	Wind Direction – Magnetic	Deg	0-359	3	1,0	250	500
	037	Gross Weight (Kilograms)	100 kg	0-19999	5	1,0	100	200
	056	ETA	Hr:Min	0-23.59.9	5	0,1	250	500

2.2 Sistema de Armas *Airbus Military C295M*

O C295M (Figura 2-6) é uma aeronave capaz de transportar até 9 toneladas ou setenta e um (71) passageiros, com uma velocidade máxima de 260 nós (480 km/h). Equipado com trem retráctil e cabine pressurizada, consegue operar a um tecto máximo de 25.000 pés enquanto mantém boas capacidades de STOL (*Short Take-Off and Landing*), sendo capaz de descolar em 640m e aterrar em 320m. A aeronave é impulsionada por dois turbo-propulsores *Pratt & Whitney Canada PW127G*, conseguindo um alcance entre 700 mn, com carga máxima, e 2900mn, em vazio. O C295M é uma versão melhorada e alongada da aeronave de transporte CN235 (Figura 2-7), que oferece uma maior capacidade de carga e um maior alcance.



Figura 2-6 – C295M [8]



Figura 2-7 – CN235 [9]

Esta aeronave encontra-se equipada com um sistema denominado *Highly Integrated Avionics System* (HIAS). Trata-se de um sistema de aviônicos avançado, baseado no *Thales TopDeck Avionics*, que faz a junção de tecnologia civil e militar aumentando não só o potencial para a instalação futura de novos equipamentos, assim como a compatibilidade com os mais recentes ambientes de aviação civil. [10]

As comunicações são asseguradas por três rádios UHF/VHF, dois rádios HF e um sistema de controlo de áudio. Existe ainda um sistema de gravação de voz (*Cockpit Voice Recorder – CVR*), sistema de identificação IFF (*Identification Friend or Foe*), um *Flight Data Recorder* (FDR) e um *Emergency Locator Transponder* (ELT).

A aeronave está equipada com dois *Flight Management Systems* (FMS) controlados por dois *Multifunction Controller Display Units* (MCDU), dois *Air Data Units* (ADU), dois *Attitude Heading and Reference System* (AHRS), dois *Radio Altimeter* (RALT) e um *Enhanced Ground Proximity Warning System* (EGPWS).

Outros sistemas de auxílio à navegação presentes são dois *Multimode Receivers* (MMR), dois *Automatic Direction Finders* (ADF), um *Direction Finder* (DF) e dois *Distance Measuring Equipments* (DME). Existem ainda dois sistemas integrados *Inertial Reference System / Global Positioning System* (IRS/GPS). [11]

2.2.1 C295M na Força Aérea Portuguesa

A necessidade de modernização da frota do *Aviocar* (Figura 2-8) levou a que em finais de 2004 fosse elaborado um caderno de encargos para a abertura de um concurso público para a aquisição de um novo sistema de armas. Este continha todos os requisitos do sistema de armas que deveria substituir a aeronave.



Figura 2-8 – C212 *Aviocar* [12]

O C295M revelou-se a aeronave mais adequada para as funções descritas no caderno de encargos, o que levou à compra de 12 unidades (Figura 2-9).



Figura 2-9 – Aeronave C295M da Força Aérea Portuguesa [8]

Partindo de uma base comum (versão PG01), qualquer das aeronaves adquiridas permite cumprir um alargado leque de missões, bastando a modificação do seu interior através de “kits” aplicáveis num curto espaço de tempo, adaptando a aeronave aos fins pretendidos. Estes fins podem ser: Transporte Aéreo Tático, Busca e Salvamento (SAR), Transporte VIP, Evacuações Médicas (MedEvac), Carga Aérea Geral, entre outros.

A segunda versão, denominada PG02, possui capacidade acrescida para a realização de missões de Vigilância Marítima (VIMAR).

A terceira versão, denominada PG03, acumula às funções das anteriores a capacidade de Fotografia Aérea.

A performance substancialmente superior do C295M permitiu, entre muitas outras melhorias, assegurar a cobertura de toda Zona Económica Exclusiva/Região de Busca e Salvamento nacional, que representa uma área sobre o oceano 63 vezes superior à superfície de

território terrestre português, sendo a segunda maior do mundo. Desta forma a Força Aérea Portuguesa passou a dispor de um meio tecnologicamente avançado que se tornou uma mais-valia incontestável na salvaguarda dos interesses e soberania nacionais, bem como na prestação de auxílio ao tráfego marítimo que cruza diariamente as águas Portuguesas. [13]

2.2.2 Protocolo ARINC 429 no Sistema de Armas

2.2.2.1 Sistema HIAS

Como referido no capítulo 2.2, os aviónicos do Sistema de Armas C295M estão integrados num sistema denominado *Highly Integrated Avionics System* (HIAS), baseado no *Thales TopDeck Avionics*.

A informação que circula no sistema é processada por dois *Integrated Flight Cabinet* (IFC) (Figura 2-10) que são constituídos 5 módulos cada:

- *Flight Management Module* (FMM);
- *Flight Guidance Module* (FGM);
- *Input/Output Module* (IOM);
- *Input/Output Processor* (IOP);
- *Primary Power Supply Module* (PPMS).

O IOM e o IOP implementam o *Data Concentration Function* (DCF).



Figura 2-10 – *Integrated Flight Cabinet* [14]

O HIAS é composto por um *Avionics System Core* (ASC) e por um *Set Of Equipment* (SOE) (Figura 2-11).

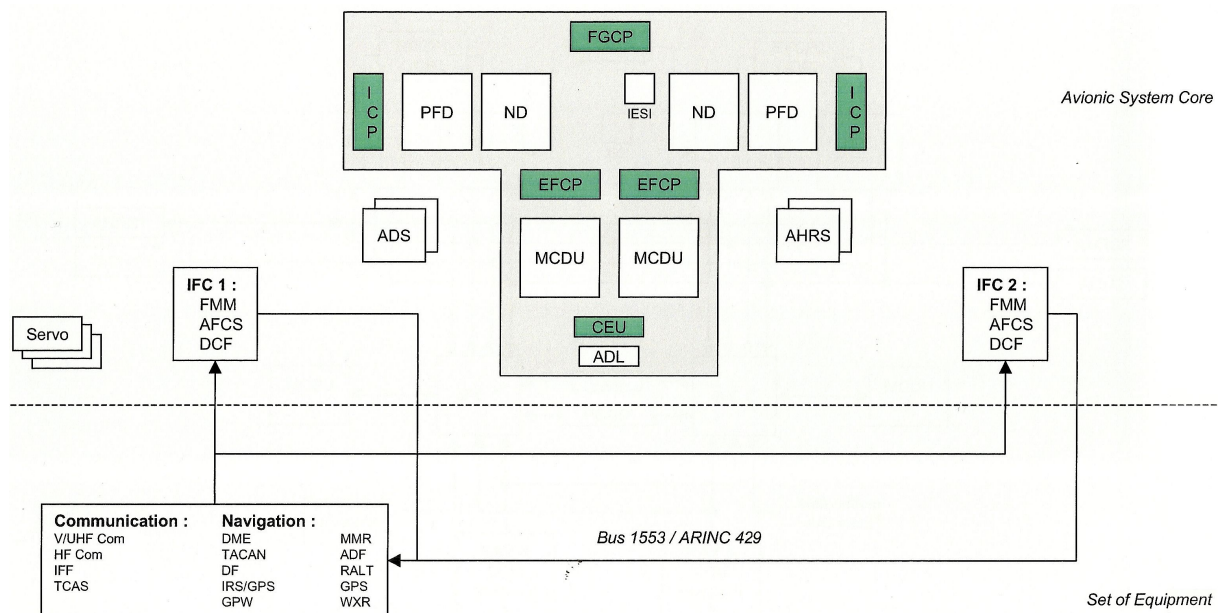


Figura 2-11 – Estrutura do HIAS [14]

O ASC é constituído por subsistemas que assumem as funções de processamento, amostragem e referência primária do sistema. Estes subsistemas são:

- *Flight Deck System* (FDS) e *Integrated Electronic Standby Instrument* (IESI);
- *Flight Management System* (FMS);
- *Automatic Flight Control System* (AFCS);
- *Primary Reference System* (PRS).

O SOE inclui os subsistemas que assumem funções de comunicação, identificação, navegação e funções auxiliares. Os seus subsistemas são:

- Comunicação V/UHF;
- Comunicação HF;
- IFF (*Identify Friend or Foe*);
- ETCAS (*Enhanced Traffic alert and Collision Avoidance System*);
- GPS (*Global Positioning System*);
- IRS/GPS *Combined System*;
- DME (*Distance Measuring Equipment*);
- ADF (*Automatic Direction Finder*);
- DF (*Direction Finder*);
- TACAN (*Tactical Air Navigation*);
- TAWS (*Terrain Avoidance Warning System*) constituído pelo EGPWS;
- WXR (*Meteorological Radar*);
- RALT (*Radio Altimeter*);

- MMR (*Multi-Mode Receiver*).

2.2.2.2 Arquitetura do Sistema

A arquitetura deste sistema é principalmente baseada no uso de dois protocolos de comunicação:

- ARINC 429 para a comunicação interna e interface com os equipamentos utilizados na aviação civil (ADU, AHRS, FDS, FMS, AFCS, IESI, ETCAS, GPS, DME, ADF, DF, RALT, EGPWS, MMR).
- MIL-STD 1553B para a interface com equipamento essencialmente militar (V/UHF, HF, IFF, TACAN, IRS/GPS)

Dada a variedade de sistemas que fornecem dados para processamento, o IFC possui portas dedicadas para ARINC 429, MIL-STD 1553B, informação analógica e informação digital.

Na Figura 2-12 apresenta-se um esquemático geral da arquitetura do sistema.

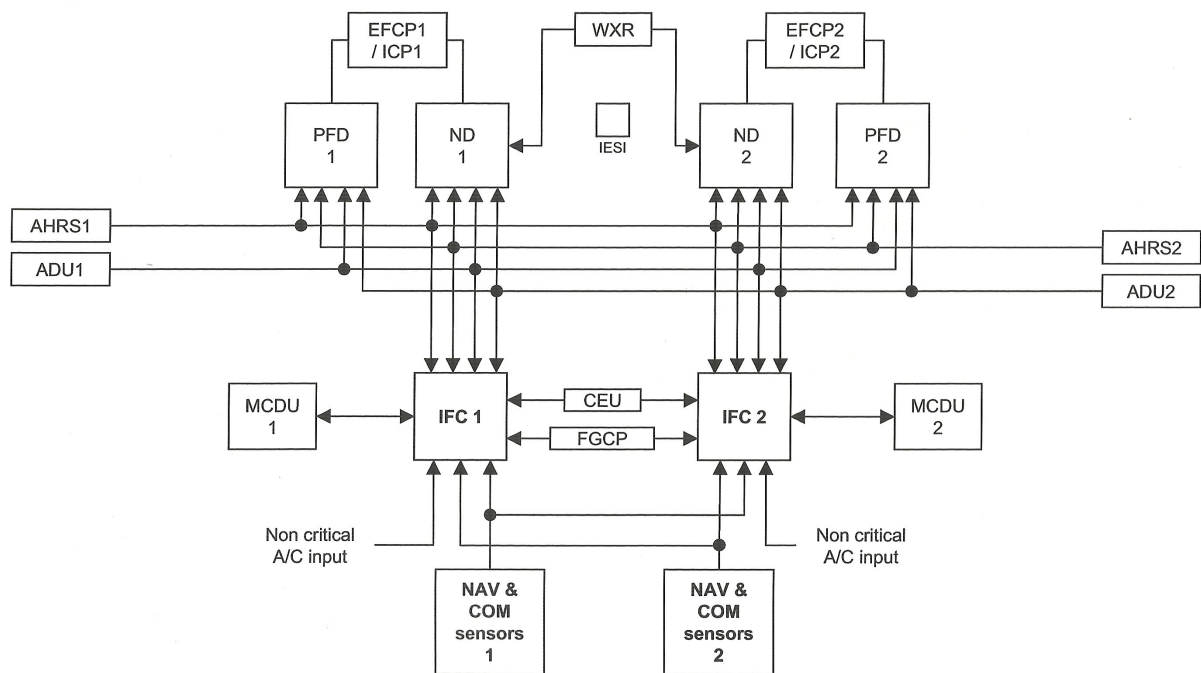


Figura 2-12 – Arquitetura do Sistema [14]

2.2.2.3 Equipamentos e sistemas em comunicação ARINC 429

Nesta secção são explicados os equipamentos que comunicam utilizando o protocolo ARINC 429 e esquemáticos genéricos das ligações entre os equipamentos. No Anexo A encontram-se esquemáticos mais específicos das interfaces.

2.2.2.3.1 Sistema ADS

A função do *Air Data System* (ADS) é a medição da pressão de *pitot*, a pressão estática e a temperatura do ar na envolvente da aeronave. Estes parâmetros são utilizados para calcular a informação necessária à operação dos sistemas da aeronave. O ADU faz a conversão da informação para ARINC 429 e de seguida exporta para outros equipamentos [15]. Na Figura 2-13 apresenta-se um esquema do ADS.

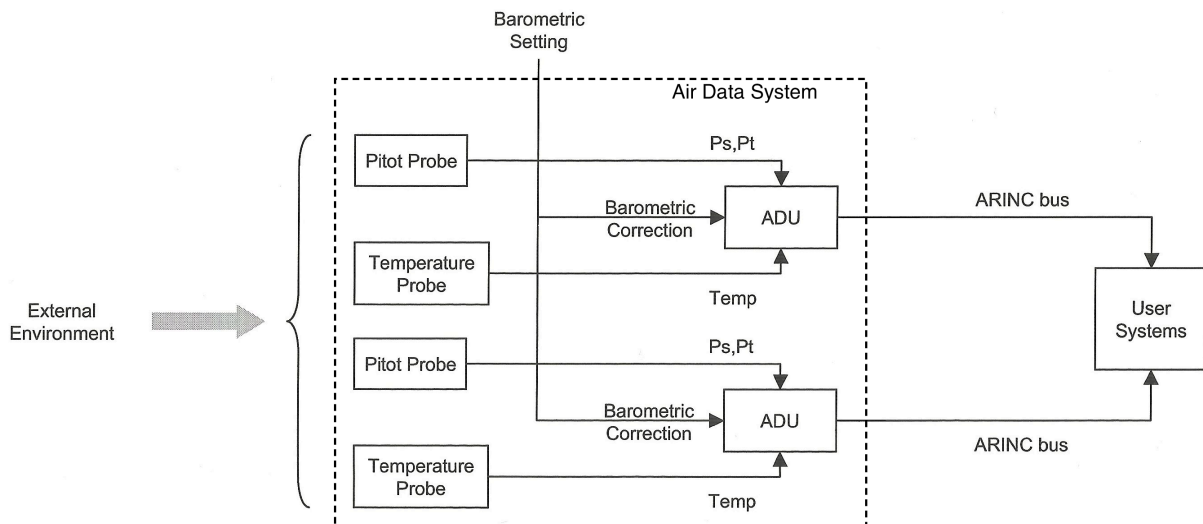


Figura 2-13 – Sistema ADS [14]

2.2.2.3.2 Sistema AHRS

O AHRS (Figura 2-14) apresenta a atitude e a orientação da aeronave. Para tal, o equipamento utiliza três giroscópios e três acelerómetros para o *pitch*, *roll* e *yaw*.

As funções deste equipamento são:

- Detetar os *outputs* dos giroscópios e utilizar essa informação para calcular os ângulos de rolamento, picada e guinada da aeronave;
- Receber inputs do *Flux Detector Unit* (FDU) para correção da orientação giro-magnética;
- Receber os *outputs* dos giroscópios e inputs do ADU para calcular a aceleração linear, altitude e velocidade vertical da aeronave.

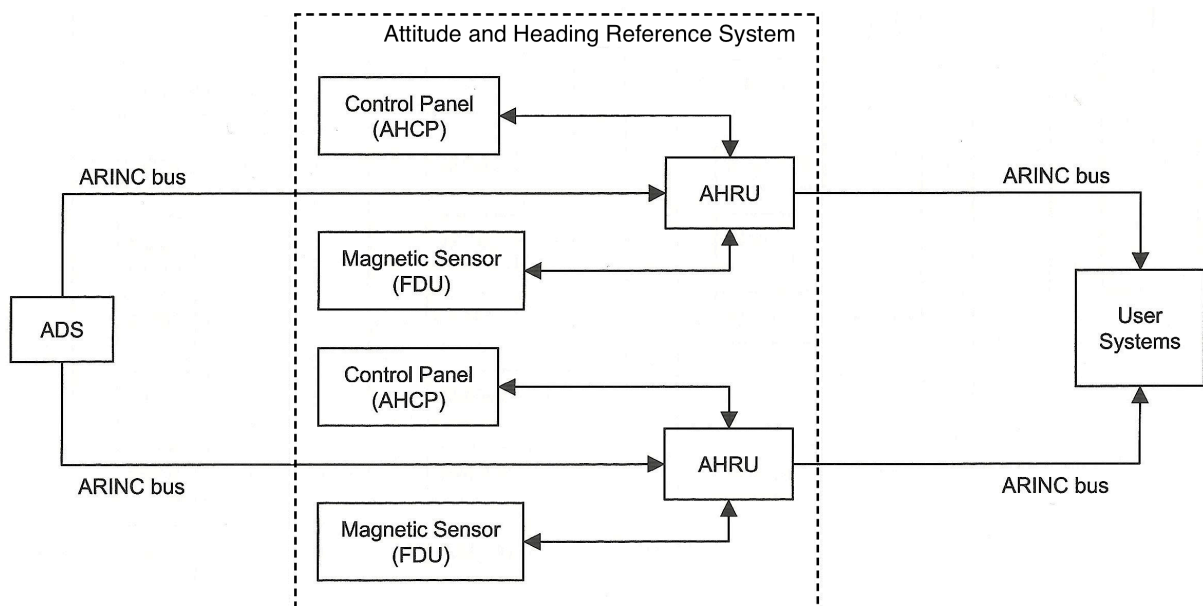


Figura 2-14 – Sistema AHRS [14]

2.2.2.3.3 Sistema FDS

O FDS é constituído por dois *Electronic Flight Instrument System* (EFIS), um para o piloto e outro para o copiloto, cuja função primordial é fornecer à tripulação:

- Informação dos Instrumentos de Voo;
- Informação de Navegação;
- Informação sobre a condição dos sistemas da aeronave.

O EFIS utiliza quatro LCDs (*Liquid-crystal Display*) (Figura 2-15), dois para o piloto e dois para o copiloto. A informação dos instrumentos de voo é apresentada no *Primary Flight Display* (PFD) (Figura 2-16) e a informação de navegação é apresentada no *Navigation Display* (ND) (Figura 2-17) [15].

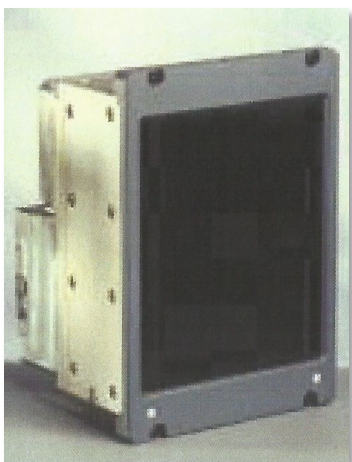


Figura 2-15 – LCD [14]

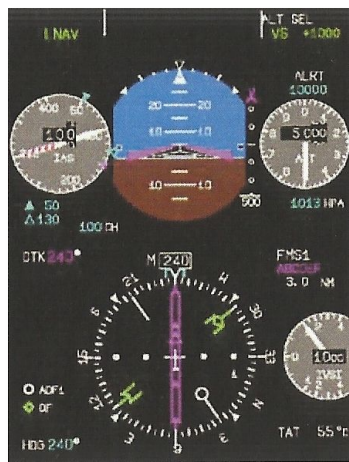


Figura 2-16 – PFD [14]



Figura 2-17 – ND [14]

O controlo de modos é efectuado através de dois EFIS *Control Panel* (EFCP) (Figura 2-18) e dois *Index Control Panel* (ICP) (Figura 2-19).



Figura 2-18 – Painel EFCP [14]



Figura 2-19 – Painel ICP [14]

Na Figura 2-20 está apresentado o esquema do FDS, com as ligações entre os equipamentos de controlo, EFCP e ICP, e os dois EFIS.

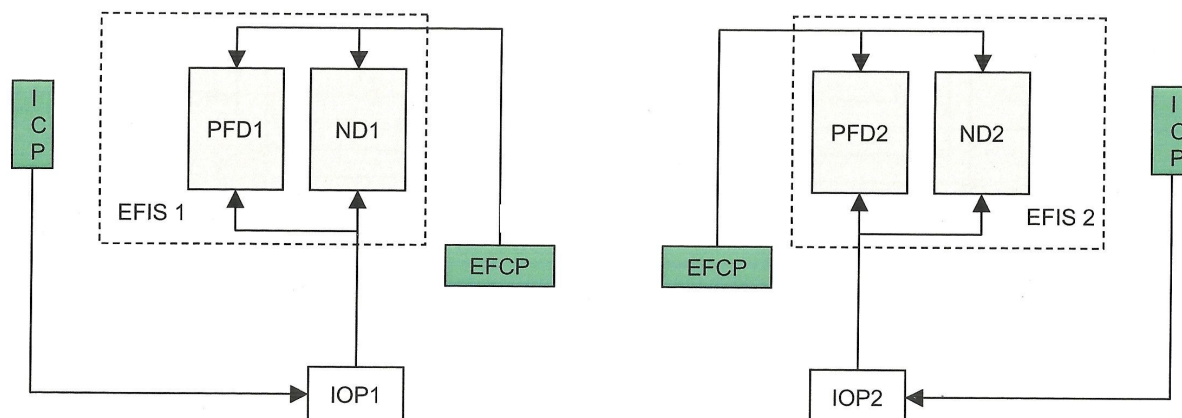


Figura 2-20 – Sistema FDS [14]

A informação gerada pelo AHRS e pelo ADS é diretamente enviada para o EFIS, enquanto a informação que provém de sensores menos críticos passa pelo IOP antes de chegar ao EFIS (Figura 2-21). Toda esta informação é codificada em ARINC 429. [15]

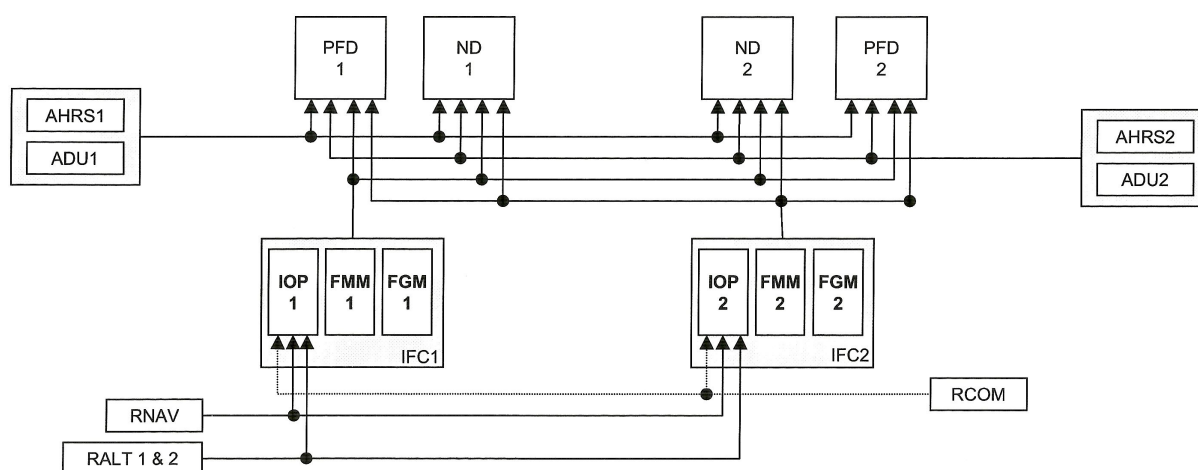


Figura 2-21 – Ligações dos sensores ao FDS [14]

Dado que o FDS é um sistema apenas de leitura de informação, não existe geração de dados ARINC 429.

2.2.2.3.4 Sistema FMS

O FMS (Figura 2-22) processa a informação transmitida por vários sensores com finalidade de auxiliar a navegação para a concretização das missões. A função principal deste sistema é gerar informações de localização e trajetória de acordo com o Plano de Voo. Para tal este executa as seguintes subfunções [15]:

- Gestão das referências de data e tempo;
- Gestão das referências primárias;
- Gestão do sensor de navegação;
- Localização multisensor;
- Gestão da base de dados de navegação;
- Gestão da navegação lateral e guiamento;
- *Computed Air Release Point (CARP)*;
- Gestão da navegação vertical;
- Planeamento da frequências de comunicação rádio;
- Delineamento das zonas de aviso;
- Gestão da performance.

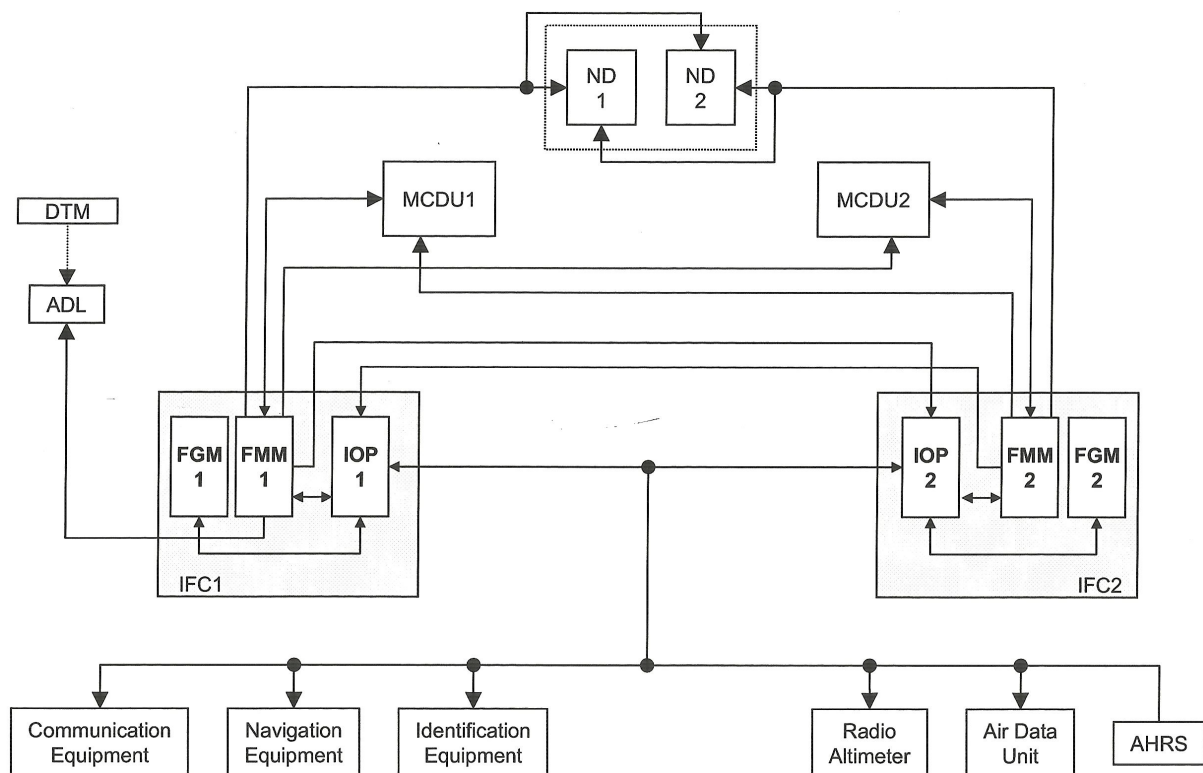


Figura 2-22 – Sistema FMS [14]

O sistema utiliza o *Multipurpose Control Display (MCDU)* (Figura 2-23) para permitir a interação da tripulação com o FMS, o RMS (*Radio Management System*) e o CDS (*Centralized Diagnostic System*). [14]

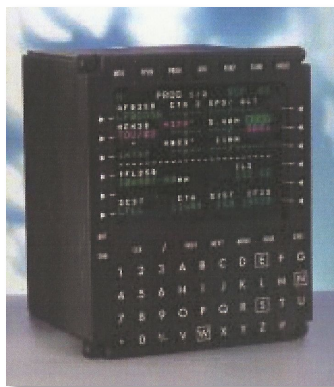


Figura 2-23 – Controlador MCDU [14]

2.2.2.3.5 Sistema AFCS

O AFCS (Figura 2-24) é o sistema que assume as funções de controlo automático das superfícies de controlo da aeronave. O principal componente deste sistema é o *Autopilot* (AP) que utiliza um sistema digital de três eixos que inclui o sistema *Flight Director* (FD). Com o piloto automático acionado o sistema gera as ordens para os servomotores de forma a:

- Operar as superfícies de controlo,
- Controlar automaticamente a aeronave nos eixos de picada, rolamento e derrapagem.

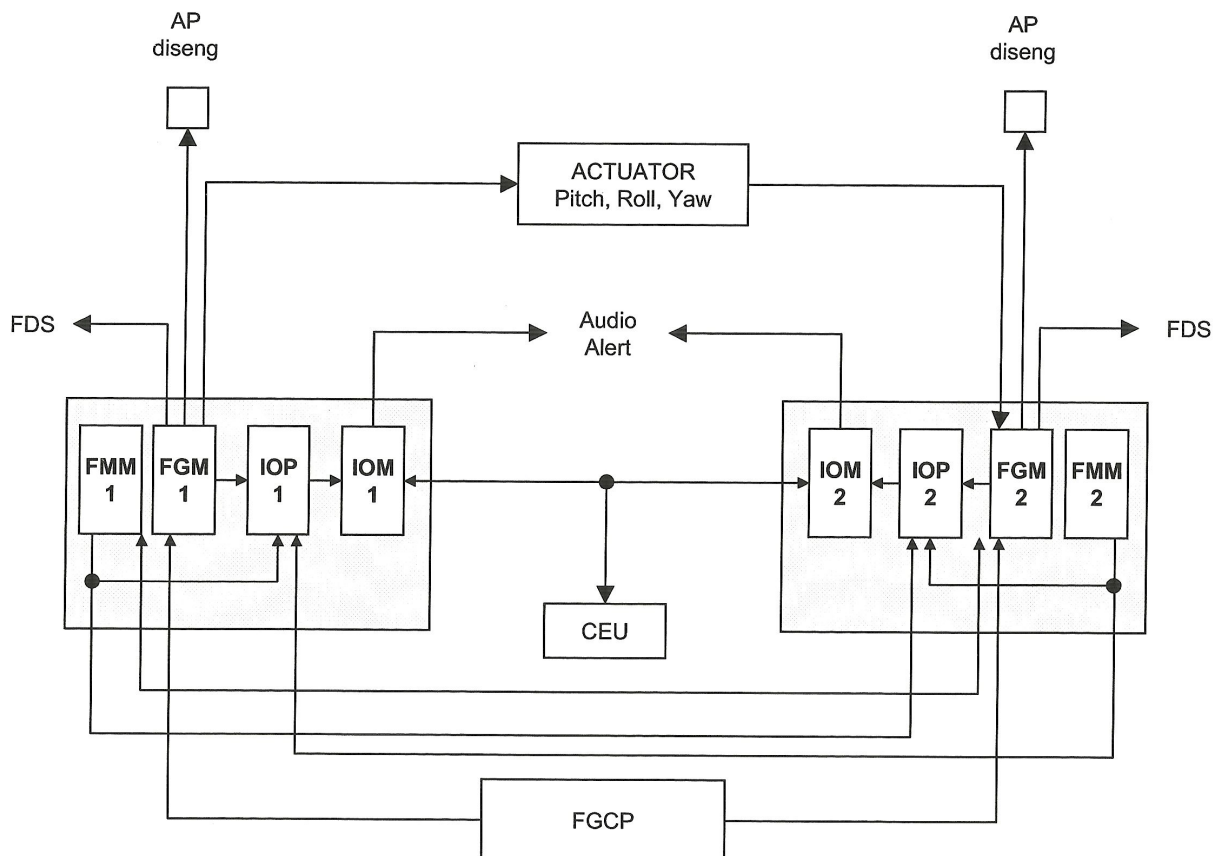


Figura 2-24 – Sistema AFCS [14]

Com o AP desligado, o FD fornece os comandos de guiamento ao piloto para este manobrar a aeronave.

O AP possui um conjunto de periféricos, entre os quais os dois FGM que se encontram um em cada IFC. O FGM é a unidade de processamento do AFCS, sendo que o FGM1 gera os comandos necessários para os actuadores das superfícies de controlo primárias, e o FGM2 serve como unidade de monitorização. Ambos os módulos recebem sinais de feedback dos actuadores. [15]

Cada modulo possui uma placa de CPU e uma placa de extensão que processam:

- Informação das condições atmosféricas proveniente do ADU;
- Informação de atitude da aeronave proveniente do AHRS;
- Sinais de navegação do MMR;
- Modos seleccionados e parâmetros vindos dos painéis de do AFCS;
- Seleções feitas pelo *Control and Engagement Unit* (CEU);
- Comandos provenientes do *Flight Guidance Control Panel* (FGCP).

O FGCP (Figura 2-25) permite à tripulação:

- A seleção das características do voo (orientação, rumo, velocidade, velocidade vertical e altitude);
- Seleção dos modos AP/FD;
- Seleção das fontes de navegação.

O CEU (Figura 2-25) permite à tripulação efetuar os seguintes ajustes/seleções:

- Ativar o AP;
- Ativar o *Yaw Damper*;
- Seleção do ângulo de picada;
- Seleção da taxa de rolamento.

O MMR (Figura 2-25) é um equipamento que recebe informação de assistência à aterragem, sendo capaz de operar com os seguintes sistemas:

- *Instruments Landing System* (ILS);
- *Microwave Landing System* (MLS);
- *VHF Omni-directional Range* (VOR);
- *Markers* (MKR).

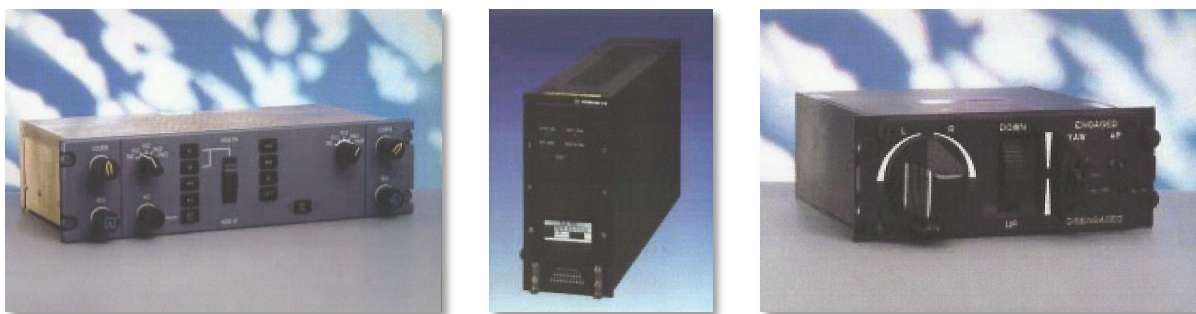


Figura 2-25 – Painel FGCP (esquerda), unidade MMR (centro) e unidade CEU (direita) [14]

2.2.2.3.6 Sistema DCF

As funções primárias do DCF são:

- Gerir todos os sinais ARINC 429 e MIL-STD 1553B da aeronave;
- Controlar a operação das comunicações rádio e os sistemas de navegação instalados na aeronave;
- Reconhecer e gerir todos os *inputs* digitais e analógicos dos equipamentos aviônicos instalados.

Os componentes principais dos sistema são:

- Dois *Input/Output Module* (IOM);
- Dois *Input/Output Processors* (IOP).

O sistema recebe e gere todos os sinais de *input* e *output* no formato ARINC 429 e MIL-STD 1553 dos equipamentos.

Os equipamentos que utilizam sinais ARINC 429 têm dois barramentos em separado para o controlo do equipamento, um para cada módulo IOP. Os equipamentos que utilizam barramentos MIL-STD 1553 são controlados pelo *master* IOP, servindo o *slave* IOP como controlador de barramento *backup*. [15]

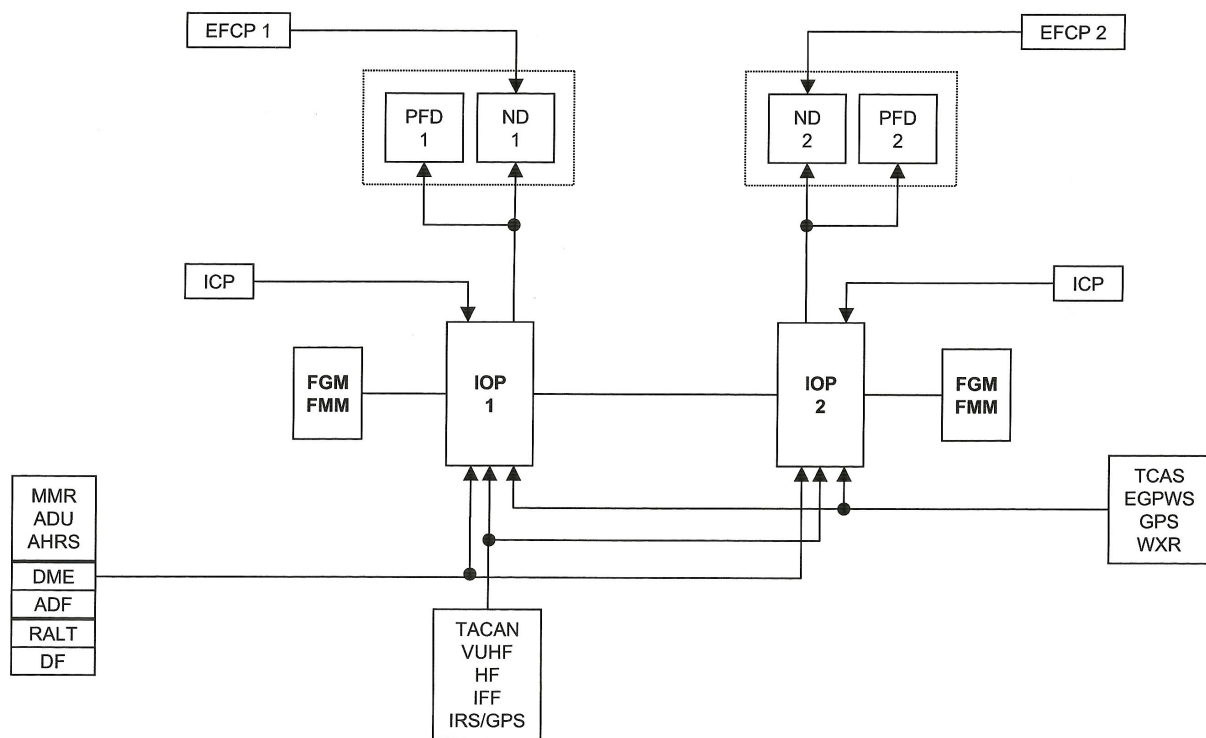


Figura 2-26 – Sistema DCF [14]

Conclui-se aqui a introdução teórica deste trabalho. No próximo capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas para criar a plataforma de comunicação com os barramentos ARINC 429 da aeronave, assim como os passos efectuados para a validação dessa plataforma.

3 Desenvolvimento da metodologia de aplicação da Plataforma de Comunicação

A principal atividade a realizar no decurso da investigação compreende a aquisição, gravação e decodificação de dados contidos em barramentos ARINC 429 de um sistema de armas de uma forma simples. Para tal definiram-se três tarefas principais para a realização desta atividade.

A primeira tarefa foi a familiarização com o equipamento que será utilizado como plataforma para a recolha de dados codificados através do protocolo ARINC 429.

A segunda tarefa foi a realização de testes a esse equipamento de forma a compreender a resposta do mesmo a diferentes ambientes.

A terceira tarefa foi o estudo da estrutura dos barramentos ARINC 429 do sistema de armas C295M, bem como dos equipamentos que se interligam através destes barramentos. Nesta parte realizou-se o levantamento de todos os barramentos ARINC 429 e o registo dos pontos de acesso, com recurso aos manuais do sistema de armas. De seguida, analisaram-se os barramentos que através da remoção pontual de equipamentos e substituição dos mesmos pela plataforma a fim de recolher os dados que chegam ao terminal, dada a unidirecionalidade do protocolo.

A metodologia a desenvolver consiste na aquisição de capacidade de operação com a plataforma, nomeadamente a primeira tarefa, e no conhecimento do sistema de armas ao qual será efectuado a recolha de dados, nomeadamente a terceira tarefa. A segunda tarefa, uma vez que reflete um estudo da capacidade de resposta da plataforma em ambientes desconhecidos, só é necessária uma vez, tendo sido efectuada neste trabalho.

3.1 Software *CoPilot* e placa USB 429

Para a obtenção de dados ARINC 429 a partir dos barramentos existentes no sistema de armas é necessário uma plataforma preparada para decodificar esse tipo de comunicação, sendo que a escolha da mesma recaiu nas capacidades existentes na Força Aérea Portuguesa.

Para constituição da plataforma foi escolhido um sistema desenvolvido pela empresa *Ballard Tech*. Este sistema tem duas componentes principais, uma hardware e outra software. A razão da escolha deste sistema é por integrar os requisitos necessários e por ser anunciado como um equipamento de fácil operação.

A componente de hardware, denominada de placa USB 429 (Figura 3-1) apresenta as seguintes características [16]:

- Ligação ao PC via USB 2.0;
- Alimentação eléctrica via USB;
- Tamanho reduzido;
- Portátil;
- Resistente;
- 4 entradas ARINC 429;
- 2 saídas ARINC 429.



Figura 3-1 – Placa USB 429 [16]

A componente de software é denominada de *CoPilot*. Este software é bastante intuitivo e permite a decodificação dos sinais que são recebidos pela placa USB 429, em tempo real. Além da capacidade de recepção, este permite também fazer a simulação de um equipamento aviónico, sendo possível definir os parâmetros da mensagem (equipamento a simular e informação a transmitir), codificar automaticamente os seus campos (*label*, SSM, SDI, Data, etc.) e proceder ao seu envio. Este processo é feito com recurso a uma base de dados ARINC 429 presente no software.

Devido às capacidades deste equipamento, o modelo de recolha de dados permite a ligação direta da placa USB 429 aos barramentos existentes no sistema de armas, sendo a decodificação dos dados efectuada através do software *CoPilot*.

3.1.1 Interação com o equipamento

Neste capítulo são explicados os passos necessários para a utilização do software e da placa. O processo de utilização aqui desenvolvido será o utilizado para os teste de validação e para a recolha de dados no sistema de armas.

O software *CoPilot* é capaz de detectar automaticamente a presença da placa USB 429 quando esta se encontra ligada ao computador. Deste modo, o primeiro passo consiste em ligar a placa ao computador, pela porta USB, e iniciar o software. A janela inicial do *Copilot* é apresentada na Figura 3-2.

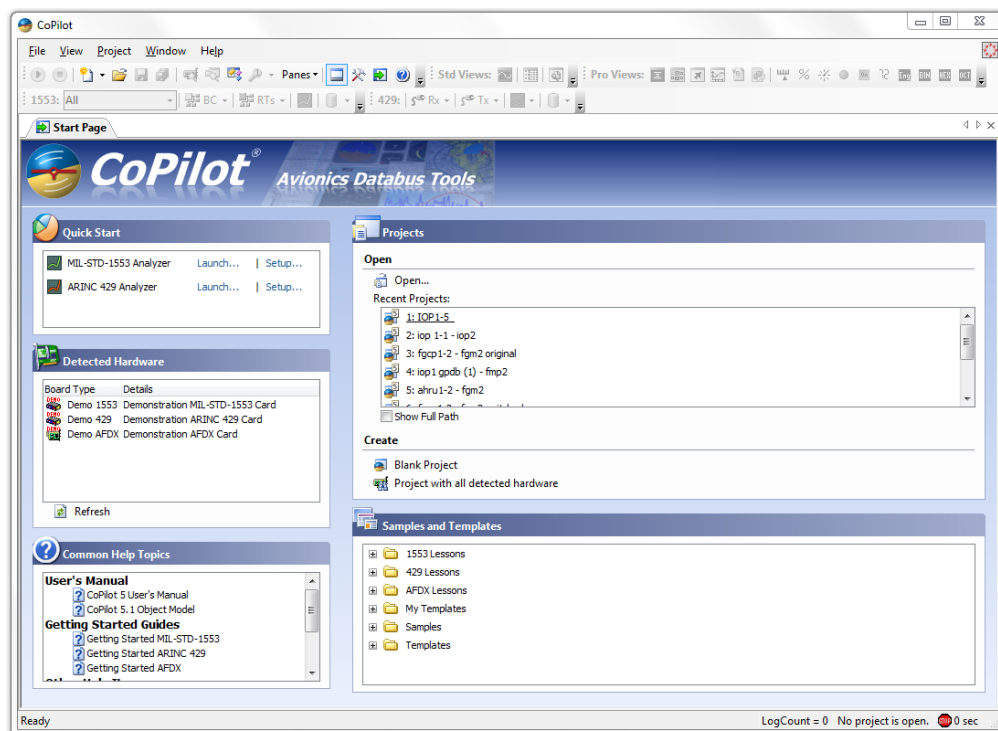


Figura 3-2 – Janela de apresentação do *CoPilot*

O passo seguinte consiste no início de um novo projecto. Neste caso dever-se-á seleccionar “Launch...” no protocolo “ARINC 429 Analyser”, na janela “Quick Start”. A janela de Figura 3-3 será apresentada ao operador.

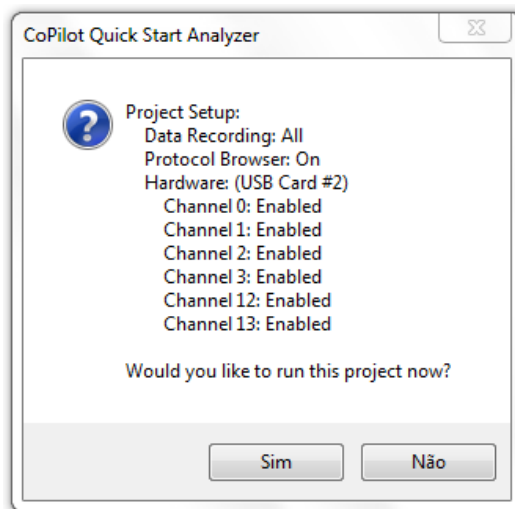


Figura 3-3 – Menu de arranque do projeto

Esta janela descreve o ambiente selecionado, neste caso a utilização da placa. As opções possíveis são:

- “Sim” – Se as ligações à placa estiverem concluídas. Desta forma o programa iniciará imediatamente o processo de recolha de dados.
- “Não” – Se o operador preferir definir os Eq. ID dos equipamentos, de onde provêm os dados, de forma a que a descodificação seja automática quando posteriormente se iniciar o processo de comunicação. Esta opção deve ser também selecionada caso o operador pretenda efetuar a emissão de dados, de forma a poder definir quais as *labels* e informação associada às mesmas, para a posterior transmissão.

Após a seleção, é apresentada ao operador a janela que se pode observar na Figura 3-4.

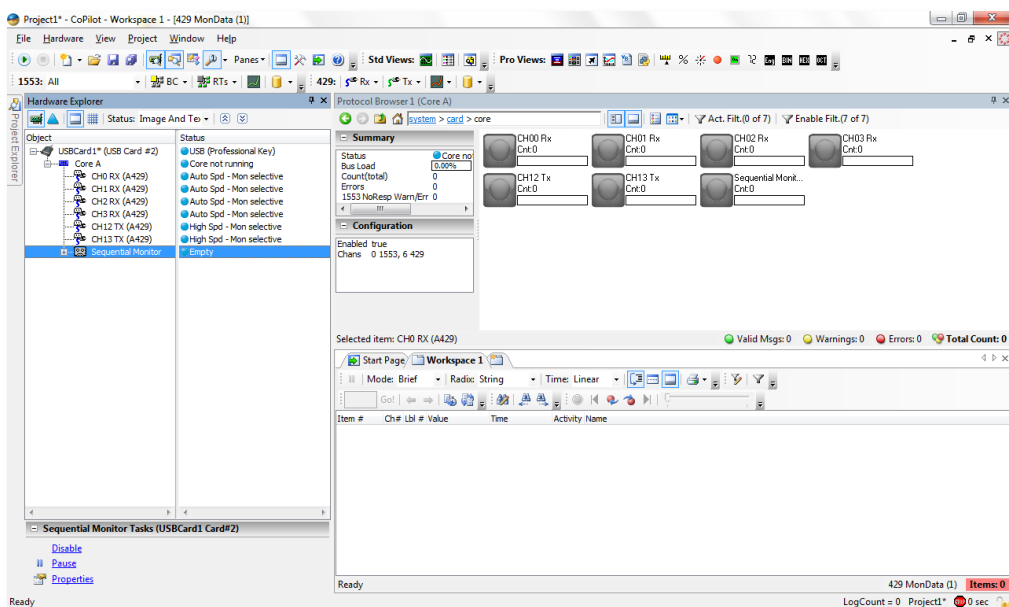


Figura 3-4 – Janela de projeto

Nesta janela pode-se observar à esquerda uma listagem com os canais da placa, 4 de recepção (RX) e 2 de transmissão (TX). Na janela à direita, em cima, encontra-se uma representação visual do estado de cada canal, que indica se os canais se encontram em correta operação e anunciam a detecção de falhas. À direita, em baixo, encontra-se o registo, em tempo real, de todos os dados que estão a ser recebidos e transmitidos pelo *software*.

Caso o operador opte por iniciar o projeto, o *software* começa a listar as *labels*, na listagem da esquerda, no canal que está a receber informação. Assim que desejar, o operador pode seleccionar o comando de ação “*stop*”, Figura 3-5, para começar a tratar os dados recolhidos.



Figura 3-5 – Comandos de ação

Tanto no caso de transmissão de dados ou descodificação de dados recebidos, o processo de determinação do *Eq. ID* é igual. No caso de ser uma transmissão a partir da plataforma o operador deverá determinar o equipamento que pretende simular para o envio de dados e, no caso de a plataforma servir como meio de descodificação, deverá identificar qual o equipamento que está a originar os dados recebidos.

Deste modo, o operador deverá seleccionar o canal que pretende editar e seleccionar a opção “*Set Equipment ID...*” que se encontra do lado esquerdo da janela, em baixo. Após a selecção, a janela apresentada na Figura 3-6 será mostrada ao operador.

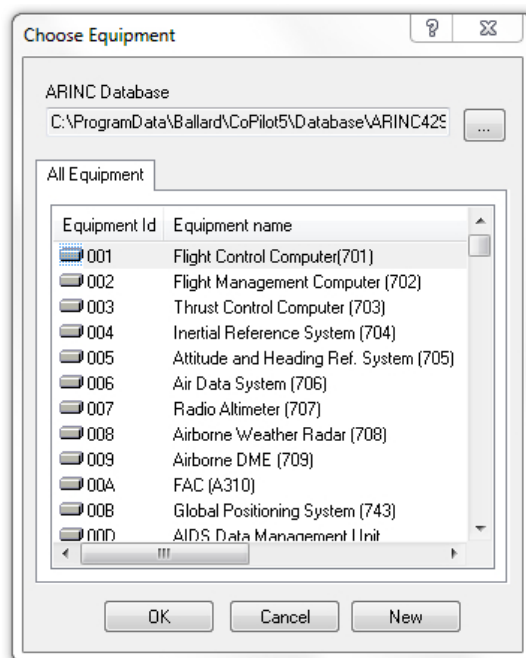


Figura 3-6 – Janela de escolha de equipamento

Nesta janela são listados todos os equipamentos existentes que comunicam por ARINC 429. Após a seleção do equipamento desejado, o operador deverá premir “OK” e aparecerá uma nova janela que lista todas as *labels* associadas ao equipamento.

Na Figura 3-7 podemos observar as *labels* do *Flight Managment Computer* (702).

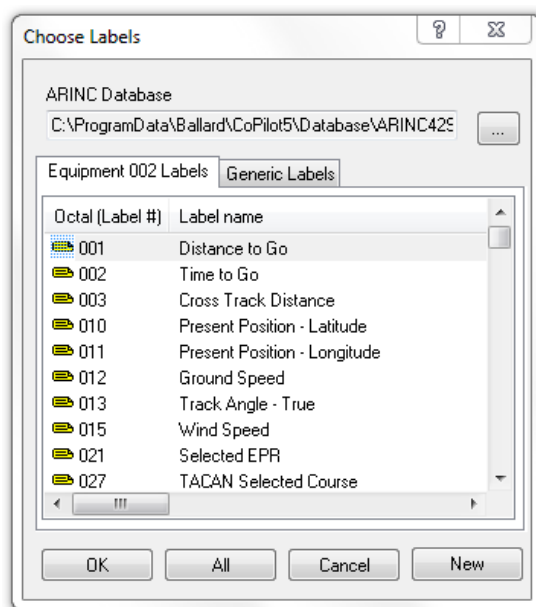


Figura 3-7 – Janela para escolha das *labels*

No caso de se pretender decodificar *labels* recebidas, o operador deve pressionar “Cancel” a fim de não adicionar nenhuma *label* que não tenha sido enviada pelo equipamento externo. No caso do operador pretender enviar palavras específicas deve nesta janela selecionar a primeira *label* que quer transmitir e premir “OK” e depois adicionar uma a uma, selecionando novamente o canal e premir “Add Labels...”, onde previamente se encontrava a opção “Set Equipment ID...”. No caso de se pretender transmitir todas as *labels* associadas a esse equipamento o operador poderá escolher “All”. À medida que as palavras vão sendo adicionadas ao canal, estas vão sendo listadas no mesmo.

Para editar a informação transmitida em cada palavra, o operador deve selecionar a palavra (*label*) e onde previamente se encontrava a opção “Add Labels...” selecionar “Edit the Message”. Uma nova janela será apresentada, que se adapta ao tipo de informação associada, onde o operador pode editar o valor que pretende transmitir e pressionar a tecla “Return”.

Para dar início a uma transmissão de dados, após a inserção de todas informações que se deseja transmitir, o operador deve selecionar a ação “Play” apresentada na Figura 3-5.

No final de todos os passos estarem efetuados, o operador pode gravar o projeto para mais tarde consultar todas as informações recebidas e/ou enviadas, com as respectivas referências temporais.

3.2 Validação do método

A validação do sistema escolhido para a descodificação de dados ARINC 429 passa pela verificação da sua capacidade de resposta. Apesar da informação fornecida pelo fabricante em relação às capacidades do sistema, dado o âmbito científico deste trabalho é necessária a confirmação das mesmas. Desta forma, o método de validação consistiu na realização de dois testes de forma a apresentar ao equipamento o maior número de cenários possíveis antes de se proceder à recolha de dados na aeronave.

O primeiro teste consistiu em verificar se o sistema possui a capacidade de descodificar sinais enviados pela própria placa, através da ligação direta de um canal de transmissão a um canal de recepção.

O segundo teste consistiu em utilizar o equipamento *Datatrak 200* para simular um equipamento aviónico e verificar se o sistema é capaz de descodificar esses sinais. Este teste teve o objectivo de tentar simular o ambiente mais próximo possível daquele que se encontrará no sistema de armas.

3.2.1 Simulação interna

Para este primeiro procedimento de validação foi efectuada uma ligação direta entre um canal de transmissão e um canal de recepção da placa USB 429. Na Figura 3-8 pode-se observar a ligação efectuada, com a ligação do canal de recepção “CH0 RX”, pinos 2 (+) e 17 (-), ao canal de transmissão “CH12 TX”, pinos 31 (+) e 32 (-). No Anexo B encontra-se informação sobre todos os conectores da placa USB 429.



Figura 3-8 – Ligações placa USB 429 para simulação interna

As mensagens escolhidas para a simulação, e os respectivos valores, são apresentados na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 – Mensagem de teste da simulação interna

Equipamento	Labels	Valor
<i>Air Data System</i> (Eq. ID 006)	<i>Computed Airspeed</i> (206)	220 <i>knots</i>
	<i>Total Air Temperature</i> (211)	18 <i>deg. C</i>

Na Figura 3-9 podemos observar a resposta do equipamento (canal CH0 RX) ao envio das palavras escolhidas (canal CH12 TX).

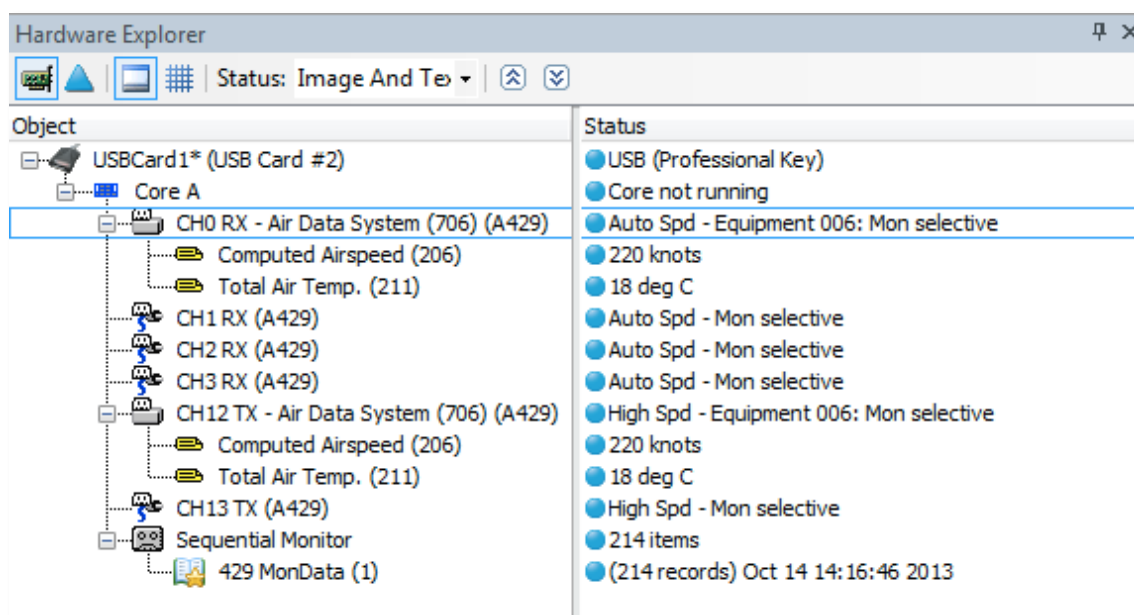


Figura 3-9 – Resultado da simulação interna

É possível observar o envio da mensagem através no canal “CH12 TX” e verifica-se que a mensagem é recebida com sucesso no canal de recepção “CH0 RX”, o que demonstra a capacidade do equipamento para a descodificação de mensagens.

Contudo, tendo em conta que se está a utilizar o mesmo equipamento para o envio e recepção de mensagens, criando-se um ambiente familiar, esta simulação não é suficiente para conferir ao *software* a capacidade de descodificação de sinais externos provenientes de equipamentos desconhecidos. Como tal, desenvolveu-se um segundo teste.

3.2.2 Simulação externa

O segundo teste da validação teve como objectivo a utilização de um simulador de sinais ARINC 429 para verificar a capacidade de descodificação de sinais, por parte da placa, quando estes sinais são originados por equipamentos estranhos.

O objectivo foi tentar simular a capacidade de resposta do equipamento de recolha de dados quando este estivesse em contacto directo com os barramentos presentes na aeronave C295M. Para este ensaio utilizou-se um gerador de palavras ARINC 429 que simulasse um equipamento aviónico como os que se encontram nas aeronaves, e a placa USB429, para realizar a

descodificação dessas palavras. Como gerador das palavras utilizou-se o analisador ARINC 429 da *Aeroflex*, modelo *Datatrak 200*.

3.2.2.1 Datatrak 200

O *Datatrak 200* é um equipamento de monitorização de barramentos de informação digital desenvolvido com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento e manutenção de equipamentos aviónicos. Este suporta comunicação com barramentos ARINC 429 e CSDB (*Commercial Standard Digital Bus*). [17]

O equipamento permite quatro modos básicos de operação:

- **RECEIVE:** O operador é capaz de especificar as labels que deseja receber, ou permitir que a unidade receba todas as informações que circulam nos barramentos, sem filtragem, sendo que o equipamento permite a visualização da label e dos valores das informações;
- **TRANSMIT:** O sistema pode transmitir até 16 palavras, em diferentes taxas de transmissão, permitindo que a maioria dos LRU sejam completamente simulados. O sistema possui ainda a capacidade de alterar o valor das mensagens durante a transmissão;
- **RECORD:** O sistema permite a gravação de dados e posterior transmissão dos mesmos;
- **BREAKPOINT:** Este modo é utilizado caso o operador pretenda que o sistema pare de receber mais informação no momento em que receba uma *label* com um valor específico, sendo possível a posterior análise dos dados que foram recebidos até então.

Na parte frontal do equipamento existe um ecrã de oito linhas e vários botões que permitem, juntamente com uma interface de menus, uma operação simplificada (Figura 3-10).

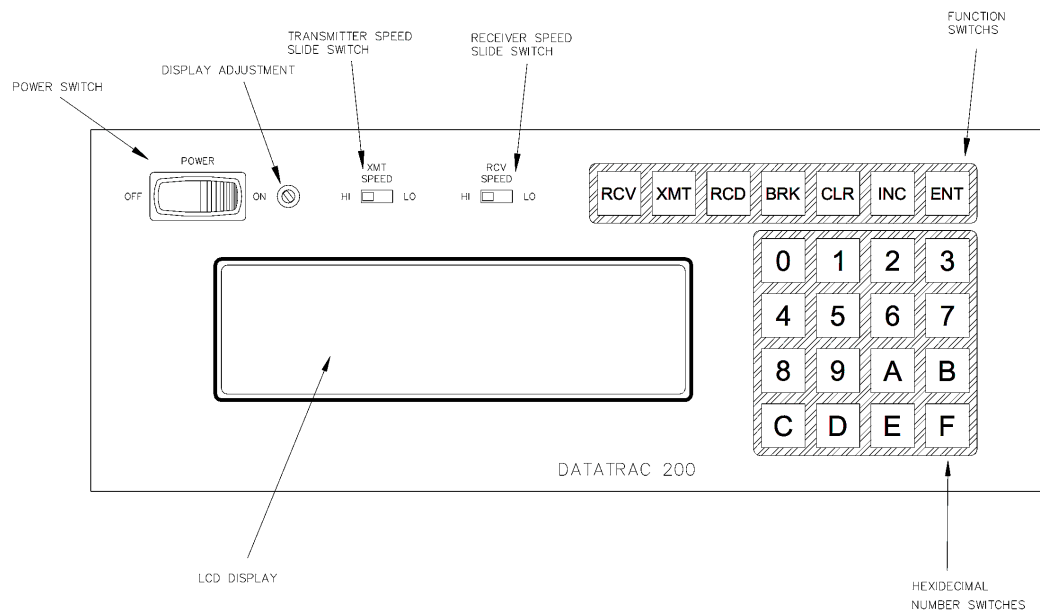


Figura 3-10 – Painel frontal do *Datatrac* 200 [17]

Dado que o objectivo para a validação da sistema proposto foi a transmissão de dados do simulador para a plataforma, de seguida irá ser focado o processo efectuado para a inserção e transmissão de dados no *Datatrac*.

Aquando da inicialização do simulador, o primeiro menu disponível ao operador apresenta as seguintes possibilidades:

- Seleção do modo (A=A429, C-CSDB);
- Seleção da função (RCV=*RECEIVE*, XMT=*TRANSMIT*, RCD=*RECORD*).

Para o objectivo pretendido, a seleção passou por premir em A, posteriormente em XMT e finalmente ENT.

No menu seguinte aparecem as seguintes hipóteses:

- Estado do transmissor (1=*ON*, 2=*OFF*);
- Modo do transmissor (1=*DIG*, 2=*D/A*).

Deste modo, o procedimento efectuado foi escolher o valor “1” nos dois campos e premir ENT. Dado o desejo de transmitir informação digital, escolheu-se a velocidade de transmissão no interruptor apropriado (Figura 3-10). De realçar que a placa UBS 429 e o *CoPilot* são capazes de automaticamente detectar a velocidade a que os dados estão a ser recebidos. Como tal, a escolha da velocidade de transmissão no *Datatrac* é irrelevante, tendo-se optado pela transmissão a alta velocidade.

Assim que pressionado o botão ENT, o ecrã do simulador apresenta o menu que se pode visualizar na Figura 3-11

LBL	SI	29-HEX	XMT-11	SM	P	MSEC
-----	----	--------	--------	----	---	------

Figura 3-11 – Menu de transmissão de dados no *Datatrak* 200 [17]

Aqui serão inseridos os dados indicados a seguir, pelo ordem apresentada:

- Campo *Label*, em octal;
- Campo SDI (bit 10 seguido do bit 9);
- Campo data em hexadecimal (a distribuição dos bits depende do tipo de dados);
- Campo SSM (bit 31 seguido do bit 30);
- Bit paridade (neste caso a colocação do número 1 resulta num número impar de pares na mensagem, que é sempre o desejado);
- Se desejado, o intervalo de transmissão;
- Premir a tecla INC para iniciar a transmissão.

Conforme a codificação a efetuar, BCD ou BNR, existem regras na definição do campo *data* para transmissão de informação no *Datatrak*. No subcapítulo seguinte, onde serão efectuados os testes, essas regras serão explicadas.

3.2.2.2 Testes

O primeiro passo para os testes consistiu em determinar qual o equipamento a simular, a fim de se determinar o *Equipment ID*. Optou-se pelo *Flight Management Computer*, cujo Eq. ID é “002”. De seguida escolheram-se 4 mensagens aleatórias da especificação ARINC 429 [6], fazendo-se questão de optar por duas mensagens codificadas em BCD e as outras duas codificadas em BNR, e que são apresentadas na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 – Mensagens de teste

Mensagem	<i>Label</i> (octal)	Parâmetro	Valor	Unidade	Codificação
1	001	<i>Distance to Go</i>	32,0	Milhas Náuticas	BCD
2	012	<i>Ground Speed</i>	190	Nós	BCD
3	101	<i>Selected Heading</i>	34	Graus	BNR
4	123	<i>Throttle Command</i>	55	Graus	BNR

3.2.2.2.1 Codificação e teste das mensagens em BCD

3.2.2.2.1.1 Campo *Label*

O campo *label* é definido pelos bits 1 a 8 da palavra, sendo a inserção do valor deste campo no *Datatrak* feita em octal. Os valores octal são os apresentados na Tabela 3-3, juntamente com a codificação em binário, a título informativo:

Tabela 3-3 – Codificação do campo *label* das mensagens BCD

Mensagem 1	Octal	001
	Binário	00000001
Mensagem 2	Octal	012
	Binário	00001010

3.2.2.2.1.2 *Campo SSM*

Para a mensagem 1, uma vez que se trata da codificação de uma distância que falta, o campo SSM vai codificar a mensagem “*To*”. De acordo com a Tabela 2-2, esta codificação é feita com a combinação “00”.

Para a mensagem 2, é codificada uma velocidade. Como tal o campo SSM vai codificar a mensagem “*Plus*”. De acordo com a Tabela 2-2, esta codificação é feita com a combinação “00”.

3.2.2.2.1.3 *Campo Data*

A codificação do campo “*data*” depende da *label* em questão.

Para a codificação BCD o campo data contém até 5 subcampos, cada um contendo um caractere numérico. Na Tabela 3-4 estão apresentados os bits que codificam cada um desses subcampos.

Tabela 3-4 – Subcampos do campo *data* para mensagens BCD

Campo	1	2	3	4	5
Bits	29-27	26-23	22-19	18-15	14-11

Para a mensagem 1 está especificado que são codificados os 5 subcampos, sendo o menos significativo utilizado para codificar a casa das décimas e os restantes para codificar um valor de 0 a 3999. Assim, para codificar o valor 32, os bits 11 a 14 codificam em binário o valor decimal “0”, os bits 15 a 18 codificam o valor decimal “2”, e os bits 19 a 22 codificam o valor decimal “3”. Os restantes são preenchidos com zero.

Para a mensagem 2 são codificados 15 bits, o que significa que o subcampo 5 da Tabela 3-4 não é utilizado, sendo preenchido com zeros. O resultado é a codificação do valor decimal 0 nos bits 15 a 18, 9 nos bits 19 a 22 e o valor decimal 1 nos bits 23 a 26, sendo os restantes bits preenchidos com zeros.

3.2.2.2.1.4 *Mensagens finais*

As mensagens finais então apresentadas na Figura 3-5. Na linha a cinzento encontram-se o formato como os dados devem ser colocados no *Datatrak* para a criação das mensagens, nomeadamente codificação hexadecimal do campo *data*, octal do campo *label*, e binária dos restantes.

Tabela 3-5 – Mensagens BCD para *Datatrak*

Mensagem	P	SSM	DATA					SDI	LABEL
1		<i>To</i>	0	0	3	2	0	<i>All-call</i>	001
	1	00	000	0000	0011	0010	0000	00	00000001
	0	00	320					00	001
2		<i>Positive</i>	0	1	9	0	0	<i>All-call</i>	012
	0	00	000	0001	1001	0000	0000	00	00001010
	0	00	1900					00	012

Contudo, o *Datatrak* define regras para a construção hexadecimal do campo *data* nas palavras que se deseja transmitir, utilizando 4 bits para a codificação de cada um dos cinco subcampos. Uma vez que o campo *data* só compreende 19 bits e o *Datatrak* utiliza 20 bits, o bit número 30 é acrescentado ao subcampo *data* mais significativo. Apesar desta manipulação o campo SSM continua a ser definido pelos mesmos bits, apesar de o bit 30 ser englobado no campo *data*. Desta forma não existe alteração às palavras criadas na Tabela 3-5, uma vez que estamos a acrescentar um zero à esquerda.

Só haveria alguma diferença se o campo SSM quisesse transmitir uma informação que codificasse o bit 30 com o valor lógico “1”, que é o caso de *No Computed Data* ou *Minus, South, West, Left, From, Below*. No caso de se codificar o valor lógico “1” no bit 30, o subcampo 1 do campo *Data* codificaria “1000”, resultando a codificação hexadecimal presente na Tabela 3-6.

Tabela 3-6 – Codificação do campo *data* quando bit 31 é "1" binário

Mensagem 1	Binário	1000	0000	0011	0010	0000
	Hexadecimal	80320				
Mensagem 2	Binário	1000	0001	1001	0000	0000
	Hexadecimal	81900				

3.2.2.2.2 Codificação e teste das mensagens em BNR

3.2.2.2.2.1 Campo *Label*

Neste tipo de mensagens o campo *label* é codificado da mesma forma que nas mensagens BCD. Assim sendo, na Figura 3-7 são apresentados os valores octal, juntamente com a codificação em binário, a título informativo:

Tabela 3-7 – Codificação do campo *label* das mensagens BNR

Mensagem 3	Octal	101
	Binário	01000001
Mensagem 4	Octal	123
	Binário	01010011

3.2.2.2.2 Campo SSM

O campo SSM é preenchido com a informação “*Normal Operation*”, que resulta na codificação dos bits 30 e 31 com “1” lógico. Dado ainda que neste tipo de codificação o bit 29 é utilizado para este campo, este é codificado com “zero” lógico que significa, para estas mensagens, informação com valor positivo.

3.2.2.2.3 Campo Data

Este tipo de codificação utiliza um somatório de frações. Isto quer dizer que é incluído no somatório a multiplicação da fração correspondente aos bits codificados com “1” binário, pelo factor de escala definido na *label* em questão.

A *label* da mensagem 3 é especificada com um factor de escala de 180 e utiliza os 12 bits mais significativos (28 a 17). Na Tabela 3-8 apresentam-se a fração a que cada bit corresponde e o valor quando multiplicado pelo factor de escala.

Tabela 3-8 – Rácios para a *label* 101

Bit	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
Rácio	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{128}$	$\frac{1}{256}$	$\frac{1}{512}$	$\frac{1}{1024}$	$\frac{1}{2048}$	$\frac{1}{4096}$
Valor	90	45	22,5	11,25	5,625	2,8125	1,4063	0,7031	0,3516	0,1758	0,0879	0,0439

Fazendo a melhor combinação possível da valores, devem ser somadas as frações correspondentes à codificação com “1” binário dos bits 26, 25, 19 e 18, que resulta em 34,01°. Assim, a codificação binária deste valor é “001100000110”.

A *label* da mensagem 4 utiliza um factor escala de 256 e 18 bits significativos do campo *data*. Nesta mensagem, ao contrário da anterior, é possível obter-se exatamente o valor escolhido (55°) com a codificação “001101110000000000”.

Na Tabela 3-9 é apresentada a estrutura das palavras e a codificação (na linha a cinzento) das mensagens 3 e 4.

Tabela 3-9 – Mensagens BNR para *Datatrak*

Mensagem	P	SSM	DATA		SDI	LABEL
1		<i>Normal Operation</i>	<i>Plus</i>	34,01	<i>All-call</i>	101
	1	11	0	00 1100 0001 1000 0000	00	01000001
	1	11	C180		00	101
2		<i>Normal Operation</i>	<i>Plus</i>	55	<i>All-call</i>	123
	0	11	0	00 1101 1100 0000 0000	00	01010011
	1	11	DC00		00	123

À semelhança do que aconteceu com as palavras BCD, o *Datatrak* define regras para a construção do campo *data*. Uma vez que a codificação em hexadecimal codifica até 4 bits e o campo “*data*” é constituído por 19 bits, temos 4 conjuntos de 4 bits e um de 3 bits (os mais significativos). Como tal, o *Datatrak* requiere que o bit 10, que pertence ao campo SDI, seja codificado no campo *data*. Como tal, as mensagens resultantes são apresentadas na Tabela 3-10.

Tabela 3-10 – Mensagens de testes BNR finais

Mensagem	P	SSM	DATA		SDI	LABEL
1		<i>Normal Operation</i>	<i>Plus</i>	34,01	<i>All-call</i>	101
	1	11	0	001 1000 0011 0000 0000	0	10000010
	1	11	18300		00	101
2		<i>Normal Operation</i>	<i>Plus</i>	55	<i>All-call</i>	123
	0	11	0	001 1011 1000 0000 0000	0	11001010
	1	11	1B800		00	123

Neste caso podemos verificar que houve uma alteração da codificação do campo *data*, uma vez que foi acrescentado um zero à direita.

No *Datatrak* 200 foram então inseridas as 4 mensagens escolhidas e procedeu-se à transmissão. Na Figura 3-12 observa-se um esquemático da ligação e na Figura 3-13 uma fotografia captada no momento da transmissão com as ligações efectuadas.

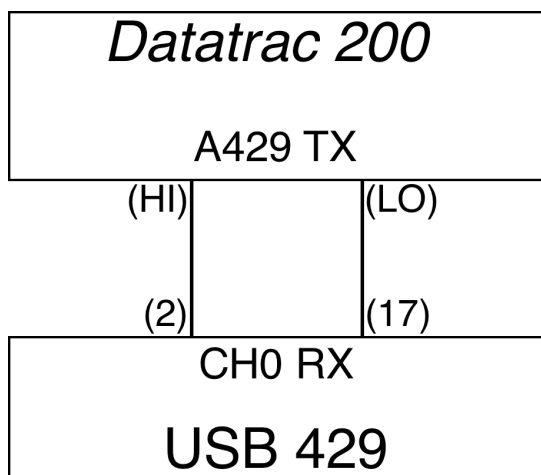


Figura 3-12 – Esquema da ligação
Datatrac – USB 429

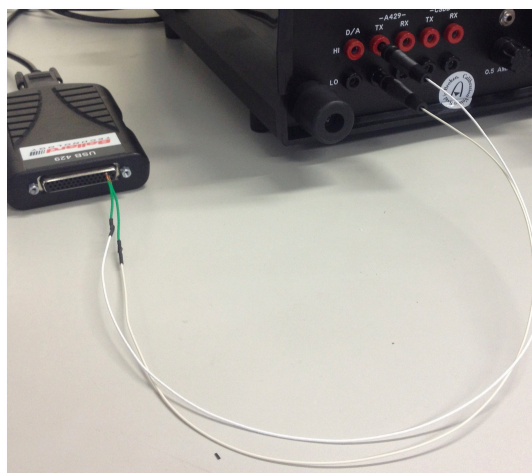


Figura 3-13 – Ligação *Datatrac*-USB 429

Com este teste verificou-se que o *CoPilot* foi capaz de decodificar as quatro mensagens com sucesso. Isto permitiu confirmar a capacidade do software na recolha e decodificação de informação proveniente de equipamentos externos e permitiu passar à fase de recolha de dados dos barramentos ARINC 429 da aeronave.

3.3 Recolha de dados

O primeiro passo tomado para a obtenção dos dados reais existentes nos barramentos foi a análise detalhada da especificação ARINC, com o objetivo de determinar o tipo de informação expectável de ser emitida por cada equipamento do HIAS. Apesar de os equipamentos serem conhecidos, não existia informação disponível que permitisse, de forma direta, identificar os dados estes transmitem. De forma a se conhecer a informação que cada equipamento transmite, compilou-se todas as *labels* especificadas de cada equipamento.

O segundo passo consistiu no levantamento da localização dos equipamentos e das portas que emitem e recebem barramentos ARINC 429, com recurso aos manuais da aeronave. Com base nesta informação determinaram-se os pontos de acesso para recolher os dados.

Por fim, o ultimo passo foi o levantamento da informação possível de ser transmitida nos barramentos, com o apoio da 2ª repartição da DMSA, órgão responsável pela gestão do Sistema de Armas C295M.

3.3.1 Levantamento teórico dos barramentos

As *labels* possíveis de serem transmitidas pelos diversos equipamentos existentes no Sistema de Armas C295M encontram-se descritas no Anexo C.

3.3.2 Processo de recolha

Para se determinar quais os barramentos existentes no Sistema de Armas e quais os pontos de acesso respectivos, foi necessária a consulta dos manuais da aeronave, em particular o *Wiring Diagram Manual* e o *Maintenace Manual*, presentes nas *C295M Interactive Electronic Technical Publications* (IETP). O cruzamento destas duas referencias permitiu a determinação dos barramentos presentes nos *Wiring Diagrams* que correspondiam a barramentos ARINC 429.

A compilação desta informação baseou-se na obtenção dos seguintes parâmetros:

- BUS – Nome do barramento;
- LRU (*Line-Replaceable Unit*) – Equipamento;
- FIN;
- PLUG – Ficha;
- PIN H – Pino positivo;
- PIN L – Pino negativo;
- ACCESS POINT – Ponto de acesso ao equipamento.

A compilação destes dados encontra-se no D.

Numa primeira análise da informação verificou-se que não é possível retirar os dados diretamente dos terminais dos equipamentos. Isto deve-se ao facto de as fichas do equipamento onde há *output* de informação serem as mesmas por onde existe *input* de informação. Por outro lado, verificou-se que a maioria dos sistemas encontram-se instalados debaixo do chão da aeronave, o que permite um acesso fácil. No entanto, outros sistemas são de acesso difícil, como é o caso do IFC1 que se encontra imediatamente atrás da posição do piloto, e o caso de outros que se encontram nas baías dos aviónicos, sendo que o seu acesso é feito através de portas seladas, uma vez que são áreas pressurizadas. [15]

Assim, na Tabela 3-11 estão compilados os equipamentos aos quais o acesso e recolha de dados foi possível.

Tabela 3-11 – Equipamentos e localização

Equipamento	Localização (Estação)
IFC2	4067,5 – 4496
IRS1	6152 – 6660
IRS2	10216 – 10724
AHRU1	6152 – 6660
AHRU2	10216 – 10724
EGPWS	7168 – 7676
DASU	8692 – 9200
TCAS	6660 – 7168
RALT	11740 – 12248
MMR1	7676 – 8184
MMR2	7676 – 8184
MCDU1	Cockpit

A recolha de dados foi efectuada numa aeronave com a configuração PG02, com número de cauda 16708, durante uma ação de manutenção. Não foi possível efetuar testes com outros sistemas de armas pelo facto de não haver disponibilidade de outro(s) sistema(s) de armas no espaço temporal definido para a recolha de dados. A não implicação na remoção dos aviónicos no tipo de manutenção em que a aeronave se encontrava permitiu que facilmente se ativassem os sistemas aviónicos a fim de haver a circulação de informação nos barramentos da aeronave.

3.3.3 Resultados

Após a obtenção de informação relativa a todos os barramentos existentes na aeronave , foram compilados na Tabela 3-12 apenas aqueles a que o acesso é possível. A maior parte dos barramentos tem como origem os equipamentos apresentados na Tabela 3-11 mas, uma vez que nós estamos a aceder ao terminal de recepção do barramento, é possível aceder a barramentos cujo sistema de origem não é acessível.

Tabela 3-12 – Barramentos recolhidos

Barramento	Origem
ADU	<i>Air Data System</i>
AHRS	<i>Attitude and Heading Reference Unit</i>
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i>
EEC	<i>Electronic Engine Controller</i>
EGPWS	<i>Enhanced Ground Proximity Warning System</i>
FGCP	<i>Flight Guidance Control Panel</i>
FMM	<i>Flight Management System</i>
GAMA	<i>Flight Management System</i>
IRS/GPS	<i>IRS/GPS Combined System</i>
IOP	<i>Input/Output Processor</i>
RALT	<i>Radio Altimeter</i>
ADF	<i>Automatic Direction Finder</i>
TCAS	<i>Traffic alert and Collision Avoidance System</i>

No próximo capítulo são apresentadas as informações contidas nas *labels* recolhidas, através da sua descodificação.

4 Resultados

Com a placa USB 429 foi possível fazer a recolha dos barramentos ARINC 429 esperada. Assim sendo, no presente capítulo pretende-se providenciar o máximo de informação constante nas palavras enviadas pelos equipamentos do Sistema de Armas.

Apesar de se estar perante uma grande diversidade de sistemas, o facto de estes fazerem parte de um só (HIAS) poderá ocorrer que nem todos os dados sejam decodificáveis, uma vez que o protocolo atribui liberdade dos seus fabricantes para acrescentarem informação além daquela que se encontra especificada.

4.1 Acesso aos barramentos ARINC 429

Para aceder às portas dos equipamentos existentes na aeronave foi necessário seguir uma série de procedimentos de segurança que se encontram descritos nos manuais de manutenção do sistema de armas [15] para a remoção dos equipamentos. Esses procedimentos estão detalhados passo a passo, o que permitiu que as remoções se procedessem facilmente.

Na Figura 4-1 é possível observar a substituição do MMR1 pela plataforma de comunicação. Este processo passou pela remoção do chão da aeronave, remoção do equipamento e ligação da plataforma de comunicação à interface do sistema de armas com o MMR1 (Figura 4-2).

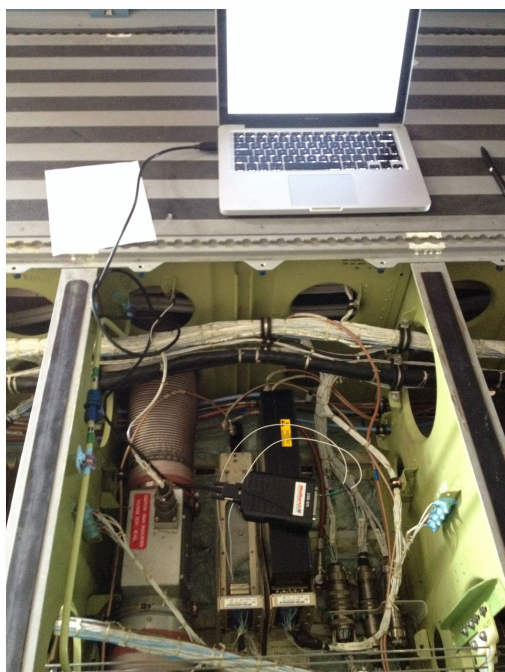


Figura 4-1 – Substituição do equipamento MMR1 pela plataforma de comunicação

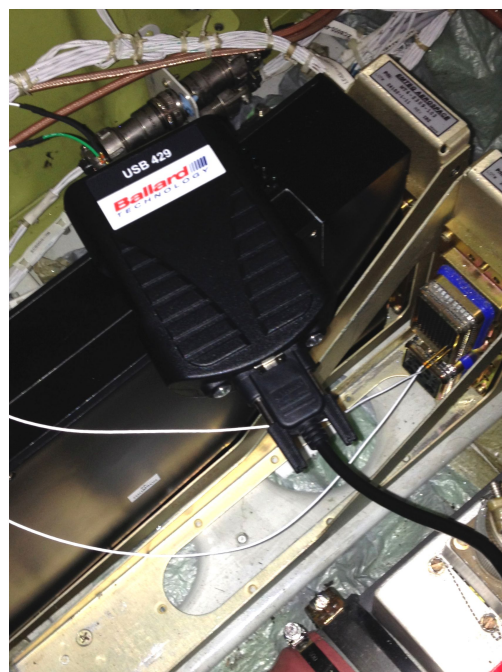


Figura 4-2 – Ligação da plataforma à interface do sistema de armas

De um modo geral, todos os equipamentos que se encontravam debaixo do chão requeriam um procedimento semelhante, o que permitiu que o acesso aos equipamentos fosse facilitado. As

interfaces às quais o acesso foi mais difícil foram as do IFC2 pois estas encontravam-se no fundo de um pequeno túnel com aproximadamente um metro de comprimento. Na Figura 4-3 podemos observar essas interfaces.

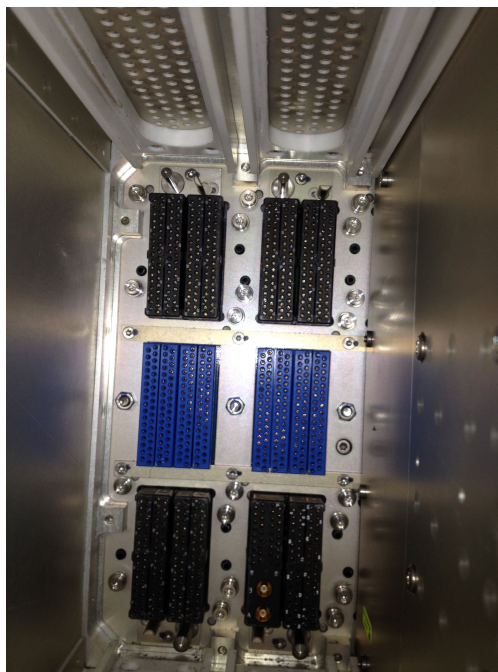


Figura 4-3 – Interfaces do IFC2

4.2 Descodificação de barramentos

Para a descodificação da informação obtida utilizar-se-á o mesmo programa que fez a recolha dos dados, o *Copilot*. Ao definir o equipamento que deu origem aos dados recolhidos, o software associa automaticamente as *labels* das palavras às *labels* da base de dados, procedendo deste modo à descodificação das mensagens.

Nos parágrafos seguintes serão listadas as *labels* que foram possíveis de descodificar em cada barramento em paralelo com uma amostra parcial do resultado da descodificação.

4.2.1 Barramento ADU

Na Tabela 4-1 estão listadas as 16 *labels* decodificadas de dois barramentos ADU (Eq. ID 006), de um total de 21 que circulam no barramento. Neste caso a informação que circulava em todos os barramentos originados pelo ADS era idêntica.

Tabela 4-1 – *Labels* decodificadas do barramento ADU

Label	Parâmetro		Valor
203	<i>Altitude (1013.25mB) (feet)</i>		-526
204	<i>Baro Corrected Altitude #1 (feet)</i>		-533
205	<i>Mach</i>		0,000065
206	<i>Computed Airspeed (knots)</i>		25
207	<i>Max. Allowable Airspeed (knots)</i>		250
210	<i>True Airspeed (knots)</i>		0
211	<i>Total Air Temperature (deg. C°)</i>		31,5
212	<i>Altitude Rate (feet/min)</i>		0
213	<i>Static Air Temperature (deg. C°)</i>		31,5
215	<i>Impacted Pressure, Uncorrected, (mb)</i>		0
217	<i>Static Pressure, Corrected (In. Hg)</i>		32,27
234	<i>Baro Correction (mb) #1</i>		-1013
235	<i>Baro Correction (ins. Hg) #1</i>		-29,92
242	<i>Total Pressure (mB)</i>		1029,5
270	<i>Discrete Data #1</i>	<i>Icing Detector</i>	<i>On</i>
		<i>Pitot Probing Heat</i>	<i>On</i>
		<i>ADS Computer Status</i>	<i>Good</i>
		<i>Pitot/Static Probe Heat</i>	<i>Off</i>
		<i>Static Source Heat</i>	<i>On</i>
		<i>TAT Probe Heat</i>	<i>Off</i>
		<i>Left Side Angle of Attack Sensor Heat</i>	<i>On</i>
		<i>Right Side Angle of Attack Sensor Heat</i>	<i>Off</i>
		<i>VMO/MMO Overspeed Warning</i>	<i>Not Warn</i>
		<i>Angle of Attack Alternate Correction</i>	<i>Yes</i>
		<i>Baro-Correction Port "A"</i>	<i>No</i>
271	<i>Discrete Data #2</i>	<i>Zero Mach SSEC</i>	<i>No</i>
		<i>Zero Angle of Attack SSEC</i>	<i>No</i>
		<i>Angle of Attack Sensor Status</i>	<i>Fail</i>

4.2.2 Barramento AHRS

No barramento AHRS (Eq. ID 005) existe um total de 64 *labels*, das quais descodificaram-se 16, que se encontram listadas na Tabela 4-2. A informação que transmitida pelos barramentos originados pelo AHRS era idêntica.

Tabela 4-2 – *Labels* descodificadas do barramento AHRS

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
053	<i>Track Angle – Magnetic (deg)</i>		-5
077	<i>Lateral Center of Gravity (MLb-in)</i>		0,0068
270	<i>Discrete Data #1</i>	<i>Align Mode/Not Ready</i>	<i>No</i>
		<i>Reversionary Attitude Mode</i>	<i>No</i>
		<i>Normal Mode</i>	<i>No</i>
		<i>Magnetic Heading/DG Mode</i>	<i>Yes</i>
		<i>Attitude Invalid</i>	<i>Yes</i>
		<i>Low Battery (Not used in AHRS)</i>	<i>Yes</i>
		<i>On Battery</i>	<i>No</i>
		<i>TAS Invalid</i>	<i>No</i>
		<i>AHRU Fault</i>	<i>No</i>
		<i>IRS Use (1)</i>	0
		<i>No VOR/DME #1 Input</i>	<i>No</i>
		<i>IRS Use (2)</i>	0
		<i>No VOR/DME #2 Input</i>	<i>No</i>
271	<i>AHRS Discrete</i>	<i>MSU Fail</i>	<i>No</i>
		<i>RMCU Fail</i>	<i>No</i>
		<i>No VOR/DME #2 Input</i>	<i>No</i>
320	<i>Magnetic Heading (deg/180)</i>		89,7473
324	<i>Pitch Angle (deg/180)</i>		-0,0549
325	<i>Roll Angle (deg/180)</i>		0,3955
326	<i>Body Pitch Rate (deg/sec)</i>		0
327	<i>Body Roll Rate (deg/sec)</i>		0
330	<i>Body Yaw Rate (deg/sec)</i>		0
331	<i>Body Longitudinal Acceleration (g)</i>		0,0010
332	<i>Body Lateral Acceleration (g)</i>		-0,0107
333	<i>Body Normal Acceleration (g)</i>		0
340	<i>Inertial Yaw Rate (deg/sec)</i>		16
361	<i>Altitude (Inertial) (feet)</i>		93
365	<i>Inertial Vertical Velocity (EFI) (feet/min)</i>		-7

4.2.3 Barramento DME

A Tabela 4-3 lista as *labels* decodificadas, de um total de 6, que circulam no barramento DME. A informação emitida nos dois barramentos originados pelo DME era idêntica.

Tabela 4-3 – *Labels* decodificadas do barramento DME

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
002	<i>Time to Go (Min)</i>		0
012	<i>Ground Speed (knots)</i>		0
035	<i>DME Frequency</i>	<i>DME Frequency (MHz)</i>	100
		<i>DME Mode</i>	3
		<i>Frequency Mode</i>	VOR
		<i>Indent Display</i>	Not Used
		0.05 MHz (MHz)	0.0
202	<i>DME Distance</i>	<i>DME Distance (N.M.)</i>	0.0
		<i>Memory (On/Off)</i>	Bit Clear
		<i>Mode</i>	NOT Foreground Station Freq. Scanning

4.2.4 Barramento EEC

Para a decodificação destes barramentos foi necessária alguma pesquisa. Na especificação ARINC 429 [6] não existe nenhum ID para o equipamento *Electronic Engine Controller*. De forma a tentar obter uma solução procurou-se encontrar o equipamento que possui o maior número das *labels* que circulam neste barramento, que se encontra diretamente relacionado com dados do motor. Desta pesquisa surgiram os dois equipamentos descritos:

- Full Authority Engine Control A (GE) (Eq. ID 10A)
- Full Authority Engine Control B (GE) (Eq. ID 10B)

Dado que ambos partilham as mesma *labels*, foi escolhido o *Full Authority Engine Control A* para análise. Neste barramento circula um total de 15 *labels*, e na Tabela 4-4 apresentam-se os dados que circulam nos barramentos originados pelos EECs da aeronave, sendo que todos eles continham a mesma informação.

Tabela 4-4 – *Labels* decodificadas do barramento EEC

<i>Label</i>	Parâmetro	Valor
133	<i>Selected Throttle Lever Angle (deg)</i>	20,6543
134	<i>Throttle Lever Angle (deg)</i>	20,6543
203	<i>Ambient Static Pressure (PSIA)</i>	-0,0156
211	<i>Total Fan Inlet Temperature (deg C°)</i>	7,125
341	<i>Commanded Fan Speed (%)</i>	255,9688
342	<i>Max Allowed Fan Speed (%)</i>	99,9375
346	<i>Selected Actual Fan Speed (%)</i>	0

4.2.5 Barramento EGPWS

De um total de 51 *labels* só foi possível a decodificação de uma, que se encontra na Tabela 4-5 com a respectiva descrição. Esta informação circula no único barramento originado pelo EGPWS

Tabela 4-5 – *Labels* decodificadas do barramento EGPWS

<i>Label</i>	Parâmetro		Valor
270	<i>Discrete #1</i>	<i>Sink Rate</i>	<i>Off</i>
		<i>Pull Up</i>	<i>Off</i>
		<i>Terrain</i>	<i>Off</i>
		<i>Don't Sink</i>	<i>Off</i>
		<i>Too Low Gear</i>	<i>Off</i>
		<i>Too Low Flap</i>	<i>Off</i>
		<i>Too Low Terrain</i>	<i>Off</i>
		<i>Glide Slope</i>	<i>Off</i>
		<i>Minimum Minimum</i>	<i>Off</i>
		<i>Terrian Pull Up</i>	<i>Off</i>

4.2.6 Barramento FGCP

O FGCP não tem nenhum ID associado pela especificação ARINC 429 [6]. Contudo, pelo facto de este enviar informações de orientação de voo ao FGM, definidas pelo piloto, essas *labels* serão coincidentes com as do *Flight Management Computer* (FMC) (Eq. ID 002).

Desta forma, na Tabela 4-6 faz-se a decodificação dos dados que circulam em todos os barramento FGCP, uma vez que era idêntica em todos eles.

Tabela 4-6 – Labels decodificadas do barramento FGCP

Label	Parâmetro	Valor
100	<i>Selected Course #1 (deg/180)</i>	0
101	<i>Selected Heading (deg/180)</i>	0
102	<i>Selected Altitude (feet)</i>	0
103	<i>Selected Airspeed (knots)</i>	0
104	<i>Selected Vertical Speed (feet/min)</i>	0
105	<i>Selected Runway Heading (deg/180)</i>	0
106	<i>Selected Mach (deg/180)</i>	1024 m
107	<i>Selected Cruise Altitude (Mach)</i>	-3638
110	<i>Selected Course #2 (feet)</i>	0
112	<i>Runway Length (feet)</i>	-1170
114	<i>Desired Track (deg/180)</i>	-10,5029
115	<i>Waypoint Bearing (deg/180)</i>	89,9561
116	<i>Cross Track Distance (N.M.)</i>	96,2422
117	<i>Vertical Deviation (feet)</i>	-1553

4.2.7 Barramento FMM

A Tabela 4-7 apresenta as *labels* decodificadas dos barramentos FMM recolhidos, sendo os valores equivalentes em todos. De um total de 33 *labels* foi possível a decodificação de 20. O equipamento definido para a decodificação foi o FMC (Eq. ID 002). Todos os barramentos originados pelo FMM emitiam a mesma informação.

Tabela 4-7 – Labels decodificadas do barramento FMM

Label	Parâmetro		Valor
031	<i>Beacon Transponder Code</i>	<i>Alt. Rep. On/Off</i>	<i>Altitude Report On</i>
		<i>Control Function</i>	<i>Reserved</i>
		<i>Select Ident.</i>	<i>Ident. Off</i>
		<i>Alt. Data Source</i>	<i>Use #1 Data Source</i>
		<i>Pilot Selected Mode A Replay</i>	<i>0 Reply Code (use octal)</i>
032	<i>ADF Frequency (kHz)</i>		0
034	<i>VOR/ILS Freq.</i>	<i>VOR/ILS Freq. (MHz)</i>	100
		<i>ILS Mode</i>	<i>VOR Frequencies</i>
035	<i>DME Frequency</i>	<i>DME Frequency (MHz)</i>	100
		<i>DME Mode</i>	3
		<i>Frequency Mode</i>	VOR
		<i>Indent Display</i>	<i>Not Used</i>
		<i>0.05 MHz (MHz)</i>	0,0
041	<i>Set Latitude (Deg' Min)</i>		000' 00,0
042	<i>Set Longitude (Deg' Min)</i>		000' 00,0
125	<i>UTC (hh:mm.m)</i>		11:20,1

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Label</i>
147	<i>Magnetic Variation</i>	<i>Magnetic Variation (deg/180)</i>	-2,9883
		<i>Sel (TCAN)</i>	TACAN 2
		<i>Sel (ANTENNA)</i>	<i>Antenna 1</i>
		<i>Lobe</i>	<i>Antenna Lobe</i>
		<i>Auto/Man Tune</i>	<i>Manual Tune</i>
		<i>A/A AGC Disable</i>	<i>Disable</i>
		<i>TACAN/MLS Select</i>	TACAN
		<i>Channel Code (HEX display)</i>	188
		<i>X/Y</i>	<i>Test</i>
		<i>Mode Control</i>	A/A T/R
		<i>Int</i>	<i>Normal</i>
150	<i>Universal Coordinated Time</i>	<i>Transmit source</i>	<i>Primary Time</i>
		<i>Seconds (Sec.)</i>	11
		<i>Minutes (Min.)</i>	20
		<i>Hours (Hr.)</i>	11
203	<i>Energy Management Speed Brakes</i>		0,2969
204	<i>Utility Airspeed (knots)</i>		0,25
206	<i>True Airspeed (knots)</i>		0
260	<i>Date/Flight Leg</i>	<i>Flight Leg (Leg)</i>	1
		<i>Month (Month)</i>	7
		<i>Day (Day)</i>	11
267	<i>Max Maneuvering Airspeed (knots)</i>		0
310	<i>Present Position – Latitude (deg/180)</i>		0
311	<i>Present Position - Longitude (deg/180)</i>		0
312	<i>Ground Speed (knots)</i>		0
313	<i>Track Angle – True (deg/180)</i>		0
314	<i>Stabilizer Position Indication (B747-400) (deg/180)</i>		87,2754
320	<i>Magnetic Heading (GA) (deg/180)</i>		90,2747

4.2.8 Barramento GAMA

Este barramento tem a sua origem no FMS. Desta forma, fez-se a decodificação deste barramento utilizando o Eq. ID do FMC (002). Na Tabela 4-8 apresenta-se a decodificação do barramento GAMA1 e do barramento GAMA2. Neste caso é de notar que conforme o equipamento que origina o barramento, FMS1 ou FMS2, a informação emitida é diferente.

Tabela 4-8 – *Labels* decodificadas do barramento GAMA

Label	Parâmetro		Valor	
			1	2
056	Estimated Time of Arrival (hh:mm.m)		N.A.	00:00,0
077	Target Airspeed (knots)			0
102	Selected Altitude (feet)			0
104	Selected Vertical Speed (feet/min)			0
114	Desired Track (deg/180)			0
115	Waypoint Bearing (deg/180)			0
116	Cross Track Distance (N.M)			0
117	Vertical Deviation (feet)		0	0
121	Horizontal Command Signal (deg/180)		N.A.	0
122	Vertical Command Signal (deg/180)		0	0
147	Magnetic Variation	Magnetic Variation (deg/180)	N.A.	0
		Sel (TCAN)		TACAN 2
		Sel (ANTENNA)		Antenna 1
		Lobe		Off
		Auto/Man Tune		Manual Tune
		A/A AGC Disable		Disabled
		TACAN/MLS Select		TACAN
		Channel Code (HEX display)		0
		X/Y		No Test
		Mode Control		Rec
		Int		Inverse
150	Universal Time Constant (UTC)	Transmit source	Primary Time	Primary Time
		Seconds (Sec.)	6	13
		Minutes (Min.)	41	12
		Hours (Hr.)	12	15
163	Wind on Nose (GA) (knots)		0	0
164	Minimum Descent Altitude (MDA) (feet)		0	0
214	ICAO Aircraft Address (Part I)	ICAO Aircraft Address (Part 1)	1280	1856
		P	Off	Off
233	ACMS Information	Char #1	SP	SP
		Char #2	SP	SP

Label	Parâmetro		Valor	
			1	2
234	ACMS Information	Char #3	SP	SP
		Char #4	SP	SP
235	ACMS Information	Char #5	SP	SP
		Char #6	SP	SP
236	ACMS Information	Char #7	SP	SP
		Char #8	SP	SP
245	Minimum Airspeed (knots)		0	0
246	General Maximum Speed (VCMAX) (knots)		245	245
251	Distance to Go (N.M)		0	0
252	Time to Go (Min.)		0	0
260	Date/Flight Leg	Flight Leg (Leg)	1	1
		Month (Month)	7	7
		Day (Day)	11	9
261	Flight Number		400	400
263	Minimum Airspeed for Flap Retraction (knots)		16	16
264	Time to Touchdown (Min.)		64	64
272	Discrete Data #3	Enable	Not Enabled	Not Enabled
		Climb Rate Performance Limit (FPM)	400	400
		1500 FPM Climb Limit	Can Climb	Can Climb
		2500 FPM Climb Limit	Can Climb	Can Climb
310	Present Position – Latitude (deg/180)		0	0
311	Present Position - Longitude (deg/180)		0	0
312	Ground Speed (knots)		N.A.	0
313	Track Angle – True (deg/180)			0
314	Stabilizer Position Indication (B747-400) (deg/180)			0
315	Wind Speed (knots)		0	0
316	Wind Direction (True) (deg/180)		0	0
317	Track Angle - Magnetic (deg/180)		0	0
320	Magnetic Heading (GA) (deg/180)		N.A.	0
321	Drift Angle (deg/180)			0
322	Flight Path Angle (deg/180)			0
351	Distance to Destination (N.M)		0	0
352	Est. Time to Destination (GA) (Min.)		0	0

Observa-se que os dois barramentos não têm a mesma informação em circulação. A razão que aparenta ser mais esclarecedora é o facto de apenas o barramento 2 ter ligação com o DASU, daí o facto de transportar mais informação. Foram decodificadas um total 27 *labels* das 45 que circulam no GAMMA1, e 41 das 63 *labels* que circulam no barramento 2.

4.2.9 Barramento IRS/GPS

A especificação ARINC 429 [6] define que o IRS e o GPS são equipamentos diferentes. Contudo, pelo facto de o HIAS possuir esses equipamentos combinados, as *labels* de ambos os equipamentos são transmitidas num só barramento. O resultado é ter que se efetuar duas descodificações do barramento, uma para obter os dados de GPS (Eq. ID 00B) e outra para obter os dados de IRS (Eq. ID 004).

Na Tabela 4-9 e na Tabela 4-10 estão apresentados os resultados de cada descodificação.

Tabela 4-9 – *Labels* descodificadas de dados GPS

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
076	<i>GPS Height Above Reference Ellipsoid (feet)</i>		222
101	<i>HDOP</i>		0
102	<i>VDOP</i>		0
103	<i>GNSS Track Angle (deg)</i>		90
110	<i>GNSS Latitude (deg)</i>		38,7155
111	<i>GNSS Longitude (deg)</i>		-9,0224
112	<i>GNSS Ground Speed (knots)</i>		0
120	<i>GNSS Latitude Fine (deg)</i>		0,0001
121	<i>GNSS Longitude Fine (deg)</i>		0,0001
130	<i>Aut Horiz Integ Limit (N.M.)</i>		15,6587
150	<i>UTC</i>	<i>Seconds (Sec.)</i>	47
		<i>Minutes (Min.)</i>	31
		<i>Hours (Hr.)</i>	14
165	<i>Vertical Velocity (feet/min)</i>		-1
166	<i>North/South Velocity (knots)</i>		0
174	<i>East/West Velocity (knots)</i>		0
247	<i>Horizontal Figure of Merit (N.M.)</i>		2,1599
260	<i>Date</i>	<i>Year (Year)</i>	13
		<i>Month (Month)</i>	1
		<i>Day (Day)</i>	7

Tabela 4-10 – *Labels* decodificadas de dados IRS

Label	Parâmetro	Valor
310	<i>Present Position – Latitude (deg/180)</i>	38,7150
311	<i>Present Position - Longitude (deg/180)</i>	-9,0268
312	<i>Ground Speed</i>	0
313	<i>Track Angle - True (deg/180)</i>	86,5283
314	<i>True Heading (deg/180)</i>	86,5283
315	<i>Wind Speed (knots)</i>	0
316	<i>Wind Angle (deg/180)</i>	0
317	<i>Track Angle - Magnetic (deg/180)</i>	89,5166
320	<i>Magnetic Heading (deg/180)</i>	89,5166
321	<i>Drift Angle (deg/180)</i>	0
322	<i>Flight Path Angle (deg/180)</i>	0
324	<i>Pitch Angle (deg/180)</i>	-0,0549
325	<i>Roll Angle (deg/180)</i>	0,0879
326	<i>Body Pitch Rate (deg/sec)</i>	0
327	<i>Body Roll Rate (deg/sec)</i>	0
330	<i>Body Yaw Rate (deg/sec)</i>	0,0156
331	<i>Body Longitudinal Acceleration (g)</i>	0
332	<i>Body Lateral Acceleration (g)</i>	0,0010
333	<i>Body Normal Acceleration (g)</i>	-0,0010
361	<i>Altitude (Inertial) (feet)</i>	76
362	<i>Along Track Horizontal Acceleration (g)</i>	0
363	<i>Cross Track Acceleration (g)</i>	0,0010
364	<i>Vertical Acceleration (g)</i>	0,0010
366	<i>North-South Velocity (knots)</i>	0
367	<i>East-West Velocity (knots)</i>	0

Existe ainda uma *label* (270) que é comum aos dois equipamentos, mas que decodifica dados diferentes conforme o Eq. ID utilizado para a decodificação. Assim sendo não existe forma de averiguar a qual dos equipamentos esta *label* se encontra associada.

4.2.10 Barramento IOP

Na arquitetura ARINC da aeronave existem barramentos IOP que levam informação dos DCF para equipamentos da aeronave. Contudo estes barramentos não são possíveis de decodificar corretamente porque contêm informações provenientes de diversos componentes que transmitiram a sua informação para o DCF.

Como explicado no capítulo 2.2.2.3.6, o DCF concentra toda a informação proveniente dos equipamentos e depois utiliza o módulo IOP para fazer a retransmissão da informação que recebe. Nesse módulo existe uma manipulação dos dados a transmitir de forma a que só sejam enviados os dados necessários para os equipamentos que se encontram na ponta final do barramento.

4.2.11 Barramento RALT

No barramento RALT só foi possível a decodificação de uma *label* que se encontra apresentada na Tabela 4-11.

Tabela 4-11 – *Labels* decodificadas do barramento RALT

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
164	<i>Radio Height</i>	<i>Radio Height (feet)</i>	0,75
		<i>Functional Test Inhibit (FTI)</i>	<i>Perform</i>

Neste barramento existem um total de 8 *labels* em circulação.

4.2.12 Barramento ADF

A Tabela 4-12 apresenta as *labels* que foram possíveis decodificar do barramento ADF.

Tabela 4-12 – *Labels* decodificadas do barramento ADF

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
032	<i>ADF Frequency</i>	<i>ADF Frequency (kHz)</i>	666
		<i>BFO</i>	<i>BFO Off</i>
		<i>ADF/ANT</i>	<i>ADF Mode</i>
		<i>0.5 KHz</i>	<i>Tune to</i>
162	<i>ADF Bearing (deg/180)</i>		125,1123

Foi possível a decodificação de 2 *labels* de um total de 3 que circulam no barramento.

4.2.13 Barramento TCAS

No barramento TCAS foi possível a descodificação de 4 *labels*, num total 14. Estas encontram-se listadas na Tabela 4-13.

Tabela 4-13 – *Labels* descodificadas do barramento TCAS

<i>Label</i>	<i>Parâmetro</i>		<i>Valor</i>
203	<i>Own A/C Altitude</i>	<i>Altitude Resolution (ft)</i>	1
270	<i>Discrete Data #1 (TCAS Vertical RA)</i>	<i>Advisory Altitude Rate</i>	0
		<i>Combined Control</i>	<i>No Advisory</i>
		<i>Vertical Control</i>	<i>Advisory is</i>
		<i>Up Advisory</i>	<i>No Up Advisory</i>
		<i>Down Advisory</i>	<i>No Down</i>
274	<i>Discrete Data #5 (TCAS Output [SL - R1] TCAS to Transponder/Display - Bus 2 Word 2)</i>	<i>SL</i>	4
		<i>R 1</i>	0
320	<i>Own A/C Magnetic Heading (deg/180)</i>		90,2362

4.3 Análise de resultados

A recolha de dados foi um processo sem dificuldades, uma vez que após instalação da plataforma e inicialização da mesma, os dados ARINC 429 eram imediatamente recolhidos. Para equipamentos como o ADS, AHRA, EGPWS, RALT, GAMA e DME, o Eq. ID era automaticamente detectado pela plataforma e os dados instantaneamente descodificados.

O desenvolvimento deste trabalho de investigação permitiu que se obtivesse um total de 207 *labels* que representam dados de navegação em tempo real. Contudo várias das *labels* que circulam nos barramentos não foram possíveis de descodificar, por serem proprietárias da entidade que efetuou a concepção do sistema, nomeadamente a *Thales*.

Conclui-se então o capítulo de análise de dados. No último capítulo apresentar-se um resumo de todo este trabalho, consequências diretas da realização do mesmo, e possíveis desenvolvimentos futuros.

5 Conclusões e trabalhos futuros

Este último capítulo tem como objectivo resumir todo o trabalho desenvolvido na presente Dissertação de Mestrado, com ênfase nas ideias que deram origem ao tema, na abordagem efectuada e nos resultados obtidos. Posteriormente, serão propostas algumas ideias de projetos futuros utilizando o sistema desenvolvido, de interesse para a Força Aérea Portuguesa.

5.1 Resumo

Atualmente não existe nenhum método para a recolha da informação que circula nos barramentos ARINC 429 do sistema de armas C295M, mas é conhecido, dada a natureza do protocolo, que circulam dados de auxílio à navegação. O desconhecimento específico dessa informação, associado aos benefícios que advêm do conhecimento da mesma e conhecimento dos pontos de acesso aos barramentos, como é o caso de melhoramento do processo de análise de falhas no sistema de armas, levantou a necessidade de realização deste trabalho.

O presente trabalho teve como objectivo o desenvolvimento de uma metodologia de aplicação de uma plataforma de comunicação que fosse capaz de obter dados codificados em ARINC 429 do Sistema de Armas C295M da Força Aérea Portuguesa que fosse capaz de decodificar dados em ARINC 429.

O processo de trabalho iniciou-se pelo estudo da integração da comunicação digital na aviação e do protocolo ARINC 429, nomeadamente a estruturação das palavras, e posteriormente procurou-se conhecer o Sistema de Armas em questão e os sistemas aviónicos que fazem a transmissão de dados utilizando o protocolo ARINC 429. O estudo efectuado neste capítulo capacitou o autor de conhecimentos para criação e manipulação de mensagens em ARINC 429, assim como a compreensão do modo como comunicam os sistemas aviónicos de um sistema de armas, nomeadamente do C295M.

De seguida foram definidos os equipamentos que a integrar na plataforma de comunicação, e estudou-se o seu modo de operação, tendo-se escolhido um sistema da *Ballard Tech* que integra hardware e software capaz de decodificar dados ARINC 429. Para a validação do sistema recorreu-se a dois testes, focados em simulações, para estudar a resposta do equipamento quando exigida a recolha e decodificação de dados. Feita a validação fez-se um levantamento dos pontos de acesso das aeronaves aos quais a ligação seria possível sem efetuar modificações na aeronave.

A etapa seguinte passou pela recolha dos dados que circulam nos barramentos ARINC 429 da aeronave. Uma vez que todos os barramentos recolhidos tinham sido previamente estudados, relativamente ao acesso aos mesmos, todos foram compilados com sucesso. Verificou-se contudo que não foi possível a decodificação de todos os barramentos levantados, por serem

propriedade da entidade fabricante do sistema. De um total de 302 *labels* a circular nos barramentos levantados, foi possível a descodificação 207.

5.2 Conclusões

O resultado deste trabalho foi o conhecimento adquirido na área da comunicação ARINC 429 bem como a utilização de uma plataforma de interligação com a aeronave utilizando este tipo de barramento de dados.

Outra consequência deste trabalho foi a aquisição da capacidade de apoio à manutenção, como por exemplo no caso da detecção de uma falha técnica. Conhecendo os pontos de acesso e os locais por onde os barramentos circulam é possível ir de ponto de acesso a ponto de acesso, desde o mostrador até ao equipamento de origem da mensagem, de forma a verificar em que zona do canal de transmissão se encontra a falha.

5.3 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um ponto de acesso fixo, na aeronave, aos barramentos ARINC 429, com capacidade de registo dos dados. Este ponto de acesso pode servir como meio para o desenvolvimento de um simulador uma vez que os dados que estão a circular fazem-no em tempo real, sendo possível ainda a criação de uma plataforma para consulta de dados técnicos da aeronave em tempo real, com a capacidade de gravação dos dados para consulta posterior.

6 Bibliografia

- [1] Carleton University, Department of Electronics – *Undergraduate Courses, ELEC 4504 – Avionics Systems Chapter 14. System Integration / Data transfer*. Canada, 2011. 18p.
- [2] MARTINEC, Daniel A. – *ARINC 429*. CRC Press LLC, 2001. 16p
- [3] Airbus – *Photo Gallery*. Acedido em 1 de Setembro de 2013 em: <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery/>
- [4] PINGSTONE, Adrian (2007) – *Icelandair Boeing 757-200 (TF-FIV) takes off from London Heathrow Airport, England*. Acedido a 1 de Setembro de 2013 em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Icelandair.b757-200.tf-fiv arp.jpg>
- [5] British Airways – *Boeing 767-300*. Acedido a 1 de Setembro de 2013 em: <http://www.britishairways.com/en-pt/information/about-ba/fleet-facts/boeing-767-300>
- [6] Aeronautical Radio, Inc. (2004) – *ARINC Specification 429 Part 1-17: Mark 33 – Digital Information Transfer System (DITS)*. Maio 2004
- [7] Condor Engineering, Inc. – *ARINC Protocol Tutorial (1600100-0027)*. Junho 2000
- [8] Airbus Military – *C295 Photo Gallery*. Acedido a 4 de Setembro de 2013 em: <http://www.airbusmilitary.com/Multimedia/C295PhotoGallery.aspx>
- [9] Airbus Military – *CN235 Photo Gallery*. Acedido a 4 de Setembro de 2013, em: <http://www.airbusmilitary.com/Multimedia/CN235PhotoGallery.aspx>
- [10] Airbus Military – *C295 - The Tactical Workhorse*. Acedido em 4 de Setembro de 2013 em: <http://www.airbusmilitary.com/Aircraft/C295/C295About.aspx>
- [11] Airforce Technology– *C-295M Twin-Turboprop Transport Aircraft, Spain*. Acedido a 5 de Setembro de 2013 em: <http://www.airforce-technology.com/projects/c295/>
- [12] Airbus Military (2013) – *C212 Photo Gallery*. Acedido a 4 de Setembro de 2013 em: <http://www.airbusmilitary.com/Multimedia/C212PhotoGallery.aspx>
- [13] MATA, Paulo (2013) – *C295M: 10.000 Horas Sobre As Asas Ínclitas Da Fama*. Revista Take-Off. Acedido a 5 de Setembro de 2013 em: <http://passarodeferro-operations.blogspot.pt/2013/04/c295m-10000-horas-sobre-as-asas.html>
- [14] EADS CASA – *Avionics System C-295 Topdeck O.L.M.* Issue 1. Maio de 2003.

- [15] Airbus Military – *2012 C-295 Interactive Electronic Technical Publications CA-A-C-295-IETP-PG Issue 001 Change 012* [CD-ROM]. Dezembro 2012
- [16] Ballard Technology, Inc. (2013) – *USB 429 Avionics Interface*. Acedido a 15 de Maio de 2013 em: <http://www.ballardtech.com/products.aspx/USB429/>
- [17] Aeroflex – *DATATRAC 200 Databus Analyzer Operation*. Agosto 2006.

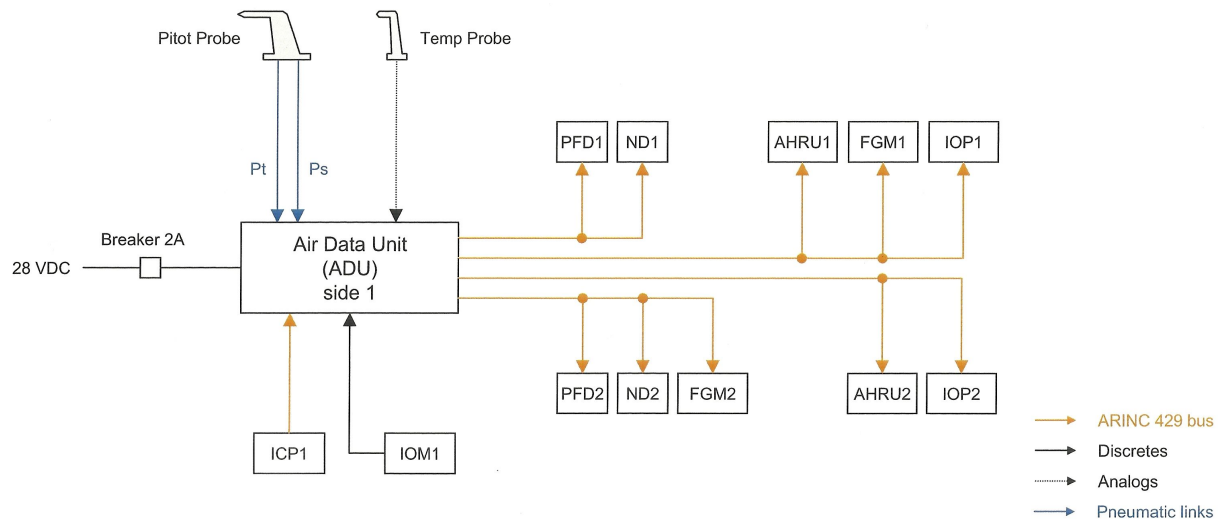
Anexos

Anexo A.	Esquemáticos do HIAS	III
A.1	ADS.....	III
A.2	AHRS	IV
A.3	FDS.....	V
A.4	MCDU.....	VII
A.5	AFCS.....	VIII
Anexo B.	Ligações da placa USB 429	IX
Anexo C.	<i>Labels</i> dos equipamentos do HIAS.....	XI
C.1	Sistema ADS	XI
C.2	Sistema AHRS	XII
C.3	Sistema FMS.....	XIII
C.4	Radio Altimeter System	XVI
C.5	Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS).....	XVI
C.6	Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)	XVII
C.7	ADF System	XVII
C.8	VHF Navigation System.....	XVIII
C.9	DME System	XVIII
C.10	Inertial Reference System (IRS)	XIX
C.11	GPS System.....	XX
Anexo D.	Listagem de barramentos.....	XXIII
D.1	Barramentos ADU	XXIII
D.2	Barramentos AHRS	XXV
D.3	Barramentos DME.....	XXVI
D.4	Barramentos EEC.....	XXVII

D.5	Barramentos EGPWS.....	XXVIII
D.6	Barramentos FGCP	XXIX
D.7	Barramentos FMM	XXX
D.8	Barramentos GAMA	XXXI
D.9	Barramentos IRS/GPS.....	XXXII
D.10	Barramentos IOP	XXXIII
D.11	Barramentos RALT.....	XXXV
D.12	Barramentos ADF.....	XXXVI
D.13	Barramentos TCAS.....	XXXVII

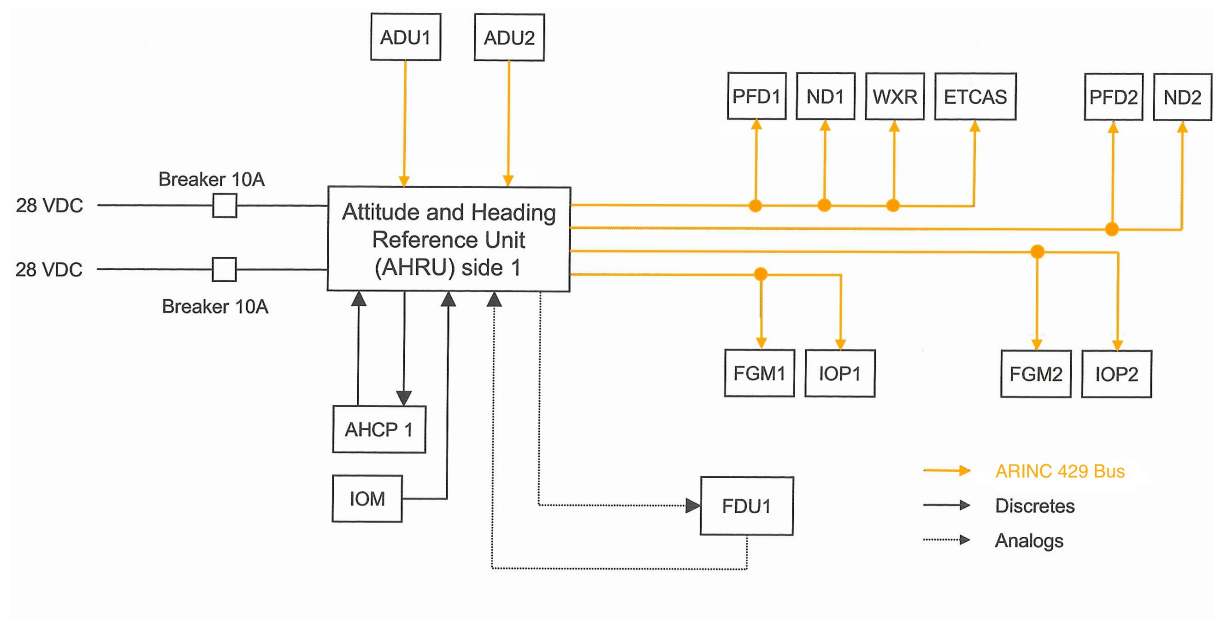
Anexo A. Esquemáticos do HIAS

A.1 ADS



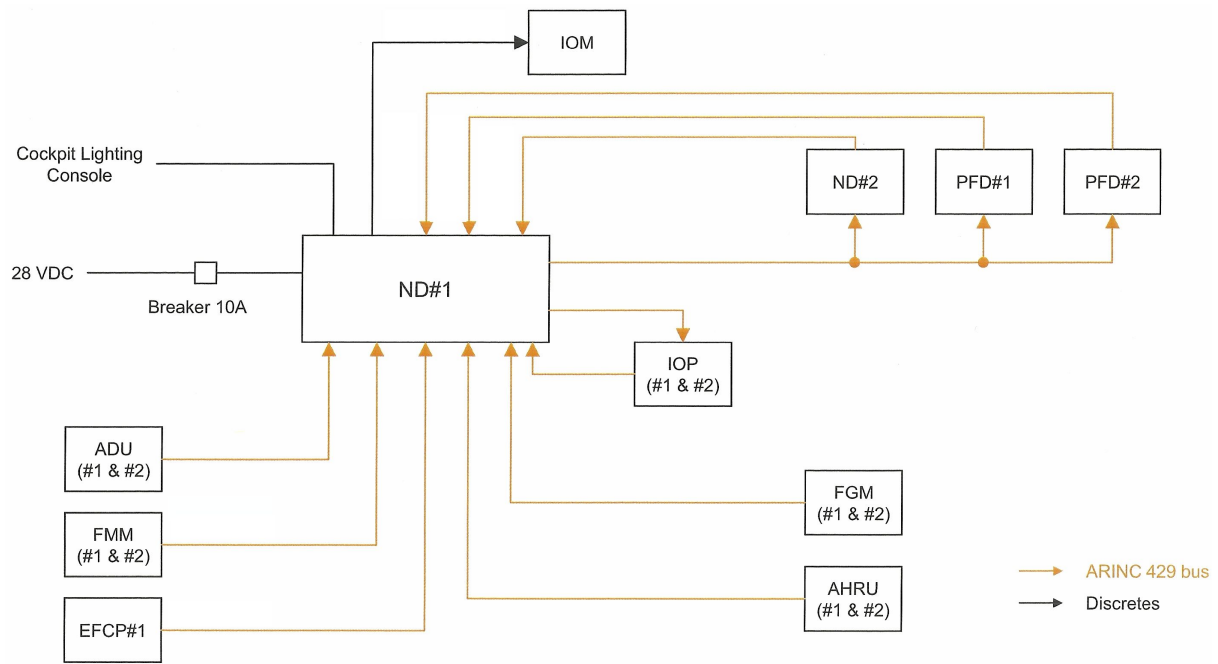
Esquemático ADS

A.2 AHRS

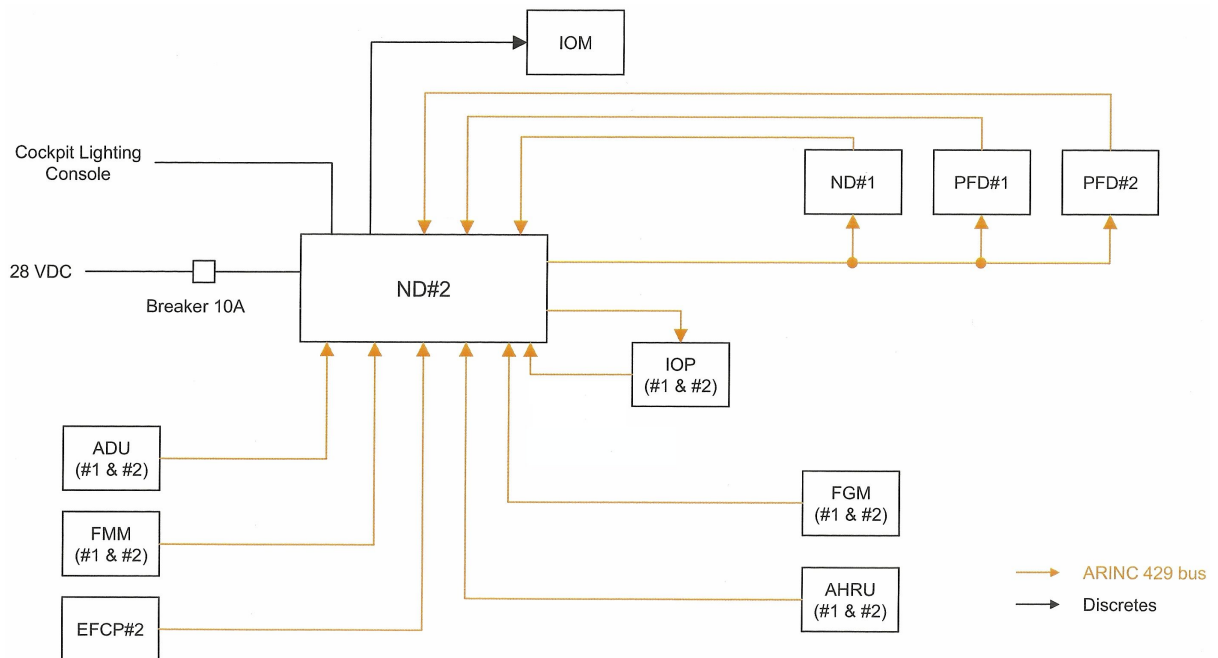


Esquemático AHRS

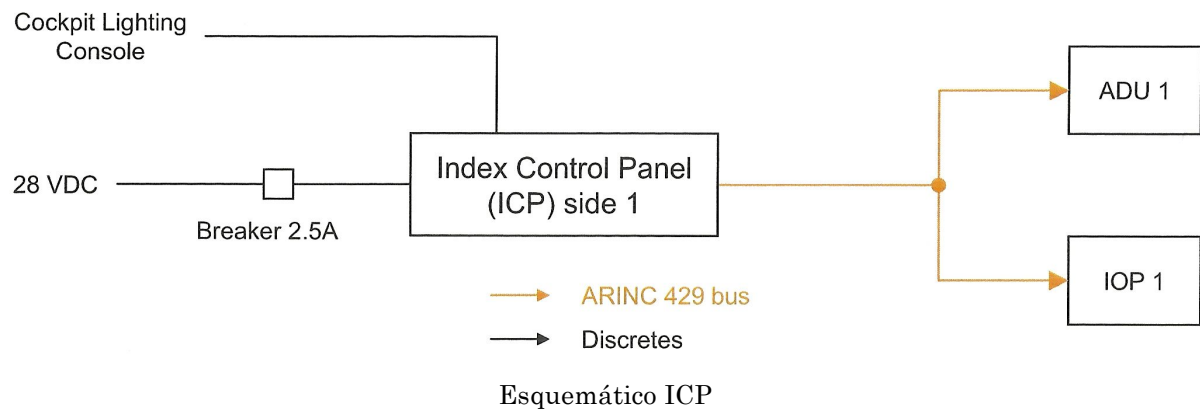
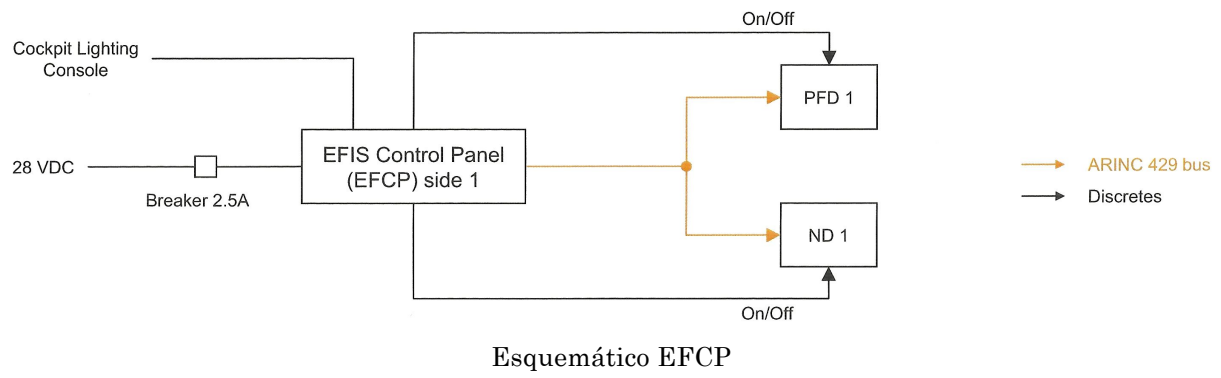
A.3 FDS



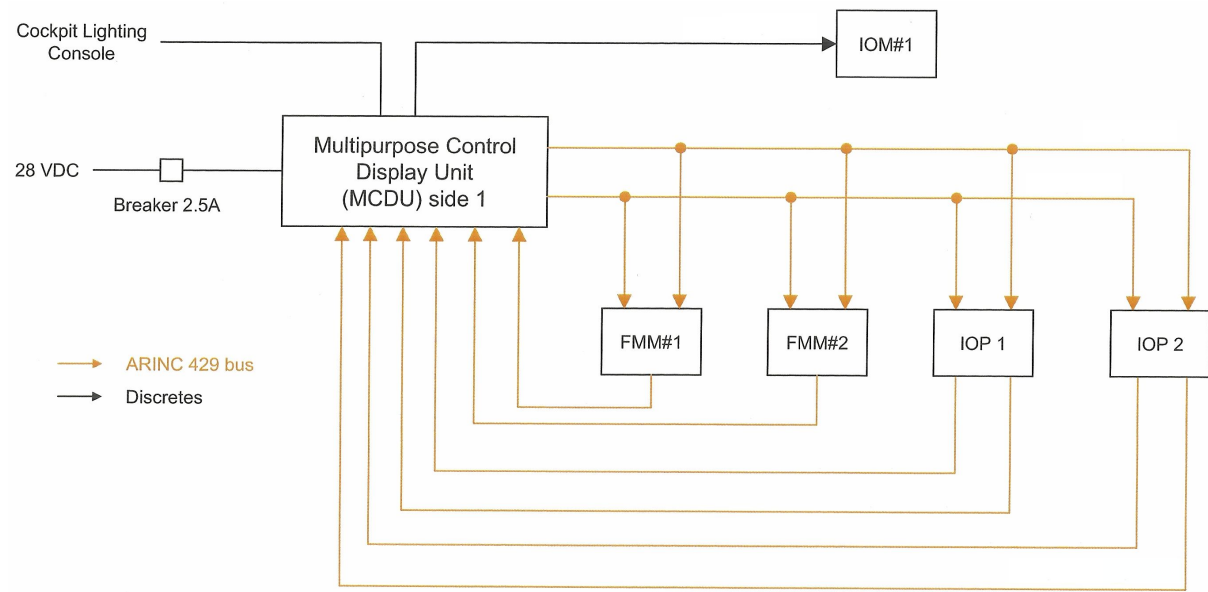
Esquemático do ND#1



Esquemático do ND#2

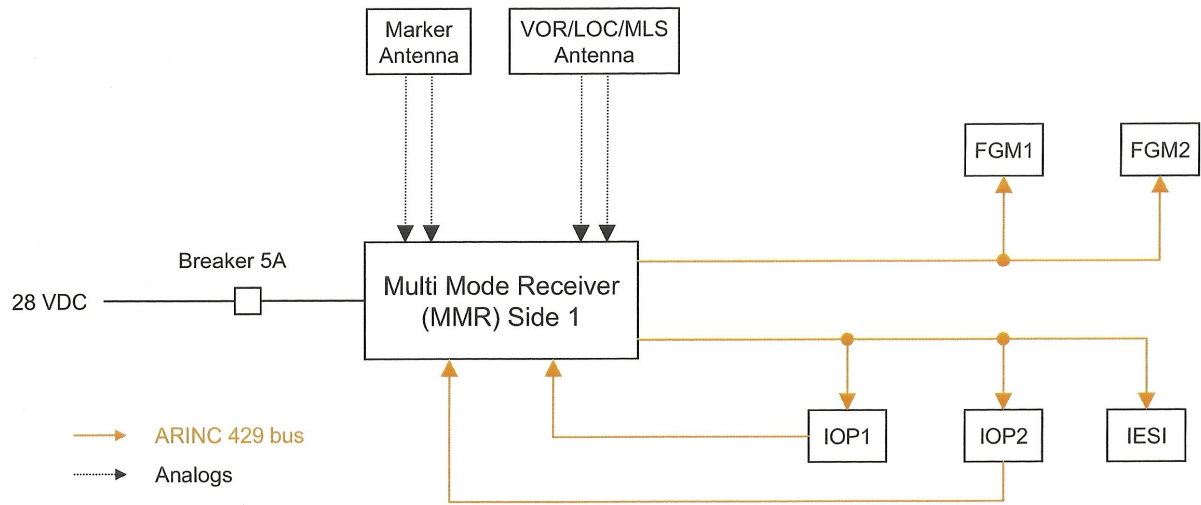


A.4 MCDU

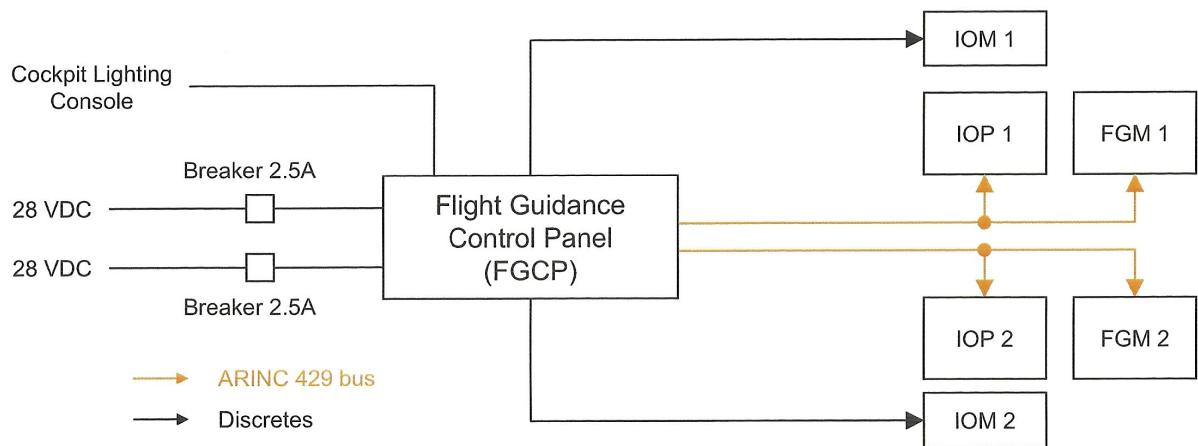


Esquemático MCDU

A.5 AFCS



Esquemático MMR



Esquemático FGCP

Anexo B. Ligações da placa USB 429

NAME	DESCRIPTION	PIN
IRIG	IRIG Signal	16
DIO00	Discrete I/O 00	39
DIO01	Discrete I/O 01	40
DIO02	Discrete I/O 02	41
DIO03	Discrete I/O 03	42
DIO04	Discrete I/O 04	43
DIO05	Discrete I/O 05	44
DIO06	Discrete I/O 06	30
DIO07	Discrete I/O 07	15
CH00P	ARINC 429 RCV CH00 (+)	2
CH00N	ARINC 429 RCV CH00 (-)	17
CH01P	ARINC 429 RCV CH01 (+)	3
CH01N	ARINC 429 RCV CH01 (-)	18
CH02P	ARINC 429 RCV CH02 (+)	4
CH02N	ARINC 429 RCV CH02 (-)	19
CH03P	ARINC 429 RCV CH03 (+)	5
CH03N	ARINC 429 RCV CH03 (-)	20
CH12P	ARINC 429 XMT CH12 (+)	31
CH12N	ARINC 429 XMT CH12 (-)	32
CH13P	ARINC 429 XMT CH13 (+)	33
CH13N	ARINC 429 XMT CH13 (-)	34
GND	Ground	1,14 29
RSVD	Reserved	6,7 8,9 10,11 12,13 21,22 23,24 25,26 27,28 35,36 37,38

Anexo C. *Labels* dos equipamentos do HIAS

C.1 Sistema ADS

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
034	<i>Baro Correction (mb) #3</i>
035	<i>Baro Correction (ins of Hg) #3</i>
203	<i>Altitude (1013.25mB)</i>
204	<i>Baro Corrected Altitude #1</i>
205	<i>Mach</i>
206	<i>Computed Airspeed</i>
207	<i>Max. Allowable Airspeed</i>
210	<i>True airspeed</i>
211	<i>Total Air Temperature</i>
212	<i>Altitude Rate</i>
213	<i>Static Air Temperature</i>
215	<i>Impacted Pressure, Uncorrected, mb</i>
217	<i>Static Pressure, Corrected (In. Hg)</i>
220	<i>Baro Corrected Altitude #2</i>
221	<i>Indicated Angle of Attack (Average)</i>
222	<i>Indicated Angle of Attack (#1 Left)</i>
223	<i>Indicated Angle of Attack (#1 Right)</i>
224	<i>Indicated Angle of Attack (#2 Left)</i>
225	<i>Indicated Angle of Attack (#2 Right)</i>
230	<i>True Airspeed</i>
231	<i>Total Air Temperature</i>
232	<i>Altitude Rate</i>
233	<i>Static Air Temperature</i>
234	<i>Baro Correction (mb) #1</i>
235	<i>Baro Correction (ins. Hg) #1</i>
236	<i>Baro Correction (mb) #2</i>
237	<i>Baro Correction (ins. Hg) #2</i>
241	<i>Corrected Angle of Attack</i>
242	<i>Total Pressure</i>
246	<i>Average Static Pressure</i>
251	<i>Baro Corrected Altitude #3</i>
252	<i>Baro Corrected Altitude #4</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
271	<i>Discrete Data #2</i>
350	<i>Maintenance Data #1</i>

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
351	<i>Maintenance Data #2</i>

C.2 Sistema AHRS

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
012	<i>Ground Speed</i>
014	<i>Magnetic Heading</i>
015	<i>Wind Speed</i>
053	<i>Track Angle - Magnetic</i>
056	<i>Wind Direction - Magnetic</i>
077	<i>Lateral Center of Gravity</i>
212	<i>Altitude Rate</i>
232	<i>Altitude Rate</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
271	<i>AHRS Discrete</i>
312	<i>Ground Speed</i>
315	<i>Wind Speed</i>
317	<i>Track Angle - Magnetic</i>
320	<i>Magnetic Heading</i>
321	<i>Drift Angle</i>
322	<i>Flight Path Angle</i>
323	<i>Flight Path Acceleration</i>
324	<i>Pitch Angle</i>
325	<i>Roll Angle</i>
326	<i>Body Pitch Rate</i>
327	<i>Body Roll Rate</i>
330	<i>Body Yaw Rate</i>
331	<i>Body Longitudinal Acceleration</i>
332	<i>Body Lateral Acceleration</i>
333	<i>Body Normal Acceleration</i>
334	<i>Platform Heading</i>
335	<i>Track Angle Rate</i>
336	<i>Inertial Pitch Rate</i>
337	<i>Inertial Roll Rate</i>
340	<i>Inertial Yaw Rate</i>
360	<i>Potential Vertical Speed</i>
361	<i>Altitude (Inertial)</i>
364	<i>Vertical Acceleration</i>
365	<i>Inertial Vertical Velocity (EFI)</i>

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
370	<i>g</i>
372	<i>Wind Direction - Magnetic</i>
373	<i>North-South Velocity - Magnetic</i>
374	<i>East-West Velocity - Magnetic</i>
375	<i>Along Heading Acceleration</i>
376	<i>Cross Heading Acceleration</i>

C.3 Sistema FMS

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
001	<i>Distance to Go</i>
002	<i>Time to Go</i>
003	<i>Cross Track Distance</i>
010	<i>Present Position - Latitude</i>
011	<i>Present Position - Longitude</i>
012	<i>Ground Speed</i>
013	<i>Track Angle - True</i>
015	<i>Wind Speed</i>
021	<i>Selected EPR / N1</i>
027	<i>TACAN Selected Course</i>
033	<i>ILS Frequency</i>
034	<i>VOR/ILS Frequency</i>
035	<i>DME Frequency</i>
036	<i>MLS Frequency</i>
037	<i>HF COM Frequency</i>
041	<i>Set Latitude</i>
042	<i>Set Longitude</i>
043	<i>Set Magnetic Heading</i>
056	<i>Estimated Time of Arrival</i>
061	<i>ACMS Information</i>
062	<i>ACMS Information</i>
063	<i>ACMS Information</i>
066	<i>Longitudinal Center of Gravity</i>
070	<i>Reference Airspeed (Vref)</i>
071	<i>Take-Off Climb Airspeed (V2)</i>
072	<i>VR (Rotation Speed)</i>
073	<i>V1 (Critical Engine Failure Speed)</i>
074	<i>Zero Fuel Weight</i>

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
075	<i>Gross Weight</i>
077	<i>Target Airspeed</i>
100	<i>Selected Course #1</i>
101	<i>Selected Heading</i>
102	<i>Selected Altitude</i>
103	<i>Selected Airspeed</i>
104	<i>Selected Vertical Speed</i>
105	<i>Selected Runway Heading</i>
106	<i>Selected Mach</i>
107	<i>Selected Cruise Altitude</i>
110	<i>Selected Course #2</i>
112	<i>Runway Length</i>
114	<i>Desired Track</i>
115	<i>Waypoint Bearing</i>
116	<i>Cross Track Distance</i>
117	<i>Vertical Deviation</i>
120	<i>Range to Altitude</i>
121	<i>Horizontal Command Signal</i>
122	<i>Vertical Command Signal</i>
123	<i>Throttle Command</i>
125	<i>Universal Time Coordinated (UTC)</i>
126	<i>Vertical Deviation (wide)</i>
127	<i>Selected Landing Altitude</i>
142	<i>Flight Director - Fast/Slow</i>
145	<i>TACAN Control</i>
150	<i>Universal Time Constant (UTC)</i>
151	<i>Localizer Bearing (True)</i>
153	<i>Maximum Altitude</i>
154	<i>Runway Heading (True)</i>
164	<i>Minimum Descent Altitude (MDA)</i>
167	<i>EPU Estimate Position Uncertainty/ (ANP)</i>
171	<i>RNP Required Navigation Performance</i>
200	<i>Drift Angle</i>
202	<i>Energy Management (clean)</i>
203	<i>Energy Management Speed Brakes</i>
204	<i>Utility Airspeed</i>
205	<i>HF COM Frequency (New Format)</i>
207	<i>HF Control Word</i>
211	<i>Total Air Temperature</i>
213	<i>Static Air Temperature</i>

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
217	<i>Geometric Vertical Rate</i>
225	<i>Min. Maneuvering Airspeed</i>
226	<i>Min. Op. Fuel Temp (non-conflicting)</i>
233	<i>ACMS Information</i>
234	<i>ACMS Information</i>
235	<i>ACMS Information</i>
236	<i>ACMS Information</i>
237	<i>ACMS Information</i>
241	<i>Min. Airspeed for Flap Extension</i>
245	<i>Minimum Airspeed</i>
246	<i>General Maximum Speed (VCMAX)</i>
247	<i>Control Minimum Speed (VCMIN)</i>
250	<i>Continuous N1 Limit</i>
251	<i>Distance to Go</i>
252	<i>Time to Go</i>
253	<i>Go-Around N1 Limit</i>
254	<i>Cruise N1 Limit</i>
255	<i>Climb N1 Limit</i>
256	<i>Time for Climb</i>
257	<i>Time for Descent</i>
260	<i>Date/Flight Leg</i>
261	<i>Flight Number</i>
262	<i>Documentary Data</i>
263	<i>Minimum Airspeed for Flap Retraction</i>
264	<i>Time to Touchdown</i>
265	<i>Minimum Buffet Airspeed</i>
260	<i>Maximum Maneuver Airspeed</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
271	<i>Discrete Data #2</i>
272	<i>Discrete Data #3</i>
275	<i>Discrete Data #6</i>
276	<i>Discrete Data #7</i>
301	<i>Application Dependent</i>
302	<i>Application Dependent</i>
303	<i>Application Dependent</i>
310	<i>Present Position - Latitude</i>
311	<i>Present Position - Longitude</i>
312	<i>Ground Speed</i>
313	<i>Track Angle - True</i>
314	<i>Stabilizer Position Indication (B747-400)</i>

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
315	<i>Wind Speed</i>
316	<i>Wind Direction (True)</i>
317	<i>Track Angle - Magnetic</i>
321	<i>Drift Angle</i>
322	<i>Flight Path Angle</i>
323	<i>Geometric Altitude</i>
335	<i>Track Angle Rate</i>
336	<i>Maximum Climb Angle</i>
337	<i>EPR / N1 - Required for Level Flight</i>
341	<i>Target N1</i>
342	<i>N1 Bug Drive</i>
345	<i>NDB Effectivity</i>
354	<i>Maintenance Data #5</i>
357	<i>ISO Alphabet #5 Message</i>
360	<i>Flight Information</i>

C.4 Radio Altimeter System

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
164	<i>Radio Height</i>
165	<i>Radio Height</i>
166	<i>RALT Check Point Dev.</i>

C.5 Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS)

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
270	<i>GPWS Discrete</i>
350	<i>Maintenance Data #1</i>

C.6 Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
130	<i>Intruder Range</i>
131	<i>Intruder Altitude</i>
132	<i>Intruder Bearing</i>
203	<i>Own A/C Altitude</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
271	<i>Discrete Data #2</i>
272	<i>Discrete Data #3</i>
273	<i>Discrete Data #4</i>
274	<i>Discrete Data #5</i>
275	<i>Discrete Data #6</i>
320	<i>Own Aircraft Magnetic Heading</i>
347	<i>Antenna Control</i>
350	<i>Maintenance Data #1</i>
357	<i>TCAS Intruder Data File</i>

C.7 ADF System

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
032	<i>ADF Frequency</i>
162	<i>ADF Bearing</i>
242	<i>Ground Station ID (Word #1)</i>
244	<i>Ground Station ID (Word #2)</i>
254	<i>ADF Ground Station Ident Word #1</i>
255	<i>ADF Ground Station Ident Word #2</i>

C.8 VHF Navigation System

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
077	<i>Lateral Center of Gravity</i>
147	<i>TACAN Control</i>
171	<i>Manu. Specific Status Word</i>
172	<i>Subsystem Identifier</i>
214	<i>ICAO Aircraft Address (Part 1)</i>
216	<i>ICAO Aircraft Address (Part 2)</i>
226	<i>Data Loader Address Label</i>
243	<i>Simulator to Avionics Control Word</i>
277	<i>General Test Word</i>
300	<i>Data Loader Address Label</i>
355	<i>Acknowledgement</i>
356	<i>Maintenance ISO #5 Message</i>
360	<i>ACCESS Address Label</i>
365	<i>Engine Indication Unit Address Label</i>
374	<i>Cabin Terminal 1 Address Label</i>
375	<i>Cabin Terminal 2 Address Label</i>
376	<i>GPS Differential Correction Word B</i>

C.9 DME System

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
001	<i>Distance to Go</i>
002	<i>Time to Go</i>
012	<i>Ground Speed</i>
035	<i>DME Frequency</i>
201	<i>DME Distance</i>
202	<i>DME Distance</i>
242	<i>Ground Station ID (Word #1)</i>
244	<i>Ground Station ID (Word #2)</i>
246	<i>DME Ground Station Ident Word #1</i>
247	<i>DME Ground Station Ident Word #1</i>

C.10 Inertial Reference System (IRS)

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
010	<i>Present Position - Latitude</i>
011	<i>Present Position - Longitude</i>
012	<i>Ground Speed</i>
013	<i>Track Angle - True</i>
014	<i>Magnetic Heading</i>
015	<i>Wind Speed</i>
016	<i>Wind Direction - True</i>
041	<i>Set Latitude</i>
042	<i>Set Longitude</i>
043	<i>Set Magnetic Heading</i>
044	<i>True Heading</i>
052	<i>Body Pitch Acceleration</i>
053	<i>Body Roll Acceleration</i>
054	<i>Body Yaw Acceleration</i>
200	<i>Drift Angle</i>
212	<i>Altitude Rate</i>
232	<i>Altitude Rate</i>
265	<i>Integrated Vertical Acceleration</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
277	<i>IRS Maintenance Discrete</i>
310	<i>Present Position - Latitude</i>
311	<i>Present Position - Longitude</i>
312	<i>Ground Speed</i>
313	<i>Track Angle - True</i>
314	<i>True Heading</i>
315	<i>Wind Speed</i>
316	<i>Wind Angle</i>
317	<i>Track Angle - Magnetic</i>
320	<i>Magnetic Heading</i>
321	<i>Drift Angle</i>
322	<i>Flight Path Angle</i>
323	<i>Flight Path Acceleration</i>
324	<i>Pitch Angle</i>
325	<i>Roll Angle</i>
326	<i>Body Pitch Rate</i>
327	<i>Body Roll Rate</i>
330	<i>Body Yaw Rate</i>

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
331	<i>Body Longitudinal Acceleration</i>
332	<i>Body Lateral Acceleration</i>
333	<i>Body Normal Acceleration</i>
334	<i>Platform Heading</i>
335	<i>Track Angle Rate</i>
336	<i>Inertial Pitch Rate</i>
337	<i>Inertial Roll Rate</i>
340	<i>Inertial Yaw Rate</i>
341	<i>Grid Heading</i>
350	<i>IRS Maintenance Discrete</i>
360	<i>Potential Vertical Speed</i>
361	<i>Altitude (Inertial)</i>
362	<i>Along Track Horizontal Acceleration</i>
363	<i>Cross Track Acceleration</i>
634	<i>Vertical Acceleration</i>
365	<i>Inertial Vertical Velocity (EFI)</i>
366	<i>North-South Velocity</i>
367	<i>East-West Velocity</i>
370	<i>g</i>
375	<i>Along Heading Acceleration</i>
376	<i>Cross Heading Acceleration</i>

C.11 GPS System

<i>Label</i>	Nome do parâmetro
061	<i>Pseudo Range</i>
062	<i>Pseudo Range Fine</i>
063	<i>Range Rate</i>
064	<i>Delta Range</i>
065	<i>SV Position X</i>
066	<i>SV Position X Fine</i>
070	<i>SV Position Y</i>
071	<i>SV Position Y Fine</i>
072	<i>SV Position Z</i>
073	<i>SV Position Z Fine</i>
074	<i>UTC Measure Time</i>
075	<i>Geodetic Altitude</i>

<i>Label</i>	<i>Nome do parâmetro</i>
076	<i>GNSS Altitude (MSL)</i>
077	<i>GPS Hor/Vert Deviation</i>
101	<i>HDOP</i>
102	<i>VDOP</i>
103	<i>GNSS Track Angle</i>
110	<i>GNSS Latitude</i>
111	<i>GNSS Longitude</i>
112	<i>GNSS Ground Speed</i>
116	<i>Horizontal GLS Deviation Rectilinear</i>
117	<i>Vertical GLS Deviation Rectilinear</i>
120	<i>GNSS Latitude Fine</i>
121	<i>GNSS Longitude Fine</i>
124	<i>Digital Time Mark</i>
125	<i>Universal Time Coordinated (UTC)</i>
130	<i>Aut Horiz Integ Limit</i>
133	<i>Aut Horiz Integ Limit</i>
136	<i>Vertical Figure of Merit</i>
140	<i>UTC Fine</i>
141	<i>UTC Fine Fractions</i>
142	<i>UTC Fine Fractions</i>
150	<i>Universal Time Constant (UTC)</i>
165	<i>Vertical Velocity</i>
166	<i>North/South Velocity</i>
174	<i>East/West Velocity</i>
237	<i>Horizontal Uncertainty Level</i>
247	<i>Horizontal Figure of Merit</i>
260	<i>Date</i>
270	<i>Discrete Data #1</i>
273	<i>GNSS Sensor Status</i>
350	<i>GPS Test Word (manufacturer specific)</i>
351	<i>SRU Test Word (manufacturer specific)</i>
355	<i>GNSS Fault Summary</i>
370	<i>GNSS Height WGS-84 (HAE)</i>

Anexo D. Listagem de barramentos

D.1 Barramentos ADU

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
ADU#1-1	ND#1	FP2	FP2A*-J1	15	24
	PFD#1	FP1	FP1A*-J1	15	24
	ADU#1	FJ1	FJ1A*-J1	17	50
	IRS/GPS#1	TN1	TN1B*-J32	115	116
ADU#1-2	ADU#1	FJ1	FJ1A*-J1	16	49
	FGM#1	UH14	UH14C*-P14C	#1-7	#1-8
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#2-29	#2-28
	AHRU#1	FG1	FG1A*W-A	A2	A7
ADU#1-3	FDAU	RX3	RX3A*-TP	J4	K4
	E.E.C. (LH)-	KB5	KB5A*	S	T
	ADU#1	FJ1	FJ1A*-J1	15	48
	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	11A	11B
ADU#1-4	PFD#2	FP3	FP3A*-J1	F	G
	ND#2	FP4	FP4A*-J1	F	G
	ADU#1	FJ1	FJ1A*-J1	14	47
ADU#1-5	ADU#1	FJ1	FJ1A*-J1	13	46
	FGM#2	UH24	UH24A*-P24A	#1-29	#1-2
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#2-29	#2-28
	AHRU#2	FG2	FG2AQ*W-D	D18	D13
ADU#2-1	PFD#2	FP3	FP3A*-J1	15	24
	ADU#2	FJ2	FJ2A*-J1	17	50
	ND#2	FP4	FP4A*-J1	15	24
	IRS/GPS#2	TN2	TN2B*-J32	115	116
ADU#2-2	ADU#2	FJ2	FJ2A*-J1	16	49
	FGM#2	UH24	UH24C*-P24C	#1-7	#1-8
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#1-17	#1-16
	AHRU#2	FG2	FG2AQ*W-A	A2	A7
ADU#2-3	FDAU	RX3	RX3A*-TP	A5	B5
	DASU	MP4	MP4B*	84	83
	ADU#2	FJ2	FJ2A*-J1	15	48
	E.E.C. (RH)-	KB6	KB6A*	S	T
	EGPWS	UB1	UB1A*-TP	8C	8D
ADU#2-4	ADU#2	FJ2	FJ2A*-J1	14	47
	ND#1	FP2	FP2A*-J2	F	G
	PFD#1	FP1	FP1A*-J2	F	G

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
ADU#2-5	ADU#2	FJ2	FJ2A*·J1	13	46
	FGM#1	UH14	UH14A*·P14A	#1-29	#1-28
	IOP#1	UH13	UH13A*·P13A	#1-17	#1-16
	AHRU#1	FG1	FG1A*W-D	D18	D13

D.2 Barramentos AHRS

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
AHRU#1-1	PFD#1	FP1	FP1A*-J1	8	16
	ND#1	FP2	FP2A*-J1	8	16
	AHRU#1	FG1	FG1A*W-A	A3	A8
AHRU#1-2	FDAU	RX3	RX3A*-TP	G5	H5
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-21	#3-22
	FGM#2	UH24	UH24A*-P24A	#2-13	#2-14
	AHRU#1	FG1	FG1A*W-D	D17	D12
AHRU#1-3	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-21	#3-22
	FGM#1	UH14	UH14C*-P14C	#2-23	#2-22
	AHRU#1	FG1	FG1A*W-C	C5	C10
AHRU#1-4	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	12A	12B
AHRU#2-1	PFD#2	FP3	FP3A*-J1	8	16
	ND#2	FP4	FP4A*-J1	8	16
	AHRU#2	FG2	FG2A*W-A	A3	A8
AHRU#2-2	FDAU	RX3	RX3A*-TP	J5	K5
	DASU	MP4	MP4B*	19	11
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#2-20	#2-21
	FGM#1	UH14	UH14A*-P14A	#2-13	#2-14
	AHRU#2	FG2	FG2A*W-D	D17	D12
AHRU#2-3	AHRU#2	FG2	FG2A*W-A	C5	C10
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#2-20	#2-21
	FGM#2	UH24	UH24C*-P24C	#2-23	#2-22
AHRU#2-4	EGPWS	UB1	UB1A*-TP	5A	6A

D.3 Barramentos DME

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
DME-1	DME-1	RN9	RN9A*	31	30
	DME-1	RN9	RN9A*	39	38
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#4-24	#4-25
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#4-24	#4-25
DME-2	DME	RN10	RN10B*	31	30
	DME	RN10	RN10B*	39	38
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#4-25	#4-26
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#4-25	#4-26

D.4 Barramentos EEC

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
EEC#1 LH ENG ARINC OUTPUT	DASU	MP4	MP4B* - J2	92	90
	FDAU	RX3	RX3A*-TP	C4	D4
	E.E.C. (LH)-410	KB5	KB5A*	AA	V
	E.P.C. (LH)-410	KC13	KC13B*	K*	H*
	ARTCU	CB37	CB37B*-J2	6	13
	ARTCU	CB37	CB37B*-J1	116	107
EEC#2 RH ENG ARINC OUTPUT	DASU	MP4	MP4B* - J2	89	80
	FDAU	RX3	RX3A*-TP	E4	F4
	E.E.C. (RH)-420	KB6	KB6A*	AA	V
	E.P.C. (RH)-420	KC14	KC14B*	K*	H*
	ARTCU	CB37	CB37B*-J2	45	68
	ARTCU	CB37	CB37B*-J1	84	96

D.5 Barramentos EGPWS

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
EGPWS	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	1C	1D
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#3-25	#3-24

D.6 Barramentos FGCP

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
FGCP#1-1	FGCP	CA8	CA8A-J1	13	14
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#1-13	#1-12
	FGM#1	UH14	UH14A*-P14A	#1-27	#1-26
FGCP#1-2	FGCP	CA8	CA8A-J2	13	14
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#1-3	#1-12
	FGM#2	UH24	UH24A*-P24A	#1-27	#1-26

D.7 Barramentos FMM

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
FMM#1-1	MCDU#1	UJ1	UJIA*	10	11
	FMP#1	UH16	UH16C*-P16C	#1-5	#1-4
FMM1-3	FMP#1	UH14	UH16C*-P16C	#1-9	#1-8
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-5	#3-6
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-5	#3-6
FMM#2-5	MCDU#1	UJ1	UJIA*	12	13
	FMP#2	UH26	UH26C*-P26C	#1-25	#1-24
FMM#2-7	FMP#2	UH26	UH26A*-P26A	#1-29	#1-28
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#4-3	#4-4
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#4-3	#4-4

D.8 Barramentos GAMA

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
GAMMA#1-1	ND#1	FP2	FP2A*-J1	46	47
	PFD#1	FP1	FP1A*-J1	46	47
	FMP#1	UH16	UH16C*-P16C	#1-7	#1-6
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-13	#3-14
	FGM#1	UH14	UH14C*-P14C	#1-9	#1-10
	UB1	UB1A*-MP	10C	10D	UB1
GAMA#1-2	FDAU	RX3	RX3A*-TP	C5	D5
	PFD#2	FP3	FP3A*-J1	46	47
	ND#2	FP4	FP4A*-J1	46	47
	FMP#1	UH16	UH16A*-P16A	#1-27	#1-26
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#3-13	#3-14
	FGM#2	UH24	UH24C*-P24C	#1-11	#1-12
GAMMA#2-1	PFD#2	FP3	FP3B*-J2	K*	T*
	ND#2	FP4	FP4B*-J2	K*	T*
	FMP#2	UH26	UH26C*-P26C	#1-7	#1-6
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#3-23	#3-22
	FGM#2	UH24	UH24C*-P24C	#1-9	#1-10
	PFD#2	FP3	FP3B*-J2	K*	T*
	UB1	UB1A*-TP	4A	4B	UB1
GAMA#2-2	FDAU	RX3	RX3A*-TP	E5	F5
	DASU	MP4	MP4B*	25	26
	ND#1	FP2	FP2B*-J2	K*	T*
	PFD#1	FP1	FP1B*-J2	K*	T*
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#3-23	#3-22
	FGM#1	UH14	UH14C*-P14C	#1-11	#1-12
	FMP#2	UH26	UH26A*-P26A	#1-27	#1-26

D.9 Barramentos IRS/GPS

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
IOP#1 GPDB GPS#1	FMP#2	UH26	UH26A*-P26A	#2-27	#2-28
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-11	#3-12
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-11	IOP#1
	FMP#1	UH14	UH16C*-P16C	#2-27	FMP#1
	FMP#2	UH26	UH26C*-P26C	#2-27	#2-28
IOP#2 GPDB GPS#2	FMP#2	UH26	UH26A*-P26A	#2-15	#2-16
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-31	#3-32
	FMP#1	UH16	UH16A*-P16A	#2-15	#2-16
	FMP#2	UH26	UH26A*-P26A	#2-13	#2-14
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#4-19	#4-20

D.10 Barramentos IOP

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
IOP#1-1	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#3-6	#3-7
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#4-15	#4-14
	FGM#2	UH24	UH24A*-P24A	#1-25	#1-24
IOP#1-2	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#2-33	#2-32
	TTC	UK1	UK1A*	33	34
	PFD#2	FP3	FP3A*-J1	77	86
	ND#2	FP4	FP4A*-J1	77	86
	ND#1	FP2	FP2A*-J1	77	86
	PFD#1	FP1	FP1A*-J1	77	86
	RELAY	SN28	SN28A	B3	A3
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#4-31	#4-32
IOP#1-5	FDAU	RX3	RX3A*-TP	C6	D6
	RALT#2	SA2	SA2A*-J1	3	4
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-27	#3-28
	RALT1	SA1	SA1A*-J1	3	4
	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	11C	11D
IOP#1-7	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	12C	12D
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#1-11	#1-12
IOP#2-1	MMR-2	RN2	RN2D*-TPJ7	101	102
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#4-15	#4-14
	FGM#1	UH14	UH14A*-P14A	#1-25	#1-24
	FGM#2	UH24	UH24C*-P24C	#2-27	#2-26
IOP#2-2	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#3-7	#3-6
	FDAU	RX3	RX3A*-TP		
	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#4-31	#4-32
	PFD#2	FP3	FP3B*-J2	Q*	P*
	ND#2	FP4	FP4B*-J2	Q*	P*
	TTC	UK1	UK1A*	35	36
	ND#1	FP2	FP2B*-J2	Q*	P*
	PFD#1	FP1	FP1B*-J2	Q*	P*
	RELAY	SN28	SN28A	B1	A1
IOP#2-5	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#2-33	#2-32
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-27	#3-28
	RALT1	SA1	SA1A*-J1	5	6
	RALT#2	SA2	SA2A*-J1	5	6
	EGPWS	UB1	UB1A*-TP	5C	5D
	EGPWS	UB1	UB1A*-TP	11C	11D

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
IOP#2-6	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-9	#3-10
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-9	#3-10
IOP#2-7	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#1-11	#1-12
	MMR-2	RN2	RN2D*-TPJ7	103	104

D.11 Barramentos RALT

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
RALT#1	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#3-19	#3-20
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#3-19	#3-20
	RALT#1	SA1	SA1A*-J1	9	10
	EGPWS	UB1	UB1A*-MP	10A	10B
RALT#2	IOP#2	UH23	UH23A*-P23A	#3-13	#3-12
	IOP#1	UH13	UH13A*-P13A	#3-13	#3-12
	RALT#2	SA2	SA2A*-J1	9	10
	EGPWS	UB1	UB1A*-TP	8A	8B

D.12 Barramentos ADF

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
OUTPUT A ARINC 429	ADF-1	RD1	RD1A*	18	21
	IOP#2	UH23	UH23C*-P23C	#4-16	#4-17
	ADF-2	RD2	RD2A*	18	21
OUTPUT B ARINC 429	ADF-1	RD1	RD1A*	26	27
	IOP#1	UH13	UH13C*-P13C	#4-16	#4-17
	ADF-2	RD2	RD2A*	26	27

D.13 Barramentos TCAS

BUS	LRU	FIN	PLUG	PIN H	PIN L
TA-RA DISPLAY#1 ARINC 429	IOP#1	UH1	UH13C*-P13C	#4-27	#4-26
TA-RA DISPLAY#2 ARINC 429	IOP#2	UH2	UH23C*-P23C	#4-27	#4-26