

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E  
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

DENNIEL SANCHO ZORZAL ROSSI

**MODELO DE USO DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO DO  
CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2015

DENNIEL SANCHO ZORZAL ROSSI

**MODELO DE USO DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO DO  
CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de “Mestre em Ciências” – Área de Concentração: Telecomunicações e Redes.

Orientador: Mauro Fonseca

Co-orientadora: Anelise Munaretto

**CURITIBA**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

R831m Rossi, Denniel Sancho Zorzal  
2015 Modelo de uso dos canais de comunicação do controle de  
tráfego aéreo / Denniel Sancho Zorzal Rossi.-- 2015.  
75 f. : il. ; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica  
e Informática Industrial, Curitiba, 2015  
Bibliografia: f. 67-68

1. Cindacta II. 2. Controle do tráfego aéreo. 3. Aviônica. 4.  
Sistemas de telecomunicação. 5. Rádio de ondas curtas - Brasil.  
6. Engenharia elétrica - Dissertações. I. Fonseca, Mauro Sérgio  
Pereira, orient. II. Munaretto, Anelise Melzer, coorient. III. Univer-  
sidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Gra-  
duação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Títu-  
lo.

CDD: Ed. 22 -- 621.3

---

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Título da Dissertação Nº. \_\_\_\_\_

# **Modelo de Uso dos Canais de Comunicação do Controle de Tráfego Aéreo**

por

**Denniel Sancho Zorzal Rossi**

**Orientador: Prof. Dr. Mauro Sérgio Pereira Fonseca**  
**Coorientadora: Profa. Dra. Anelise Munaretto Fonseca**

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Telecomunicações e Redes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, às 10:00h do dia 06 de novembro de 2015. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores doutores:

---

Prof. Dr. Mauro Sérgio Pereira Fonseca  
(Presidente – UTFPR)

---

Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso  
(UFPR)

---

Prof. Dr. Ricardo Luders  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

---

Prof. Dr. Emilio Carlos Gomes Wille  
(Coordenador do CPGEI)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa

À Caroline, ao Davi e à Júlia, por personificarem o meu desejo por esta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus professores e orientadores Anelise e Mauro, pela confiança, atenção e entusiasmo com os quais conduziam este trabalho. Ao Comando da Aeronáutica, nas pessoas do Cel Vital e Cel Fonseca, pelas oportunidades de me desenvolver profissionalmente. À minha família e meus amigos, pelo apoio e incentivo.

O método científico é o analgésico do processo de tomada de decisão.

## RESUMO

Rossi, Denniel. MODELO DE USO DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO DO CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO. 76 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O conhecimento sobre o perfil de uso dos meios de comunicação utilizados pelo serviço de controle de tráfego aéreo pode subsidiar o dimensionamento de redes de telecomunicação destinadas ao transporte de sinais de voz entre órgãos de controle de tráfego aéreo e estações remotas de VHF. O dimensionamento correto dessas redes destina-se a relacionar a capacidade dos circuitos com a probabilidade de sucesso das comunicações entre controlador de tráfego aéreo e aeronaves, fator fundamental para a manutenção da segurança operacional das atividades de controle de tráfego aéreo. O conhecimento sobre esse perfil de uso, por sua vez, foi alcançado através de estudos estatísticos realizados sobre uma massa de dados relacionada à utilização do chamado Serviço Móvel Aeronáutico, que é o recurso utilizado por controladores de tráfego aéreo e pilotos em aeronaves controladas para a troca de mensagens de voz, através do qual as instruções de controle de tráfego aéreo são passadas. Essa massa de dados estudada foi resultado da aplicação de uma metodologia que processou centenas de horas de gravação do Serviço Móvel Aeronáutico prestado pelo CINDACTA II, entre os dias 14 de dezembro de 2014 e 03 de janeiro de 2015, a qual foi organizada em função da taxa de ocupação do meio de comunicação e analisada no sentido de identificar as dinâmicas de distribuição do uso do Serviço Móvel Aeronáutico. Como resultado, obteve-se que parte das dinâmicas que regem a ocupação desse serviço pode ser representada por curvas de distribuição conhecidas, como weibull e lognormal, associadas a modelos de transição.

**Palavras-chave:** Controle de Tráfego Aéreo, Modelo de voz, Serviço Móvel Aeronáutico



## ABSTRACT

Rossi, Denniel. USAGE MODEL OF THE AIR TRAFFIC CONTROL COMMUNICATION CHANNELS. 76 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The knowledge about the usage of the communications resources used by the air traffic service provider can be useful to design the networks needed to transport voice signal between the air traffic provider and remote radio station. The accurate design of those networks, in the other hand, should offer an association between the network instant capacity and the rate of communication success in any controller's tries to communicate with the aircrafts. This rate of communication success is a parameter that indicates how safe is the air traffic activity, in term of communication between the air traffic controller and the aircrafts, and it must be monitoring to guarantee the operational safety. So, the knowledge of interesting was achieved analysing data related to the use of Aeronautical Mobile Service, which is the resource used by air traffic controller and aircraft to exchange voice messages of air traffic service. Those data were the results of a methodology that processed hundred of hours of records of the Aeronautical Mobile Service provided by the CINDACTA II, between 14/12/2014 and 03/01/2015, which were sorted by the percent of engagement time and analysed to identify any distribution function that could represent the way the Aeronautical Mobile Service is used. As a result, this study indentified that this usage can be depicted by some typical probability density function, like Weibull and Lognormal, combined with transitional chain.

**Keywords:** Air Traffic Controller, Voice model, Aeronautical Mobile Service

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Estrutura operacional genérica definida pela ICAO para o provimento do SMA, compreendendo as regiões de responsabilidade dos 3 órgãos de controle de tráfego aéreo (TWR, APP e ACC) e a suas disposições quando prestando serviço a um tráfego. ....	20
FIGURA 2	– Comunicação por rádio difusão em VHF-AM para o provimento do Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) entre aeronave(s) e estação em terra de órgãos de controle de tráfego aéreo. ....	21
FIGURA 3	– Disposição das regiões de responsabilidade de tráfego aéreo dos 5 ACC existentes no Brasil. ....	22
FIGURA 4	– Disposição dos 12 setores de tráfego aéreo do ACC-CW. ....	23
FIGURA 5	– Distribuição de estações remotas em <i>clímax</i> para o fornecimento do SMA no setor 7 do ACC-CW, acompanhada do contorno do setor (polígono vermelho) e dos diagramas de cobertura teóricos das estações VHF-AM que compõem o <i>clímax</i> . ....	24
FIGURA 6	– Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “ <i>throwaway time</i> ”. ....	28
FIGURA 7	– Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “ <i>fill-in time</i> ”. ....	28
FIGURA 8	– Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “ <i>hangover</i> ”. ....	29
FIGURA 9	– Modelo de transição de 2 estados, representando os períodos de presença e ausência de áudio da dinâmica de sinais de voz e conversações. ....	31
FIGURA 10	– Modelo de transição de $n$ - estados, expandindo o modelo para a diferenciar as sessões de transmissão. ....	31
FIGURA 11	– Modelo de transição de 3, trazendo uma simplificação do modelo de $n$ - estados. ....	31
FIGURA 12	– Evidência do desvio de sincronismo que ocorre entre os conteúdos de dois arquivos <code>.wav</code> . ....	38
FIGURA 13	– Desvio de sincronismo ocorrido entre os conteúdos de dois arquivos <code>.wav</code> . ....	40
FIGURA 14	– Critério para que um trecho seja considerado proveniente de uma aeronave. ....	41
FIGURA 15	– Histograma da distribuição da taxa de ocupação dos arquivos <code>.wav</code> antes da aplicação das técnicas <i>throwaway time</i> e <i>fill-in time</i> . ....	44
FIGURA 16	– Histograma da distribuição da taxa de ocupação dos arquivos <code>.wav</code> após a aplicação das técnicas <i>throwaway time</i> e <i>fill-in time</i> . ....	45
FIGURA 17	– Modas e Desvios encontrados na massa de dados disponível. As linhas azuis são os mesmos dados ordenados. ....	46
FIGURA 18	– Trechos de transmissão dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%. ....	49
FIGURA 19	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando as transmissões dos ATCO no canal 1. ....	50
FIGURA 20	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando as transmissões dos ATCO no canal 2. ....	50
FIGURA 21	– Trechos de silêncio dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35%	

	e 65-70%. . . . .	51
FIGURA 22	– Trechos de silêncio dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%, até o valor de 3 s. . . . .	51
FIGURA 23	– Evolução do índice de convergência do silêncio dos ATCO, entre 700 ms e 4500 ms em passos de 200 ms. . . . .	52
FIGURA 24	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal, representando os trechos longos de silêncio dos ATCO no canal 1, a partir de 2300 ms. . . . .	53
FIGURA 25	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de silêncio dos ATCO no canal 1, até 2300 ms. . . . .	53
FIGURA 26	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal, representando os trechos longos de silêncio dos ATCO no canal 2, a partir de 2300 ms. . . . .	54
FIGURA 27	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de silêncio dos ATCO no canal 2, até 2300 ms. . . . .	54
FIGURA 28	– Probabilidade do silêncio do ATCO ser breve ou longo, para o canal 1 e 2. . . . .	55
FIGURA 29	– Modelo do comportamento dos ATCO, representando as dinâmicas de transmissão e silêncio no canal 1. . . . .	55
FIGURA 30	– Trechos de transmissão das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%. . . . .	56
FIGURA 31	– Evolução do índice de convergência das transmissões da aeronave, entre 300 ms e 2100 ms em passos de 200 ms. . . . .	57
FIGURA 32	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos longos de transmissão das aeronaves no canal 1, a partir de 1000 ms. . . . .	57
FIGURA 33	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de transmissão das aeronaves no canal 1, até 1000 ms. . . . .	58
FIGURA 34	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos longos de transmissão das aeronaves no canal 2, a partir de 1000 ms. . . . .	58
FIGURA 35	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos intermediários de transmissão das aeronaves no canal 2, até 1000 ms. . . . .	58
FIGURA 36	– Probabilidade da transmissão das aeronaves ser intermediária ou longa, para o canal 1 e 2. . . . .	59
FIGURA 37	– Trechos de silêncio das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%. . . . .	59
FIGURA 38	– Trechos de silêncio das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%, até o valor de 3 s. . . . .	60
FIGURA 39	– Evolução do índice de convergência do silêncio das aeronaves, entre 700 ms e 4500 ms em passos de 200 ms. . . . .	60
FIGURA 40	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal que representa o silêncio da aeronave no canal 1, a partir de 2100 ms. . . . .	61
FIGURA 41	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull que representa o silêncio da aeronave no canal 1, antes de 2100 ms. . . . .	61
FIGURA 42	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal que re-	

	presenta o silêncio da aeronave no canal 2, a partir de 1900 ms. ....	61
FIGURA 43	– Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull que representa o silêncio do aeronave no canal 2, antes de 1900 ms. ....	62
FIGURA 44	– Probabilidade do silêncio da aeronave ser curto ou longo, para o canal 1 e 2. ....	62
FIGURA 45	– Modelo do comportamento das aeronaves, representando as dinâmicas de transmissão e silêncio no canal 1. ....	63
FIGURA 46	– Modas e Desvios encontrados para o setor 01. ....	69
FIGURA 47	– Modas e Desvios encontrados para o setor 02. ....	69
FIGURA 48	– Modas e Desvios encontrados para o setor 03. ....	70
FIGURA 49	– Modas e Desvios encontrados para o setor 04. ....	70
FIGURA 50	– Modas e Desvios encontrados para o setor 05. ....	70
FIGURA 51	– Modas e Desvios encontrados para o setor 07. ....	71
FIGURA 52	– Modas e Desvios encontrados para o setor 08. ....	71
FIGURA 53	– Modas e Desvios encontrados para o setor 09. ....	71
FIGURA 54	– Modas e Desvios encontrados para o setor 11. ....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Valores de frequências designadas para os canais Primário e Secundário dos 12 setores do ACC-CW. ....	24
TABELA 2	– Diretórios de armazenamento das gravações do SMA prestado pelos Setores do ACC-CW. ....	34
TABELA 3	– Média e Desvio Padrão dos desvios de sincronismos incidentes sobre os pares de arquivos com períodos de gravação coincidentes. ....	46
TABELA 4	– Número de trechos reunidos nas faixas de agrupamento de dados, para cada evento de interesse. ....	48
TABELA 5	– Dados sobre o Silêncio das Aeronaves no Canal 1 ....	73
TABELA 6	– Dados sobre o Silêncio das Aeronaves no Canal 2 ....	73
TABELA 7	– Dados sobre o Silêncio dos ATCO no Canal 1 ....	74
TABELA 8	– Dados sobre o Silêncio dos ATCO no Canal 2 ....	74
TABELA 9	– Dados sobre a Transmissão das Aeronaves no Canal 1 ....	74
TABELA 10	– Dados sobre a Transmissão das Aeronaves no Canal 2 ....	75
TABELA 11	– Dados sobre a Transmissão dos ATCO no Canal 1 ....	75
TABELA 12	– Dados sobre a Transmissão dos ATCO no Canal 2 ....	75

## LISTA DE SIGLAS

ACC	<i>Area Control Centre</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
APP	<i>Approach Control</i>
ATCO	<i>Air Traffic Controller</i>
CINDACTA	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
CNS/ATM	<i>Communication, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
PTT	<i>Push-To-Talk</i>
TS	<i>Time Slot</i>
TWR	<i>Tower – Aerodrome Control</i>
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SMA	Serviço Móvel Aeronáutico
VHF	<i>Very High Frequency</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	17
1.2 OBJETIVO GERAL .....	17
1.2.1 Objetivo Principal .....	17
1.2.2 Objetivos Específicos .....	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
<b>2 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>19</b>
2.1 SOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA O FORNECIMENTO DO SMA .....	20
2.2 ABRANGÊNCIA OPERACIONAL DE UM ACC .....	21
2.3 <i>MODUS OPERANDI</i> DOS ÓRGÃOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO ...	25
2.4 REGISTRO DAS MENSAGENS DE COORDENAÇÃO .....	26
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1 ETAPA 01: INICIALIZA AMBIENTE .....	35
4.2 ETAPA 02: GERA TRECHOS .....	36
4.3 ETAPA 03: APLICA TÉCNICAS .....	37
4.4 ETAPA 04: CALCULA TRECHOS .....	37
4.5 ETAPA 05: ANALISA DESVIOS .....	39
4.6 ETAPA 06: IDENTIFICA LOCUTOR .....	40
4.7 ETAPA 07: PRECISÃO DOS IDENTIFICADORES .....	42
4.8 ETAPA 08: ORGANIZA DADOS .....	42
4.9 ETAPA 09: BANCO DE DADOS .....	42
4.10 ETAPA 10: APRESENTAÇÃO DE GRÁFICOS .....	43
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
5.1 COMPORTAMENTO DOS ATCO .....	49
5.1.1 Transmissão dos ATCO (Canal 1 e 2) .....	49
5.1.2 Silêncio dos ATCO (Canal 1 e 2) .....	51
5.2 COMPORTAMENTO DA AERONAVE .....	55
5.2.1 Transmissão da aeronave (Canal 1 e 2) .....	55
5.2.2 Silêncio da aeronave (Canal 1 e 2) .....	59
5.3 VALIDAÇÃO DOS MODELOS .....	63
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>
<b>Apêndice A – MODAS E DESVIOS DE SINCRONISMOS ENTRE OS PARES DE</b> <b>ARQUIVOS .WAV.</b> .....	<b>69</b>
<b>Apêndice B – PARÂMETROS OBTIDOS DAS AMOSTRAS E DAS CURVAS DE</b> <b>DISTRIBUIÇÃO DEFINIDAS PARA CADA EVENTO.</b> .....	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Convenção Internacional da Aviação Civil, realizada na cidade de Chicago na data de 7 de dezembro de 1944, estabeleceu uma legislação internacional para o desenvolvimento seguro e sistemático da aviação civil em todo o mundo. Naquela época, mesmo no cenário pós-guerra, diversos segmentos da aviação civil (sociedade, companhias aéreas, indústria, etc.) pressionavam as autoridades internacionais por uma ampliação na regulamentação da atividade aérea, visando uma maior segurança operacional para os voos domésticos e internacionais pelo globo.

A Convenção foi promulgada pelo Estado Brasileiro no âmbito nacional (BRASIL, 1946), importando o compromisso pelo cumprimento da legislação na região de responsabilidade do Brasil.

Dentre as regulamentações definidas, os 5 volumes do chamado Anexo 10 da ICAO (ICAO, 1996) tratam dos requisitos de comunicação para o fornecimento de serviços relacionados ao tráfego aéreo. E, em função do elevado grau de segurança operacional pretendido pela Convenção para as atividades aéreas em todo o mundo, os requisitos desse Anexo são conhecidamente conservadores, no sentido de não permitir que a segurança das atividades aéreas possa ser comprometida pela falta ou escassez de recursos de comunicação para os órgãos prestadores dos serviços de tráfego aéreo.

Quanto aos serviços de tráfego aéreo, o de maior importância é o chamado Serviço Móvel Aeronáutico (SMA), que se destina a fornecer um meio de comunicação de voz entre o controlador de tráfego aéreo (*Air Traffic Controller* – ATCO, operando a partir de um órgão de controle de tráfego aéreo) e as aeronaves que trafegam em determinado espaço aéreo (denominadas “tráfego”). O SMA é utilizado para o envio de instruções vocalizadas pelo ATCO para os tráfegos sob seu controle, instruindo-os quanto aos procedimentos de navegação e separação de tráfegos conflitantes, por exemplo. Segundo a Convenção de Chicago, esse serviço deve utilizar recursos exclusivos de comunicação, ou seja, deve ser priorizado de modo que se tenham alta probabilidade de sucesso em qualquer tentativa de comunicação do ATCO com os tráfegos sob



seu controle.

No entanto, desde a Convenção de Chicago, as referências tecnológicas disponíveis para o transporte de sinais de voz evoluíram, e hoje convergem para o uso de redes estatísticas, como a *ethernet* e o MPLS. Essas tecnologias, inexistentes àquela época, ainda são evitadas pelos órgãos reguladores em função da falta de previsão normativa para o seu uso no contexto do tráfego aéreo e da inexistência de práticas consolidadas de uso de redes com possibilidade de descarte de pacotes para o provimento de serviços críticos desse contexto (como o SMA). Além desses motivos, a previsão de descarte de pacotes representa a diminuição da probabilidade de sucesso na comunicação entre ATCO e aeronaves, o que sugere a diminuição da segurança das operações aéreas. Tais circunstâncias desmotivaram o uso de novas tecnologias, consolidando as redes determinísticas para o provimento dos serviços de tráfego aéreo mais críticos.

Com o passar do tempo e a influência das leis de mercado, no entanto, as redes determinísticas perderam espaço para as redes estatísticas, tornando-as mais escassas e mais onerosas. Esse movimento vem impondo custos cada vez mais elevados para as operações do tráfego aéreo, o que vem incentivando a atualização das normas que regem as comunicações utilizadas nos serviços de tráfego aéreo em todo o mundo.

Além da preocupação quanto à rede de transporte de sinais de voz a ser utilizada, também há de registrar os esforços da comunidade internacional no sentido de explorar novas aplicações para os serviços de tráfego aéreo, como o envio de mensagens de texto em substituição às mensagens vocalizadas, por exemplo. Nesse sentido, trabalhos como o de BRETMERSKY et al. (2004) e o de MONTICONE et al. (2006) já analisam tráfegos de mensagens de texto em substituição aos meios de comunicação convencionais. ZHOU et al. (2012) se ocupam de estudar as limitações físicas dos meios convencionais, mencionando que potência econômica busca novas aplicações para superar essas limitações. Esses esforços, sintetizados pela sigla CNS/ATM (*Communication, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management*) buscam obter benefícios operacionais e econômicos, como a diminuição da informação a ser transportada e o aumento da efetividade da comunicação (maior chance de compreensão das mensagens) (BRASIL, 2002).

No entanto, apesar dos esforços para o uso de novas aplicações, sabe-se que os meios convencionais permanecerão em uso até que as novas aplicações se consolidem, fato que ratifica o interesse pela utilização de novas tecnologias de transporte de sinais de voz para aplicações como o SMA.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Diante do cenário apresentado, diversos órgãos reguladores do tráfego aéreo passaram a cogitar a utilização de redes estatísticas para o transporte de sinais de voz do SMA (EIER; KAMPICHLER, 2010), condicionando a transferência da plataforma de comunicação ao pleno controle do desempenho das aplicações carregadas na futura rede, com especial interesse pelo acompanhamento do desempenho de aplicações críticas, já que estas estão diretamente relacionadas à segurança operacional dos serviços de tráfego aéreo.

Com a condicionante presente, o conhecimento científico sobre as características de utilização do SMA pode subsidiar o dimensionamento de uma rede de comunicação de natureza estatística que seja capaz de suportar esse serviço crítico, independente da codificação ou compactação a ser utilizada para o transporte dos sinais. Tal conhecimento auxiliaria a definição dos parâmetros de capacidade da rede com vistas a controlar a probabilidade de sucesso nas comunicações entre o ATCO e as aeronaves. Isso, em última análise, representaria o controle de desempenho almejado pelos órgãos reguladores e, por consequência, o controle do nível de segurança operacional dos serviços de tráfego aéreo.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Em função da necessidade da aplicação supracitada, este trabalho desenvolveu um estudo científico com o objetivo de definir um modelo matemático escalonável que represente a ocupação do SMA dado o volume de atividade do controle de tráfego aéreo. Para isso, o SMA prestado pelo CINDACTA II (Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo, sediado em Curitiba-Paraná-Brasil) foi analisado estatisticamente a fim de identificar os parâmetros que definem a sua dinâmica de utilização, sendo caracterizado por modelos estatísticos e curvas de probabilidade, escalonáveis em função do volume de atividade do controle de tráfego aéreo. O volume da atividade do controle de tráfego aéreo, por sua vez, foi adotado como sendo a porcentagem de ocupação dos canais de comunicação em intervalos de uma hora, denominada taxa de ocupação do canal<sup>1</sup>.

### 1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Definir um modelo capaz de representar a utilização do Serviço Móvel Aeronáutico do CINDACTA II em circunstâncias reais.

---

<sup>1</sup>Essa mesma métrica é utilizada por BOLIC et al. (2005) em um trabalho que busca relacionar a ocupação do SMA com o esforço cognitivo de um ATCO durante a prestação do serviço de Controle de Tráfego Aéreo.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os Objetivos Específicos deste trabalho são:

- Definir um critério de detecção de sinais de voz no SMA;
- Definir um critério de identificação da utilização do SMA pelo ATCO e pelas aeronaves;
- Submeter os dados reais de utilização ao modelos de voz conhecidos;
- Testar a adequação dos modelos encontrados.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta Dissertação é composta por um capítulo dedicado à contextualizado do trabalho (Capítulo 2), no qual são discutidas as circunstâncias operacionais do controle de tráfego aéreo onde o estudo é desenvolvido; um capítulo no qual são discutidas as fundamentações teóricas do trabalho (Capítulo 3), tangendo trabalhos científicos que se debruçaram sobre problemas semelhantes de modelagem; um capítulo que descreve a metodologia adotada ao longo do estudo (Capítulo 4); um capítulo para se apresentar os resultados obtidos (Capítulo 5); e, finalmente, um capítulo dedicado às conclusões (Capítulo 6)

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A prestação dos serviços de tráfego aéreo no Brasil é gerenciada pelo Comando da Aeronáutica, quem instituiu o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) para organizar e articular as entidades que, direta ou indiretamente, participam do processo de fornecimento desses serviços à aviação civil na área de responsabilidade do Brasil. O SISCEAB é o instrumento para promover o cumprimento das normas da ICAO no âmbito nacional, importando as normas e os conceitos internacionais relacionados ao serviço de tráfego aéreo, aplicando-os à realidade e às necessidades do país.

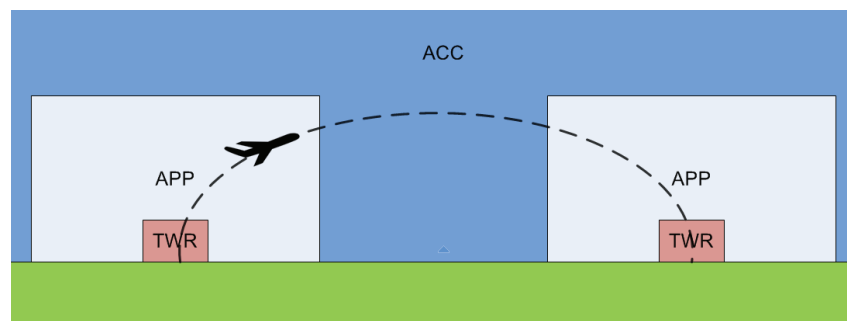
Especificamente quanto ao Serviço Móvel Aeronáutico (SMA), a estrutura operacional genérica definida pela ICAO para o provimento desse serviço é composta por três tipos diferentes de órgãos de controle de tráfego aéreo. Os tipos e suas responsabilidades são resumidas a seguir e ilustradas na Figura 1:

- TWR (*Tower – Aerodrome Control*): responsável pela navegação e desconflito de aeronaves (em solo) em trânsito nos pátios e nas pistas de pouso e decolagem dos aeródromos, bem como nos instantes anteriores ao pouso e posteriores à decolagem;
- APP (*Approach Control*): responsável pela navegação e desconflito de aeronaves (em voo) que realizam as manobras anteriores ao pouso e posteriores à decolagem nas proximidades dos aeródromos, estendendo-se, em geral, por 40 milhas náuticas de distância do aeródromo <sup>1</sup>; e
- ACC (*Area Control Centre*): responsável pela navegação e desconflito de aeronaves (em voo) em rota, ao longo do percurso compreendido entre os APP das localidades de origem e destino.

Essa estrutura é aplicada no cenário nacional, que se faz constituir por diversos órgãos de controle de tráfego aéreo espalhados pelo país, como TWR e APP sediados nos aeroportos

---

<sup>1</sup>A área de responsabilidade de um APP pode compreender outros aeródromos das proximidades



**Figura 1: Estrutura operacional genérica definida pela ICAO para o provimento do SMA, compreendendo as regiões de responsabilidade dos 3 órgãos de controle de tráfego aéreo (TWR, APP e ACC) e a suas disposições quando prestando serviço a um tráfego.**

de centros urbanos (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, Brasília, e tantos outros) e 5 ACC cobrindo a área de responsabilidade do Brasil no cenário internacional, o que totaliza 22 milhões de quilômetros quadrados (BRASIL, 2010), conforme Figura 3.

Observando essa hierarquia operacional, na qual TWR e APP limitam suas operações ao espaço aéreo próximo de suas sedes, é possível concluir que resta aos ACC o provimento do SMA nos confins do espaço aéreo. A jurisdição de um ACC e a solução tecnológica adotada para se prover o meio de comunicação do SMA tornam esses centros muito dependentes de redes de comunicação, especialmente daquelas destinadas ao transporte de sinais de voz.

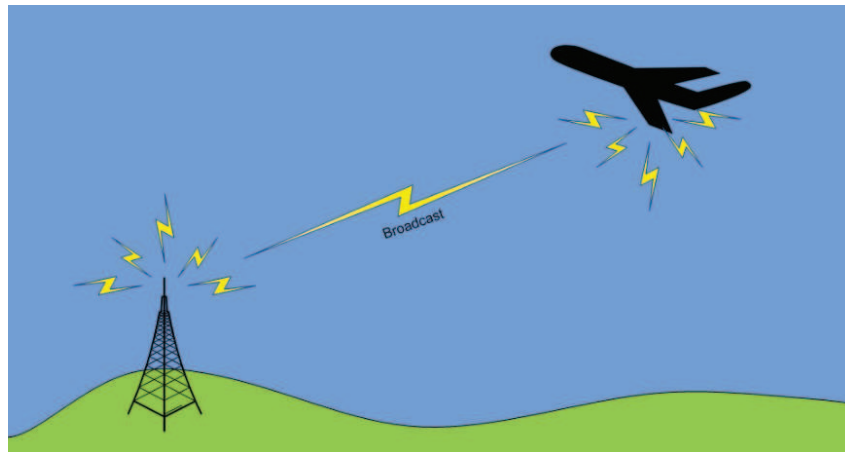
Para melhor compreender essa dependência (e, de antemão, apresentar o contexto que permite a formulação de uma metodologia científica diferenciada para este trabalho), é necessário conhecer, com maior aprofundamento técnico: a solução tecnológica escolhida para o fornecimento do SMA e as características geográficas de operação de um ACC.

## 2.1 SOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA O FORNECIMENTO DO SMA

O SMA, seja ele fornecido por uma TWR, APP ou ACC, é sempre provido pela difusão dos sinais de voz modulando em amplitude (AM) uma portadora da faixa do VHF. Essa solução permite transportar a voz gerada por um ATCO a um receptor instalado a bordo de uma aeronave, tornando-se possível nos pontos do espaço aéreo “iluminado” pelo transmissor.

De forma análoga, mas no sentido ar-terra, a voz gerada a partir de uma aeronave é transmitida por rádio difusão VHF-AM e recebida por estações do órgão de controle de tráfego aéreo, em terra, eventualmente “iluminadas” pela difusão. A Figura 2 ilustra a comunicação entre aeronave e estação, utilizando o SMA.

Ainda sobre o SMA, é importante registrar que a utilização/ocupação do meio de



**Figura 2: Comunicação por rádio difusão em VHF-AM para o provimento do Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) entre aeronave(s) e estação em terra de órgãos de controle de tráfego aéreo.**

comunicação ocorre mediante o apertar do botão (*Push-To-Talk*) pelo usuário (seja ele um ATCO ou um piloto a bordo de uma aeronave). Esse movimento aciona o transmissor do usuário que, por sua vez, irradia o sinal modulado. Esse sinal, eventualmente, sensibiliza os receptores, que são configurados para demodular as portadoras com níveis de potência superiores a  $-101dBW$ .

Em síntese, os mecanismos de transmissão e recepção estabelecem um canal *half-duplex* de comunicação entre ATCO e aeronaves. Além disso, a capacidade mútua de falar e ouvir através do SMA é dada o nome de “contato bilateral” e essa capacidade é essencial para a condução segura das operações de controle de tráfego aéreo.

A partir dessas informações, é possível concluir que a solução tecnológica utilizada para o provimento do SMA oferece a possibilidade de contato bilateral entre ATCO e aeronaves, e dispensa a necessidade de recursos adicionais, quando o espaço aéreo sob responsabilidade do órgão de controle pode ser “iluminado” por uma única estação de VHF-AM instalada nas proximidades desse órgão.

Essa solução, portanto, atende satisfatoriamente órgãos de controle como TWR e APP, que, por terem suas operações geograficamente limitadas às suas proximidades, se utilizam de uma única estação de VHF-AM, normalmente instalada no próprio órgão, para cobrir a região do espaço aéreo de seu interesse. Fato que não ocorre com os ACC.

## 2.2 ABRANGÊNCIA OPERACIONAL DE UM ACC

A solução tecnológica escolhida para o SMA não é suficientemente eficaz quando o espaço aéreo a ser “iluminado” estende-se por grandes áreas, como as de responsabilidade de

um ACC. Nesses casos, a solução precisa ser complementada.

O complemento é feito utilizando múltiplas estações de VHF-AM espalhadas geograficamente pela região de interesse operacional, compondo uma amplitude de cobertura de transmissão e de recepção maior do que quando utilizando apenas uma estação. Essa disposição geográfica de estações, por sua vez, exige a utilização de redes de comunicação para o transporte dos sinais de voz entre o órgão de controle de tráfego aéreo (ACC) e as estações remotas de VHF-AM, de onde os sinais de voz são transmitidos e recebidos junto às aeronaves. Esse complemento tecnológico é conhecido no meio do controle de tráfego aéreo como *clímax*.

A necessidade por múltiplas estações remotas de VHF-AM para os ACC também ocorre no Brasil, onde 5 ACC dividem entre si o controle do espaço aéreo sobre os 22 milhões de quilômetros quadrados sob responsabilidade do Estado Brasileiro.

Os cinco centros estão sediados nas cidades de Brasília (ACC-BS), Curitiba (ACC-CW), Recife (ACC-RF e ACC-AO) e Manaus (ACC-AZ). Suas jurisdições são definidas geograficamente e divulgadas em cartas de navegação aérea para uso da comunidade aeronáutica. A figura 3 ilustra a forma e a disposição das áreas de responsabilidade de cada ACC no Brasil. Nela, por exemplo, é ilustrada a jurisdição do ACC-CW, que se utiliza do SMA para prestar os serviços de tráfego aéreo nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país. Tal área de responsabilidade impõe a necessidade pelo uso do *clímax* para estabelecer o contato bilateral entre ATCO e aeronaves em toda essa região.

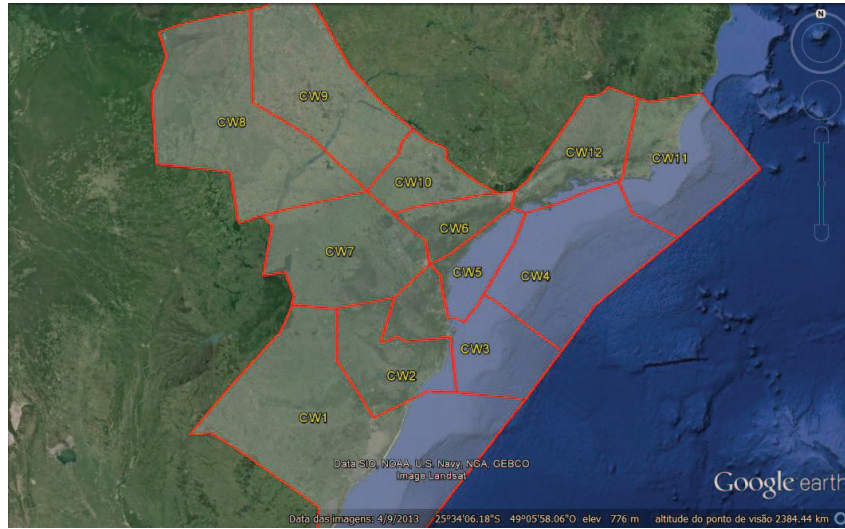


**Figura 3: Disposição das regiões de responsabilidade de tráfego aéreo dos 5 ACC existentes no Brasil.**

Além da distribuição de áreas de responsabilidade de tráfego aéreo entre os ACC, cada região de um ACC é subdividida em “setores”, cuja finalidade é distribuir os recursos

necessários para o provimento do serviço de tráfego aéreo em função da demanda de cada área. Em outras palavras, onde há mais tráfego, há mais recursos alocados.

No caso específico do ACC-CW, esse centro tem a sua região de responsabilidade subdividida em 12 setores, com forma e disposição ilustrada na figura 4. Em função dessa divisão, cada setor do ACC-CW passa a ser responsável por servir às aeronaves que circulam dentro da sua região, equilibrando a carga de trabalho dos ATCO em função das demandas.



**Figura 4: Disposição dos 12 setores de tráfego aéreo do ACC-CW.**

Como mencionado, a prestação do serviço de tráfego aéreo em cada setor ocorre através da solução tecnológica definida para o SMA (difusão em VHF-AM), complementada pelo *clímax*. Especificamente, cada setor recebe a designação de 2 valores de frequência na faixa do VHF (denominados “canais de VHF”), e a correspondente infraestrutura em terra, para que as modulações e demodulações dos sinais de voz do SMA ocorram naquela região. Esses 2 canais de VHF recebem a denominação de Canal Primário e Canal Secundário do setor, e os valores atribuídos aos 12 setores do ACC-CW encontram-se disponíveis na tabela 1.

Com isso, em síntese, quando uma aeronave trafega dentro de um determinado setor de um ACC, o piloto sintoniza o rádio de bordo da aeronave em um dos canais de VHF designados para aquele setor e o utilizada para estabelecer o contato bilateral com o ATCO. Em terra, nas estações remotas de VHF, há equipamentos sintonizados em ambos os canais de VHF, de modo que o enlace terra-ar poderá ser estabelecido independente do canal escolhido pelo piloto.

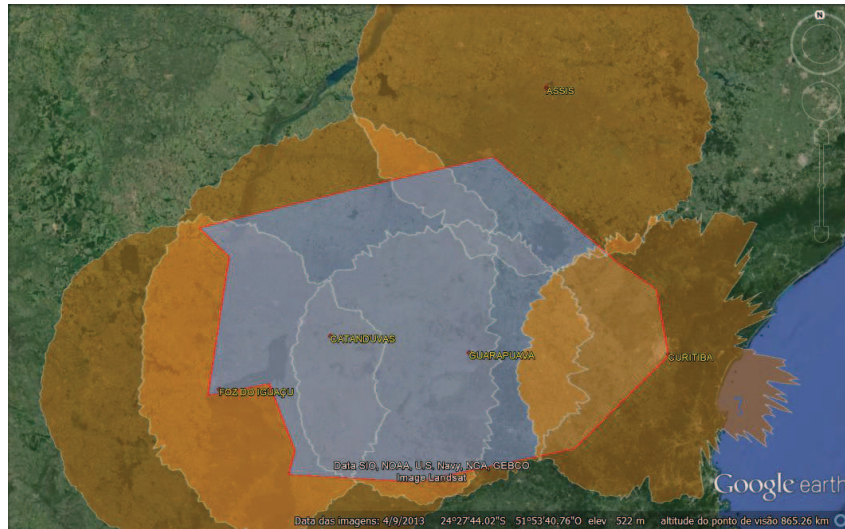
Para exemplificar, a Figura 5 ilustra a distribuição de estações destinadas ao fornecimento do SMA no setor 7 do ACC-CW. A figura é acompanhada dos diagramas de cobertura teóricos das estações de Curitiba, Guarapuava, Catanduvas, Foz do Iguaçu e Assis, para altitu-



**Tabela 1: Valores de frequências designadas para os canais Primário e Secundário dos 12 setores do ACC-CW.**

Setor	Primário [MHz]	Secundário [MHz]
ACC-CW S01	126,75	127,40
ACC-CW S02	135,85	128,45
ACC-CW S03	126,10	127,50
ACC-CW S04	128,40	127,05
ACC-CW S05	125,40	124,40
ACC-CW S06	132,80	126,50
ACC-CW S07	127,20	125,80
ACC-CW S08	128,15	124,85
ACC-CW S09	129,25	123,70
ACC-CW S10	126,95	126,50
ACC-CW S11	133,40	133,60
ACC-CW S12	124,00	125,35/128,25

des de 30.000 pés<sup>2</sup>. Convém acrescentar que a cobertura de interesse do SMA deve privilegiar as comunicações ao longo das rotas (não representadas na figura), e não em todo e qualquer espaço aéreo.



**Figura 5: Distribuição de estações remotas em *clímax* para o fornecimento do SMA no setor 7 do ACC-CW, acompanhada do contorno do setor (polígono vermelho) e dos diagramas de cobertura teóricos das estações VHF-AM que compõem o *clímax*.**

Toda essa estrutura, portanto, acaba por exigir o uso de redes de comunicação para o transporte dos sinais de voz entre o órgão de controle de tráfego aéreo e as estações remotas de VHF-AM.

Também é importante registrar que a designação de dois canais de VHF para cada setor se justifica para o caso de um deles se tornar indisponível em função, por exemplo, de

<sup>2</sup>Altitude comumente utilizada pela aviação comercial de carreira.

interferências externas. Essa peculiaridade, aliada ao *modus operandi* dos órgãos de controle de tráfego aéreo, dá a este trabalho a possibilidade de desenvolver uma metodologia capaz de diferenciar o locutor das mensagens, preocupação não observada nos trabalhos científicos relacionados.

Cabe, portanto, compreender o *modus operandi* dos órgãos de controle de tráfego aéreo para a subsequente definição da metodologia científica.

### 2.3 MODUS OPERANDI DOS ÓRGÃOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO

Em condições normais, a utilização dos canais de VHF pelos ATCO e aeronaves segue a seguinte sistemática:

- Por parte da aeronave, elas mantêm a comunicação com o órgão de controle de tráfego aéreo através do canal de VHF recomendado pelo ATCO no momento em que a aeronave ingressa no setor. A aeronave pode alternar o canal de VHF utilizado caso sinta dificuldade de comunicação com o ATCO (ou fato semelhante). No entanto, independente do canal de VHF a ser utilizado, a aeronave transmite através de um único canal de VHF a cada vez, e permanece em coordenação por esse canal enquanto evolui no setor; e
- Por parte do ATCO, ele transmite as suas instruções através de ambos os canais de VHF designados para o setor sob seu controle. Para que isso aconteça, o sinal de voz produzido pelo ATCO é duplicado no órgão e transportado às estações remotas, onde são inseridos nos rádios transmissores designados para a cobertura do setor. Ao transmitir em ambos os canais, o ATCO se faz ouvir independente do canal de VHF em uso pelas aeronaves que trafegam naquele setor.

Também convém acrescentar que o ATCO busca manter as aeronaves em um mesmo canal (Primário ou Secundário), para que elas possam tomar ciência dos tráfegos existentes no setor, o que aumenta a consciência situacional e a segurança operacional.

Essas duas sistemáticas de uso dos recursos de comunicação do SMA permitem a adoção de uma metodologia particular para o desenvolvimento deste trabalho. Especificamente, antecipando parte do conteúdo previsto para o Capítulo dedicado à metodologia (4), este trabalho identifica o locutor de determinada mensagem de voz a partir da ocorrência dessa mensagem nos canais de VHF, na seguinte forma:

- Se a mensagem estiver presente em ambos os canais de VHF, supor-se-á ter sido produzido pelo ATCO; ou
- Se a mensagem estiver presente em apenas um dos canais de VHF, supor-se-á ter sido produzido por uma das aeronaves que evoluem no setor em estudo.

Ao antecipar parte da metodologia utilizada, torna-se necessário descrever outra característica da estrutura operacional do controle de tráfego aéreo, a que exige o registro e o armazenamento das mensagens de coordenação realizadas entre ATCO e aeronaves, e que se torna a fonte de dados deste trabalho.

## 2.4 REGISTRO DAS MENSAGENS DE COORDENAÇÃO

Na busca pela rastreabilidade das causas de eventuais incidentes (ou acidentes) aeronáuticos, a legislação internacional exige que cada órgão de controle de tráfego aéreo registre e mantenha armazenadas as mensagens de coordenação realizadas entre ATCO e aeronaves.

Em função desta exigência, todos os sinais de voz produzidos nas coordenações são enviados a um sistema de gravação, o qual registra os sinais de voz transmitidos e recebidos através dos canais Primário e Secundário dos setores de um ACC. No caso específico do ACC-CW, o sistema de gravação se utiliza de interfaces E1 CAS, no qual cada *Time Slot* (TS) suporta um *stream* de áudio que agrega as mensagens dos ATCO e das aeronaves em determinado canal de VHF.

A sobreposição desses sinais em um único *stream* impede, *a priori*, a rastreabilidade automática do locutor da mensagem, pois um computador, desprovido de inteligência, não seria capaz de diferenciar as transmissões de ATCO das de aeronave. A ausência dessa rastreabilidade automática não representa empecilho para a condução de eventuais investigações aeronáuticas, uma vez que as investigações são conduzidas por especialistas humanos capazes de distinguir o locutor da mensagem de maneira intuitiva e inequívoca, mas representa um obstáculo no processamento computacional dos dados.

Esse problema, no entanto, é superado ao se conciliar os registros de gravação dos canais Primário e Secundário com o *modus operandi*, como já mencionado na Seção 2.3.

Os detalhes sobre a obtenção desse material e os métodos de tratamento são apresentados no Capítulo 4, dedicado à metodologia, mas sustentados, antes, por uma fundamentação teórica apropriada ao estudo que é desenvolvido.

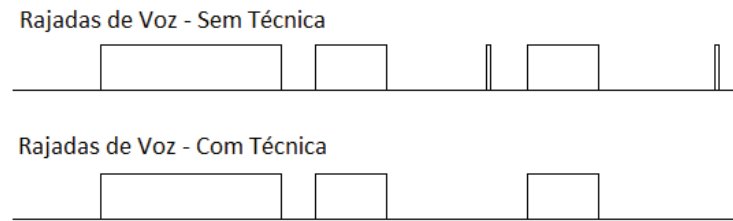
### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E TRABALHOS RELACIONADOS

O desenvolvimento deste trabalho exigiu o aprofundamento sobre os aspectos da modelagem de sinais de voz e de conversações. Em geral, a ciência trata essa modelagem utilizando modelos de transição – como uma máquina de estados – para representar as várias situações de uma conversação e curvas de distribuição de probabilidade para quantificar a dinâmica de transição entre esses estados.

BRADY desenvolveu trabalhos precursores importantes (BRADY, 1965, 1969) sobre esse assunto. O primeiro deles estudou a voz em linhas telefônicas (*full-duplex*), buscando quantificar a utilização dessas linhas a partir de um modelo de transição de 2 estados, que representam a ocupação (*on*) e a não ocupação (*off*) do canal. O estado *on*, portanto, representa os períodos de tempo em que há sinal de voz no circuito e o estado *off* representa os períodos de tempo em que não há sinal de voz no circuito. A dinâmica da transição entre os estados foi modelada em curvas de distribuição de probabilidade exponencial. Já no segundo trabalho, BRADY propôs um modelo mais detalhado de modelo de transição, aplicável exclusivamente em circuitos *full-duplex*.

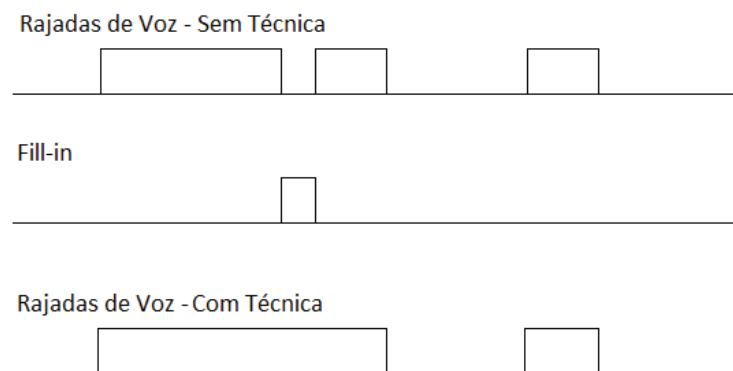
Nesses trabalhos, BRADY também propôs a utilização das técnicas “*throwaway time*”, “*fill-in time*” e “*hangover time*”, com o propósito de transformar as medidas objetivas – das rajadas de sinais nas linhas – em medidas subjetivas que representassem os estados de uma conversação.

A técnica “*throwaway time*” suprime trechos de áudio de curtíssima duração (< 10ms, por exemplo) e, na sua concepção inicial, tinha como propósito a eliminação de eventuais espúrios produzidos por imperfeições do sistema de áudio. Essa técnica, no entanto, foi utilizada por outros trabalhos (ASCHENBROCK et al., 2007, 2006) com um propósito diferente, o de eliminar períodos de ocupação do canal durante a transmissão de dados concomitantes com as de voz. Nesses trabalhos, o limiar definido para a técnica é muito superior ao utilizado por BRADY, consistindo de 300 ms à 1 s. A Figura 6 ilustra o resultado da aplicação da técnica em um trecho hipotético.



**Figura 6: Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “*throwaway time*”.**

A técnica “*fill-in time*”, por sua vez, transpõe silêncios de curta duração ( $< 200ms$ , por exemplo) e tem o propósito unir trechos de áudio separados por interrupções curtas (pausa intersilábica, por exemplo), como quando nas pronúncias das sílabas /p, /b, /t, etc. A Figura 7 ilustra o resultado da aplicação dessa técnica.

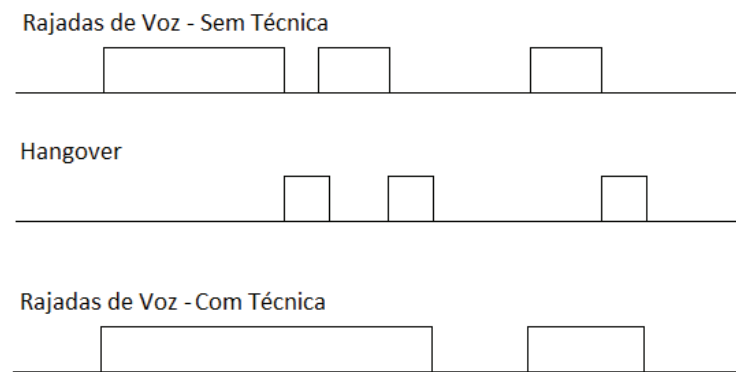


**Figura 7: Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “*fill-in time*”.**

Já a técnica “*hangover time*” produz um prolongamento dos trechos de áudio, por determinado tempo, evitando a interrupção abrupta de um trecho de áudio. O limiar escolhido geralmente é o mesmo utilizado na técnica “*fill-in time*”. A Figura 8 ilustra o resultado da aplicação dessa técnica.

Desde BRADY, outros estudos foram desenvolvidos focando nos efeitos das técnicas mencionadas sobre as curvas de distribuição. O trabalho de GRUBER 1982 cita a necessidade de modelar a dinâmica do silêncio pela soma ponderada de duas distribuições de probabilidade, uma responsável pelas pausas curtas, ocorridas durante a fala (intersilábicas), e outra responsável pelas pausas longas, ocorridas durante a escuta ou transição de um locutor para outro. Esse trabalho já sugere que o silêncio decorre de dois processos de naturezas distintas, o que gera a necessidade de modelos de transição mais detalhados.

Por outro lado, outro trabalho (HOANG et al., 1992) desenvolve um estudo sobre a



**Figura 8: Ilustração sobre o resultado da aplicação da técnica “hangover”.**

ocupação de canais em um sistema rádio móvel *half-duplex*, que também são utilizados mediante o acionamento do PTT pelo locutor. Tal estudo, apesar de se desenvolver em um ambiente semelhante ao deste trabalho, é influenciado por uma facilidade de entroncamento inexistente no SMA, produzindo o efeito que o autor chama de “Fila Central”. Esse efeito impede a aplicação dos resultados obtidos no SMA. Não obstante, esse trabalho ainda recorre aos modelos de transição de 2 estados e às curvas de probabilidade da transição desses estados para descrever a dinâmica de ocupação dos canais. O trabalho destaca as características exponenciais das distribuições das transições entre os estados *on* e *off* do modelo.

Outros estudos (SHARP et al., 2004; VUJICIC et al., 2005; ASCHENBRUCK et al., 2006, 2007; ASCHENBRUCK; MARTINI, 2008) submetem as comunicações a uma variedade ainda maior de curvas de probabilidade, apontando para a curva de probabilidade lognormal como representativas para os períodos *on* e para as curvas de probabilidade gamma e weibull como representativas para os períodos *off*. Os estudos concentram seus esforços nas curvas normal, gamma, weibull e lognormal. Desses, uma parte (ASCHENBRUCK et al., 2006, 2007; ASCHENBRUCK; MARTINI, 2008) ainda propõem modelos de transição alternativos para representar a dinâmica das conversações, sugerindo modelos de 3 e de  $n$ - estados e, portanto, ampliando as possibilidades de modelagem das comunicações.

Um trabalho de SHARP et al. 2004 ainda cita características das comunicações que se utilizando do PTT, observadas como sucessivas transmissões curtas, formando uma sessão, e períodos maiores de ociosidade separando as sessões. Objetivando diferenciar essas duas dinâmicas, alguns trabalhos utilizam modelos de transição com 3 ou  $n$ - estados, como mencionado.

Vários trabalhos mencionados, especialmente os mais recentes, estudam sistemas rádio

móvel *half-duplex*, ocupados mediante o acionamento do PTT pelo locutor, mas com capacidade de entroncamento – recurso, como dito, inexistente no SMA. Além disso, por dificuldades metodológicas, os estudos não investem na distinção entre os locutores dos canais, limitando-se a modelar a dinâmica de ocupação dos canais. No SMA, no entanto, o *modus operandi* da utilização do recursos possibilita a adoção de uma metodologia capaz de distinguir o locutor das mensagens vocalizadas e, por consequência, definir modelos específicos para a ocupação produzida por ATCO e por aeronaves. A partir dessa distinção, torna-se possível dimensionar os fluxos de voz que são transmitidos dos órgãos de controle para a estações remotas, e os que são recebidos dessas estações.

Desse acervo científico, as técnicas “*throwaway time*” e “*fill-in time*” são aplicadas para traduzir as medidas objetivas – das rajadas de sinais nas gravações do SMA – em medidas subjetivas, identificando os instantes em que o SMA é utilizado. A aplicação dessas técnicas favorece grandemente as análises posteriores, especialmente no processo de identificação do locutor de cada mensagem. Já quanto a técnica de “*hangover*”, esta foi suplantada pela utilização da técnica “*fill-in time*”, pois ambas possuem efeitos semelhantes sobre os dados (GRUBER, 1982), e a segunda não reduz os lapsos de tempo entre duas mensagens indistintamente.

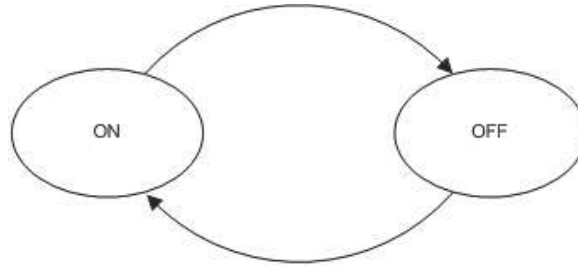
Quanto às técnicas utilizadas, a de “*throwaway time*” (aplicada com 10 ms) destina-se tão somente à eliminação de eventuais espúrios contidos nas gravações do SMA. Estudos (ASCHEBRUCK et al., 2007, 2006) utilizaram “*throwaway time*” de 1 s e 300 ms, respectivamente. No primeiro caso, o parâmetro foi determinado com o intuito de eliminar transmissões de dados que ocorrem em conjunto com as transmissões de voz (fenômeno que não ocorre no SMA). Já quanto ao segundo caso, esse foi determinado por um processo manual, que identificou 300 ms como um separador razoável de voz e espúrios de áudio. Esse número, se aplicado neste trabalho, representaria o descarte de uma fração razoável de trechos entre pausas intersilábicas. A opção feita foi utilizar o valor definido por BRADY 1965 (10 ms), que valoriza os dados originais, mesmo que alguns espúrios permaneçam presentes na massa de dados. Além disso, vale lembrar que mesmo os espúrios ocupariam os circuitos de comunicações e, portanto, precisam ser considerados nas análises.

A técnica “*fill-in time*” (aplicada com 200 ms) destina-se ao agrupamento dos trechos de áudio separados pelas pausas intersilábicas. Trabalhos corroboram com o valor (BRADY, 1965; GRUBER, 1982), no sentido deste estar próximo de suprimir o lapsos intersilábicos.

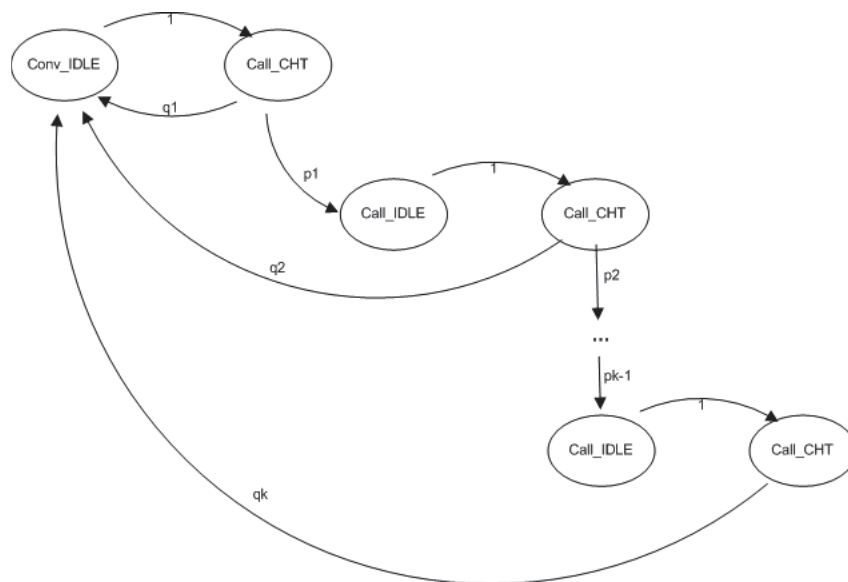
Além das técnicas, o uso de modelos de transição é essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Como as técnicas de 3 e *n*- estados destinam-se a diferenciar as dinâmicas nas sessões de transmissão, a utilização desses dois modelos pode não ser necessária, a menos que

o modelo de 2 estados seja insuficiente para representar a dinâmica de utilização do SMA.

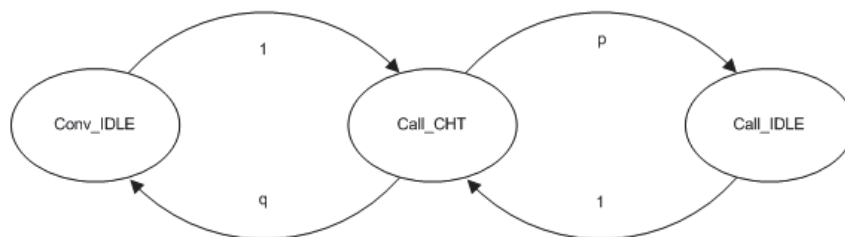
Para ilustrar os diferentes modelos de transição à disposição, a Figura 9 apresenta um de 2 estados (largamente utilizada), enquanto que as Figuras 10 e 11 trazem, respectivamente, os de  $n$ - e 3 estados, todos versando sobre as dinâmicas da voz e conversações.



**Figura 9: Modelo de transição de 2 estados, representando os períodos de presença e ausência de áudio da dinâmica de sinais de voz e conversações.**



**Figura 10: Modelo de transição de  $n$ - estados, expandindo o modelo para a diferenciar as sessões de transmissão.**



**Figura 11: Modelo de transição de 3, trazendo uma simplificação do modelo de  $n$ - estados.**

Ainda quanto aos trabalhos científicos relacionados, muitos deles utilizaram o teste de Kolmogorov-Smirnov (teste de KS) para avaliar a adequação dos modelos encontrados com os



dados empíricos em estudo. Uma alternativa ao teste de KS é o Q-Q plot (*quantile-quantile plot*), cujo propósito é realizar uma inspeção visual (manual) sobre a adequação dos dados empíricos com as curvas de probabilidade de interesse. Dessas duas ferramentas, apenas o teste de KS foi utilizado, dado que a metodologia prevê centenas de testes de adequação e o teste de KS é especialmente interessante, pois permite uma avaliação automática sobre a adequação de dados a curvas sem interferência humana.

Um dos trabalhos (SHARP et al., 2004), no entanto, cita a baixa probabilidade de convergência do teste de KS quando este utiliza muitas amostras. Em função disso, para facilitar a convergência do teste, o mesmo trabalho extrai subconjuntos de 1000 e 300 amostras da massa de dados disponível ( $1/3$  e  $1/10$  do total, respectivamente) e testa esses subconjuntos, em busca das curvas que melhor representa a distribuição das amostras. No decorrer desse trabalho, essa opção de teste foi cogitada.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por força da legislação internacional, as comunicações realizadas através do SMA são gravadas para uso em investigações das causas de incidentes ou acidentes aeronáuticos. No CINDACTA II, as gravações são realizadas pelo sistema conhecido como AudioSoft, o qual se utiliza de interfaces digitais (E1 CAS) para o recebimento dos sinais de voz produzidos por ATCO e por aeronaves. As gravações dos canais Primário e Secundário dos setores do ACC-CW são a fonte de dados a serem analisados a fim de se definir um modelo escalonável que represente a utilização do SMA, em função da taxa de ocupação desses serviço.

No sistema Audiosoft, os sinais recebidos em terminado TS são armazenadas em pares de arquivos `.raw` e `.inf`, gerados a cada hora de gravação. Os arquivos `.raw` armazenam os *streams* de áudio extraídos na interface digital, enquanto os arquivos `.inf` armazenam as informações sobre os instantes e durações dos sinais e suas rajadas, bem como armazenam informações gerais sobre o canal gravado. Ambos os arquivos são codificados por protocolos proprietários do fabricante do equipamento, o que impede a utilização direta dos dados contidos nesses arquivos para a extração das informações de interesse deste trabalho. Esse obstáculo, no entanto, logo foi contornado pelo uso de uma facilidade existente no próprio sistema AudioSoft, a qual permite a exportação das gravações em arquivos `.wav`, de até 1 hora de duração.

Os arquivos `.wav` exportados possuem *stream* de voz variando entre -1 e 1, amostras representadas por 16 bits, taxa de amostragem de 8 kHz e duração de 1 hora, totalizando arquivos com tamanho aproximado de 55 MBytes. Além disso, em função dos períodos de ociosidade dos canais gravados, os arquivos `.wav` apresentam grandes sequências de zeros ou valores residuais<sup>1</sup> em onda quadrada que representam os intervalos de tempo sem a presença de áudio na interface digital.

Quando exportados, os arquivos `.wav` receberam nomes com a seguinte estrutura informativa:

---

<sup>1</sup>Os valores residuais observados são menores que 0.005 e decorrem de um fator, ainda desconhecido, de interação entre o sistema de áudio do ACC-CW e o sistema de gravação Audiosoft.

$$\text{AAAAMMDDhhmmss CN.wav} \quad (2)$$

Onde:

*A* representa 4 dígitos do ano;

*M* representa 2 dígitos do mês;

*D* representa 2 dígitos do dia;

*h* representa 2 dígitos da hora;

*m* representa 2 dígitos do minuto;

*s* representa 2 dígitos do segundo;

'*C*' é fixo;

*N* representa o número do canal na estação de gravação.

Essa estrutura traz consigo o momento exato em que se iniciou a obtenção do *stream* do áudio através da interface digital.

Diante desse recurso, foram exportados do sistema AudioSoft os arquivos contendo as gravações dos canais Primário e Secundário dos 12 setores do ACC-CW, entre os dias 14 de dezembro de 2014 e 03 de janeiro de 2015<sup>2</sup>, os quais foram organizados em diretórios, conforme Tabela 2.

**Tabela 2: Diretórios de armazenamento das gravações do SMA prestado pelos Setores do ACC-CW.**

Setor	Diretório
Setor 01	S01 ACC 126.75 e 127.40 G2C68 G2C99
Setor 02	S02 ACC 135.85 e 128.45 G1C38 G1C12
Setor 03	S03 ACC 126.10 e 127.50 G2C40 G1C08
Setor 04	S04 ACC 128.40 e 127.05 G2C14 G1C40
Setor 05	S05 ACC 125.40 e 124.40 G2C38 G1C11
Setor 06	S06 ACC 132.80 e 126.50 G2C41 G1C09
Setor 07	S07 ACC 127.20 e 125.80 G2C11 G2C101
Setor 08	S08 ACC 128.15 e 124.85 G2C39 G1C10
Setor 09	S09 ACC 129.25 e 123.70 G2C69 G2C100
Setor 10	S10 ACC 126.95 e 126.50 G2C12 G1C09
Setor 11	S11 ACC 133.40 e 133.60 G2C42 G2C71
Setor 12	S12 ACC 124.00 128.25 e 125

<sup>2</sup>O período selecionado compreende ao de maior demanda pelos serviços de tráfego aéreo, por envolverem os feriados de Natal e Ano Novo.

A nomenclatura dos diretórios indica, sequencialmente: o número do setor (S01-12); o órgão de controle de tráfego aéreo em questão (ACC); os valores de frequência dos canais de VHF designados para o setor, com duas casas decimais de precisão (dados em MHz); e os gravadores e posição de gravação desses canais no sistema AudioSoft (definida em Grupo e Canal da estação de gravação).

A partir dessas informações, é possível observar que os setores 06 e 10 do ACC-CW compartilham um mesmo canal de VHF como Secundário (126.50 MHz), enquanto o setor 12 se utiliza de 3 canais de VHF – diferente de 2, como usual. Para não forçar a adoção de uma metodologia específica, os dados provenientes desses setores são excluídos das análises realizadas nesta pesquisa.

Uma vez exportadas as gravações dos canais de cada setor, tem-se à disposição, em geral, 1006 arquivos `.wav` armazenados em cada um dos diretórios listados supracitados, exceto para os setores 06, 10 e 12.

Esse acervo de gravações foi processado sequencialmente, desde a identificação dos intervalos de transmissões e silêncios de ATCO e aeronaves, até a definição dos modelos matemáticos de interesse. O processamento sequencial se constituiu de 10 etapas<sup>3</sup>, e se ocupou sobre os 9 setores do ACC-CW que utilizam 2 canais de VHF para o provimento do SMA em sua região.

Os *scripts* utilizados nas etapas de processamento foram escritos no MATLAB e são analisados individualmente a seguir:

#### 4.1 ETAPA 01: INICIALIZA AMBIENTE

Esta primeira etapa de processamento dos dados se destina a inicializar um vetor de contadores (que será utilizado ao longo das demais etapas para registrar estatísticas importantes do processamento) e a catalogar os arquivos `.wav` disponíveis para análise.

Quanto à fase de catalogação dos arquivos `.wav`, é importante lembrar que os diretórios visíveis ao *script* são os mesmos listados na Tabela 2, e que dentro desses estão armazenados os arquivos `.wav` provenientes das gravações do AudioSoft (nomeados conforme a estrutura da “equação” 2). A catalogação dos arquivos é feita registrando o nome do arquivo `.wav`, e o seu diretório, em um vetor chamado `VetorArquivos`.

O processo de catalogação também identifica os pares de arquivos `.wav` com períodos

---

<sup>3</sup>A divisão em etapas se mostrou necessária pelo volume de dados disponíveis no acervo e pela alta carga de processamento e memória a ser utilizada do computador para a análise pretendida.

coincidentes de gravação, da parte proveniente do canal Primário e da parte proveniente do canal Secundário. A identificação desses pares é feita a partir da verificação de arquivos com inícios de gravação próximos entre si de 58 minutos. Os pares identificados nessas condições, pertencentes a um mesmo diretório, são registrados no vetor `VetorPares`.

Ao término do *script*, as variáveis de interesse são armazenadas no arquivo `base.m`, no diretório raiz do *script*, tornando-as disponíveis para uso nas demais etapas de processamento.

## 4.2 ETAPA 02: GERA TRECHOS

A segunda etapa de processamento extrai as primeiras informações sobre os áudios contidos nos arquivos `.wav`. Nela, o conteúdo é analisado em intervalos de 5 ms e os resultados são armazenados em uma variável chamada `VetorTrechos`, criada para cada arquivo `.wav`. Essa análise resgata o método desenvolvido por BRADY 1965 para a detecção de áudio em cada trecho de 5 ms, na qual se identifica o valor máximo do sinal encontrado no intervalo e, estando esse valor acima de determinado limiar, define o intervalo como sendo áudio. No caso do valor estar abaixo do limiar, o intervalo é considerado sem áudio (silêncio).

Como qualquer presença de sinal na interface do gravador decorre de processos bem definidos de produção de áudio (detecção de portadora acima de -101 dBW no receptor de VHF em estações remotas ou o apertar do PTT pelo controlador), o limiar escolhido nessa etapa foi de 0,01, de modo que qualquer atividade na interface será considerada áudio. Esse limiar é minimamente superior aos valores residuais, em onda quadrada, que representam os intervalos de tempo sem a presença de áudio na interface digital.

Utilizando o `VetorTrechos` produzido nesta etapa, os dados sobre os períodos com áudio (designados como do tipo 1) e sem áudio (designados como do tipo 0) tornam-se disponíveis em formato simplificado, dispensando a necessidade de processamento das amostras de áudio contidas nos arquivos `.wav`.

Ainda com respeito a esta etapa, nela é realizada a soma dos períodos com a presença de áudio e a soma de todos os períodos (áudio e silêncio). A taxa de ocupação do arquivo `.wav` é calculada como sendo a fração entre a soma dos períodos com a presença de áudio e a soma de todos os períodos (áudio e silêncio), gerando um valor entre 0 e 1. Esse procedimento produz uma primeira referência da taxa de ocupação do canal e, portanto, do volume de atividade do controle de tráfego aéreo no momento em que foi gravado. Nas etapas posteriores, as amostras serão agrupadas em função dessa taxa de ocupação.

Ao término do *script*, as variáveis de interesse são armazenadas para cada arquivo *.wav* processado, tornando-as disponíveis para uso nas demais etapas de processamento.

#### 4.3 ETAPA 03: APLICA TÉCNICAS

Na sequência do processamento, as técnicas de *throwaway time* (10ms) e *fill-in time* (200ms) foram aplicadas ao conjunto de dados disponíveis. Os parâmetros utilizados nessas técnicas foram os mesmos utilizados por BRADY 1965 e o propósito da utilização dessas técnicas é dar a formatação subjetiva dos períodos de comunicação realizada através do SMA. Cabe lembrar que os valores escolhidos para essas técnicas buscam preservar os seus propósitos originais, conforme mencionado no Capítulo 3.

As informações resultantes da aplicação das técnicas são armazenadas em um novo vetor, agora chamado `VetorTrechosFiltrado`, enquanto as informações originais ainda são preservadas no vetor `VetorTrechos`.

#### 4.4 ETAPA 04: CALCULA TRECHOS

Os trechos resultantes da aplicação das técnicas foram submetidos a um processo que gera um novo vetor, agora chamado `Trechos`, para cada par de arquivos *.wav* listado do vetor `VetorPares`, produzido na primeira etapa. Esse novo vetor consolida as informações das gravações do canal Primário e do Secundário. Ele é gerado a partir da sincronização dos conteúdos dos vetores `VetorTrechosFiltrado` dos canais Primário e Secundário, seguida pela soma ponderada desses conteúdos, de forma que: os trechos de silêncio são identificados como do tipo 0; os trechos provenientes do canal Primário são identificados como do tipo 1; os trechos provenientes do canal Secundário são identificados como do tipo 2 e os trechos com áudio simultâneo em ambos os canais (Primário e Secundário) são identificados como do tipo 3.

Mesmo em um ambiente digital, e após realizado o processo de sincronização dos conteúdos, foi constatada a ocorrência de desvios de sincronismos entre os conteúdos dos arquivos de gravação.

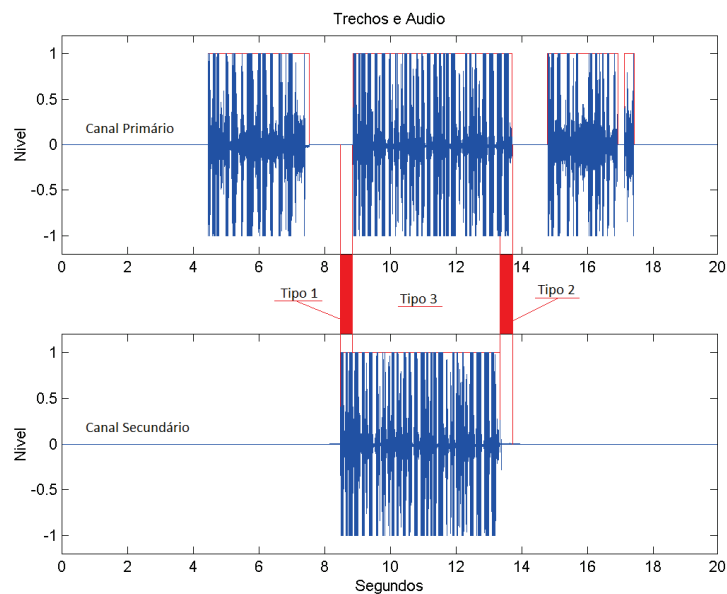
Enquanto, em tese, uma transmissão de ATCO deveria produzir um trecho do tipo 3 precedido e antecedido por silêncio, na prática, uma transmissão de ATCO produz, tipicamente, um trecho do tipo 3 precedido e antecedido por intervalos do tipo 1 e/ou tipo 2, evidenciando que os instantes de início e de fim da transmissão do ATCO não são iguais entre o

canal Primário e o canal Secundário, caracterizando desvios de sincronismo.

A causa dos desvios de sincronismo não foi explorada neste trabalho, mas há de se registrar que, apesar de serem provenientes de um mesmo locutor (ATCO) e se dirigirem para um mesmo sistema (Audiosoft), o caminho percorrido pelos sinais denotados como canal Primário é diferente do caminho percorrido pelos sinais denotadas como canal Secundário. Isso pode justificar a ocorrência dos desvios observados.

Para ilustrar a questão, a Figura 12 apresenta o resultado típico de uma transmissão de ATCO, na qual os conteúdos dos arquivos `.wav` foram sincronizados e, assim mesmo, observa-se um descompasso entre os instantes das rajadas em cada arquivo. Nessa figura estão representadas transmissões reais em canais do SMA, onde é possível identificar três transmissões no canal Primário (acima) e uma transmissão no canal Secundário (abaixo). A transmissão em comum é uma proveniente do ATCO.

Observando a escala do tempo, é possível verificar que o início da transmissão do ATCO no canal Primário ocorre próximo de 9 s, enquanto que essa mesma transmissão ocorre próximo de 8.5 s no canal Secundário. Nessas circunstâncias, a soma ponderada resulta em intervalos do tipo 1 e tipo 2 na “vizinhança” de um trecho do tipo 3 central.



**Figura 12:** Evidência do desvio de sincronismo que ocorre entre os conteúdos de dois arquivos `.wav`.

Não obstante, os desvios de sincronismo observados ainda variam ao longo do tempo.

Diante desse cenário, optou-se por realizar um estudo sobre a dinâmica desses desvios, a fim de subsidiar uma técnica de identificação do locutor das mensagens de cada trecho, e as

ferramentas para tal dimensionamento são desenvolvidas na próxima etapa de processamento. Posteriormente, os identificados são avaliadas manualmente, buscando identificar a qualidade desse processo.

Antes, porém, convém registrar que os trechos obtidos por meio da soma ponderada mencionada são, em geral, do tipo 1 ou tipo 2 isolados por silêncio (sugerindo uma transmissão partindo de aeronave), ou por trechos do tipo 3 margeados por tipo 1 e/ou tipo 2, seguidos por silêncio, conforme Figura 12, sugerindo uma transmissão partindo do ATCO. Algumas poucas ocasiões resultaram grandes oscilações entre os tipos 1, 2 e 3 ( $> 3$ ), sugerindo haver grande atividade nos canais Primário e Secundário. Esses casos foram simplificados de modo que os trechos intermediários fossem designados como do tipo 3.

#### 4.5 ETAPA 05: ANALISA DESVIOS

Esta etapa de processamento destina-se a estudar os desvios de sincronismo observados na etapa anterior.

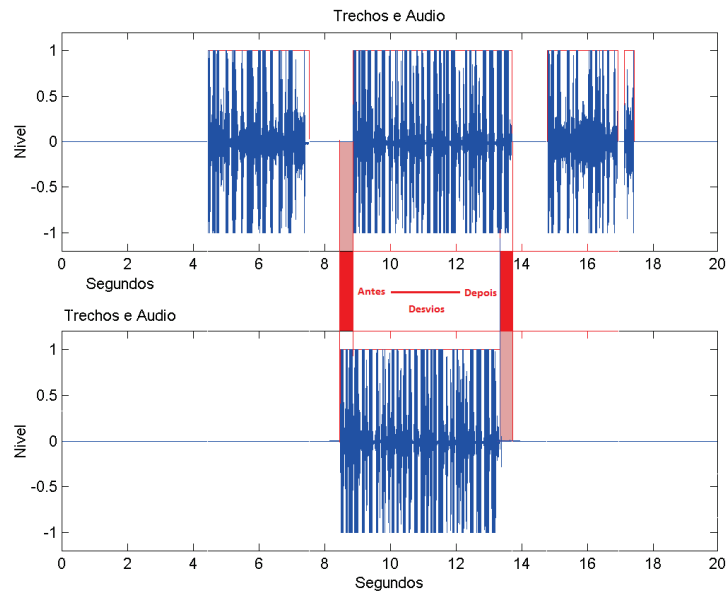
Para desenvolver esse estudo, admitiu-se que a incidência de desvios de sincronismo em qualquer transmissão do ATCO geraria um trecho do tipo 3 precedido e antecedido por trechos do tipo 1 e tipo 2. Além disso, assumindo que a duração da transmissão do ATCO é igual em ambos os canais, entende-se que a duração dos trechos tipo 1 e tipo 2 serão iguais entre si e equivalentes ao desvio de sincronismo incidente.

A Figura 13, extraída de um intervalo de 20 s de gravação, evidencia uma transmissão de ATCO no instante de 10 s. Nela são ilustradas as considerações sobre os desvios e seus efeitos nos trechos anteriores e posteriores à transmissão, evidenciando que ocorrem dois lapsos de tempo (antes e depois) semelhantes ao desvio incidente.

Para dimensionar os desvios, o *script* selecionou os trechos do tipo 3 com duração superior a 2 segundos<sup>4</sup> e registrou a duração dos trechos (Tipo 1 ou 2) anterior (DesvioE) e posterior (DesvioD) dessa transmissão. A partir desse conjunto de dados, calculou-se a diferença entre os desvios e a moda dessa diferença. A expectativa, portanto, era que a moda da diferença entre os desvios anteriores e posteriores fosse zero, ou próxima de zero. Ao se confirmar essa expectativa, passou a ser de interesse o conjunto de desvios que produziram essa moda, pois representam o desvio de sincronismo entre os arquivos .wav.

<sup>4</sup>A partir de alguns testes preliminares, o valor de 2 segundos foi considerado suficientemente alto para restringir os trechos selecionados a transmissões de ATCO em sua maioria, pois exige grande atividade no canal Primário e no canal Secundário.





**Figura 13: Desvio de sincronismo ocorrido entre os conteúdos de dois arquivos .wav.**

Ainda sobre esse processo, os valores de interquartis são utilizados para excluir os *outliers* (RUNGER, 2010) das amostras de desvios, dado que há o risco de duas transmissões simultâneas de aeronaves nos canais Primário e Secundário serem interpretadas como uma transmissão de ATCO. Como a duração dessas transmissões não estão correlacionados (aleatoriedade da diferença da duração), esse evento gera amostras de desvios aleatórias e muito superiores (*outlier*) à moda estimada das amostras.

Do conjunto de desvios resultante, calculou-se a média e o desvio padrão, por setor, os quais serão utilizados para subsidiar uma técnica de identificação de locutor dos trechos de áudio.

#### 4.6 ETAPA 06: IDENTIFICA LOCUTOR

Em função das informações obtidas no último *script*, definiu-se um valor crítico de desvio de sincronismo<sup>5</sup> para ser utilizado na construção de dois identificadores de locutor. Esses identificadores estão contidos nesta etapa de processamento e foram aplicados nos trechos de interesse, a fim de definir se a origem do áudio é um ATCO ou uma aeronave.

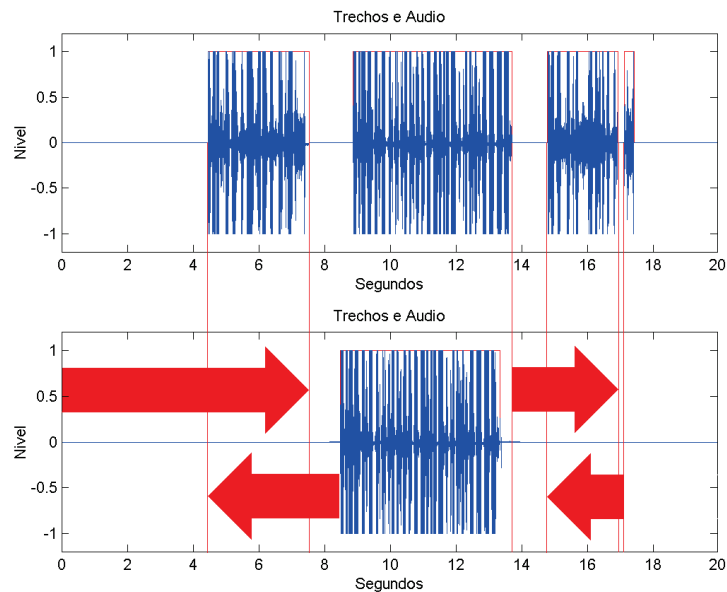
O primeiro identificador considera que todo o trecho de áudio do tipo 1 ou tipo 2, isolado por silêncio, parte de uma aeronave se a duração do silêncio, somada à duração

<sup>5</sup>O valor crítico escolhido foi a média somada a dois desvios padrão das amostras de desvios observadas. Esse valor é superior à 95,44% das observações de desvios considerando uma distribuição normal desse evento.

do trecho de áudio, supera o valor crítico de desvio. Essa abordagem considera que, havendo atividade em apenas um canal (Primário ou Secundário), ela será atribuída a uma aeronave.

A Figura 14 ilustra o critério a ser cumprido para que um trecho seja considerado proveniente de aeronave. Nela são apresentadas 3 transmissões no canal Primário e uma transmissão no canal Secundário e, para que a primeira transmissão atenda ao critério, as durações das setas vermelhas localizadas à esquerda devem ser superiores ao valor crítico de desvio. De modo semelhante, para que a terceira transmissão atenda ao critério, as durações das setas vermelhas localizadas à direita devem ser superiores ao valor crítico de desvio.

Ainda nessa figura, pode-se notar uma quarta, e discreta, transmissão no canal Primário (iniciando-se aos 17 s, aproximadamente). Para que esse tipo de transmissão possa atender ao critério e ser definido como uma transmissão de aeronave – como parece ser – é necessário retirar os trechos já identificados e repetir o identificador no conjunto de dados. Essa providência também é realizada neste *script*.



**Figura 14: Critério para que um trecho seja considerado proveniente de uma aeronave.**

Um segundo identificador é aplicado e considera transmissão de ATCO todo o trecho tipo 3 e suas “vizinhanças” tipo 1 ou tipo 2.

Ambos os identificadores tem sua eficácia estudada na próxima etapa de processamento, de modo que se possa dimensionar a proporção de trechos corretamente identificados, independentemente das suposições utilizadas para a definição desses identificadores.

Após repetir a aplicação do primeiro identificador, todos os trechos do tipo 1 ou

tipo 2 isolados por silêncio, que não foram identificados até então são excluídos das análises.

#### 4.7 ETAPA 07: PRECISÃO DOS IDENTIFICADORES

A eficácia dos identificadores utilizados na última etapa de processamento passa a ser o objetivo desta etapa, cuja finalidade foi gerar um acervo de sons (e as respectivas representações gráficas) de amostras aleatórias dos trechos de áudio identificados. Esse acervo foi disponibilizado para uma verificação manual da proporção de trechos corretamente identificados, de forma que qualquer consideração equivocada no processo de montagem dos identificadores poderá ser dimensionado neste fase.

Foram tomadas 100 amostras de trechos identificados como de ATCO e 100 amostras de trechos identificados como de aeronave.

#### 4.8 ETAPA 08: ORGANIZA DADOS

Esta etapa destinou-se a iniciar a preparação dos dados gerados sobre silêncios e transmissões de ATCO e aeronaves. Resumidamente, esta etapa transfere o conjunto de trecho identificados para 4 vetores contendo, cada um deles, a sequência de transmissões e silêncios de ATCO Canal 1 (Primário), ATCO Canal 2 (Secundário), aeronaves Canal 1 e aeronaves Canal 2. A respeito desses dados, entende-se que as sequências de transmissões e silêncios de ATCO no Canal 1 e no Canal 2 devem ser semelhantes.

Nesta etapa, também calculou-se uma nova métrica da taxa de ocupação dos canais, dado que a primeira métrica foi calculada antes da aplicação das técnicas de “*throwaway time*” e “*fill-in time*”, enquanto esta é calculada após a aplicação dessas técnicas. Assim, para cada par do `VectorPares`, calculou-se a porcentagem do tempo em que o canal esteve sendo utilizado. Essa métrica foi registrada em conjunto com os trechos associados, de modo que se possa determinar, na próxima etapa, em que condições esse trecho foi produzido.

Essa métrica é importante, pois foi utilizada para o escalonamento dos parâmetros das curvas de distribuição de probabilidade.

#### 4.9 ETAPA 09: BANCO DE DADOS

Esta etapa finaliza a organização dos dados, gerando 8 vetores que agrupam os dados de interesse. Os vetores são:

- SCC1 – Contendo todos os períodos de silêncio dos ATCO no Canal 1;
- SCC2 – Contendo todos os períodos de silêncio dos ATCO no Canal 2;
- SAC1 – Contendo todos os períodos de silêncio das aeronaves no Canal 1;
- SAC2 – Contendo todos os períodos de silêncio das aeronaves no Canal 2;
- TCC1 – Contendo todos os períodos de Transmissão dos ATCO no Canal 1;
- TCC2 – Contendo todos os períodos de Transmissão dos ATCO no Canal 2;
- TAC1 – Contendo todos os períodos de Transmissão das aeronaves no Canal 1; e
- TAC2 – Contendo todos os períodos de Transmissão das aeronaves no Canal 2.

Esses vetores também armazenam a taxa de ocupação correspondente.

#### 4.10 ETAPA 10: APRESENTAÇÃO DE GRÁFICOS

Finalmente, nesta etapa foram desenvolvidas as ferramentas para se processar os dados disponíveis, buscando evidenciar as características que interessam. Especificamente, buscou-se analisar a adequação das amostras de transmissões e silêncios, de ATCO e aeronaves, quanto às curvas de distribuição de probabilidade normal, gamma, weibull, lognormal e pareto<sup>6</sup>, organizando os dados por da taxa de ocupação do canal. Esta etapa busca verificar se as amostras provenientes de cada taxa de ocupação pode ser modelada por essas curvas de distribuição de probabilidade.

Essa etapa também sistematizou a apresentação dos resultados, de forma que se pudesse concentrar as informações produzidas em formato gráfico.

---

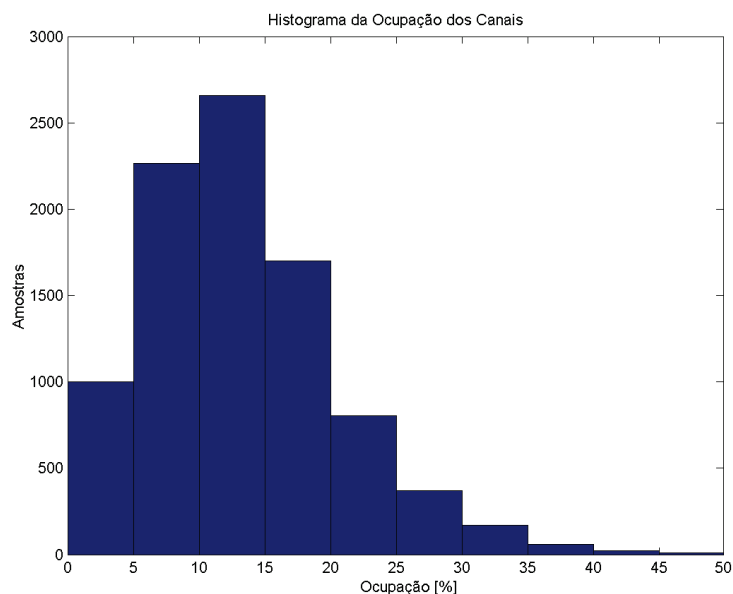
<sup>6</sup>Acrescentou-se a curva de pareto ao *roll* de curvas de interesse a fim de fornecer aos testes uma alternativa de curva de distribuição de probabilidade capaz de representar dados empíricos com cauda pesada.

## 5 RESULTADOS

Os *scripts* foram executados em sequência, gerando informações sobre os dados em estudo.

A etapa 01 foi executada sobre toda a massa de dados disponíveis, catalogando 9054 arquivos *.wav*, de uma hora de duração, e 6455 pares de arquivos com algum período de gravação coincidente entre si.

A primeira análise dos conteúdos dos arquivos foi realizada na etapa 02, produzindo os `VetorTrechos` de cada arquivo. O *script* também calculou a taxa de ocupação dos arquivos, antes da aplicação das técnicas *throwaway time* e *fill-in time*. O resultado está contido no histograma da Figura 15.

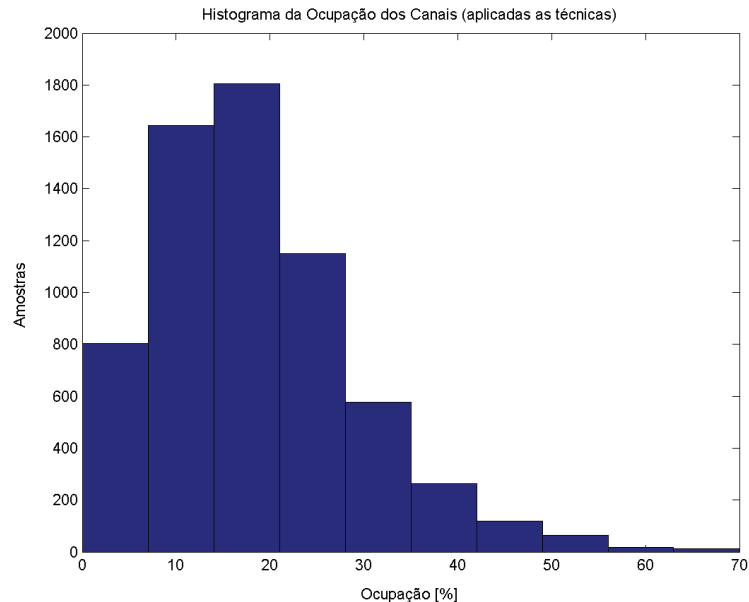


**Figura 15:** Histograma da distribuição da taxa de ocupação dos arquivos *.wav* antes da aplicação das técnicas *throwaway time* e *fill-in time*.

Na etapa 03 foram aplicadas as técnicas mencionadas. As estatísticas produzidas ao longo do *script* acusaram a existência de 16.833.709 trechos (entre transmissões e silêncios) sob análise, dos quais 1.817.498 transmissões foram silenciadas em função da técnica de *th-*

*rowaway time* e 4.442.507 silêncios foram ocupados em função da técnica de *fill-in time*, restando 4.314.096 trechos (entre transmissões e silêncios) a serem analisados.

Em função da aplicação das técnicas, a distribuição da taxa de ocupação dos arquivos *.wav* foi alterada, e o histograma contido na Figura 16 demonstra essa alteração.



**Figura 16: Histograma da distribuição da taxa de ocupação dos arquivos *.wav* após a aplicação das técnicas *throwaway time* e *fill-in time*.**

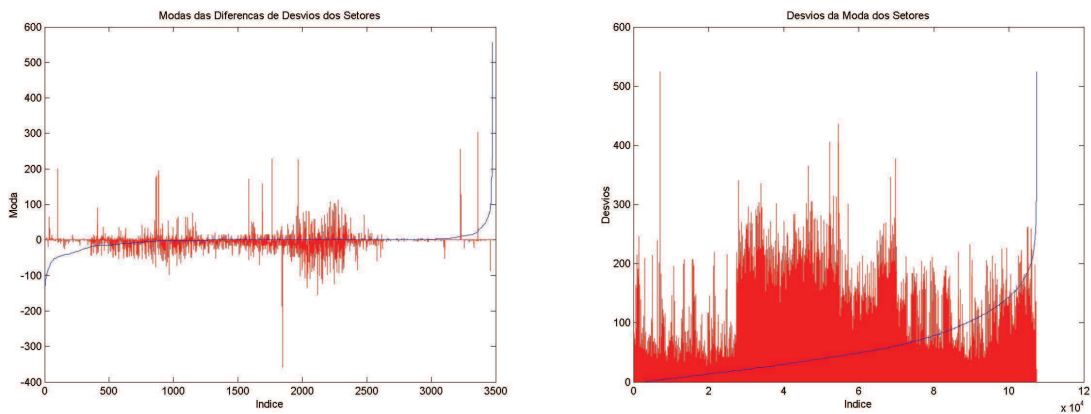
Ao se proceder a execução da etapa 04, onde se realizou a soma ponderada dos trechos de transmissões e silêncios pertencentes aos períodos de gravação coincidentes dos arquivos *.wav*, calculou-se também a soma dos períodos de gravação em estudo, totalizando 4.475 horas de uso do SMA. Essa é a fração de tempo efetivamente estudada, dado que os intervalos sem períodos coincidentes não nos permitem identificar a sua procedência.

Em caráter informativo, essa etapa também calculou um total de 736 mil trechos pertencentes às grandes oscilações. Esses trechos foram simplificados como sendo do tipo 3, conforme metodologia escolhida, por consistir intensa atividade nos canais 1 e 2.

Em seguida, a etapa 05 foi executada para análise da moda das diferenças de desvios. A etapa demonstrou que a moda desse parâmetro é zero, confirmando a hipótese de que as transmissões dos ATCO possuem duração próximas, e que o desvio de sincronismo dos arquivos *.wav* geram trechos anteriores e posteriores com durações semelhantes.

A Figura 17 ilustra as modas e desvios encontrados em toda a massa de dados estudada<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>As modas e desvios calculados de cada setor do ACC-CW estão disponíveis no Apêndice A.



**Figura 17: Modas e Desvios encontrados na massa de dados disponível. As linhas azuis são os mesmos dados ordenados.**

Ao se confirmar a hipótese, procedeu-se a coleta dos desvios de sincronismo que geram a moda. Esse procedimento acusou que a média e o desvio padrão dos desvios de sincronismo são maiores quando as gravações partem de estações de gravações distintas, sugerindo maior sincronismo quando ambos os canais (Primário e Secundário) são gravados por uma mesma estação Audiosoft. As médias e desvios obtidos para cada setor do ACC-CW estão disponíveis na Tabela 3, juntamente com a informação sobre a estação do gravador em uso.

**Tabela 3: Média e Desvio Padrão dos desvios de sincronismos incidentes sobre os pares de arquivos com períodos de gravação coincidentes.**

Setor	Média [ms]	Desvio Padrao [ms]	Gravador Primário	Gravador Secundário
Setor 01	151,11	164,42	G2C68	G2C99
Setor 02	116,86	132,39	G1C38	G1C12
Setor 03	419,13	308,46	G2C40	G1C08
Setor 04	393,32	300,97	G2C14	G1C40
Setor 05	368,02	299,18	G2C38	G1C11
Setor 07	323,27	190,84	G2C11	G2C101
Setor 08	340,62	305,55	G2C39	G1C10
Setor 09	303,8	187,1	G2C69	G2C100
Setor 11	269,85	203,93	G2C42	G2C71

Os valores obtidos na etapa 05 foram utilizados como referências de desvios de sincronismo na etapa 06. Especificamente, utilizou-se a média do desvio de sincronismo somada a dois desvios padrão como valor crítico nos processos de identificação, que apontaram 663.140 trechos como sendo transmissões das aeronaves e 1.782.146 como sendo transmissões de ATCO.

Como, em geral, cada transmissão de ATCO acaba por produzir trechos do tipo 1 ou 2, seguido por tipo 3 e, finalmente, por tipo 2 ou 1, estima-se que uma transmissão

de ATCO contabiliza 3 trechos, enquanto uma transmissão de aeronave contabiliza 1 trecho apenas. Utilizando essa observação como base, o número de trechos identificados como de ATCO dividido por três (594.048) se aproxima do número de trechos identificados como de aeronaves (663.140), sugerindo um diálogo entre as partes.

Neste ponto, a etapa 07 foi executada para se extrair amostras aleatórias dos trechos identificados como procedentes de aeronaves e de ATCO de modo a se proceder uma verificação manual da proporção de acertos dos identificadores. Esse processo apontou 93% de acerto para o identificador de transmissões de aeronaves e a mesma proporção de acerto para o identificador de transmissões de ATCO. Foram analisadas 100 amostras de cada identificador, gerando margens de erro de 5% com 95% de confiança <sup>2</sup>.

Ainda quanto ao processo de identificação de trechos, é importante mencionar que há um evento que afeta o processo de identificação, levando trechos de transmissões de aeronaves serem reconhecidos como de transmissão de ATCO. Esse processo decorre da eventual ocorrência de transmissões simultâneas de aeronaves nos canais Primário e Secundário e, em função da inviabilidade de se distinguir, manualmente, todos os trechos provenientes desse evento, optou-se por dimensionar o problema, calculando a proporção dos trechos que realmente são transmissões de ATCO. Essa é uma das funções da etapa 07.

Durante a condução dessa etapa, constatou-se diferenças de qualidade de áudio entre as gravações dos canais Primário e Secundário, vindas do ATCO. A rigor, essa diferença não deveria existir, dado que todo o processo é digital, exceto no instante de digitalização do sinal de voz para o interior da Central de Áudio, que é um processo comum para ambos os canais. Essa diferença acaba por ser a causa de parte dos desvios de sincronismo observados na etapa 05, pois um mesmo sinal de voz resulta em níveis de energia diferentes registrados no gravador. A causa dessa diferença pode estar relacionada a parâmetros de configuração dos equipamentos de gravação.

As etapas 08 e 09 organizaram os dados obtidos, agrupando-os em transmissões e silêncios de ATCO e de aeronaves, tudo em função da taxa de ocupação do canal quando o dado foi extraído.

A etapa 10, finalmente, explora os dados no sentido da proposta deste trabalho, descrevendo a dinâmica dos eventos de transmissão e de silêncio segundo a taxa de ocupação do canal. O *script* dessa etapa foi escrito para funcionar em fases, com finalidades específicas.

---

<sup>2</sup>Esse processo calcula a eficácia dos identificadores a partir de toda a massa de amostras identificadas, sem discriminar pela taxa de ocupação a que deu origem a essas amostras. Assim sendo, um aprimoramento possível é calcular a eficácia dos identificadores em função da taxa de ocupação.



Na primeira fase do *script*, os dados disponíveis foram agrupados segundo a taxa de ocupação, em intervalos de 5% (0-5%, 5-10%, 10-15%, ..., 95-100%). A Tabela 4 apresenta a quantidade de amostras reunidas em cada faixa de agrupamento de dados<sup>3</sup>, para cada evento de interesse.

**Tabela 4: Número de trechos reunidos nas faixas de agrupamento de dados, para cada evento de interesse.**

Tipo	Aeronave				ATCO			
	Silencio Canal 1	Transmissao Canal 1	Silencio Canal 2	Transmissao Canal 2	Silencio Canal 1	Transmissao Canal 1	Silencio Canal 2	Transmissao Canal 2
0-5%	7816	8538	4961	5579	9410	10239	9417	10240
5-10%	29875	33116	19711	22638	42172	46111	42181	46112
10-15%	55953	61532	37883	43027	84704	91426	84703	91428
15-20%	77076	84154	52758	59436	123183	131737	123189	131738
20-25%	71476	76857	44465	49476	108923	115256	108914	115252
25-30%	50763	54094	29774	32742	73764	77498	73753	77497
30-35%	32749	34673	20333	22068	51160	53264	51134	53262
35-40%	16833	17920	11054	12082	27427	28700	27422	28697
40-45%	12266	12982	8407	9075	19776	20581	19788	20585
45-50%	5285	5541	3569	3825	8321	8611	8318	8611
50-55%	5026	5261	2925	3147	7477	7743	7481	7741
55-60%	2037	2108	830	892	2707	2785	2706	2782
60-65%	910	945	435	465	1485	1522	1484	1522
65-70%	574	597	302	324	1026	1052	1024	1052

Cada célula da Tabela 4 informa o número de amostras encontradas nas circunstância de ocupação em cada evento. Essas amostras foram analisadas quanto à sua conformidade para com as curvas normal, gamma, weibull, lognormal e pareto, utilizando o resultado do teste de KS, com nível de significância de 5% (valor padrão), para qualificar a conformidade.

Nessas condições, foram realizados testes de adequação sobre as amostras de cada célula da Tabela 4, a fim de verificar se cada conjunto de amostra pode ser representado por uma curva de distribuição de probabilidade normal, gamma, weibull, lognormal ou pareto. Dos 560<sup>4</sup> testes realizados, apenas dois satisfizeram o critério do teste de KS, provenientes da célula de Transmissão ATCO Canal 1, da faixa de 65-70%, cujas 1052 amostras podem ser representadas por curvas gamma ou weibull. Também sobre a faixa de 65-70%, convém mencionar que o trabalho de ROSSI et al. (2015) apresenta curvas sintéticas para as situações de maior uso do SMA que corroboram com as curvas encontradas neste primeiro resultado.

Ainda sobre esse primeiro resultado, concluiu-se pela necessidade de uma investigação mais detalhada sobre os motivos da não convergência dos testes de KS, que é baseado na distância entre os dados empíricos e as curvas teóricas de distribuição de probabilidade, sem descartar a possibilidade da quantidade de dados estar dificultando a convergência dos testes como mencionado por Sharp (SHARP et al., 2004). Essa possibilidade corrobora com o fato das poucas convergências terem ocorrido em conjuntos pequenos de dados.

<sup>3</sup>Não houve registro de taxas de ocupação superiores a 70%.

<sup>4</sup>14 faixas, 5 curvas, 2 canais e 4 eventos

A investigação mais detalhada, por sua vez, foi realizada a partir da segunda fase do *script*, quando as curvas de probabilidade acumulada das amostras das faixas de 5-10%, 30-35% e 65-70% foram representadas graficamente, permitindo uma inspeção visual em busca de evidências do motivo de não adequação das curvas nas faixas laterais e central.

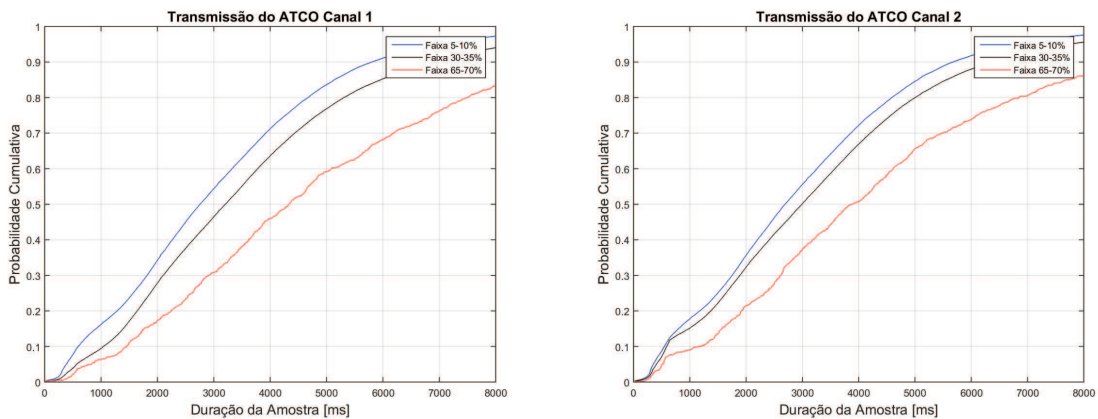
Os gráficos produzidos nessa segunda fase foram organizados nas próximas seções deste trabalho, seguidos das análises aplicáveis a cada evento.

## 5.1 COMPORTAMENTO DOS ATCO

Para modelar o comportamento dos ATCO na utilização do SMA, analisaram-se as transmissões e os silêncios de forma separada.

### 5.1.1 TRANSMISSÃO DOS ATCO (CANAL 1 E 2)

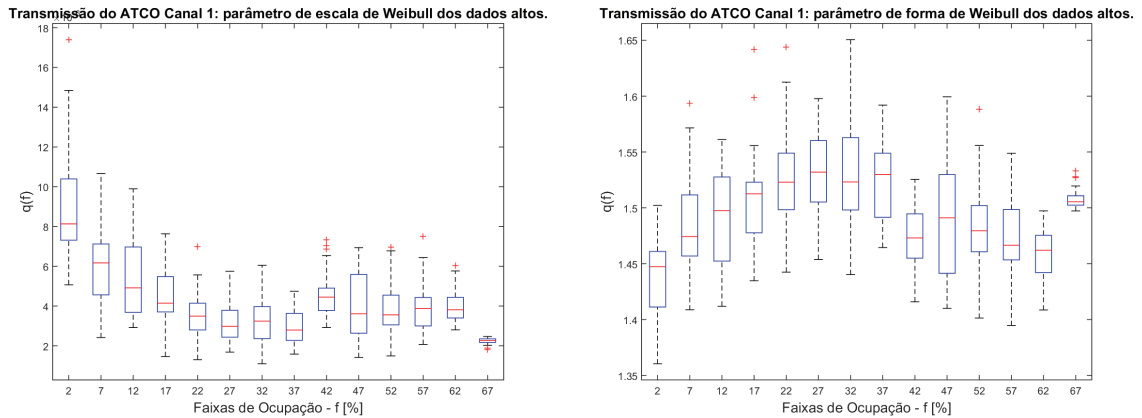
As curvas de distribuição acumulada das amostras de transmissão dos ATCO (Canal 1 e 2) estão apresentadas na Figura 18. Nela é possível verificar que os dados dos canais 1 e 2 são próximos entre si, lembrando que ambos possuem as mensagens do ATCO como fonte.



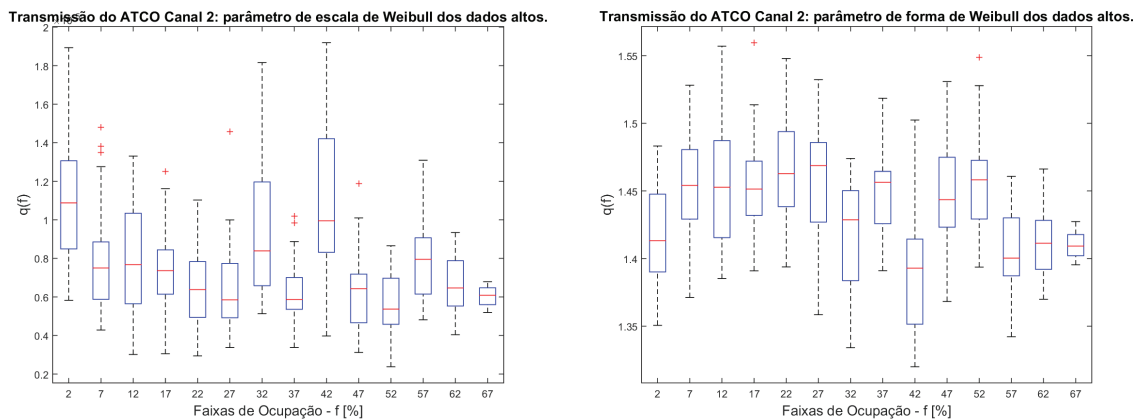
**Figura 18:** Trechos de transmissão dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%.

Quanto à caracterização dessas transmissões, observa-se uma dinâmica predominante no intervalo de transmissões entre 0 e 8 s (onde se concentram mais de 80% das amostras). Nesse intervalo, observa-se distribuições regulares e uma leve concentração de amostras até a faixa de 750 ms. Neste caso, a conclusão inicial foi que a convergência dos teste de KS foi prejudicada pelo mero excesso de dados, por isso, procedeu-se novos testes sobre os dados de transmissão dos ATCO. Esses testes utilizaram subconjuntos de 1000 amostras do conjunto principal, conforme realizado por SHARP et al. 2004, que, por sua vez, indicaram maior convergência para a curva weibull (55% para o canal 1 e 55% para o canal 2) para representar a

dinâmica das transmissões dos ATCO. A evolução dos parâmetros dessas curvas, em função das faixas de agrupamento, são apresentadas nas Figuras 19 e 20.



**Figura 19: Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando as transmissões dos ATCO no canal 1.**



**Figura 20: Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando as transmissões dos ATCO no canal 2.**

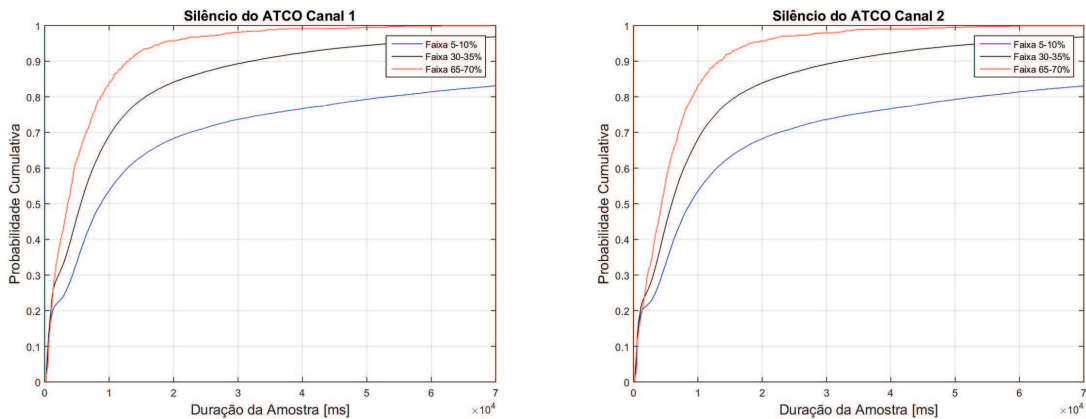
Para o cálculo dos valores apresentados nas Figuras 19 e 20, extraiu-se 30 conjuntos contendo 1000 amostras aleatórias do conjunto principal, a partir dos quais os parâmetros das curvas foram calculados.

Esperava-se que as evoluções dos parâmetros de forma e de escala seguissem uma forma monotônica, como se apenas a taxa de ocupação definisse a forma e a escala das curvas de distribuição (mesmo que de uma maneira não-linear). No entanto, o que se observa é que essa evolução não parece ser influenciada apenas pela taxa de ocupação, o que sugere a necessidade de se explorar, em futuros trabalhos, os possíveis fatores que possam justificar o comportamento da evolução desses parâmetros <sup>5</sup>.

<sup>5</sup>A evolução dos parâmetros de forma e de escala das curvas encontradas nas demais seções também não seguem uma forma monotônica, sobre as quais se aplicam as mesmas considerações.

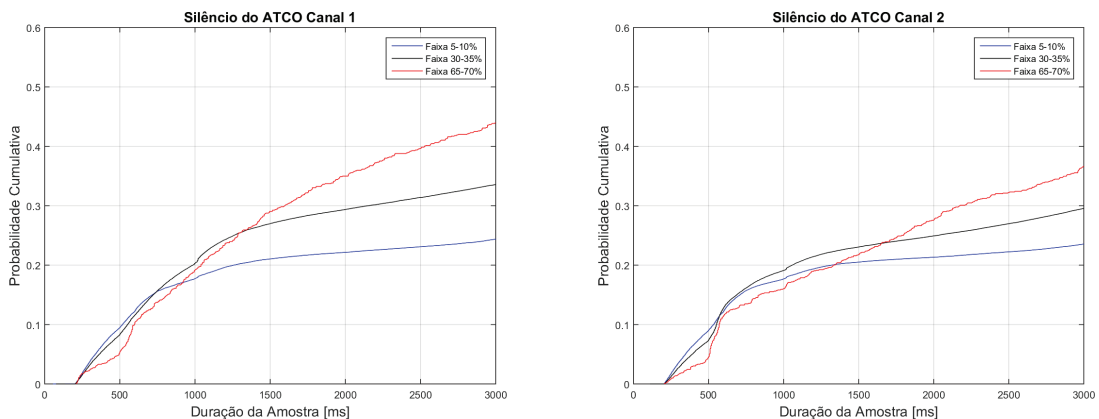
### 5.1.2 SILÊNCIO DOS ATCO (CANAL 1 E 2)

Quanto aos períodos de silêncio dos ATCO, as curvas de distribuição acumulada dos canais 1 e 2 estão apresentadas na Figura 21. Semelhante ao que acontece nas transmissões, observa-se que os dados dos canais são próximos entre si, dado que ambos possuem a mesma fonte.



**Figura 21:** Trechos de silêncio dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%.

Em função da concentração de dados até o instante 5 s, uma representação adicional desses dados está disponível na Figura 22, na qual o eixo x foi ajustado até o valor de 3 s.

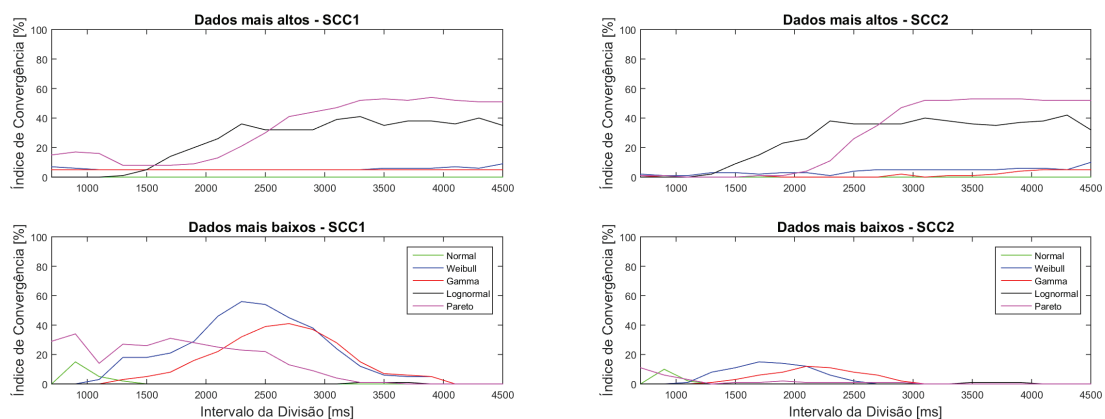


**Figura 22:** Trechos de silêncio dos ATCO em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%, até o valor de 3 s.

A partir de uma análise visual sobre as curvas, foi possível concluir que aproximadamente 20% das amostras são menores que 1000 ms, havendo, até esse ponto, uma distribuição quase uniforme no canal 1, enquanto no canal 2 a distribuição se apresenta menos regular. Em seguida, as amostras se distribuem sem grande concentração para, então, tomar uma forma regular até os valores mais altos. As transições sugerem a existência de duas, ou mais, dinâmicas de distribuição das amostras.

Em função dessa observação, foi implementada uma terceira fase de análise no *script*, na qual os dados foram separados em parte “baixa” e parte “alta” e testados utilizando o teste de KS. A parte baixa contém as amostras breves (menores que determinado valor) e a parte alta contém as amostras longas (maiores que determinado valor). Nessa fase, para os trechos de silêncio dos ATCO, o *script* percorreu o intervalo de 700 ms até 4500 ms, em passos de 200 ms, dividindo os dados em partes baixa e alta. Em cada passo, 30 conjuntos de 1000 amostras das partes foram submetidas ao teste de KS para cada curva analisada e em cada faixa de ocupação. Ao final do percurso, foi calculado o índice de convergência das partes<sup>6</sup>. A evolução desse índice ao longo do intervalo analisado irá sugerir a curva que melhor representa a distribuição das amostras (as que apresentarem maior índice de convergência) e o valor a ser utilizado para separar os dados entre partes “baixa” e parte “alta” (instante em que o índice de convergência é maior).

O resultado dessa varredura é mostrado na Figura 23, onde é apresentada a evolução do índice de convergência do silêncio dos ATCO nos canais 1 e 2, em função do ponto de separação. Nela, observou-se que a divisão das amostras no instante de 2300 ms possibilitaria um alto índice de convergência para a parte baixa (60% com a curva weibull) e para a parte alta (40% com a curva lognormal) no Canal 1. No canal 2, o índice de convergência da parte baixa não foi significativo, possivelmente em função das distorções observadas nas curvas de distribuição no intervalo mais breve.



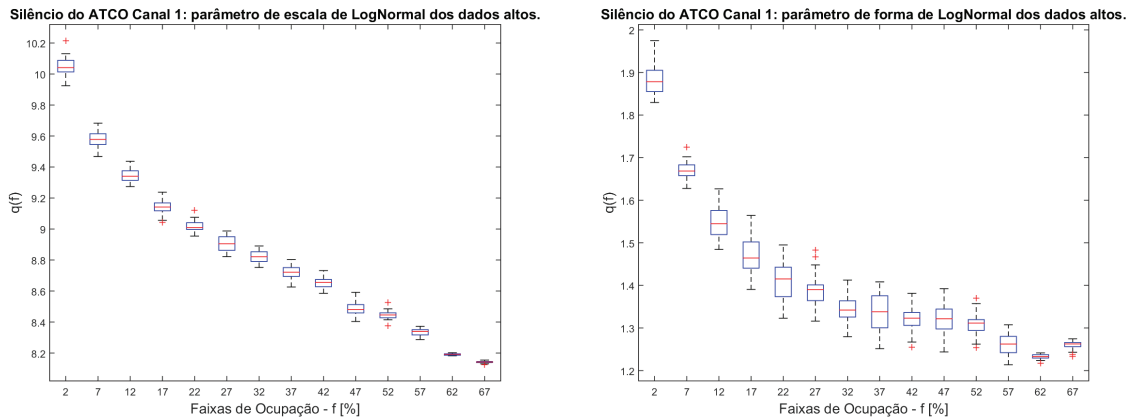
**Figura 23: Evolução do índice de convergência do silêncio dos ATCO, entre 700 ms e 4500 ms em passos de 200 ms.**

Em função disso, uma quarta fase foi implementada. Nessa, as amostras de silêncio dos ATCO foram separadas pelo instante 2300 ms, em cada faixa de ocupação, e 30 conjuntos de 1000 amostras do conjunto principal foram submetidos às análises de adequações junto às

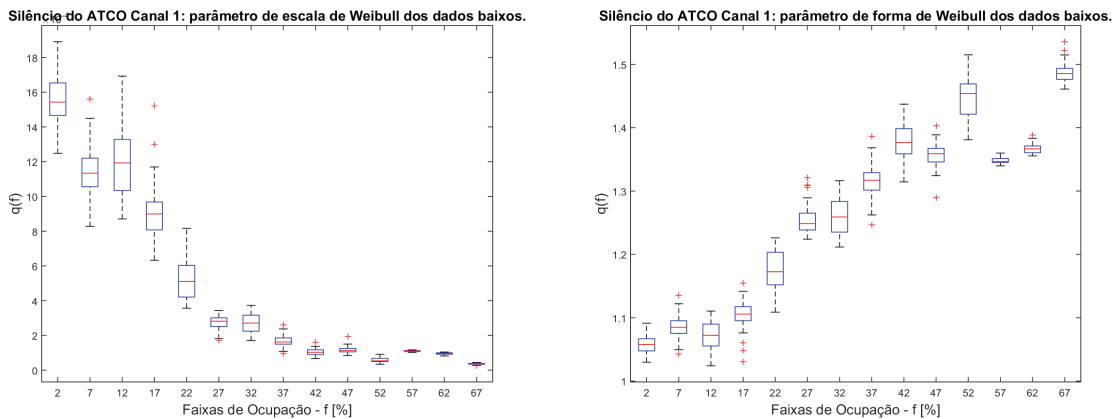
<sup>6</sup>O índice de convergência foi definido como sendo a porcentagem de sucesso dos testes de KS realizados, observando que cada curva sobre 600 testes (30 testes em cada um dos 20 passos)

curvas weibull (parte baixa) e lognormal (parte alta).

O resultado dessas análises acusou uma convergência de 54% para a parte baixa e de 34% para a parte alta dos dados, para o canal 1. A evolução dos parâmetros da curva lognormal, que representa a parte alta, é apresentada na Figura 24. Já a evolução dos parâmetros da curva weibull, que representa a parte baixa, é apresentada na Figura 25.

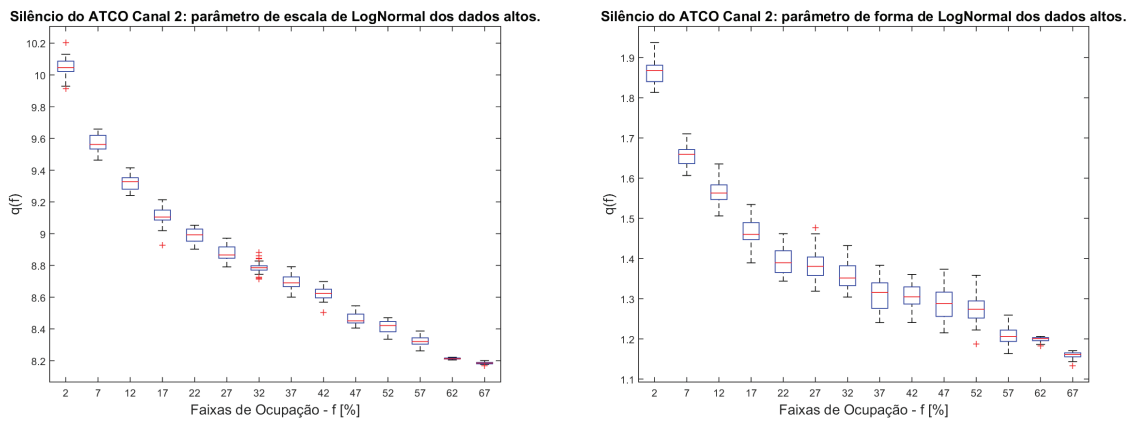


**Figura 24:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal, representando os trechos longos de silêncio dos ATCO no canal 1, a partir de 2300 ms.

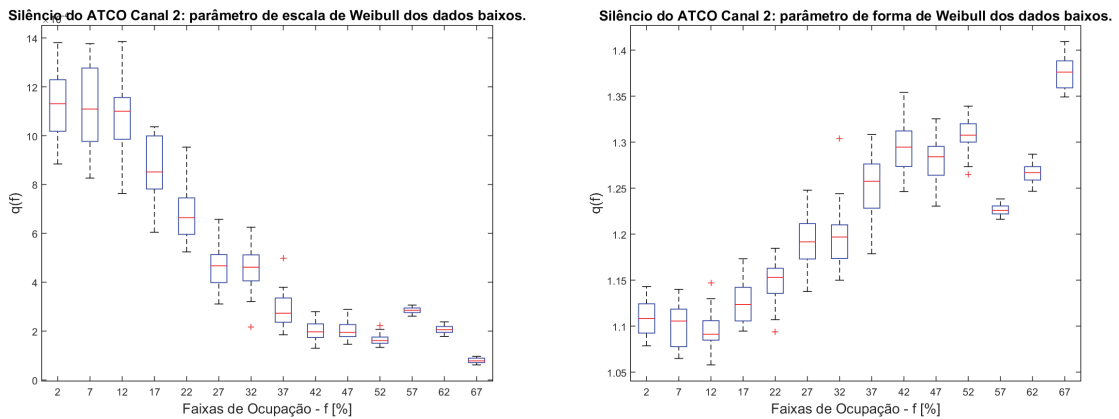


**Figura 25:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de silêncio dos ATCO no canal 1, até 2300 ms.

Quanto ao canal 2, a convergência na parte baixa não foi significativa, chegando à 6% apenas para a curva weibull, enquanto a convergência da parte superior chegou a 35% para a curva lognormal. A falha na convergência na parte baixa do canal 2 pode ser justificada pela distorção na distribuição observada na Figura 22. Assim mesmo, a evolução dos parâmetros da curva lognormal que representa os trechos longos de silêncio dos ATCO no canal 2 é apresentada na Figura 26, enquanto a evolução dos parâmetros da curva weibull que representa os trechos breves de silêncio é apresentada na Figura 27.



**Figura 26:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal, representando os trechos longos de silêncio dos ATCO no canal 2, a partir de 2300 ms.

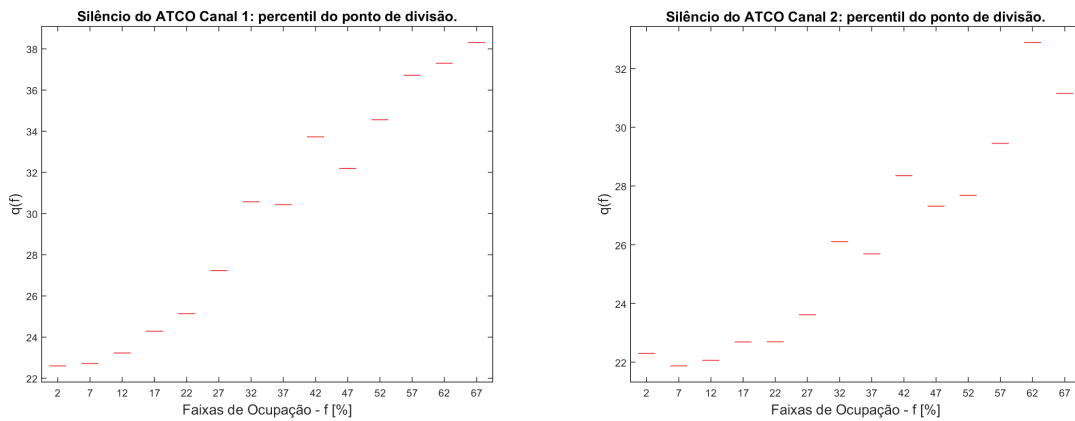


**Figura 27:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de silêncio dos ATCO no canal 2, até 2300 ms.

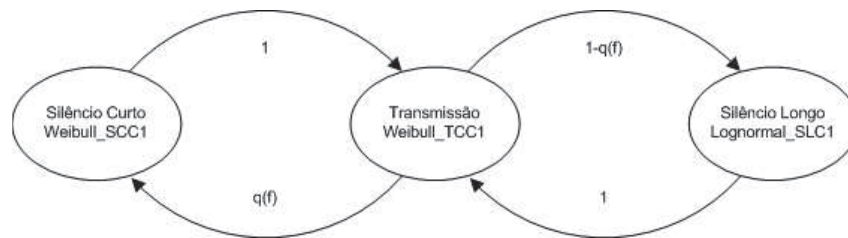
Com a finalidade de estimar a probabilidade do silêncio do ATCO ser breve ou longo, acompanhou-se o percentil das amostras até 2300 ms ao longo das faixas de ocupação. A dinâmica desse percentil representa a probabilidade do silêncio de ATCO ser breve (weibull) ou longo (lognormal), sendo apresentada na Figura 28. Essa figura sintetiza a forma da função  $q(f)$  do modelo de transição a ser definido para o comportamento do ATCO no uso do SMA.

Todas essas observações podem ser sintetizadas em um modelo transição com 3 estados, representado o comportamento dos ATCO no canal 1. Esse modelo é ilustrado na Figura 29, na qual os parâmetros das curvas weibull e lognormal evoluem conforme as Figuras 19 (transmissões dos ATCO nominada por Weibull\_TCC1), 25 (silêncios breves dos ATCO nominada por Weibull\_SCC1), 24 (silêncios longos dos ATCO nominada por Lognormal\_SLC1) e 28 (probabilidades das amostras de 2300 ms ao longo das faixas  $f$  nominada por  $q(f)$ ).

Considerou-se dispensável um modelo para o comportamento dos ATCO no canal 2,



**Figura 28: Probabilidade do silêncio do ATCO ser breve ou longo, para o canal 1 e 2.**



**Figura 29: Modelo do comportamento dos ATCO, representando as dinâmicas de transmissão e silêncio no canal 1.**

pois o modelo definido para o canal 1 já seria capaz, em tese, de representar essa fonte de eventos, especialmente pelo fato do canal 1 agregar a maior quantidade de tráfegos sob controle.

## 5.2 COMPORTAMENTO DA AERONAVE

### 5.2.1 TRANSMISSÃO DA AERONAVE (CANAL 1 E 2)

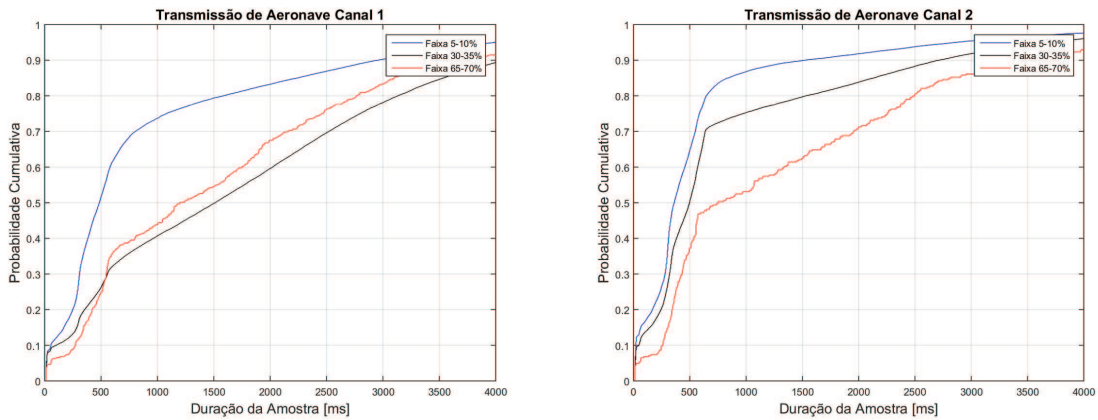
Diferente do observado para os ATCO, as transmissões das aeronaves, canal 1 e 2 (Figura 30) variam bastante entre si. Além disso, as faixas de 30-35% e 65-70% cruzam-se nas proximidades do valor de 500 ms, no Canal 1.

A variação observada se justifica pelo *modus operandi* de utilização do SMA, onde as aeronaves tendem a utilizar o canal recomendado pelo ATCO quando ingressam no setor. Esse canal acaba por agregar um número maior de aeronaves e, portanto, se tornar mais utilizado e congestionado.

Quanto à inversão de ordem entre as faixas de 30-35% e 65-70%, no canal 1, a suposição é que, nas ocasiões de maior congestionamento, as aeronaves tendem a evitar o uso do canal, limitando-se às transmissões essenciais e mantendo o canal livre para as mensagens do ATCO. Essa hipótese pode ser testada em trabalhos futuros que busquem uma relação entre



os parâmetros de forma e de escala com fatores que não sejam a taxa de ocupação dos canais do SMA.



**Figura 30: Trechos de transmissão das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%.**

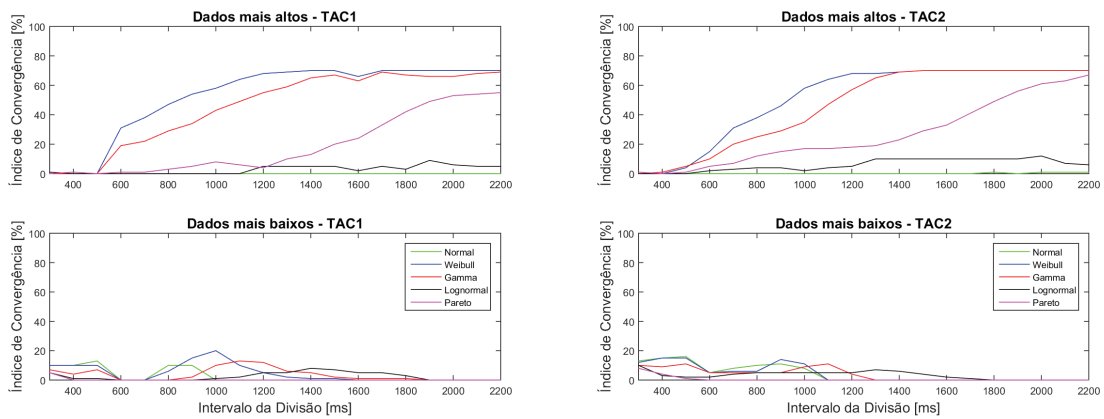
Quanto às características das transmissões das aeronaves, os gráficos da Figura 30 sugerem a existência de duas, ou mais, dinâmicas agindo sobre esses eventos. As transições nas proximidades do instante de 500 ms é onde se supõe a transferência de uma dinâmica para a outra, visto que a inclinação das curvas variam bastante nas proximidades desse ponto.

Nesse sentido, os dados foram submetidos à terceira fase do *script*, que calculou a evolução do índice de convergência. O resultado foi que há convergência significativa apenas na parte alta dos dados (aproximadamente 70% para a curva weibull, a partir do instante 1200 ms em ambos os canais), mas a convergência na parte baixa foi prejudicada, supostamente pela presença massiva de amostras até o instante de 80 ms.

Em função disso, repetiu-se os testes separando a parte baixa em 2 segmentos: 0-80 ms e 80-1200 ms, o que resultou em uma evolução do índice de convergência demonstrada na Figura 31. Esse resultado sugeriu o uso de uma separação das amostras no instante 1 s, no qual o índice de convergência é elevado para a parte alta e é o maior (apesar de pouco significativo) para a parte baixa.

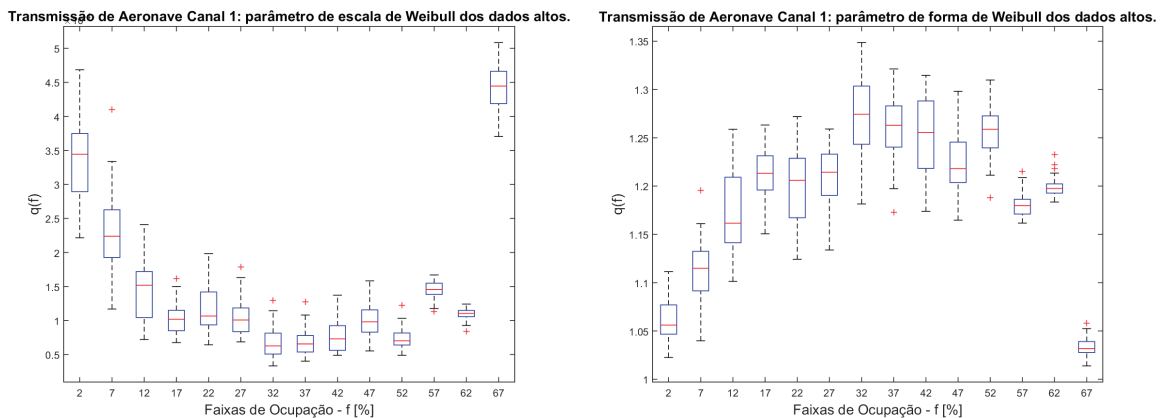
Assim, ao se proceder testes específicos separando as amostras em 3 intervalos (0-80ms, 80-1000ms e demais), o índice de convergência da curva weibull para a parte alta teve como resultado 59% (canal 1) e 57% (canal 2). Quanto à parte intermediária das amostras, essa apresentou uma convergência de 19% (canal 1) e 10% (canal 2), também para a curva weibull.

Apesar do baixo índice de convergência, a curva weibull ainda é aquela que melhor representa as transmissões das aeronaves no intervalo entre 80-1000 ms. Para o intervalo 0-80 ms, por simplificação, considerou-se uma distribuição uniforme.



**Figura 31:** Evolução do índice de convergência das transmissões da aeronave, entre 300 ms e 2100 ms em passos de 200 ms.

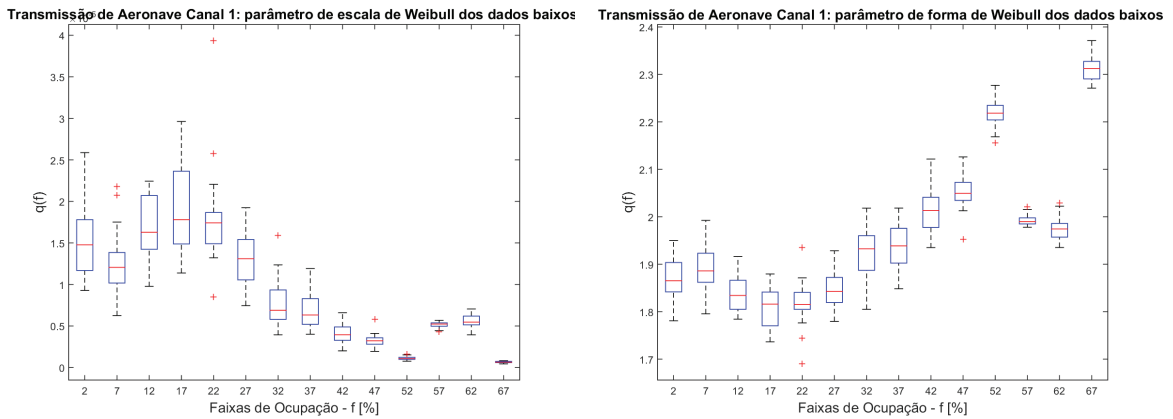
A evolução dos parâmetros da curva weibull, que representa a parte alta, é apresentada na Figura 32. Já a evolução dos parâmetros da curva weibull, que representa a parte intermediária, é apresentada na Figura 33.



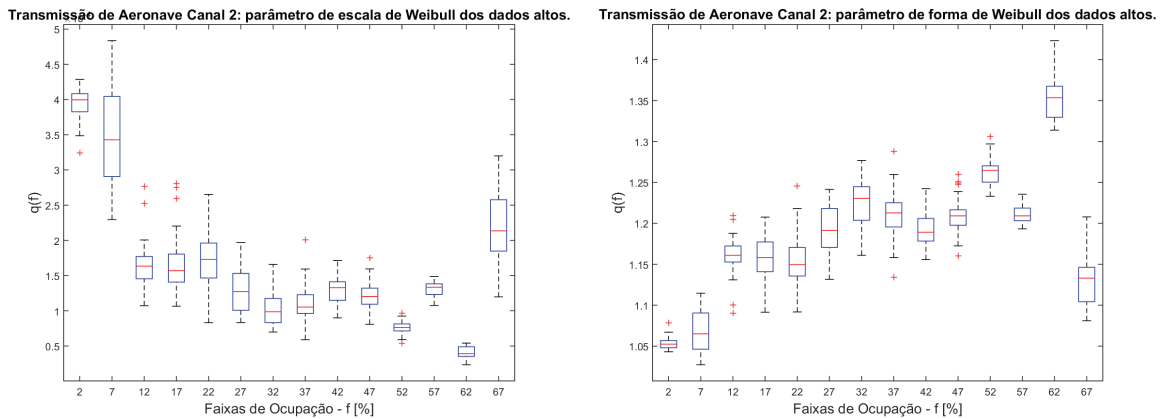
**Figura 32:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos longos de transmissão das aeronaves no canal 1, a partir de 1000 ms.

Quanto ao canal 2, a convergência na parte intermediária não foi significativa, chegando à 10% apenas para a curva weibull, enquanto a convergência da parte superior chegou a 57%, também para a curva weibull. A falha na convergência na parte intermediária do canal 2 pode ser justificada pela distorção na distribuição observada na Figura 30. Assim mesmo, a evolução dos parâmetros da curva weibull que representa os trechos longos de transmissão das aeronaves no canal 2 é apresentada na Figura 34, enquanto a evolução dos parâmetros da curva weibull que representa os trechos intermediários de transmissão é apresentada na Figura 35.

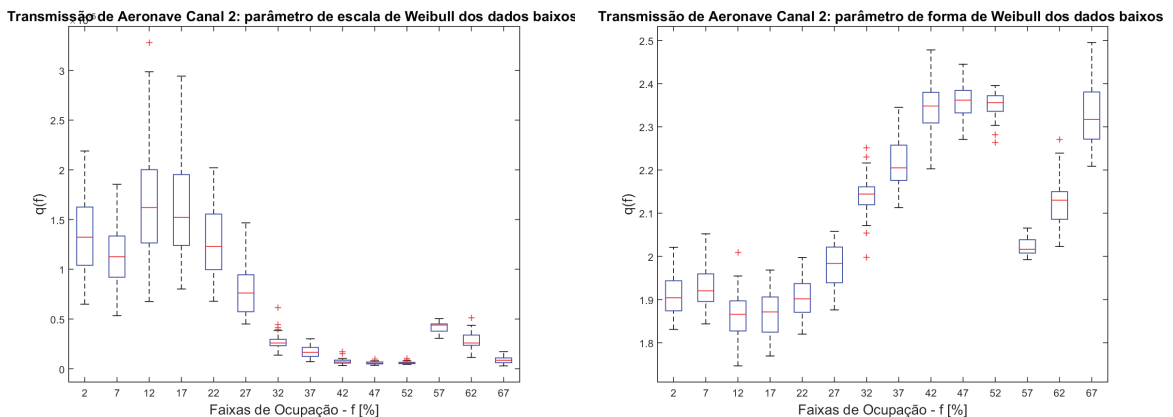
A fim de estimar a probabilidade da transmissão das aeronaves ser intermediária ou longa, acompanhou-se o percentil das amostras até 1000 ms ao longo das faixas de ocupação. A



**Figura 33:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos breves de transmissão das aeronaves no canal 1, até 1000 ms.



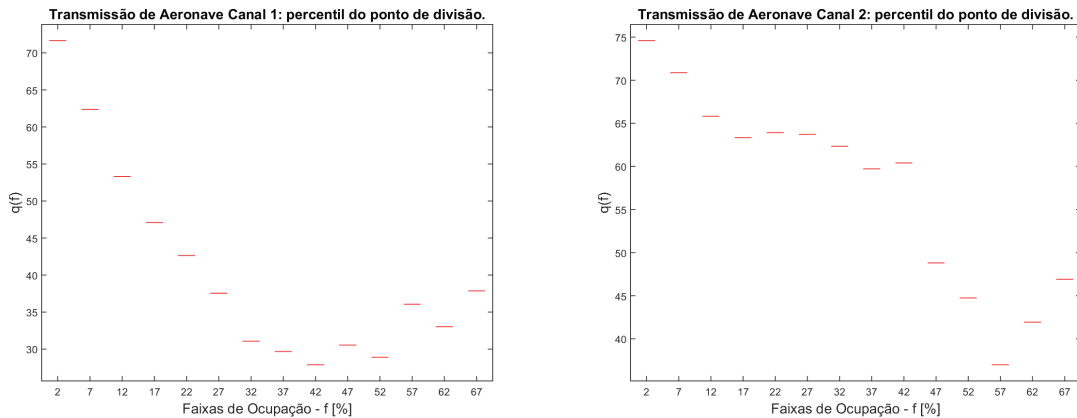
**Figura 34:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos longos de transmissão das aeronaves no canal 2, a partir de 1000 ms.



**Figura 35:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull, representando os trechos intermediários de transmissão das aeronaves no canal 2, até 1000 ms.

dinâmica desse percentil representa a dinâmica da probabilidade da transmissão das aeronaves estar em uma faixa ou outra, sendo apresentada na Figura 36. Essa figura representa a forma da

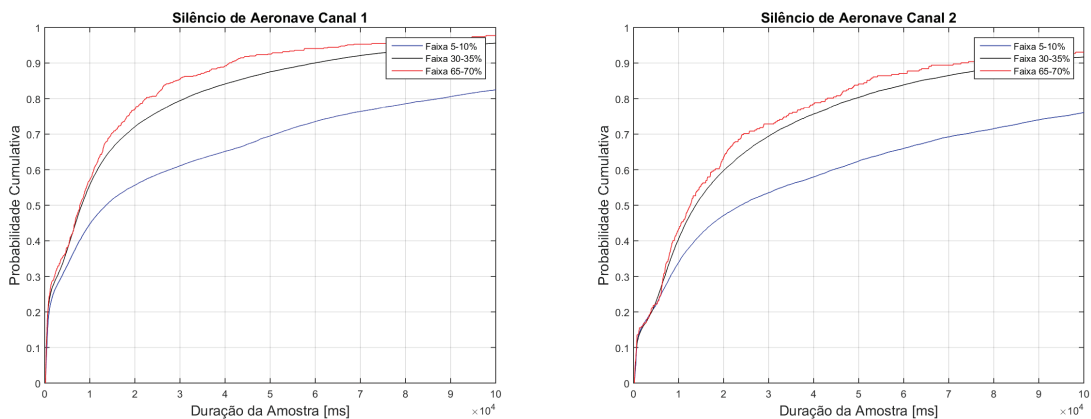
função  $qt(f)$  do modelo de transição a ser definido.



**Figura 36:** Probabilidade da transmissão das aeronaves ser intermediária ou longa, para o canal 1 e 2.

### 5.2.2 SILÊNCIO DA AERONAVE (CANAL 1 E 2)

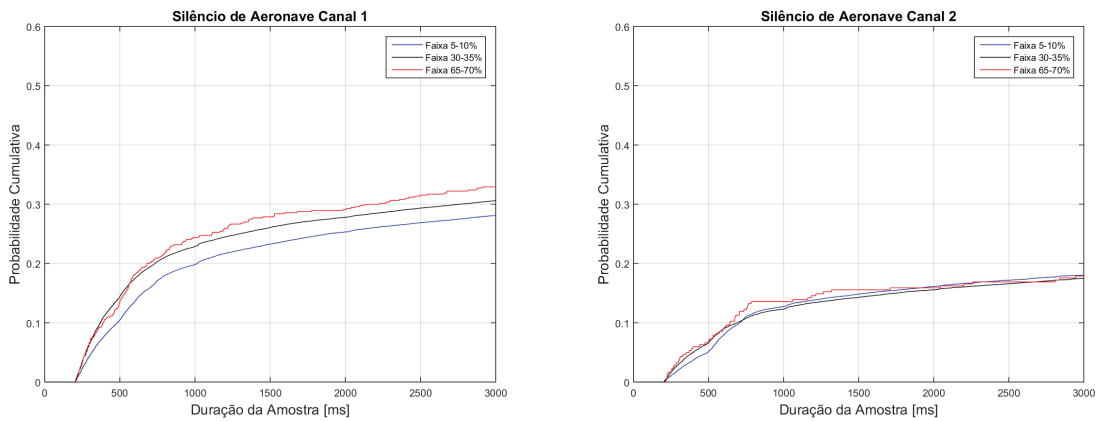
Quanto ao silêncio das aeronaves, canal 1 e 2, as curvas de distribuição acumulada das amostras (Figura 37) não variam tanto quanto as observadas na transmissões. No entanto, ao representar apenas as amostras até o valor de 3 s (Figura 38), as diferenças entre os conjuntos são mais evidentes.



**Figura 37:** Trechos de silêncio das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%.

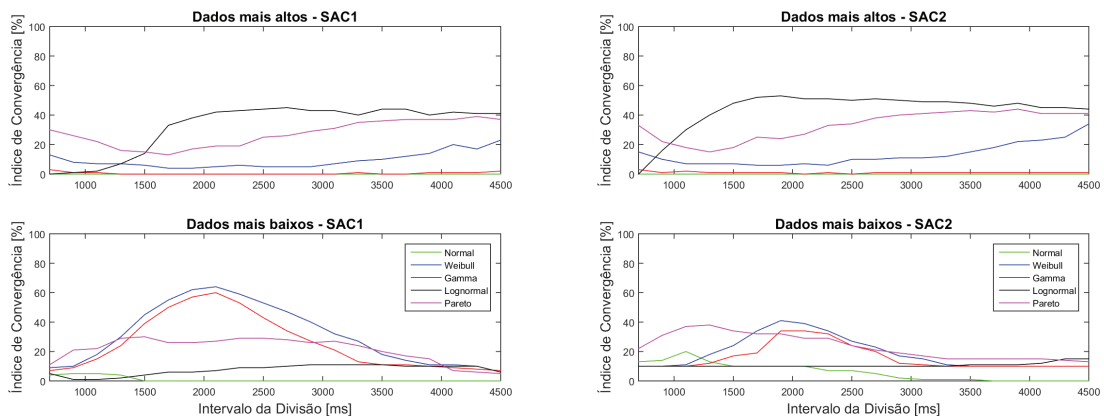
Uma análise visual, permite concluir que há uma distribuição regular até o instante de 1 s, seguida por uma tendência de estagnação para, então, tomar uma forma regular até os valores mais altos. Essas transições sugerem a existência de duas, ou mais, dinâmicas de distribuição das amostras.

Em função disso, também se submeteu os dados à terceira fase de análise do *script*,



**Figura 38:** Trechos de silêncio das aeronaves em faixas de ocupação de 5-10%, 30-35% e 65-70%, até o valor de 3 s.

onde se percorreu o intervalo de 700 ms até 4500 ms, em passos de 200 ms, calculando a evolução do índice de convergência apresentado na Figura 39.

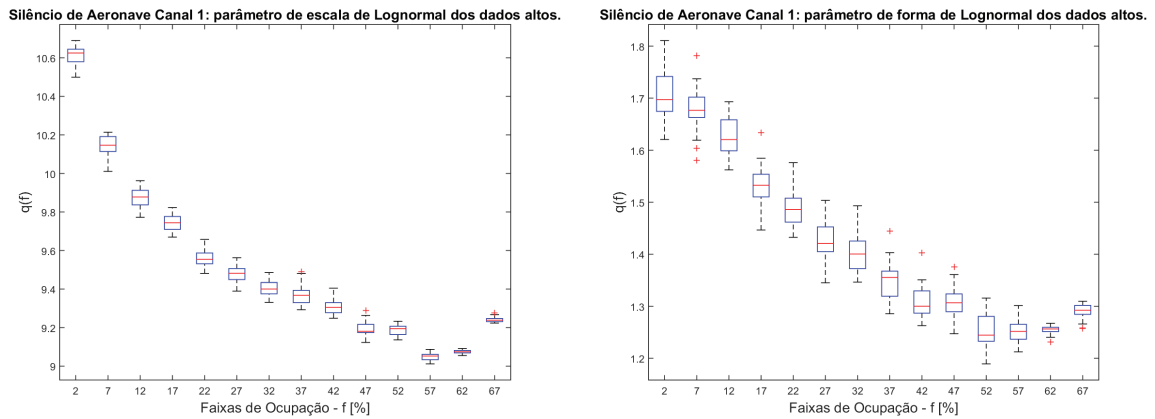


**Figura 39:** Evolução do índice de convergência do silêncio das aeronaves, entre 700 ms e 4500 ms em passos de 200 ms.

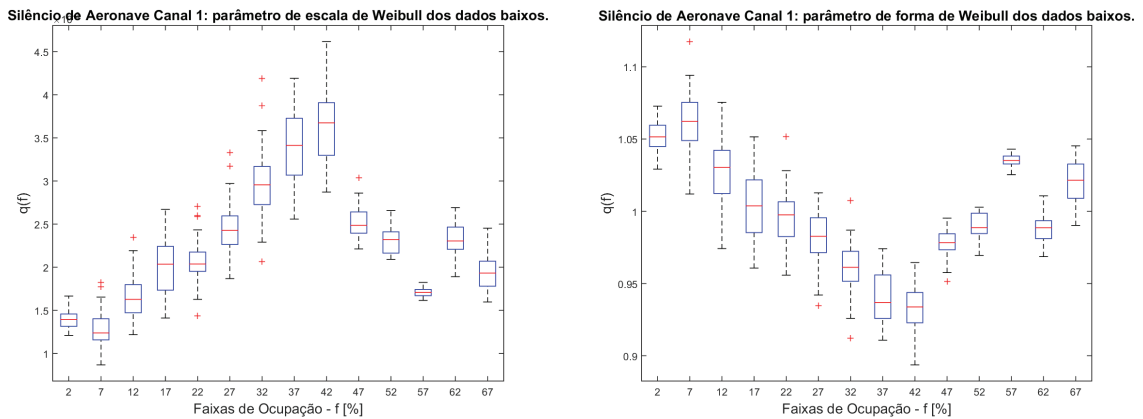
A evolução do índice de convergência sugeriu que a divisão das amostras do canal 1 no instante 2100 ms resultaria em um elevado índice de convergência para a parte baixa e alta do canal. Já para no canal 2, a divisão ideal ocorreria no instante 1900 ms.

Utilizando esses parâmetros, procedeu-se as análises das evoluções dos parâmetros das curvas weibull (parte baixa) e lognormal (parte alta), demonstradas nas Figuras 40 e 41, para o canal 1, e Figuras 42 e 43, para o canal 2.

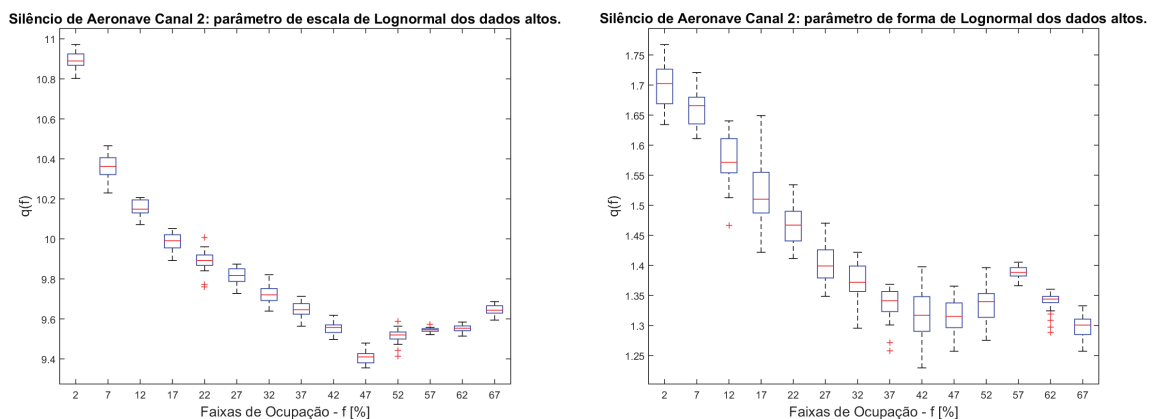
Também aqui, na busca de uma estimativa para a probabilidade de um silêncio de aeronave ser breve ou longo, acompanhou-se o percentil das amostras de 2100 ms ao longo das faixas de ocupação no canal 1 e de 1900 ms no canal 2. A dinâmica desse percentil representa a dinâmica da probabilidade do silêncio de aeronave ser curto ou longo. Essa dinâmica é repre-



**Figura 40:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal que representa o silêncio da aeronave no canal 1, a partir de 2100 ms.

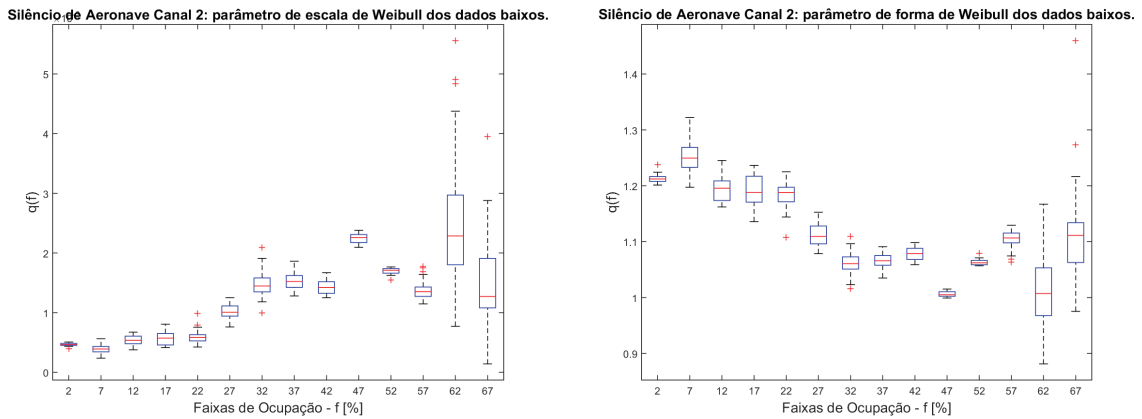


**Figura 41:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull que representa o silêncio do aeronave no canal 1, antes de 2100 ms.

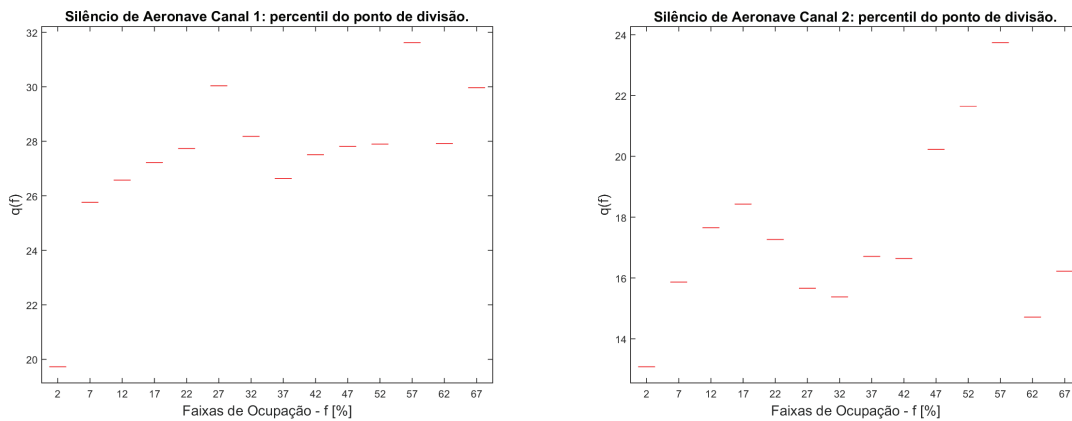


**Figura 42:** Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva lognormal que representa o silêncio da aeronave no canal 2, a partir de 1900 ms.

sentada na Figura 44, a qual representa a forma da função  $q_s(f)$  do modelo de transição a ser definido.



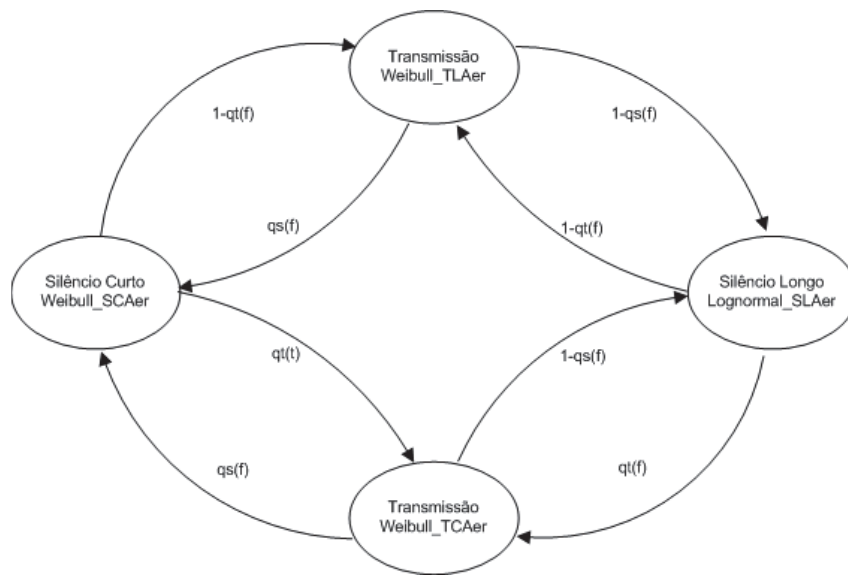
**Figura 43: Evolução dos parâmetros de escala e forma da curva weibull que representa o silêncio do aeronave no canal 2, antes de 1900 ms.**



**Figura 44: Probabilidade do silêncio da aeronave ser curto ou longo, para o canal 1 e 2.**

Por essas observações, foi possível adotar um modelo de transição para representar a dinâmica das transmissões e silêncios das aeronaves. Esse modelo deve ser capaz de representar as dinâmicas observadas nas transmissões e nos silêncios, e um modelo de 3 estados não seria capaz de as representar.

Uma alternativa foi propor um ajuste no modelo de 3 estados para que incluísse uma segunda dinâmica nas transmissões. Esse ajuste resultou em um modelo de 4 estados, conforme apresentado na Figura 45, na qual os parâmetros das curvas weibull e lognormal evoluem conforme as Figuras 33 (transmissões curtas das aeronaves nominada por Weibull\_TCAer), 32 (transmissões longas das aeronaves nominada por Weibull\_TLAer), 41 (silêncios curtos das aeronaves nominada por Weibull\_SCAer), 41 (silêncios longos das aeronaves nominada por Lognormal\_SLAer), 36 (percentil das amostras de transmissão em 1000 ms ao longo das faixas  $f$  nominada por  $qt(f)$ ) e 44 (percentil das amostras de silêncio em 2100 ms ao longo das faixas  $f$  nominada por  $qs(f)$ ).



**Figura 45: Modelo do comportamento das aeronaves, representando as dinâmicas de transmissão e silêncio no canal 1.**

Quanto a um modelo que represente o comportamento da aeronave no canal 2, entende-se que esse tornar-se-ia extremamente complexo em função das dificuldades de convergências observadas. Por outro lado, a existência da representação do comportamento da aeronave no canal 1 minimiza a necessidade por uma representação no canal 2, dado que as coordenações de tráfego aéreo tendem a se concentrar no canal 1, sendo ele o mais congestionado.

### 5.3 VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Com o propósito de validar os modelos obtidos ao longo deste trabalho, realizou-se simulações utilizando os parâmetros definidos para cada modelo, como os modelos de transição, as curvas de distribuição de probabilidade, os parâmetros de forma e de escala, os pontos de separação de dados “alto” e “baixo”, e seu respectivo percentis. Todas essas informações foram utilizadas em simulações que geraram 1000 amostras sintéticas a partir dos modelos disponíveis.

A validação, por sua vez, consiste na comparação dos valores da média e do desvio padrão das amostras empíricas com as amostras simuladas. Esses dados, bem como os parâmetros definidos nos modelos, encontram-se disponíveis no Apêndice B.

Como resultado geral, verifica-se que não há valor muito discrepante de média e desvio padrão entre as amostras empíricas e as sintéticas. Nesse conjunto, as maiores diferenças residem nos modelos com baixo índice de convergência, enquanto que as transmissões dos ATCO, tanto canal 1 como 2, apresentam parâmetros muito próximos.



## 6 CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi estudar as comunicações realizadas através do Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) com a finalidade de modelar a utilização desse recurso por Controladores de Tráfego Aéreo (ATCO) e por aeronaves durante o provimento do serviço de controle de tráfego aéreo.

Com vistas a esse objetivo, este trabalho recorreu a uma bibliografia que estudou problemas semelhantes, tendo identificado conceitos, técnicas, perfis de distribuição, modelos de transição e testes que instrumentaram o reconhecimento e o dimensionamento das dinâmicas de uso do SMA. Esse conteúdo acadêmico, aliado à metodologia empregada, permitiu modelar a utilização do SMA segundo o locutor da mensagem (ATCO ou aeronave). Essa diferenciação permite quantificar o tráfego de voz entrante e saínte dos pontos da rede envolvidos no transporte dos sinais de voz, trazendo um resultado que se diferencia dos observados na bibliografia consultada, pois essa se constitui de trabalhos que se isentam de identificar o locutor das mensagens por limitações metodológicas, mesmo estudando meios de comunicação *half-duplex* acionados por PTT (semelhante ao SMA).

Como resultado geral, este estudo demonstrou a existência de diversas dinâmicas influenciando os processos de transmissão e silêncio que partem dos locutores envolvidos, caracterizando essas dinâmicas através das funções de densidade de probabilidade que regem as mudanças de estado de uso do SMA (modelos de transição), seguindo, portanto, a estrutura básica de representação comumente encontrada na bibliografia tomada como referência.

Os primeiros testes, utilizando toda a massa de dados, não apresentaram convergência significativa, mas corroboraram com os resultados apresentados por ROSSI et al. (2015) quando curvas sintéticas foram propostas para representar a utilização do SMA em ocasiões de maior ocupação desse serviço.

Os testes seguintes utilizaram sistematicamente subconjuntos de 1000 amostras do conjunto principal, considerando as dificuldades de convergência do teste de Kolmogorov-Smirnov (teste de KS) para grandes amostras, e apontaram que o comportamento do ATCO

ao utilizar o SMA pode ser caracterizado segundo um modelo de transição de 3 estados que diferencia os silêncios breves e longos e as transmissões desse agente. Em outras palavras, o conjunto de transmissões do ATCO pôde ser representado por uma única função de densidade de probabilidade (weibull), enquanto o conjunto de silêncios teve que ser segmentado em breves e longos de forma a maximizar o índice de convergência de funções de distribuição de probabilidade que os representariam. A partir da separação desses dados, os silêncios breves foram caracterizado por funções weibull e os silêncios longos por funções lognormal, ambos com elevado índice de convergência.

Quanto ao comportamento das aeronaves ao utilizar o SMA, esta etapa do estudo exigiu uma caracterização através de um modelo de transição de 4 estados, pois tanto transmissões como silêncios impuseram a segmentação em breves e longos para que se alcançasse índices de convergência minimamente razoáveis. Neste caso, as transmissões das aeronaves apresentaram elevado índice de convergência para as amostras longas, caracterizando-as por funções weibull, enquanto o índice de convergência das amostras curtas, nitidamente baixo, apontou para uma representação por funções weibull. Para os silêncios, a segmentação resultou em elevados índices de convergência para as amostras curtas, representadas por funções weibull, e para as amostras longas, representadas por funções lognormal.

Como proposto anteriormente, esses modelos podem subsidiar o dimensionamento de redes de telecomunicação destinadas ao transporte de sinais de voz entre órgãos de controle de tráfego aéreo e estações remotas de VHF, podendo, ainda, ser modificados no sentido de superestimar a utilização do recurso, garantindo as probabilidades mínimas de sucesso de comunicação entre ATCO e aeronaves.

Além dos resultados alcançados, este trabalho produziu um conjunto de dados que pode ser explorado para o alcance de outros objetivos, tais como o de definir uma função de correlação temporal entre as transmissões de ATCO e de aeronaves; ou o de quantificar o número de interações entre esses agentes. Esses trabalhos explorariam aspectos não estudados neste trabalho e aumentariam o nível de detalhamento dos modelos de uso SMA.

Ainda sobre esse aspecto, trabalhos futuros poderiam propor a busca por uma relação entre a evolução dos parâmetros de forma e de escala com variáveis não monitorados neste trabalho, como ao número de aeronaves controladas, ao nível de atenção/stress de ATCO ou pilotos, etc. A não linearidade observada sobre a evolução desses parâmetros impede que se defina um modelo aditivo, proporcional à taxa de ocupação, por exemplo, mas novos trabalhos poderiam identificar a origem da não linearidade e investir em suposições sobre como as circunstâncias alteram a utilização do SMA.

Cabe, finalmente, considerar a necessidade de desenvolver trabalhos complementares a fim de verificar a recorrência dos parâmetros encontrados, utilizando dados oriundos dos períodos de fim de ano (feriados de Natal e Ano Novo), bem como aprimorar os métodos de identificação de locutor a fim de aumentar as percentagens de acerto nesse processo de identificação.

## REFERÊNCIAS

- ASCHEBRUCK, N. et al. Modelling voice communication in disaster area scenarios. In: **Local Computer Networks, Proceedings 2006 31st IEEE Conference on**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 211–220. ISSN 0742-1303.
- ASCHEBRUCK, N.; MARTINI, P. Evaluation and parameterization of voice traffic models for disaster area scenarios. In: **Local Computer Networks, 2008. LCN 2008. 33rd IEEE Conference on**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 236–243.
- ASCHEBRUCK, N.; MARTINI, P.; GERHARZ, M. Characterisation and modelling of voice traffic in first responder networks. In: **Local Computer Networks, 2007. LCN 2007. 32nd IEEE Conference on**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 295–302. ISSN 0742-1303.
- BOLIC, T.; RAKAS, J.; HANSEN, M. Controller-pilot radio channel utilization and cognitive issues. In: **6th USA / Europe Air Traffic Management R&D Seminar**. [S.l.: s.n.], 2005.
- BRADY, P. T. A technique for investigating on-off patterns of speech. **Bell System Technical Journal, The**, v. 44, n. 1, p. 1–22, Jan 1965. ISSN 0005-8580.
- BRADY, P. T. A model for generating on-off speech patterns in two-way conversation. **Bell System Technical Journal, The**, v. 48, n. 7, p. 2445–2472, Sept 1969. ISSN 0005-8580.
- BRASIL. **Convenção sobre Aviação Civil Internacional**. Aug 1946. Diário Oficial da União, [Brasília, DF], 19 set 1946. Decreto N° 21.713, de 27 de agosto de 1946.
- BRASIL. **Plano Nacional de Implementação dos Sistemas CNS/ATM**. Dez 2002. Diário Oficial da União, [Brasília, DF], 31 dez 2002. Portaria N° 992/GC3, de 30 de dezembro de 2002.
- BRASIL. **Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro**. Fev 2010. Boletim do Comando da Aeronáutica, [Brasília, DF], 11 fev 2010. Comando da Aeronáutica. Portaria n° 29/DGCEA, de 29 de janeiro de 2010.
- BRETMERSKY, S. C. et al. Simulation of controller pilot data link communications over vhf digital link mode 3. In: **4th Integrated Communications, Navigation, and Surveillance (ICNS) Conference and Workshop**. [S.l.: s.n.], 2004.
- EIER, D.; KAMPICHLER, W. Eurocae wg-67 standards for voice-over-ip in atm for advanced nextgen conops. In: **Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2010**. [S.l.: s.n.], 2010. p. C8–1–C8–9. ISSN 2155-4943.
- GRUBER, J. A comparison of measured and calculated speech temporal parameters relevant to speech activity detection. **Communications, IEEE Transactions on**, v. 30, n. 4, p. 728–738, Apr 1982. ISSN 0090-6778.

HOANG, H.; MALHAME, R.; ROSENBERG, C. Communication load and delay in multichannel land mobile systems for dispatch traffic: A queueing analysis. In: **Vehicular Technology Conference, 1992, IEEE 42nd**. [S.l.: s.n.], 1992. p. 773–777 vol.2. ISSN 1090-3038.

ICAO. **ANNEX 10 - AERONAUTICAL TELECOMMUNICATIONS**. Jul 1996. International Standards and Recommended Practices.

MONTICONE, L. C.; SNOW, R. E.; WANG, P. T. R. Modeling of air/ground air traffic control communications for fast-time simulation. In: **17th IASTED international conference on Modelling and simulation**. [S.l.: s.n.], 2006.

ROSSI, D. S. Z.; FONSECA, M.; MUNARETTO, A. Caracterizando o uso de canais de comunicação do controle de tráfego aéreo. In: **33º Simpósio Brasileiro de Telecomunicações**. [S.l.: s.n.], 2015.

RUNGER, G. M. D. C. **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros (Em Português do Brasil)**. LTC, 2010. ISBN 8521616643. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Estat>

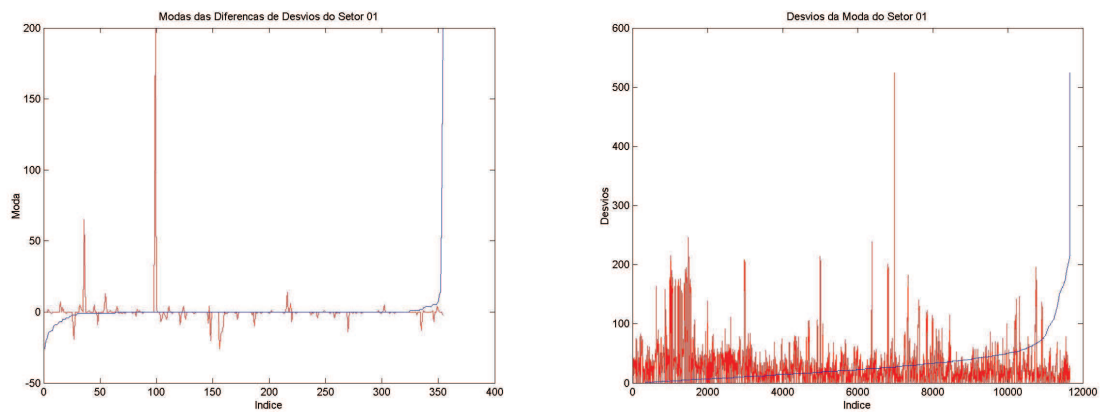
SHARP, D. et al. Analysis of public safety traffic on trunked land mobile radio systems. **Selected Areas in Communications, IEEE Journal on**, v. 22, n. 7, p. 1197–1205, Sept 2004. ISSN 0733-8716.

VUJICIC, B. et al. Modeling and characterization of traffic in public safety wireless networks. In: **In Proc. of SPECTS**. [S.l.: s.n.], 2005. p. 214–223.

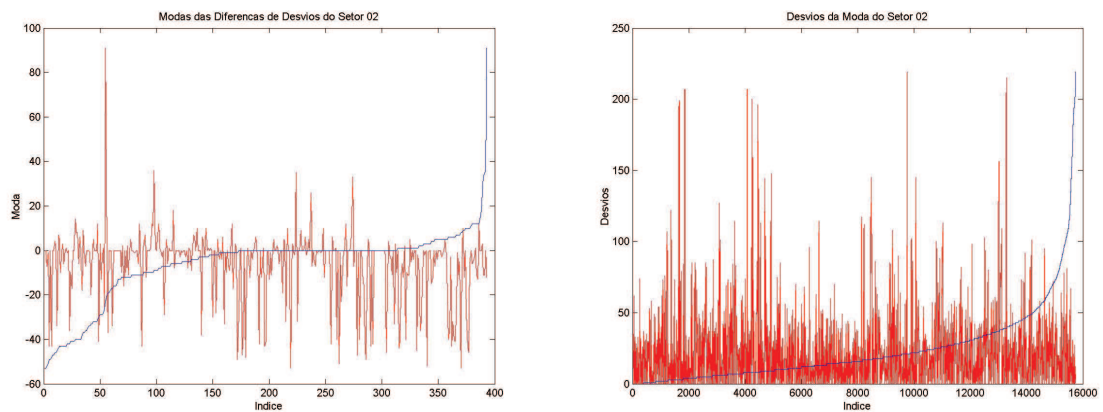
ZHOU, H.; XU, H.; BIAN, J. Modeling for spectrum congestion analysis of air-to-ground voice communications in china. In: **Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)**. [S.l.: s.n.], 2012. p. B8–1–B8–10. ISSN 2155-4943.

## APÊNDICE A – MODAS E DESVIOS DE SINCRONISMOS ENTRE OS PARES DE ARQUIVOS .WAV.

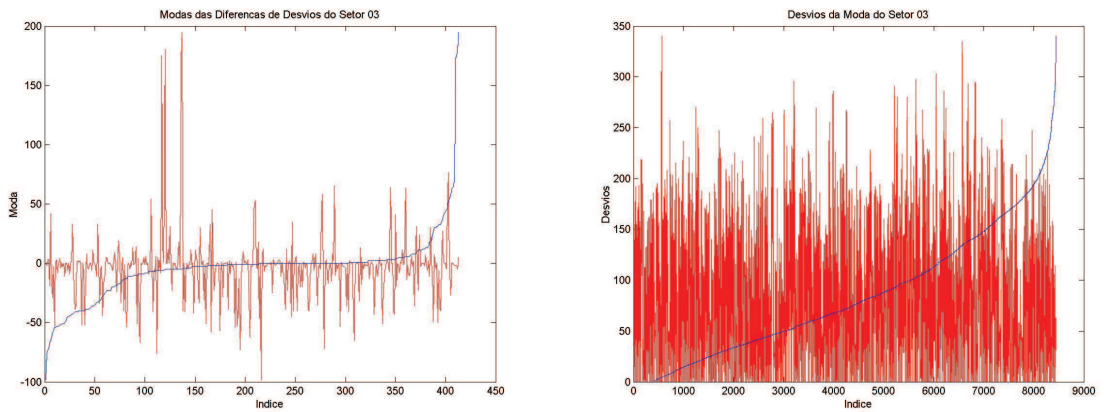
As figuras contidas neste apêndice ilustram a distribuição das modas encontradas (geralmente próximas de zero) e dos desvios de sincronismos que participam da moda.



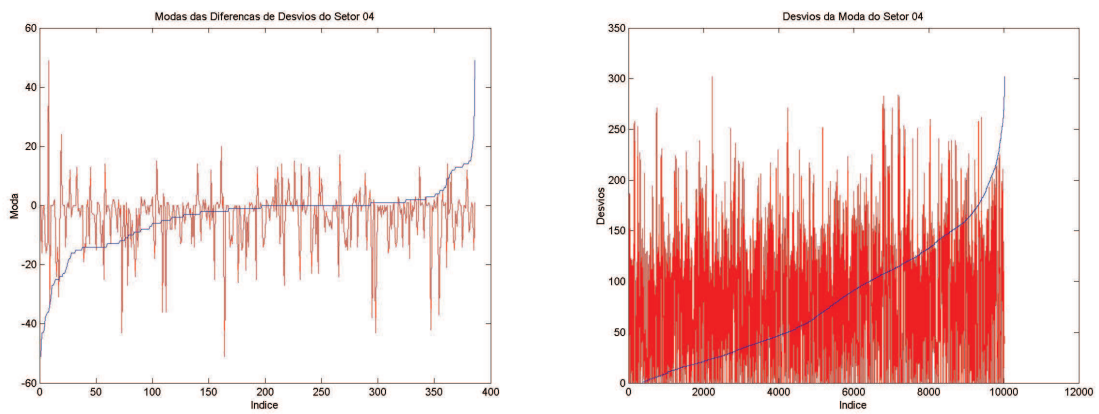
**Figura 46: Modas e Desvios encontrados para o setor 01.**



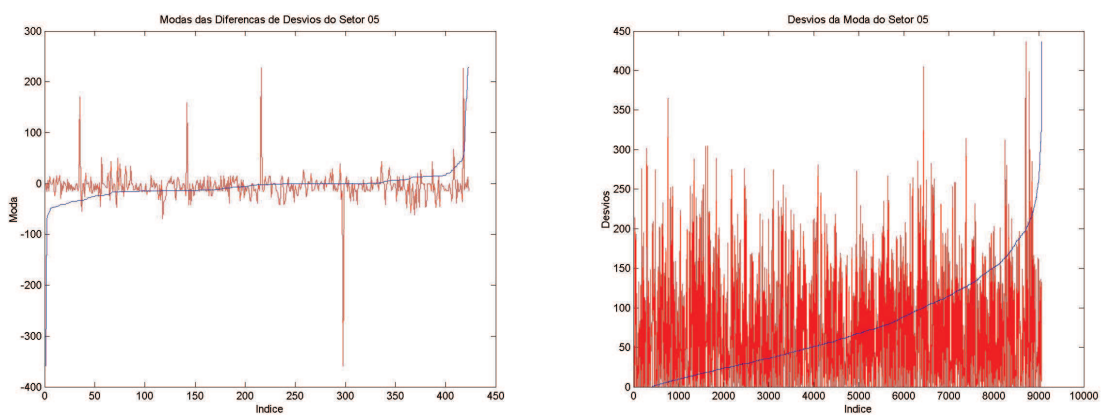
**Figura 47: Modas e Desvios encontrados para o setor 02.**



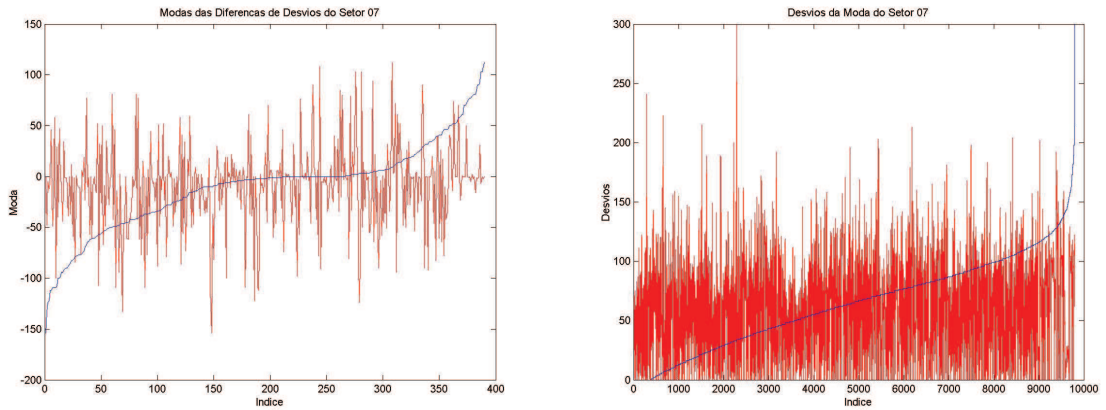
**Figura 48: Modas e Desvios encontrados para o setor 03.**



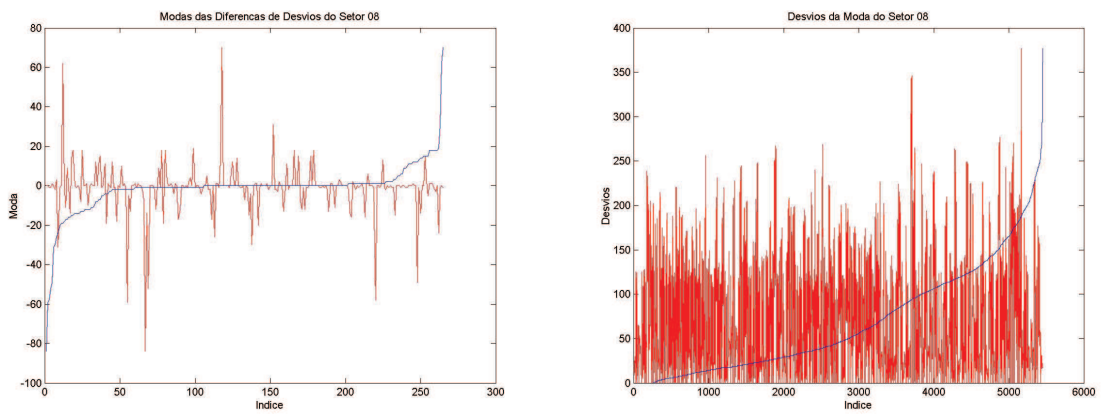
**Figura 49: Modas e Desvios encontrados para o setor 04.**



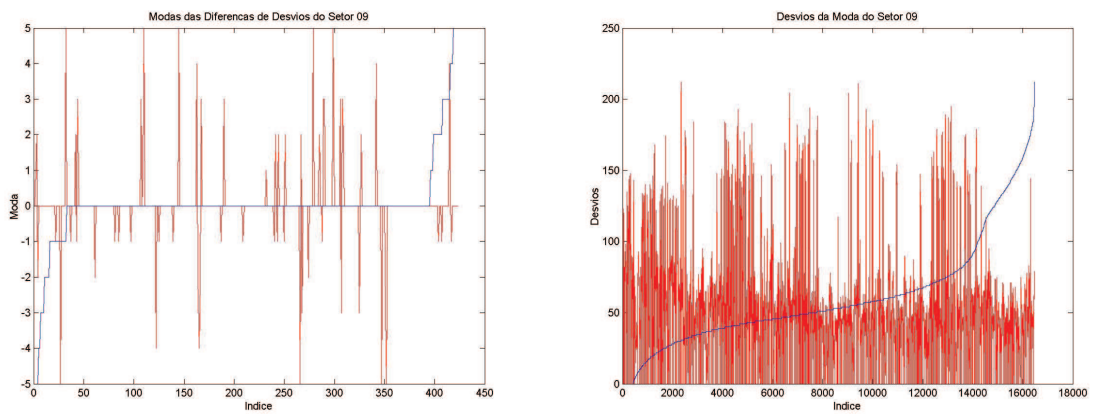
**Figura 50: Modas e Desvios encontrados para o setor 05.**



**Figura 51: Modas e Desvios encontrados para o setor 07.**

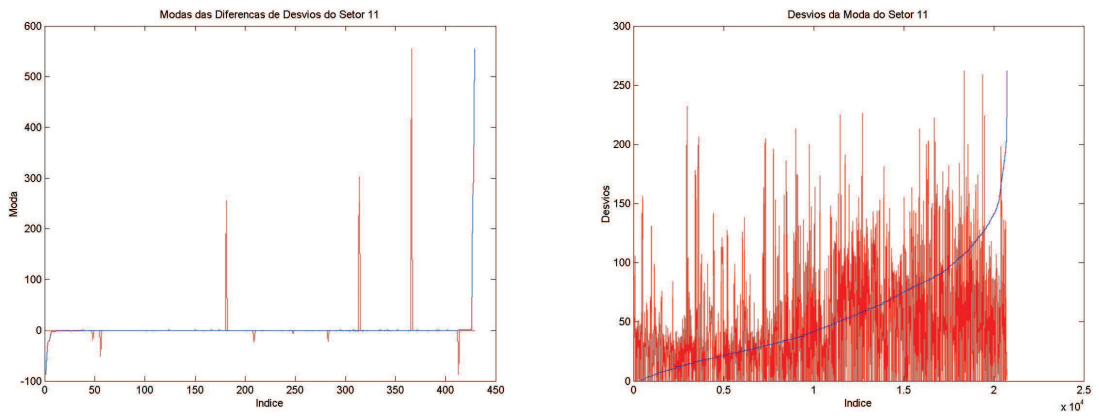


**Figura 52: Modas e Desvios encontrados para o setor 08.**



**Figura 53: Modas e Desvios encontrados para o setor 09.**





**Figura 54: Modas e Desvios encontrados para o setor 11.**

## APÊNDICE B – PARÂMETROS OBTIDOS DAS AMOSTRAS E DAS CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DEFINIDAS PARA CADA EVENTO.

As tabelas contidas neste Apêndice contêm os valores da média e do desvio padrão das amostras empíricas e simuladas, bem como os diversos parâmetros envolvidos nos modelos de uso do SMA nas diversas faixas de ocupação desse serviço.

**Tabela 5: Dados sobre o Silêncio das Aeronaves no Canal 1**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (lognormal)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-3)	Mediana Forma	Mediana Escala	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
SAC1	0-5%	97,191	189,115	1,393	1,052	10,625	1,697	19,729	129,020	361,230
SAC1	5-10%	56,090	108,771	1,239	1,062	10,146	1,677	25,761	72,387	240,370
SAC1	10-15%	40,964	74,127	1,627	1,030	9,878	1,620	26,576	52,990	184,390
SAC1	15-20%	33,330	60,908	2,036	1,004	9,744	1,533	27,216	42,538	115,660
SAC1	20-25%	27,136	49,840	2,037	0,998	9,555	1,486	27,732	37,698	114,020
SAC1	25-30%	23,175	41,574	2,428	0,983	9,482	1,421	30,036	31,033	77,709
SAC1	30-35%	21,840	38,555	2,956	0,961	9,400	1,401	28,178	27,013	128,470
SAC1	35-40%	20,857	34,983	3,413	0,937	9,367	1,355	26,638	20,997	41,719
SAC1	40-45%	18,720	31,026	3,674	0,934	9,305	1,300	27,507	19,127	37,701
SAC1	45-50%	16,764	27,421	2,486	0,978	9,181	1,307	27,815	16,505	33,807
SAC1	50-55%	15,363	23,023	2,320	0,989	9,194	1,244	27,895	16,270	29,470
SAC1	55-60%	13,013	20,978	1,708	1,035	9,052	1,252	31,615	13,787	23,074
SAC1	60-65%	14,154	21,698	2,305	0,989	9,075	1,256	27,912	15,342	28,087
SAC1	65-70%	15,987	23,968	1,932	1,022	9,238	1,293	29,965	22,758	94,184

**Tabela 6: Dados sobre o Silêncio das Aeronaves no Canal 2**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (lognormal)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma	Mediana Escala	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
SAC2	0-5%	139,195	251,688	4,662	1,212	10,889	1,703	13,082	205,850	678,580
SAC2	5-10%	78,308	141,709	3,904	1,250	10,362	1,666	15,864	93,709	363,590
SAC2	10-15%	57,231	97,300	5,361	1,196	10,149	1,571	17,652	78,304	240,060
SAC2	15-20%	46,332	77,995	5,732	1,188	9,990	1,510	18,429	51,217	125,690
SAC2	20-25%	41,591	69,380	5,847	1,188	9,893	1,467	17,265	54,601	172,470
SAC2	25-30%	37,709	64,087	10,053	1,109	9,817	1,399	15,661	46,923	111,390
SAC2	30-35%	34,023	57,427	14,468	1,061	9,720	1,372	15,379	45,039	121,840
SAC2	35-40%	30,104	50,205	15,220	1,066	9,646	1,341	16,709	32,788	79,317
SAC2	40-45%	27,389	44,999	14,207	1,079	9,557	1,317	16,641	33,186	70,241
SAC2	45-50%	23,617	42,685	22,588	1,005	9,410	1,315	20,230	21,208	37,815
SAC2	50-55%	25,392	44,998	17,098	1,062	9,520	1,340	21,641	24,751	46,441
SAC2	55-60%	27,926	65,895	13,522	1,107	9,546	1,388	23,735	28,203	74,910
SAC2	60-65%	29,138	48,914	22,856	1,007	9,554	1,344	14,713	28,433	65,019
SAC2	65-70%	30,322	48,850	12,702	1,111	9,644	1,301	16,225	34,547	79,297

**Tabela 7: Dados sobre o Silêncio dos ATCO no Canal 1**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (lognormal)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma	Mediana Escala	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
SCC1	0-5%	81,634	167,947	15,430	1,058	10,041	1,878	22,604	103,640	388,520
SCC1	5-10%	42,038	88,092	11,336	1,085	9,578	1,669	22,721	44,869	149,720
SCC1	10-15%	28,545	56,364	11,928	1,072	9,340	1,545	23,229	27,184	67,846
SCC1	15-20%	21,143	39,806	8,992	1,106	9,142	1,464	24,285	19,612	43,428
SCC1	20-25%	17,491	32,228	5,106	1,173	9,009	1,415	25,141	18,288	43,507
SCC1	25-30%	14,946	27,123	2,817	1,249	8,905	1,390	27,229	14,032	29,000
SCC1	30-35%	12,729	22,726	2,710	1,259	8,821	1,342	30,573	15,136	39,559
SCC1	35-40%	11,377	19,190	1,621	1,317	8,721	1,338	30,437	12,620	25,489
SCC1	40-45%	10,143	17,170	1,029	1,377	8,655	1,323	33,728	11,365	23,952
SCC1	45-50%	8,889	14,495	1,141	1,359	8,480	1,322	32,196	9,305	16,114
SCC1	50-55%	8,236	13,105	0,537	1,454	8,445	1,312	34,559	10,088	22,045
SCC1	55-60%	7,165	11,013	1,112	1,347	8,340	1,262	36,720	7,551	12,841
SCC1	60-65%	6,125	8,559	0,956	1,367	8,191	1,233	37,306	6,270	13,510
SCC1	65-70%	5,825	7,460	0,370	1,486	8,142	1,263	38,304	6,575	11,461

**Tabela 8: Dados sobre o Silêncio dos ATCO no Canal 2**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (lognormal)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma	Mediana Escala	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
SCC2	0-5%	81,636	167,905	11,308	1,108	10,046	1,868	22,300	98,351	361,750
SCC2	5-10%	42,114	88,095	11,090	1,105	9,562	1,659	21,872	46,988	151,200
SCC2	10-15%	28,649	56,370	10,999	1,091	9,327	1,563	22,059	29,964	86,837
SCC2	15-20%	21,287	39,819	8,514	1,124	9,105	1,460	22,687	23,763	59,540
SCC2	20-25%	17,688	32,244	6,645	1,153	8,992	1,390	22,694	17,492	36,721
SCC2	25-30%	15,228	27,142	4,671	1,192	8,866	1,380	23,613	14,711	29,955
SCC2	30-35%	13,049	22,749	4,614	1,197	8,785	1,351	26,102	13,981	29,538
SCC2	35-40%	11,702	19,178	2,732	1,258	8,690	1,316	25,687	12,351	28,150
SCC2	40-45%	10,489	17,159	1,971	1,295	8,623	1,305	28,351	11,568	21,871
SCC2	45-50%	9,215	14,463	1,949	1,284	8,451	1,288	27,314	9,377	16,922
SCC2	50-55%	8,657	13,109	1,613	1,308	8,421	1,274	27,683	9,996	18,712
SCC2	55-60%	7,598	11,020	2,854	1,226	8,320	1,206	29,453	7,790	11,548
SCC2	60-65%	6,419	8,546	2,054	1,267	8,212	1,201	32,884	7,119	11,211
SCC2	65-70%	6,287	7,439	0,078	1,376	8,185	1,161	31,152	8,082	11,083

**Tabela 9: Dados sobre a Transmissão das Aeronaves no Canal 1**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (weibull)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-6)	Mediana Forma	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
TAC1	0-5%	0,816	1,175	14,776	1,865	3,445	1,056	71,644	1,063	1,417
TAC1	5-10%	1,016	1,338	12,060	1,886	2,238	1,115	62,375	1,257	1,485
TAC1	10-15%	1,226	1,567	16,288	1,834	1,518	1,162	53,301	1,520	1,713
TAC1	15-20%	1,358	1,586	17,800	1,816	1,019	1,213	47,096	1,693	1,703
TAC1	20-25%	1,496	1,643	17,415	1,815	1,067	1,206	42,636	1,822	1,715
TAC1	25-30%	1,669	1,704	13,103	1,843	1,009	1,214	37,542	1,941	1,813
TAC1	30-35%	1,858	1,699	6,886	1,932	0,628	1,274	31,059	2,017	1,658
TAC1	35-40%	1,955	1,732	6,332	1,939	0,656	1,263	29,671	2,168	1,743
TAC1	40-45%	2,005	1,702	3,946	2,013	0,732	1,256	27,885	2,133	1,635
TAC1	45-50%	1,881	1,677	3,227	2,049	0,981	1,218	30,536	2,123	1,745
TAC1	50-55%	1,930	1,675	1,083	2,218	0,703	1,259	28,892	2,127	1,633
TAC1	55-60%	1,575	1,604	5,237	1,990	1,456	1,180	36,053	1,853	1,613
TAC1	60-65%	1,951	1,811	5,468	1,974	1,104	1,198	33,016	2,129	1,885
TAC1	65-70%	1,731	1,866	0,646	2,312	4,446	1,032	37,856	1,835	1,804

**Tabela 10: Dados sobre a Transmissão das Aeronaves no Canal 2**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (weibull)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-6)	Mediana Forma	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
TAC2	0-5%	0,571	0,858	13,226	1,904	3,995	1,052	74,583	0,907	1,172
TAC2	5-10%	0,659	0,995	11,256	1,920	3,428	1,065	70,868	1,077	1,460
TAC2	10-15%	0,756	1,125	16,216	1,866	1,634	1,161	65,824	1,179	1,469
TAC2	15-20%	0,804	1,201	15,214	1,871	1,570	1,158	63,349	1,210	1,446
TAC2	20-25%	0,807	1,199	12,293	1,902	1,730	1,150	63,926	1,269	1,590
TAC2	25-30%	0,870	1,234	7,609	1,983	1,272	1,191	63,716	1,193	1,417
TAC2	30-35%	0,958	1,265	2,586	2,144	0,987	1,231	62,348	1,220	1,358
TAC2	35-40%	1,080	1,375	1,655	2,205	1,054	1,213	59,717	1,312	1,430
TAC2	40-45%	1,116	1,376	0,678	2,348	1,329	1,189	60,408	1,332	1,499
TAC2	45-50%	1,337	1,427	0,547	2,362	1,204	1,209	48,810	1,541	1,493
TAC2	50-55%	1,373	1,475	0,559	2,356	0,761	1,265	44,741	1,688	1,561
TAC2	55-60%	1,516	1,425	4,387	2,017	1,333	1,209	36,996	1,731	1,471
TAC2	60-65%	1,482	1,419	2,589	2,130	0,392	1,354	41,935	1,703	1,514
TAC2	65-70%	1,468	1,556	0,848	2,317	2,136	1,133	46,914	1,643	1,662

**Tabela 11: Dados sobre a Transmissão dos ATCO no Canal 1**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (weibull)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-5)	Mediana Forma	Mediana Escala (1.0E-6)	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
TCC1	0-5%	2,995	2,076	-	-	8,132	1,447	-	2,950	2,088
TCC1	5-10%	3,100	2,114	-	-	6,171	1,474	-	3,017	2,246
TCC1	10-15%	3,168	2,151	-	-	4,913	1,498	-	3,232	2,164
TCC1	15-20%	3,274	2,216	-	-	4,144	1,513	-	3,184	2,233
TCC1	20-25%	3,440	2,334	-	-	3,494	1,523	-	3,507	2,387
TCC1	25-30%	3,606	2,462	-	-	2,981	1,532	-	3,584	2,539
TCC1	30-35%	3,667	2,505	-	-	3,242	1,523	-	3,695	2,468
TCC1	35-40%	3,913	2,695	-	-	2,791	1,530	-	3,790	2,515
TCC1	40-45%	3,908	2,814	-	-	4,447	1,473	-	3,964	2,668
TCC1	45-50%	3,971	2,821	-	-	3,610	1,491	-	4,049	2,783
TCC1	50-55%	4,237	3,005	-	-	3,558	1,480	-	4,389	3,012
TCC1	55-60%	4,376	3,118	-	-	3,878	1,467	-	4,426	3,153
TCC1	60-65%	4,606	3,334	-	-	3,809	1,462	-	4,615	3,281
TCC1	65-70%	5,059	3,492	-	-	2,263	1,505	-	5,036	3,328

**Tabela 12: Dados sobre a Transmissão dos ATCO no Canal 2**

Situação		Amostras		Modelo Curta Duração (weibull)		Modelo Longa Duração (weibull)		Percentil longo/curto [%]	Simulação	
Evento	Faixa	Média [s]	Desvio Padrão [s]	Mediana Escala (1.0E-4)	Mediana Forma	Mediana Escala (1.0E-6)	Mediana Forma		Média [s]	Desvio Padrão [s]
TCC2	0-5%	2,933	2,031	-	-	10,878	1,413	-	2,920	2,114
TCC2	5-10%	3,018	2,074	-	-	7,502	1,454	-	3,109	2,182
TCC2	10-15%	3,064	2,099	-	-	7,675	1,453	-	2,939	2,051
TCC2	15-20%	3,130	2,142	-	-	7,366	1,451	-	3,192	2,220
TCC2	20-25%	3,246	2,237	-	-	6,384	1,463	-	3,299	2,362
TCC2	25-30%	3,327	2,331	-	-	5,852	1,469	-	3,335	2,303
TCC2	30-35%	3,358	2,378	-	-	8,388	1,429	-	3,288	2,395
TCC2	35-40%	3,595	2,543	-	-	5,863	1,456	-	3,617	2,495
TCC2	40-45%	3,559	2,643	-	-	9,946	1,393	-	3,575	2,657
TCC2	45-50%	3,652	2,650	-	-	6,430	1,444	-	3,687	2,552
TCC2	50-55%	3,821	2,733	-	-	5,369	1,458	-	3,648	2,478
TCC2	55-60%	3,947	2,947	-	-	7,950	1,400	-	3,967	2,935
TCC2	60-65%	4,314	3,260	-	-	6,464	1,411	-	4,470	3,144
TCC2	65-70%	4,606	3,393	-	-	6,086	1,409	-	4,554	3,294