

# Caracterizando o uso de canais de comunicação do Controle de Tráfego Aéreo

Denniel S. Z. Rossi, Mauro Fonseca e Anelise Munaretto,

**Resumo**— O conhecimento sobre a dinâmica de uso de canais de comunicação do Serviço de Tráfego Aéreo pode subsidiar o dimensionamento de uma rede estatística capaz de suportar as aplicações críticas desse Serviço, garantido um nível mínimo de probabilidade de sucesso nas comunicações pretendidas entre Controlador de Voo e aeronaves. Nesse sentido, esse artigo apresenta um estudo realizado sobre as comunicações armazenadas entre Controlador de Voo e aeronaves a fim de definir os parâmetros de probabilidade para os intervalos de transmissão e silêncio desses agentes. O estudo realizado permitiu delimitar modelos conservadores para essa ocupação, bem como recomendar novos estudos para a identificação precisa sobre as dinâmicas em estudo.

**Palavras-Chave**— Controle de Tráfego Aéreo, Modelo de voz, Distribuição de probabilidade.

**Abstract**— To Know the usage of the communication circuits used by the Air Traffic Services can aid the development of a statistical network able to carry out the critical applications of these Services. In that way, this work deals with a set of stored communications between Air Traffic Controller and aircrafts to identify the dynamic of the channel's usage. The results obtained allowed to develop a conservative model of the usage of the channels and to recommend other works related to its dynamics.

**Keywords**— Air Traffic Controller, Voice model, Distribution probability.

## I. INTRODUÇÃO

A Convenção Internacional da Aviação Civil, realizada em Chicago na data de 7 de dezembro de 1944, estabeleceu uma legislação internacional para o desenvolvimento seguro e sistemático da aviação civil no mundo. Naquela época, diversos seguimentos da aviação civil (sociedade, companhias aéreas, indústria, etc) pressionavam as autoridades internacionais por uma ampliação na regulação da atividade aérea, visando garantias para o desenvolvimento da segurança operacional nos voos domésticos e internacionais. O Estado Brasileiro promulgou a Convenção Internacional da Aviação Civil em âmbito nacional [1], assumindo o compromisso pelo cumprimento da legislação na região de responsabilidade do Brasil.

No bojo da legislação internacional, os 5 volumes do chamado Anexo 10 da ICAO [2] tratam dos requisitos de comunicações para fornecimento de serviços relacionados ao tráfego aéreo. E, em função do elevado alto grau de segurança operacional pretendido pela Convenção para as atividades aéreas em todo o mundo, tais requisitos foram conservadores,

Mauro Fonseca, Anelise Munaretto e Denniel S. Z. Rossi, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, E-mails: rossidszr@cindacta2.gov.br, maurofonseca@utfpr.edu.br e anelise@utfpr.edu.br.

no sentido de não permitir que a segurança das atividades aéreas pudesse ser comprometida pela falta/escassez de recursos de comunicação para nos serviços de tráfego aéreo.

Dentre os serviços de tráfego aéreo de maior relevância, está 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 do ATCO para os tráfegos sob seu controle, instruindo-os quanto aos procedimentos de separação de tráfegos ou o evite de colisões aéreas, por exemplo. Segundo a Convenção, essa comunicação 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 elaboração da legislação pela Convenção de Chicago, as referências tecnológicas disponíveis para o transporte dos sinais de voz evoluíram e já convergem para o uso de redes estatísticas de dados, como a *ethernet* e *MPLS*. Tais tecnologias ainda são evitadas no tráfego aéreo em função da falta previsão normativa para o seu uso, bem como inexistência de práticas consolidadas de uso de redes com possibilidade de descarte de pacotes no provimento de serviços como o SMA. Além desses motivos, a previsão de descarte de pacotes representa a diminuição da probabilidade de sucesso na comunicação entre ATCO e aeronave, o que resulta na diminuição da segurança das operações aéreas. Tais circunstâncias inibiram o interesse pelo uso das novas tecnologias, consolidando o uso de redes determinísticas para o provimento desses serviços de tráfego aéreo.

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 ainda mais elevados para as operações do tráfego aéreo e incentiva a revisão das normas que regem as comunicações utilizadas nos serviços de tráfego aéreo no globo.

### A. 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 [3], 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, como a do SMA.

Com a condicionante presente, o conhecimento científico sobre as características de um fluxo de voz produzido no SMA pode subsidiar a concepção e o dimensionamento de uma rede de comunicação de natureza estatística que seja capaz de suportar os serviços críticos de tráfego aéreo. 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, representando o controle do desempenho almejado pelos órgãos reguladores.

### B. Objetivo

Este trabalho busca definir um modelo que represente o comportamento dos fluxos de voz produzidos no SMA durante os períodos de maior utilização. Para tanto, 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 caracterizar a sua utilização por curvas de distribuição de probabilidade em um modelo de Cadeia de Markov, conforme as referências utilizadas.

### C. Trabalhos Relacionados

Brady desenvolveu trabalhos precursores importantes [4], [5] com o propósito de modelar a dinâmica da voz humana em circuitos de comunicação. Seus trabalhos estudaram a ocupação de linhas telefônicas (*full-duplex*) e buscaram determinar a dinâmica utilizando uma Cadeia de Markov de 2 estados (*on-off*) que representavam a presença e a ausência da voz nos circuitos. As curvas de probabilidade da transição entre os estados da cadeia era exponencial, tanto da transição de *on* para *off*, como vice-versa. A Fig. 1 ilustra os estados utilizados.

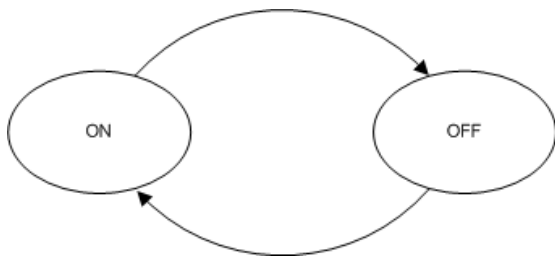


Fig. 1. Cadeia de Markov de 2 estados representando os períodos de presença (*on*) e ausência (*off*) de áudio na dinâmica de sinais de voz em circuitos de telefonia (*full-duplex*).

Desde Brady, outros estudos se debruçaram sobre o problema. Em [6] se desenvolve um estudo sobre a ocupação de canais em um sistema rádio móvel *half-duplex*, utilizados mediante o acionamento do PTT (*Push-To-Talk*) pelo locutor. Tal estudo, apesar de semelhante ao que se pretende desenvolver neste trabalho, se submete a uma facilidade de entroncamento que não existe no SMA (produzindo o efeito de 'Fila Central'). Não obstante, [6] ainda recorre à Cadeia de Markov de 2 estados e às curvas de probabilidade da transição desses estados para descrever a dinâmica da voz. O trabalho corrobora com Brady sobre as características exponenciais das distribuições das transições entre os estados *on* e *off* da cadeia.

Outros estudos [7], [8], [9], [10], [11] submetem dados obtidos de outros sistemas rádio móvel a uma variedade ainda maior de curvas de probabilidade, apontando para a curva de probabilidade lognormal para os períodos *on* e para as curvas de probabilidade gamma e weibull para os períodos *off*. Os estudos acabam por concentrar os trabalhos nas curvas exponencial, gamma, weibull e lognormal. [9], [10], [11] ainda se utilizam de Cadeias de Markov alternativas para representar a dinâmica da voz, com modelos de 3 e de  $n$  estados, ampliando as possibilidades para os modelos de voz.

Todos os recentes trabalhos ora mencionados se debruçam sobre sistemas rádio móvel *half-duplex*, ocupados mediante o acionamento do PTT (*Push-To-Talk*) pelo locutor, mas com capacidade de entroncamento - recurso 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, dado o *modus operandi* do fornecimento dos serviços de tráfego aéreo, é possível introduzir uma metodologia capaz de distinguir o locutor das mensagens vocalizadas, permitindo criar modelos específicos para a voz produzida pelo ATCO e pelas aeronaves<sup>1</sup>. Essa distinção permite dimensionar o volume e o sentido dos fluxos de voz em redes estatísticas destinadas à acomodação de aplicações de tráfego aéreo.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Por força da legislação internacional, o Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) é gravado para uso em investigações de incidentes ou acidentes aeronáuticos, objetivando a rastreabilidade das causas desses eventos. 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 provenientes de ATCO e aeronaves.

O sistema AudioSoft, por sua vez, permite a exportação do seu acervo de áudio em arquivos .wav, os quais representam as amostras em *stream* de voz variando entre -1 e 1, representadas por palavras de 16 bits, com taxa de amostragem de 8 kHz e duração máxima de 1 hora, resultando arquivos com aproximadamente 55 MBytes. Durante os períodos sem a presença de áudio no canal, os arquivos .wav exportados apresentam sequências de zeros e valores residuais ( $|audio| < 0.005$ ) em onda quadrada.

Foram exportados os arquivos referentes ao SMA fornecido pelo CINDACTA II entre os dias 14 de dezembro de 2014 e 3 de janeiro de 2015 (período que compreende as festividades com maior demanda de tráfego aéreo - Natal e Ano Novo). Esses arquivos foram submetidos a um processamento sequencial, desenvolvido no módulo de programação do MATLAB (Versão 6.0.0.88 *Release 12*), com o qual foram geradas as informações sobre as transmissões (e silêncios) dos ATCO e aeronaves. O processamento sequencial se constituiu de 6

<sup>1</sup>Qualquer volume do espaço aéreo controlado pelo CINDACTA II possui, ao menos, 2 canais de difusão em VHF para estabelecer a comunicação do SMA. O áudio produzido pelo ATCO fica presente em todos os canais, enquanto o áudio produzido pelas aeronaves fica presente em um dos canais apenas. Essa característica permite a identificação da origem do áudio produzido a partir da verificação, ou não, de áudio simultâneo nos canais.

etapas<sup>2</sup> de processamentos, e se limitou ao espaço aéreo que se utiliza de 2 canais de VHF para o provimento do SMA<sup>3</sup>.

No processamento dos arquivos .wav, foram aplicadas as técnicas de *throwaway time* (trechos de áudio menores que 10ms são trocados por silêncio) e *fill-in time* (trechos de silêncio menores que 200ms são trocados por áudio) (tal como utilizado por Brady em [4]). Estudos como [10] e [9] utilizaram *throwaway time* de 1 s e 300 ms, respectivamente, sendo que tais números impõem o descarte de uma fração significativa de trechos de áudio a serem analisados.

Os trechos resultantes da aplicação das técnicas foram submetidos a um processo de identificação de locutor, recorrendo aos fatos observados na nota 1 (página 2). Especificamente, os trechos de áudio presentes nos canais de VHF foram sincronizados e analisados sobre a ocorrência, ou não, de áudio simultâneo nos canais. A presença de áudio simultâneo sugere uma transmissão provocada pelo ATCO, enquanto que a presença de áudio em apenas um canal sugere uma transmissão provocada pela aeronave.

Após a identificação do locutor dos trechos de áudio, um vasto conjunto de dados referentes às transmissões e silêncios de ATCO e aeronaves no SMA resultou disponível para análise. Tal conjunto foi analisado para se definir os períodos de maior utilização do Serviço, tendo sido observado um máximo de utilização de 67% de ocupação, ocorrida na região 5 entre 20:45Z e 21:45Z do dia 28 de dezembro de 2014. Arbitrariamente, decidiu-se reunir os dados dos períodos com 60% de ocupação ou mais em 8 vetores de dados (2 estados x 2 locutores x 2 canais), agrupando as transmissões e silêncios, de ATCO e aeronaves, dos 2 canais das regiões estudadas. A escolha por períodos de ocupação superiores a 60% limitou as análises em 14 períodos de 1 hora.

Dentre os 8 vetores de dados produzidos, 2 pares de vetores se mostram extremamente semelhantes: o par constituído das transmissões dos ATCO no Canal 1 e do Canal 2, e o par constituído dos silêncios dos ATCO no Canal 1 e do Canal 2. Em função dessa constatação, não serão diferenciados neste trabalho os resultados obtidos para as curvas de probabilidade dos estados *on* e *off* dos ATCO a partir do canal utilizado. Também convém esclarecer que, ao se trabalhar apenas com os estados *on* e *off*, o presente estudo explorou apenas a Cadeia de Markov de 2 estados como modelo para representar as características da voz nos canais de comunicação do tráfego aéreo, uma vez que a utilização de outros modelos (3 ou *n*-estados), apesar de promissora, exigiria o amadurecimento da metodologia sem qualquer percepção prévia da dinâmica representada por uma cadeia de 2 estados. Em outras palavras, espera-se que os resultados obtidos neste trabalho possa sugerir a necessidade, ou não, de aplicação de outras cadeias para a modelagem.

<sup>2</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.

<sup>3</sup>O CINDACTA II é dividido em 12 regiões de controle de tráfego aéreo, das quais 9 foram contempladas neste trabalho.

### III. RESULTADOS

Nesse diapasão, os dados contidos em cada vetor foram submetidos a uma análise estatística. Inicialmente, as curvas de probabilidade acumulada empírica de cada vetor foi plotada (em azul) nos gráficos da Fig. 2, juntamente com as curvas de probabilidade acumulada teórica das distribuições normal, weibull, gamma e lognormal cujos parâmetros de forma e escala mais se aproximavam dos dados sob análise (a curva exponencial não foi explorada explicitamente por se tratar de um caso especial de curva gamma). Concomitantemente, se realizou o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), com nível de significância de 0,05%, para verificação sobre a possível natureza dos dados.

Sob a ótica do teste de KS, apenas o perfil das transmissões dos ATCO se mostrou representada pela curva gamma (o teste não trouxe indicação de curva sugerida para os demais perfis).

Ao se proceder uma inspeção visual nos gráficos da Fig. 2, é possível observar que as distâncias entre as curvas de probabilidade cumulativas empíricas e teóricas (base do teste de KS) são maiores à esquerda do eixo *x* de cada gráfico, dado o intenso acúmulo de probabilidade das curvas para valores pequenos. A partir dessa observação, iniciou-se duas novas análises que privilegiaram os valores pequenos nas definições das curvas teóricas e nos testes KS. A primeira excluindo os *outliers* extremos dos vetores e a segunda excluindo os *outliers* dos vetores [12] (a tabela I reúne os parâmetros de escala e forma das curvas teóricas encontradas nas análises, bem como o número de amostras analisada em cada caso).

Apesar de privilegiar os valores pequenos, a análise estatística dos subconjuntos de dados não produziu resultado muito diverso daquele quando utilizando a totalidade das amostras. Especificamente, apenas o teste KS passou a indicar a curva weibull como a que representa as transmissões dos ATCO. Por outro lado, a concentração das análises sobre os valores menores evidenciou, por inspeção visual, algumas características específicas das distribuições empíricas de cada vetor.

Por exemplo, na Fig. 3 se verifica um salto da probabilidade acumulada em torno dos 400 ms de transmissão da aeronave, partindo de 20% para 40% em um curto intervalo de tempo. Esse comportamento sugere haver a influência de dois fatores distintos na dinâmica de transmissão de aeronaves, como a ocorrência de espúrios concomitantes com as transmissões de coordenação dos pilotos. Outra possibilidade a ser cogitada versa sobre a prática comum de pilotos de confirmarem o recebimento de determinada orientação do ATCO com dois *clicks* rápidos no PTT. A segunda possibilidade, no entanto, não se confirma nos dados referente às transmissões das aeronaves no canal 2 (vide Fig. 4), pois nela não há a mesma proporção de amostras menores de 400 ms.

Já sobre os dados de silêncio, a Fig. 5 evidencia o comportamento dos trechos de silêncio das aeronaves no canal 1, havendo uma estagnação da taxa de probabilidade acumulada próxima dos 2 segundos de silêncio (fato semelhante ocorre nas distribuições de silêncio das aeronaves no canal 2 e dos ATCO). Esse comportamento, tal como ocorre nas transmissões, sugere a influência de dois fatores distintos na

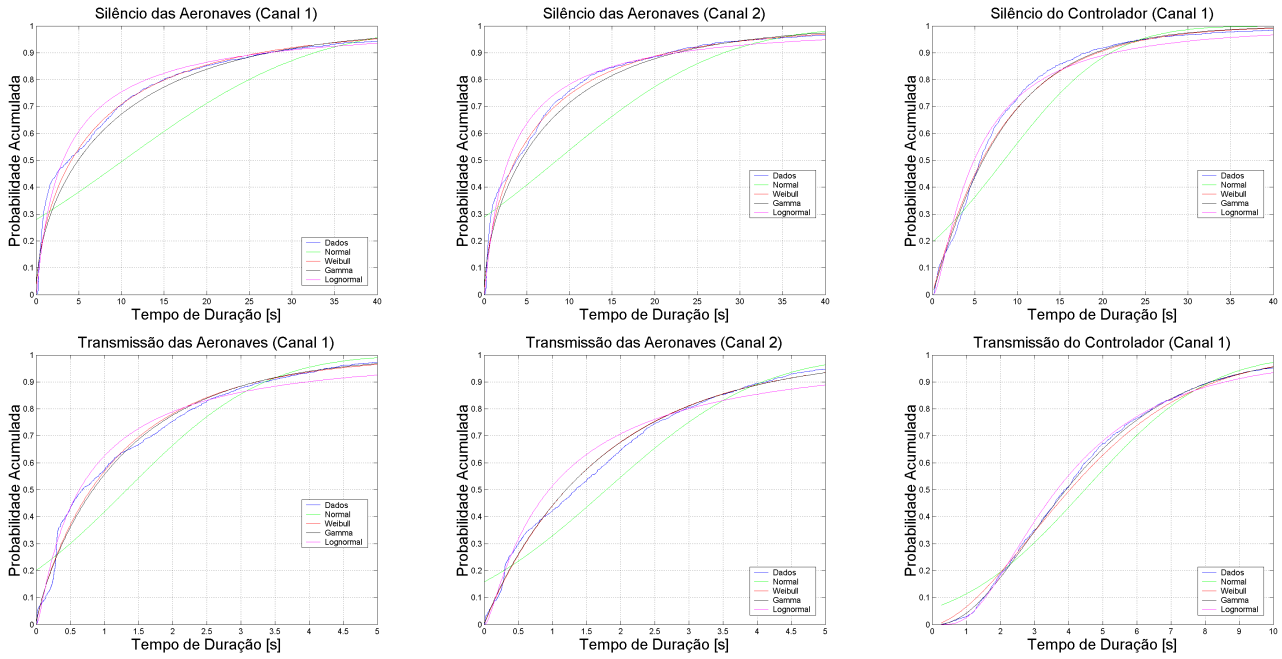


Fig. 2. Curvas de Probabilidades Acumuladas empíricas e teóricas para os trechos de silêncio (linha superior) e áudio (linha inferior) das: aeronaves no canal 1 (esquerdo); aeronaves no canal 2 (meio) e ATCO (direito).

TABELA I

APROXIMAÇÃO DA CURVA EMPÍRICA POR CURVAS TEÓRICAS DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE. OS NÚMEROS DE AMOSTRAS UTILIZADOS VARIAM DE ACORDO COM A RETIRADA DOS outliers e outliers EXTREMOS. OS PARÂMETROS A e B CORRESPONDEM A: MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA A NORMAL; ESCALA E FORMA PARA WEIBULL; FORMA E ESCALA PARA A GAMMA; E MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO  $\log(x)$  PARA A LOGNORMAL.

Número de Amostras	Silêncio das Aeronaves (Canal 1)						Silêncio das Aeronaves (Canal 2)						Silêncio dos Controladores (Canal 1)					
	1168		1097		1001		1375		1301		1188		1354		1304		1198	
Número de Amostras [%]	100%		94%		86%		100%		95%		86%		100%		96%		88%	
Parâmetros	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Normal	10.24	17.47	6.77	8.32	4.76	5.28	8.54	15.27	5.76	6.71	4.14	4.27	8.42	9.77	7.01	5.87	5.75	4.13
Weibull	0.28	0.65	0.28	0.74	0.32	0.80	0.29	0.67	0.29	0.78	0.32	0.85	0.12	1.00	0.09	1.18	0.09	1.33
Gamma	0.53	19.19	0.64	10.55	0.73	6.55	0.57	15.10	0.69	8.29	0.79	5.27	1.06	7.92	1.28	5.48	1.47	3.91
Lognormal	1.15	1.68	0.96	1.55	0.73	1.43	1.04	1.62	0.88	1.50	0.67	1.39	1.59	1.14	1.51	1.08	1.37	1.02

Número de Amostras	Transmissões das Aeronaves (Canal 1)						Transmissões das Aeronaves (Canal 2)						Transmissões dos Controladores (Canal 1)					
	1420		1396		1267		1669		1653		1558		1658		1643		1539	
Número de Amostras [%]	100%		98%		89%		100%		99%		93%		100%		99%		93%	
Parâmetros	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Normal	1.33	1.58	1.21	1.25	0.92	0.86	1.79	1.79	1.71	1.57	1.46	1.22	4.48	2.88	4.36	2.59	3.93	2.03
Weibull	0.84	0.86	0.88	0.90	1.10	0.98	0.58	0.96	0.59	0.99	0.66	1.06	0.07	1.67	0.06	1.78	0.05	2.05
Gamma	0.80	1.66	0.85	1.43	0.95	0.96	0.92	1.94	0.96	1.79	1.03	1.42	2.63	1.70	2.80	1.56	3.32	1.18
Lognormal	-0.46	1.43	-0.50	1.41	-0.70	1.33	-0.05	1.36	-0.07	1.35	-0.18	1.31	1.30	0.67	1.28	0.65	1.21	0.61

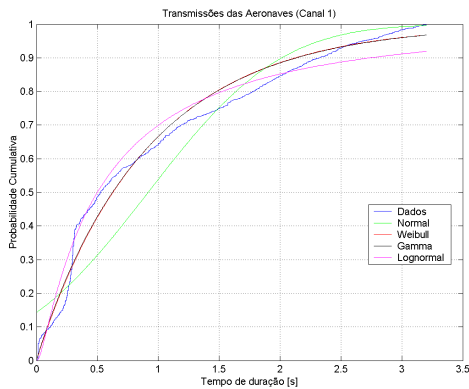


Fig. 3. Curvas de probabilidade cumulativa e teóricas para a transmissão das aeronaves no canal 1, excluídos os outliers do conjunto de dados.

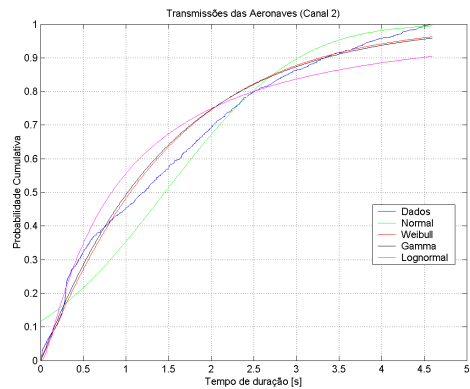


Fig. 4. Curvas de probabilidade cumulativa e teóricas para a transmissão das aeronaves no canal 2, excluídos os outliers do conjunto de dados.

dinâmica do silêncio. Neste caso, o mais provável é que o congestionamento dos canais nos períodos de grande ocupação

TABELA II

PARÂMETROS DE FORMA E ESCALA DE CURVAS GAMMA QUE MODELAM AS DINÂMICAS DE TRANSMISSÕES E SILÊNCIOS.

Curva	Forma	Escala
Transmissão do ATCO	2.7	1.7
Transmissão das Aeronaves	1.0	1.9
Silêncio do ATCO	1.0	7.5
Silêncio das Aeronaves	0.5	15.0

(superior à 60%) gere uma fila virtual entre as aeronaves de modo que as coordenações ocorrem uma atrás de outra, reduzindo o tempo ocioso do canal e, portanto, aumentando a densidade de probabilidade para valores pequenos de silêncio. Com isso, a ocorrência dessa fila virtual (semelhante ao mencionado em [6]) impõe um fator adicional e impossibilita a modelagem por uma única curva teórica de distribuição de probabilidade.

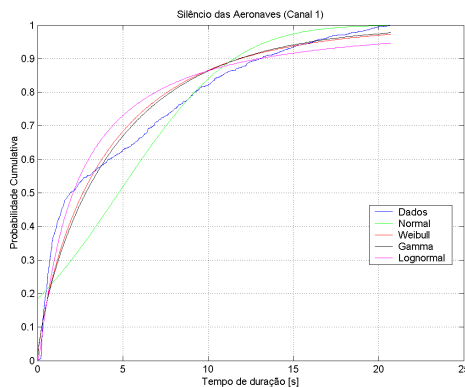


Fig. 5. Curvas de probabilidade cumulativa e teóricas para o silêncio das aeronaves no canal 1, excluídos os outliers do conjunto de dados.

Independente da falta de curvas de probabilidade cumulativa teóricas que representem, com precisão, o comportamento dos estados de transmissão e silêncio dos ATCO e aeronaves (exceto para as transmissões dos ATCO), a necessidade por um modelo pode ser sanada utilizando como referência: curvas de probabilidade acumulada qualquer que se acomodem abaixo das curvas de dados das transmissões de ATCO e aeronaves, para representar as transmissões; e curvas de probabilidade acumulada qualquer que se acomodem acima das curvas de dados dos silêncios de ATCO e aeronaves, para representar os silêncios. Utilizando esse artifício, a imprecisão entre as curvas sintéticas e a dinâmica real será no sentido de superdimensionar o uso dos canais, resultando modelos conservadores para esses comportamentos.

Como exemplos de curvas que satisfazem os critérios mencionados, a tabela II fornece os parâmetros de forma e escala de curvas gamma para as dinâmicas estudadas. A distribuição gamma foi escolhida por mais se aproximar das formas das curvas de distribuição reais encontradas.

#### IV. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido apresentou uma metodologia capaz de diferenciar o locutor de sinais de voz na prestação de

serviços de tráfego aéreo, possibilitando um estudo específico sobre a dinâmica de uso dos canais de comunicação por cada agente envolvido (ATCO e Aeronave). Os estudos, no entanto, não foram capazes de definir um modelo preciso para os intervalos de silêncio dos ATCO e aeronaves, bem como para as transmissões das aeronaves, tendo sido capaz apenas de definir um modelo preciso para as transmissões dos ATCO. Esse óbice não impediu a proposição de um modelo capaz de auxiliar o dimensionamento de uma rede estatística capaz de suportar as aplicações críticas desse Serviço.

Finalmente, a fim alcançar modelos mais precisos sobre a dinâmica de uso dos canais de comunicação do Controle de Tráfego Aéreo, recomenda-se a exploração das Cadeias de Markov com 3 ou  $n$ -estados, bem como a verificação sobre a aplicabilidade de valores alternativos para as técnicas de *throwaway time*, *fill-in time* e *hangover*.

Não obstante, o estudo evidenciou características específicas das amostras de dados que podem ser exploradas em futuros estudos, com o propósito de definir um modelo preciso sobre a sua ocorrência.

#### AGRADECIMENTOS

A equipe agradece o Comando da Aeronáutica pelo fornecimento dos dados e suporte técnico, sem os quais esta pesquisa não seria possível.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL, "Convenção sobre aviação civil internacional." Diário Oficial da União, [Brasília, DF], 19 set 1946., Aug 1946. Decreto N° 21.713, de 27 de agosto de 1946.
- [2] ICAO, "Annex 10 - aeronautical telecommunications." International Standards and Recommended Practices, Jul 1996.
- [3] D. Eier and W. Kampichler, "Eurocae wg-67 standards for voice-over-ip in atm for advanced nextgen conops," in *Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2010*, pp. C8-1-C8-9, May 2010.
- [4] P. T. Brady, "A technique for investigating on-off patterns of speech," *Bell System Technical Journal, The*, vol. 44, pp. 1-22, Jan 1965.
- [5] P. T. Brady, "A model for generating on-off speech patterns in two-way conversation," *Bell System Technical Journal, The*, vol. 48, pp. 2445-2472, Sept 1969.
- [6] H. Hoang, R. Malhame, and C. Rosenberg, "Communication load and delay in multichannel land mobile systems for dispatch traffic: A queueing analysis," in *Vehicular Technology Conference, 1992, IEEE 42nd*, pp. 773-777 vol.2, May 1992.
- [7] D. Sharp, N. Cackov, N. Laskovic, Q. Shao, and L. Trajkovic, "Analysis of public safety traffic on trunked land mobile radio systems," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 22, pp. 1197-1205, Sept 2004.
- [8] B. Vujcic, N. Cackov, S. Vujcic, and L. Trajkovic, "Modeling and characterization of traffic in public safety wireless networks," in *In Proc. of SPECTS*, pp. 214-223, 2005.
- [9] N. Aschenbruck, M. Gerharz, M. Frank, and P. Martini, "Modelling voice communication in disaster area scenarios," in *Local Computer Networks, Proceedings 2006 31st IEEE Conference on*, pp. 211-220, Nov 2006.
- [10] N. Aschenbruck, P. Martini, and M. Gerharz, "Characterisation and modelling of voice traffic in first responder networks," in *Local Computer Networks, 2007. LCN 2007. 32nd IEEE Conference on*, pp. 295-302, Oct 2007.
- [11] N. Aschenbruck and P. Martini, "Evaluation and parameterization of voice traffic models for disaster area scenarios," in *Local Computer Networks, 2008. LCN 2008. 33rd IEEE Conference on*, pp. 236-243, Oct 2008.
- [12] G. M. D. C. Runger, *Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros (Em Portuguese do Brasil)*. LTC, 2010.