

UM MÉTODO PARA AGRUPAMENTO DE DADOS PARA SIMULAÇÃO DE TERMINAIS DE PASSAGEIROS

José Reynaldo A. Setti
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Este trabalho utiliza análise de variância (ANOVA) para determinar a melhor forma de agregar dados de passageiros de transporte aéreo para posterior utilização num modelo de simulação de terminais. Os dados analisados são: distribuições de chegadas de passageiros e acompanhantes, as relações acompanhante/passageiro na chegada e na partida e a relação bagagem/passageiro. O propósito desta agregação é permitir o uso do menor número possível de tipos de vôos, ao mesmo tempo em que se preserva as diferenças entre os vários tipos de vôos que possam contribuir para a precisão dos resultados da simulação. O método proposto é demonstrado através da análise de dados de passageiros embarcados e desembarcados no Aeroporto Internacional Lester B. Pearson (Toronto, Canadá). Os resultados obtidos mostram que os vinte grupos usados pela administração do aeroporto para estratificar os dados de passageiros podem ser agrupados em cinco classes: vôos domésticos de curta distância, vôos domésticos de longa distância, transborder, internacional e charter.

ABSTRACT

The paper discusses the use of analysis of variance (ANOVA) as a way of clustering data on air passengers for a passenger terminal simulation model. The purpose of the data aggregation presented here is to prepare data on passenger and well-wisher arrival distributions, well-wisher/passenger, greeter/passenger and bag/passenger ratios to feed a simulation model, preserving the differences among flights which may contribute to the accuracy of the simulation results while allowing the use of the smallest number of flight types. The use of the proposed technique is demonstrated in a case study where passenger and visitor arrival distributions observed at Lester B. Pearson International Airport (Toronto, Canada) are subjected to of a set of ANOVA experiments. The results shown that it is possible to isolate significant differences that justify the aggregation of 20 flight sectors into five: domestic short haul, domestic long haul, transborder, international and charter.

Introdução

A simulação de terminais aeroportuários de passageiros requer um grande volume de dados de entrada relativos ao terminal e seus componentes, aos fluxos e características de passageiros e à programação diária de vôos. O levantamento de dados relativos aos fluxos e características de passageiros é feito em função de vôos individuais ou de amostras compostas por um certo número de vôos; para facilitar a análise e a manipulação dos dados de passageiros, vôos de características semelhantes (mesma origem/destino, ou origens/destinos semelhantes com processamento similar) costumam ser agrupados em “setores”: vôos internacionais de longa distância, vôos domésticos de curta distância, etc.

Muitas vezes, o número de setores é bastante alto — por exemplo, no Aeroporto Internacional Lester B. Pearson, em Toronto, são definidos 20 tipos de vôos (vide Tabela 1). Este grande número de setores pode ser muito conveniente para a administração do aeroporto, mas nem sempre o uso de uma grande quantidade de tipos de vôos é uma estratégia adequada para

simular o funcionamento de um terminal.

Ainda que a disponibilidade de dados desagregados seja muito conveniente para um bom estudo de simulação, o uso de um número excessivo de tipos de vôos implica em aumentar significativamente o trabalho de preparação dos dados de entrada, bem como aumenta as possibilidades de ocorrência de erros, já que a verificação dos dados de entrada é uma tarefa tediosa e que exige constante atenção. Além disto, quanto maior o número de tipos de vôos, maiores os recursos computacionais necessários para a simulação — apesar deste problema já não ser tão importante, dada a proliferação de micros pessoais de grande capacidade de processamento. Em função disto, um dos objetivos de um estudo de simulação de um terminal aeroportuário de passageiros é determinar o menor número possível de tipos de vôos, preservando, entretanto, as diferenças no processamento e nas características dos passageiros que possam contribuir para a precisão dos resultados da simulação.

O agrupamento de setores de vôos, para fins de simulação do terminal, é feito em função das

características do processamento a que são submetidos os passageiros de cada setor, das curvas típicas de chegadas de passageiros e acompanhantes ao terminal, e de outros fatores que particularizam os passageiros de cada tipo de voo, tais como: número de malas/passageiro, acompanhantes/passageiro, etc. Num aeroporto onde os dados sobre voos internacionais estejam desagregados em cinco setores (como mostra a Tabela 1), é conveniente saber até que ponto o uso de cinco distribuições de chegadas diferentes melhora o resultado da simulação. A resposta a este problema não é trivial, e este trabalho propõe um método para determinar quão significativas são as diferenças entre tipos de voos de características similares.

A metodologia proposta usa análise de variância (ANOVA) para identificar diferenças entre setores de voo em termos de: (i) distribuições de chegadas de passageiros e acompanhantes ao terminal, (ii) número de acompanhantes por passageiro embarcando, (iii) número de acompanhantes por passageiro desembarcando e (iv) número de malas por passageiro. Estas características foram escolhidas por serem consideradas fundamentais para o

projeto de um terminal [Hart, 1985]. As distribuições de chegadas de passageiros e acompanhantes definem o fluxo de pessoas entrando no terminal e é um dos fatores de maior sensibilidade na simulação — pequenas variações na taxa de chegadas introduzem variações significativas nos resultados da simulação [Setti, 1990; Jovanovic et al., 1984]. O número de acompanhantes por passageiro (embarcando ou desembarcando) é um fator importante porque determina o congestionamento das áreas de acesso livre no terminal (por exemplo, a área de check-in ou a área de espera no setor de desembarque), um dos fatores de interesse na simulação. O número de malas por passageiro determina o tempo médio de processamento no balcão de check-in ou o tempo médio para recuperação de bagagem no desembarque [Ghobrial et al., 1982; Transport Canada, 1980].

O método aqui apresentado foi desenvolvido durante a fase de testes e validação de uma linguagem para simulação de terminais aeroportuários de passageiros, TERMSIM. O problema básico encontrado consistia em determinar a melhor forma de agrupar classes de voos de forma a reduzir o número

total de tipos de vôos sem prejudicar a representatividade e precisão dos resultados da simulação do funcionamento do terminal. O leitor interessado pode encontrar maiores detalhes sobre TERMSIM em Setti e Hutchinson [1994], que também discute aspectos relativos ao algoritmo usado e mostra como codificar um pequeno terminal. apresenta uma visão geral da linguagem. Setti [1991] apresenta resumidamente os principais aspectos de TERMSIM; entretanto, o manual do usuário e detalhes sobre a implementação da linguagem, algoritmo usado, biblioteca de unidades, bem como resultados relativos ao teste e validação do simulador podem ser encontrados em Setti [1990].

Grupos de vôos no Aeroporto Internacional de Toronto

Os dados usados neste estudo foram obtidos junto à administração do Aeroporto Internacional Lester B. Pearson (Toronto - Lester B. Pearson International Airport), situado na região metropolitana de Toronto, no Canadá. Este aeroporto é o mais movimentado do Canadá, tendo sido utilizado por 14,8 milhões de passageiros em 1984 e 20,9 milhões de passageiros em 1989 [McNeil,

1990]. Na época em que este estudo foi realizado (1990), o aeroporto dispunha de dois terminais de passageiros; hoje existem três terminais operando. Os dados cedidos pela Divisão de Planejamento (Airport Planning Division) para uso neste estudo foram levantados em duas pesquisas, uma realizada em 1980, onde foram entrevistados passageiros que chegavam e partiam, e outra em 1984, onde só passageiros que partiam foram entrevistados. Os dados usados foram os mais recentes disponíveis na ocasião; não obstante o tempo decorrido entre a coleta e o uso dos dados, a administração do aeroporto considerava que os dados disponíveis podiam descrever adequadamente as instalações e os passageiros.

Os dados disponíveis estão estratificados por setores de vôo, que incluem todos os vôos com destino/origem similares. Os grupos de vôos usados no Aeroporto Internacional de Toronto estão mostrados na Tabela 1, onde pode-se notar que existem duas divisões principais, vôos regulares³ e vôos charter, e que estas divisões subdividem-se em três classes: vôos domésticos, vôos transborder e vôos inter-nacionais.

Tabela 1 – Tipos de voo no Aeroporto Internacional de Toronto
[Transport Canada, 1985]

<i>Doméstico</i>	<i>Transborder</i>	<i>Internacional</i>
<i>Vôos regulares</i>		
Curta distância Longa distância RapidAir	Curta distância Longa distância Sun-spots	Grã-Bretanha Norte da Europa Sul da Europa Sul Pacífico
<i>Vôos charter</i>		
Leste Oeste Pradarias	Transborder	Grã-Bretanha Norte da Europa Sul da Europa Sul Pacífico

A categoria “transborder” engloba vôos de/para cidades nos Estados Unidos. Em virtude de acordo entre os dois países, os passageiros embarcados em aeroportos canadenses passam pela imigração e alfândega no aeroporto canadense, sendo tratados como passageiros domésticos nos aeroportos americanos. Estes vôos requerem áreas segregadas no nível de embarque, uma vez que tecnicamente os passageiros estão em território americano após serem liberados pela imigração e alfândega americanas, que operam no aeroporto de origem.

Vôos de curta distância são aqueles para destinos situados a

menos de 500 n.m.; RapidAir é o serviço “ponte aérea” para Montreal e Ottawa. Os vôos charter domésticos são divididos em vôos para destinos nas províncias do Atlântico (leste), para as províncias localizadas na região das grandes pradarias (Manitoba, Saskatchewan e Alberta) e para British Columbia (oeste). Os vôos transborder para “sun-spots” são os vôos destinados à Flórida e ao Caribe, que são particularmente movimentados durante o longo inverno canadense. Os vôos internacionais são estratificados em vôos para a Grã-Bretanha, vôos para os países do norte da Europa, vôos para os países do sul e leste da Europa, vôos

para a América Central e do Sul (Sul) e vôos para países situados na Ásia e Oceânia (Pacífico).

Distribuições de chegadas ao terminal de passageiros e acompanhantes

As distribuições de chegadas ao terminal de passageiros e acompanhantes (“well-wishers”) são dados de entrada importantes para a simulação do terminal. TERMSIM [Setti e Hutchinson, 1994] usa paxgramas unitários (“unit paxgraphs”) para simular as chegadas ao terminal de passageiros e acompanhantes de cada vôo. Um paxgrama unitário é uma função que relaciona a porcentagem de passageiros de um vôo chegando ao terminal em função do tempo até a partida do vôo. Os

paxgramas unitários são determinados em função das distribuições de chegadas de passageiros e acompanhantes.

Um exame visual de algumas das distribuições observadas mostra que os passageiros de vôos de curta duração tendem a chegar ao terminal mais próximos do instante da partida do vôo do que passageiros de vôos mais longos. Isto pode ser percebido na Figura 1, comparando-se RapidAir com vôos domésticos de longa distância. Passageiros de vôos charter tendem a chegar ainda mais cedo que passageiros de vôos de longa distância, como pode também ser notado na Figura 1.

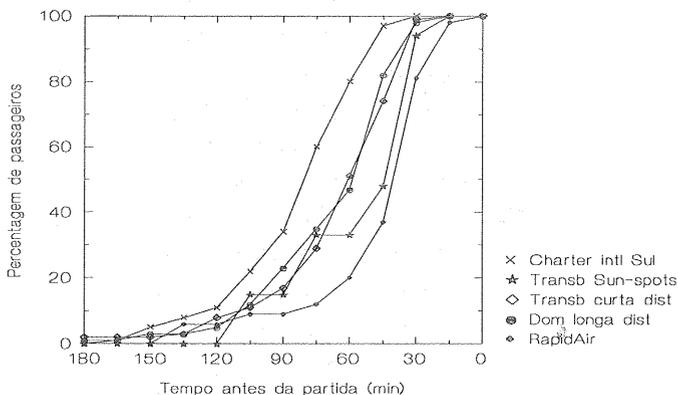


Figura 1 – Distribuições acumuladas de chegadas de passageiros e acompanhantes ao terminal

A análise visual das Figuras 2 e 3 sugere que, quanto mais longo o vôo, mais cedo os passageiros chegam ao terminal e que os vôos que transportam uma maior proporção de passageiros que via-

jam a negócios têm distribuições de chegadas que são mais próximas do horário de partida do que vôos que contém uma maior proporção de viagens de lazer (por ex., RapidAir vs. transborder sun-spots).

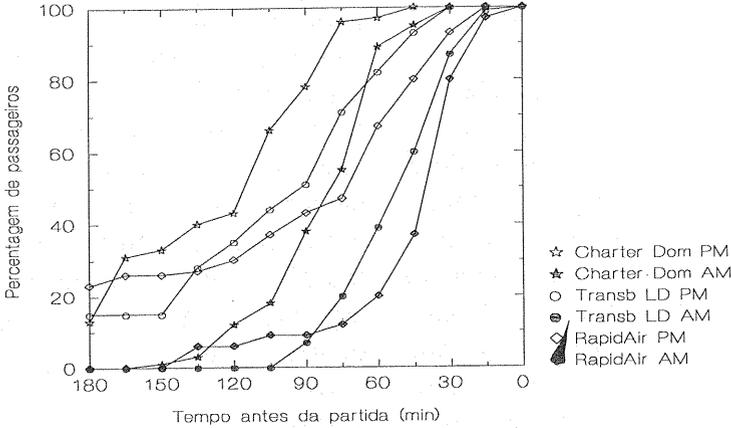


Figura 2 – Distribuições acumuladas de chegadas de passageiros, manhã e tarde.

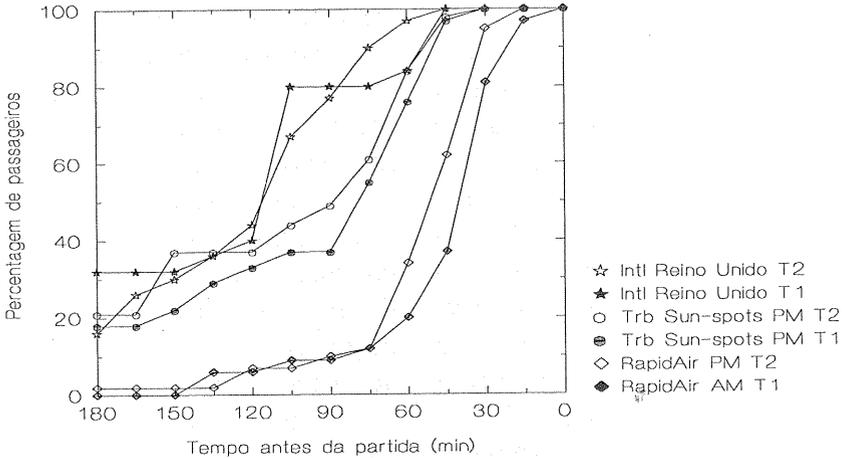


Figura 3 – Distribuições acumuladas de chegadas de passageiros, Terminais 1 e 2

As distribuições mostradas na Figura 2 também sugerem que os passageiros de vôos que partem no período da manhã chegam ao terminal mais próximo do instante de partida do que passageiros que embarcam em vôos no período da tarde, já que a “cauda” das distribuições acumuladas mostram que existem poucos passageiros que chegam mais cedo que 180 minutos antes da partida no período da manhã. Vôos vespertinos e noturnos, no entanto, apresentam uma porcentagem significativa de passageiros chegando mais do que três horas antes da partida. A Figura 3 também sugere que não existem diferenças entre distribuições de chegadas num e noutro terminal.

Análise de variância

Análise de variância (ANOVA) é uma técnica estatística que permite comparar as médias de mais de dois tratamentos. Os “tratamentos” são, no caso, os instantes em que percentis pré-determinados de passageiros partindo no mesmo vôo chegam ao terminal. Observando-se a Figura 1 pode-se perceber que o vigésimo percentil para vôos domésticos partindo do Terminal 1 (período da manhã) é 100 minutos para vôos de longa

distância e 68 minutos para RapidAir.

Supondo-se que estes valores representem as médias dos tempos correspondentes aos vigésimo percentil de cada vôo numa dada categoria, pode-se usar ANOVA para verificar se existem diferenças significativas entre as médias associadas a estes vôos. Considerando-se os grupos de vôos como “tratamentos”, a análise de variância determina se as discrepâncias existentes entre as médias dos tratamentos são maiores do que se poderia esperar, a partir da variação que ocorre dentro de cada tratamento [Box, Hunter e Hunter, 1978]. A análise de variância é usada para dividir a variância total do tempo associado com o n -ésimo percentil em seus componentes: a soma dos quadrados das diferenças entre tratamentos e a soma dos quadrados das diferenças dentro dos tratamentos (os resíduos).

Os experimentos fatoriais são mais complexos e servem para investigar simultaneamente os efeitos de um número de variáveis independentes (os “fatores”). Existe sempre um número finito de níveis para cada fator. Os tratamentos ou combinações de tratamentos consistem de todas as combinações que podem

ser formadas selecionando-se um nível de cada fator. Se todos os tratamentos são usados, o experimento é chamado de experimento fatorial completo; neste caso o número de tratamentos é dado pelo produto do número de níveis para cada fator. Se apenas alguns tratamentos são usados, o experimento é denominado experimento fatorial fracionário. Fica além do escopo deste artigo discutir detalhadamente análise de variância. O leitor interessado deve consultar Box, Hunter e Hunter [1978], Scheffé [1953], ou Davies [1953] para uma discussão detalhada da técnica. ANOVA faz parte de quase todos os softwares de estatística, tais como SYSTAT [Wilkinson, 1988].

Experimento 1: fontes de diferenças entre grupos de vôos

Um conjunto de experimentos fatoriais foi usado para testar a hipótese de que as distribuições dos instantes de chegadas de passageiros e acompanhantes (“well-wishers”) ao terminal são: (i) significativamente afetadas pelo tipo de vôo; (ii) significativamente afetadas pelo período do dia; e (iii) significativamente afetadas pelo terminal usado. O tipo de vôo determina o processamento dos passageiros que

embarcam ou desembarcam dos vôos (por exemplo, passageiros de vôos internacionais devem usar áreas pré-determinadas para embarque e passar por uma série de processos diferentes quando da partida /che-gada, o que não ocorre com passageiros de vôos domésticos), sendo portanto de interesse para a simulação. Período do dia (manhã ou tarde) e terminal usado podem ou não afetar o processo de chegada de passageiros. Neste caso, é importante para a simulação que sejam usadas distribuições de chegadas diferentes para os casos onde o período do dia e/ou o terminal usado influenciem a chegada de passageiros ao terminal.

A Tabela 2 contém os dados usados nestes experimentos fatoriais. As distribuições são representadas em termos dos tempos, em minutos, correspondentes à chegada do vigésimo, sexagésimo e centésimo percentis. A Tabela 2 mostra os tempos associados a cada percentil. Uma barra (-) indica que não existem vôos naquela categoria que correspondam àquela combinação de fatores. O vigésimo percentil foi escolhido porque é o primeiro percentil que, em todas as distribuições de chegadas, corresponde a um tempo menor ou igual a 3 horas antes da

partida. O centésimo percentil foi escolhido por corresponder ao instante em que o último passageiro chega ao terminal, sendo útil, portanto, para mostrar as diferenças entre vôos de curta e longa distância. O sexagésimo percentil foi escolhido por ser o ponto médio entre o vigésimo e o centésimo percentis.

Três experimentos fatoriais foram usados, um para cada percentil, onde os fatores eram os tipos de vôo, os terminais e os períodos do dia e a interação terminal×período do dia. As tabelas de ANOVA

foram obtidas usando-se o pacote estatístico SYSTAT; os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 3. Estes resultados mostram que:

1. existem diferenças significativas (nível de confiança 5%) que são devidas ao tipo de vôo;
2. não existe efeito significativo de terminal nas distribuições de chegadas; e
3. existem diferenças significativas devidas a período do dia, para o vigésimo e para o sexagésimo percentis, mas não devidas ao centésimo percentil.

Tabela 2 – Tempo (em minutos) antes da partida do vôo associado com cada percentil

Percentil	vigésimo percentil				sexagésimo percentil				centésimo percentil			
	T1	T1	T2	T2	T1	T1	T2	T2	T1	T1	T2	T2
Período	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde	manhã	tarde
<i>Vôos regulares</i>												
Doméstico												
Curta distância	73	185	77	140	57	105	50	100	23	23	23	23
Longa distância	100	120	110	165	63	75	63	95	38	38	23	38
RapidAir	68	180	77	90	50	70	55	55	15	23	23	23
Transborder												
Curta distância	95	165	83	90	63	78	70	65	38	38	38	38
Longa distância	83	135	105	94	45	90	68	65	23	23	38	23
Sun-spots	95	160	135	115	65	80	76	72	38	38	38	38
Internacional												
Grã-Bretanha	–	180	–	180	–	120	–	120	–	50	–	50
N Europa	–	180	–	180	–	112	–	127	–	50	–	50
S Europa	–	180	–	180	–	112	–	115	–	50	–	50
Outros	–	165	–	–	–	125	–	–	–	50	–	–
<i>Vôos charter</i>												
Doméstico	110	180	125	–	75	115	80	–	38	38	52	–
Transborder	125	–	120	–	95	–	85	–	38	–	52	–
Grã-Bretanha	–	180	–	–	–	128	–	–	–	53	–	–
Europa	–	165	–	150	–	122	–	118	–	53	–	68
Outros	115	–	–	120	78	–	–	90	30	–	–	53

Experimento 2: agregando grupos de vôos de características similares

Uma vez que as principais fontes de diferenças entre grupos de vôos foram identificadas, no que diz respeito às distribuições de chegadas de passageiros e acompanhantes, um novo experimento ANOVA foi realizado para verificar se certos grupos de vôos podiam ser agregados num único setor. O esquema testado agrupa vôos domésticos de curta distância e RapidAir num único setor; junta todos os vôos transborder em apenas um grupo; todos os vôos internacionais num outro grupo; e todos os vôos charter em um único setor.

Quatro experimentos fatoriais foram usados para determinar se os vôos agrupados tinham diferenças estatisticamente significativas quanto às distribuições de chegadas de passageiros ao terminal. As distribuições foram representadas pela porcentagem de passageiros chegando ao terminal em quatro intervalos diferentes: menos de 45 minutos da partida do vôo; entre 45 e 120 minutos do horário de partida; entre 120 e 180 minutos antes da partida; e mais de 180 minutos antes

do horário de partida do vôo. Esta forma de descrição das distribuições, ainda que não a melhor, foi adotada em função da indisponibilidade de dados referentes aos instantes individuais de chegada dos passageiros. O intervalo 0-45 minutos foi escolhido em função de ser o ponto médio entre o tempo mínimo recomendado para chegada ao check-in pelas companhias aéreas (60 minutos, para vôos internacionais, e 30 minutos, para vôos domésticos), o que influencia o número de chegadas neste intervalo. O intervalo 45-120 minutos foi escolhido porque um grande número de chegadas ocorrem dentro deste período, para todas os tipos de vôos. O fator preponderante para a escolha de 180 minutos como limite do terceiro intervalo está ligado ao comportamento dos passageiros: virtualmente nenhum passageiro partindo no período da manhã chega ao terminal com mais de 3 horas de antecedência. Desta forma, a escolha do limite do intervalo como 180 minutos permite capturar as diferenças entre o período da manhã e o período da tarde.

Tabela 3 – Resultados da ANOVA para distribuições de chegadas de passageiros ao terminal

Fator	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	Probabilidade
<i>vigésimo</i>		<i>percentil</i>		
Tipo de voo	15.808,493	14	1.129,178	0,019 ¹
Terminal	1.272,742	1	1.272,742	0,099
Período	132.894,812	1	132.894,812	0,000 ^{1,2}
Terminal×Período	3.731,161	1	3.731,161	0,007 ¹
Erro	10.352,046	24	431,335	
Observações = 42		R = 0,919		R ² = 0,844
<i>sexagésimo</i>		<i>percentil</i>		
Tipo de voo	11.920,589	14	851,471	0,000 ^{a,b}
Terminal	0,968	1	0,968	0,929
Período	2.809,452	1		0,000 ^{a,b}
Terminal×Período	180,396	1	180,396	0,228
Erro	2.704,342	23	117,579	–
Observações = 41		R = 0,944		R ² = 0,891
<i>centésimo</i>		<i>percentil</i>		
Tipo de voo	2.850,321	14	203,594	0,000 ^{a,b}
Terminal	30,495	1	30,495	0,384
Período	77,458	1	77,458	0,170
Terminal×Período	20,664	1	20,664	0,472
Erro	928,715	24	38,697	–
Observações = 42		R = 0,896		R ² = 0,802

^a Significativo no nível de confiança de 5 %

^b Menor que 0,001

A Tabela 4 mostra parte dos dados usados neste experimento, do qual foram obtidas 36 tabelas de análise de variância que podem ser encontradas em Setti [1990]. Os resultados indicam que:

1. Os vôos domésticos de curta distância e RapidAir podem ser combinados num só grupo, já que não existem diferenças significativas entre os dois setores (no nível de confiança de 5%)

com respeito aos fatores tipo de voo, terminal e período do dia.

2. Os três tipos de vôos transborder podem ser tratados como um único grupo, já que não existem diferenças significativas entre eles no que diz respeito ao tipo de voo. Também não existem diferenças causadas pelo terminal mas, no nível de confiança de 5%, existem diferenças oriundas do fator período do dia. Portanto,

é necessário usar-se distribuições diferentes para cada período do dia, para preservar estas diferenças.

3. Não existem diferenças consideráveis em três dos quatro intervalos usados para descrever as distribuições de chegadas de passageiros de vôos internacionais. O único intervalo onde existem diferenças é o que corresponde aos 45 minutos imediatamente anteriores à partida da aeronave. Não existem diferenças em três dos quatro intervalos devidas ao fator terminal. Em função destes resultados, dever-se-ia proceder a novas análises de variância, talvez utilizando-se um maior número de intervalos para a descrição das distribuições. No entanto, o número relativamente pequeno de vôos internacionais, comparados ao número de vôos domésticos e transborder, indica que estas diferenças parciais não implicam em perda significativa de precisão nos resultados da simulação.
4. As distribuições de chegadas de passageiros para vôos charter têm diferenças devidas a tipo de vôo em dois dos quatro intervalos usados. Elas também têm diferenças causadas pelos

fatores terminal e período do dia em um dos quatro intervalos.

Um novo experimento foi usado para testar as diferenças existentes entre os vôos charter, onde o fator período do dia nas distribuições foi desprezado estratificando-se as distribuições em função do período e fazendo-se a análise de variância para cada período separadamente. Os resultados deste experimento mostram que não existem diferenças significativas entre as distribuições.

A similaridade (ou dissimilaridade) entre as distribuições de chegadas dos passageiros e acompanhantes a terminal não são suficientes para garantir o agrupamento de vôos, por si só. Outros fatores que influem nos resultados da simulação e que devem portanto ser levados em consideração ao se agrupar vôos são as relações acompanhante/passageiro no embarque e no desembarque e a relação malas / passageiro. Vôos com diferenças significativas entre estas relações não devem ser combinados para evitar distorções nos resultados dos modelos. Uma série de experimentos ANOVA foi realizada, para determinar o grau de diferenças entre estes fatores para os vôos agrupados segundo o critério discutido no item anterior.

Tabela 4 – Fração de passageiros chegando em cada intervalo de tempo, vôos domésticos

Setor	Terminal	Período	Porcentagem de passageiros chegando ao terminal no intervalo de tempo antes da partida			
			0-45 min	45-120 min	120-180 min	180-+ min
Curta distância	1	Manhã	23,81	66,67	9,52	0,00
	1	Tarde	3,42	52,14	27,35	17,09
	2	Manhã	47,37	47,37	0,00	5,26
	2	Tarde	15,31	46,94	25,51	12,24
RapidAir	1	Manhã	63,89	30,56	5,56	0,00
	1	Tarde	20,21	51,06	7,45	21,28
	2	Manhã	39,06	54,69	4,69	1,56
	2	Tarde	33,33	61,11	4,44	1,11
Longa distância	1	Manhã	49,12	43,86	7,02	0,00
	1	Tarde	10,90	51,66	18,48	18,96
	2	Manhã	40,96	53,01	3,61	2,41
	2	Tarde	23,94	53,72	15,43	6,91

Experimento 3: acompanhantes/ passageiro no embarque

A Figura 4 mostra os dados disponíveis quanto à relação acompanhante (well-wisher) / passageiro no embarque. Um experimento fatorial foi usado para determinar os possíveis efeitos do tipo de vôo, terminal e período do dia e o efeito cruzado de terminal \times período do dia. Os resultados mostram que existem diferenças significativas devidas ao tipo de vôo, mas nenhuma causada por terminal, período do dia ou a interação destes dois fatores, no nível de confiança de 5%, conforme mostra a Tabela 5. Os resultados completos da análise de variância

podem ser encontrados em Setti [1990].

Para testar o esquema adotado para a agregação de vôos, um outro experimento ANOVA foi usado para investigar se existem diferenças significativas na relação acompanhante / passageiro no embarque em cada um dos novos grupos propostos. Os resultados da análise de variância estão resumidos na Tabela 6, que contém as probabilidades associadas à razão F e ao número de graus de liberdade correspondentes. Como pode-se notar, não existem valores inferiores a 5%, o que indica que as diferenças encontradas entre os vários índices medi-

dos não são estatisticamente significativas. Os vôos charter não foram incluídos na análise devido às diferenças anteriormente encontradas entre eles.

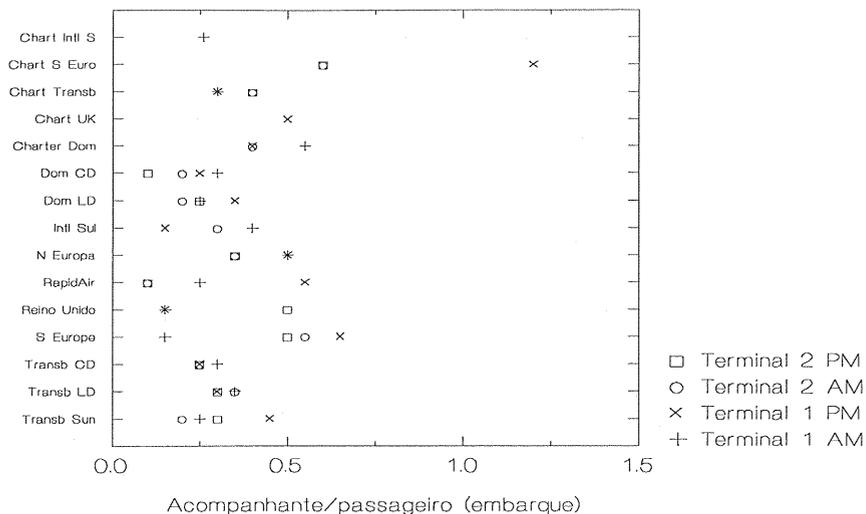


Figura 4 – Número de acompanhantes por passageiro no embarque

Tabela 5 – Resultados da ANOVA para relações well-wisher, greeter e malas/pax

Fator	Probabilidade associada com a razão F		
	Relação		
	well-wisher/pax	greeter/pax	malas/pax
Tipo de vôo	0,000 ^{a,b}	0,000 ^{a,b}	0,010 ^b
Terminal	0,258	–	0,626
Período do dia	0,670	0,000 ^{1,2}	–
Terminal \times período	0,608	–	–
Observações	60	30	38

^a Menor que 0,001

^b Significante no nível de confiança 5%

Tabela 6 – Resultados da ANOVA para razões acompanhantes/passageiros no embarque

Fator	Probabilidade associada com a razão <i>F</i>		
	Doméstico CD + RapidAir	Todos os vôos transborder	Todos os vôos internacionais
Tipo de vôo	0,704	0,516	0,491
Terminal	0,099	0,362	0,347
Período do dia	0,704	0,575	0,783
Terminal×período	0,948	0,850	0,681
Observações	8	12	16

Experimento 4: acompanhantes por passageiro no desembarque

Os dados referentes ao número de acompanhantes (“greeters”) por passageiro no desembarque disponíveis não discriminavam o terminal usado. Considerando-se os resultados dos experimentos anteriores, decidiu-se que esta agregação não implicaria em perda de informações relevantes. A Figura 5 mostra os dados disponíveis.

Um experimento fatorial similar aos anteriores foi usado. Os resultados da análise de variância mostram que existem diferenças significativas devidas ao tipo de vôo e que não existem diferenças devidas ao período do dia. O esquema de agrupamento proposto foi testado e, no nível de confiança de 5%, não existem diferenças entre os vôos transborder. Os mesmos

resultados mostram que existe uma diferença entre os índices dos vôos internacionais do período da manhã e do período da tarde.

Experimento 5: malas/passageiro

A maioria das observações acerca do número de malas por passageiro disponível não discriminava o período do dia, a menos de quatro setores. Os dados disponíveis estão mostrados na Figura 6. A existência de diferenças significativas devidas ao tipo de vôo e ao terminal usado foi investigada através de um arranjo fatorial onde as observações disponíveis para os dois períodos foram tratadas como réplicas. Os resultados deste experimento mostram que o tipo de vôo tem influência nos índices enquanto que o terminal usado não tem.

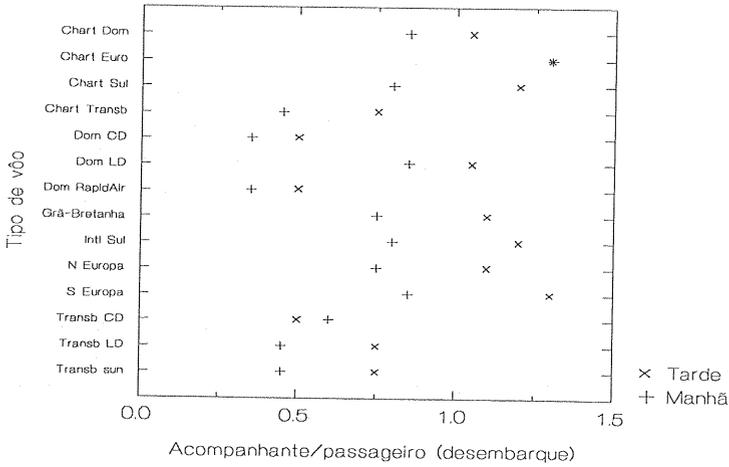


Figura 5 – Número de acompanhantes por passageiro no desembarque

O esquema para agrupamento de vôos foi testado por um outro arranjo fatorial. Os resultados mostram que as diferenças que existem, no nível de confiança de 5%,

são devidas ao fator período do dia, o que significa que devem ser usados índices diferentes no período da manhã e no período da tarde.

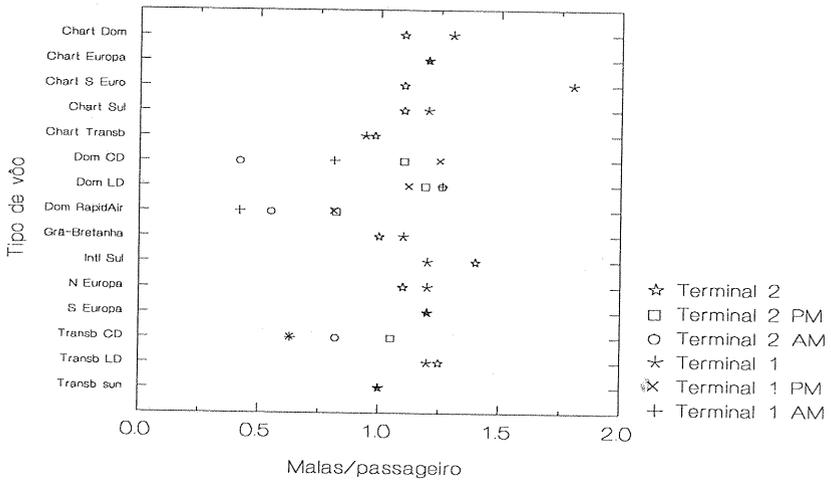


Figura 6 – Número de malas/passageiro

Conclusões

Este trabalho apresentou um método alternativo para análise de características de passageiros de transporte aéreo com vistas à preparação de dados de entrada para um modelo de simulação. O método proposto é baseado em análise de variância e procura detectar os fatores responsáveis pelas diferenças existentes entre as características dos vários tipos de voo presentes num terminal. O fator preponderante para a agregação dos dados é a distribuição de chegadas de passageiros e acompanhantes ao terminal. Outros fatores que devem ser também considerados incluem: o número de acompanhantes / passageiro no embarque e no desembarque e o número de malas / passageiro.

A aplicação desta técnica aos dados do Aeroporto Internacional de Toronto mostrou que a simulação do terminal requer distribuições de chegadas de passageiros distintas para o período da manhã e o período da tarde. Além disto, os resultados obtidos mostram que os vinte tipos de voos existentes podem ser agrupados em cinco: voos domésticos de curta distância, voos domésticos de longa distância, voos transborder, voos internacionais e voos charter.

Embora a análise tenha mostrado existirem diferenças estatisticamente significativas entre os vários tipos de voos charter, admitiu-se que eles podem ser agregados num único grupo em função do seu pequeno número no movimento diário.

Agradecimentos:

Os dados e as informações usadas neste trabalho foram fornecidos pelos srs. Ian Woods e Ian Mehr (Transport Canada, Airport Planning Division, Toronto International Airport). O autor agradece o suporte financeiro da CAPES e da USP para a realização deste trabalho. O autor também agradece as sugestões dos membros do conselho editorial da revista *Transportes*, que possibilitaram melhorar a clareza do texto e eliminar algumas imprecisões

Referências bibliográficas

- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; E HUNTER, J.S. [1978]. *Statistics for Experimenters*. John Wiley & Sons, Inc.
- DAVIES, O.L., ed. [1971]. *The Design and Analysis of Industrial Experiments*. Hafner (Macmillan).
- GHOBRIAL, A.; DAGANZO, C.F. E KAZIMI, T. [1982]. Baggage claim area congestion at airports: an empirical model of mechanized claim device performance. *Transportation Science*, 16(2):246-260.
- HART, W. [1985]. *The Airport Passenger Terminal*. John Wiley & Sons, New York.
- JOVANOCIC, T.; JELASKA, M. E JANIC, M. [1984]. Aircraft delay

- impact on a central terminal hall: a simulation model. *Airport Forum*, (3):63-67.
- MCNEIL, G.W. [1990]. Terminal 3: Transportation assessment for the new terminal at Lester B. Pearson International Airport. In: *Compendium of Technical Papers - 15th CITE Annual Conference*. Toronto, Ont., Canadá, pgs. 255-280.
- SCHEFFÉ, H. [1953]. *The Analysis of Variance*. John Wiley & Sons, Inc.
- SETTI, J.R.A. [1990]. *Passenger Terminal Simulation Model*. Tese de doutorado. University of Waterloo, Waterloo, Ontário, Canadá.
- SETTI, J.R.A. [1991]. TERMSIM, uma linguagem para a simulação de terminais de passageiros. In: *Anais do V ANPET*. Belo Horizonte, MG, vol. II, pgs. 609-622.
- SETTI, J.R.A. E HUTCHINSON, B.G. [1994]. Passenger-terminal simulation model. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 120(4):517-535.
- TRANSPORT CANADA [1980]. Summary of the Airport Planning Simulation Package. Technical Report AK-41-01-100, Qualitative Systems Division, Canadian Air Transportation Administration, Ottawa, Ont., Canadá.
- TRANSPORT CANADA [1985]. Facility analysis of Terminal One for 1984 traffic. Relatório não-publicado preparado pela Airport Planning Division of Toronto - LESTER B. PEARSON INTERNATIONAL AIRPORT.
- WILKINSON, L. [1988]. *SYSTAT: The system for statistics - Version 4*. SYSTAT, Inc., Evanston, IL.