

ANÁLISE DA CONCORRÊNCIA INTERMODAL NO TRANSPORTE INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Luiz Henrique da Conceição Leal

Rômulo Dante Orrico Filho

Hostilio Xavier Ratton Neto

Programa de Engenharia de Transportes

COPPE/UFRJ

Marcial Alexandre Marazzo da Silva

Agência Nacional de Aviação Civil

Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária

RESUMO

A demanda de passageiros do transporte aéreo regular cresceu significativamente a partir de 2003 e este fato se deve em parte a uma parcela dos passageiros do setor rodoviário que optaram pelo transporte aéreo. Neste contexto, o presente artigo tem como finalidade examinar a competição entre esses dois meios de transporte de passageiros nas ligações interestaduais no Brasil através de um modelo econométrico por meio do qual estimou-se a participação do setor aéreo na demanda total de passageiros. Foram incorporadas no modelo variáveis que expressam o nível de renda das cidades e a relação custo benefícios entre os modos de transporte. Com a análise dos resultados observou-se que este conjunto de variáveis influencia a participação do setor aéreo, em especial a diferença tarifária cuja redução acarreta em um maior volume de passageiros transportados pelo modo aéreo.

ABSTRACT

The scheduled domestic air transport flights passenger demand has increased significantly since 2003 and this fact is due to some habitual road passengers choose air transport. Thus, the objective of this article is to analyze competition between air transport and road transport in Brazil through an econometric model which estimated market share of air transport in the total demand. It was incorporated in the model variables that express the income level of the cities and the cost-benefit relation between the transport modes. By analyzing these results it was possible see that this set of variables affects market share of air transport, in special, the difference of fares which reduction cause growth in the air transport demand.

1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é um setor que tanto influencia quanto é influenciado pela economia mundial ou de um determinado país. De acordo com Marazzo et al. (2008), conhecer a demanda por este serviço é o primeiro passo para um planejamento eficiente do sistema de aviação civil, pois essa medida é a base para todas as ações orientadas ao desenvolvimento da infraestrutura e logística necessária para atender a essa demanda. Desta forma, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos visando mensurar a influencia que os fatores de ordem econômica podem ter em uma maior ou menor utilização deste sistema, embora, em função das peculiaridades de cada região ou país, o conjunto de variáveis consideradas explicativas varie.

No caso do Brasil, o quinto país mais extenso do mundo (8.511.965 km²), uma das características do transporte de passageiros é que as viagens são substancialmente longas e o tráfego ocorre basicamente através dos meios de transporte aéreo e rodoviário, tendo em vista que a malha ferroviária e as hidrovias não atendem a todo o território nacional.

Martins (2004) considera que, no caso do transporte rodoviário, há monopólios ou oligopólios em determinadas linhas rodoviárias interestaduais, o que torna as tarifas elevadas. Tretheway (2004), por sua vez, observa que as tarifas mais baixas praticadas pelas empresas aéreas estimulam o consumidor a usar o transporte aéreo em detrimento ao transporte terrestre.

Tal argumentação também é corroborada em Marques (2006), para quem as modalidades de transporte rodoviário e aéreo passaram a competir no segmento doméstico de transporte de passageiros, já que a queda das tarifas do transporte aéreo permitiu o acesso de classes menos abastadas a este meio de locomoção até então considerado elitista.

Apesar disso, Silveira (2003) sugere que o forte crescimento observado na demanda a partir de 2003 estaria vinculado apenas ao processo de estabilização econômica que se iniciou em 1994 e que não haveria evidências de que este aumento seja influenciado, em parte, pela incorporação de novos usuários ao sistema de aviação civil.

Diante destas questões o objetivo deste estudo é estimar a repartição da demanda entre o transporte rodoviário e aéreo no transporte interestadual de passageiros no segmento doméstico brasileiro examinando o possível grau de concorrência entre os mesmos. A repartição da demanda foi estimada a partir de um modelo econométrico cujo conjunto de variáveis expressa o nível de renda entre cidades e relação custo-benefício entre os modos de transporte considerados neste estudo.

2 MODELO DE SIMULAÇÃO DA REPARTIÇÃO DA DEMANDA DO TRANSPORTE INTERESTADUAL DE PASSAGEIROS

No âmbito da repartição da demanda, historicamente o transporte rodoviário de passageiros era o principal meio de locomoção de passageiros no Brasil. Considerando-se o volume de passageiros quilômetros transportados, o setor rodoviário detinha 67% da demanda em 1996 enquanto que o setor aéreo era responsável por 33%. A partir de 2001 foi instituído o regime de liberdade tarifária no setor aéreo que, juntamente com a inclusão de novas empresas, acarretou na redução das tarifas praticadas no setor (Silveira, 2003). Estes acontecimentos refletiram no forte crescimento do volume de passageiros transportados no transporte aéreo que a partir de 2003. No ano de 2007 o setor aéreo passou a deter 62% da demanda enquanto que o setor rodoviário caiu para 38%. As informações referentes ao volume de passageiros transportados foram obtidas nos anuários estatísticos da Agência Nacional de Transportes Terrestres e da Agência Nacional de Aviação civil os quais encontram-se nas respectivas páginas da internet www.antt.gov.br e www.anac.gov.br.

Para a execução deste trabalho foram selecionados 42 pares de cidades cujos trechos são apresentados na Tabela 1. A seleção destes trechos foi feita com base nos pares de cidades que são atendidas tanto pelo modo de transporte aéreo quanto pelo rodoviário, assim como também os pares para os quais há a tarifa média ponderada do setor aéreo fornecida pela Agência Nacional de Aviação Civil. Devido às características de elasticidade-renda quanto à geração de viagens aéreas (IAC, 2001), optou-se por caracterizar os pares de cidades em cidade mais rica e cidade menos rica.

Tabela 1: Pares de cidades

| Nº | TRECHO | | Nº | TRECHO | |
|----|----------------------------|----------------------------|----|----------------------------|----------------------------|
| | Cidade + rica _i | Cidade - rica _j | | Cidade + rica _i | Cidade - rica _j |
| 1 | Brasília | Belém | 22 | Porto Alegre | Florianópolis |
| 2 | Brasília | Cuiabá | 23 | Rio de Janeiro | Belo Horizonte |
| 3 | Brasília | Curitiba | 24 | Rio de Janeiro | Fortaleza |

| | | | | | |
|----|----------------|----------------|----|----------------|----------------|
| 4 | Brasília | Fortaleza | 25 | Rio de Janeiro | Recife |
| 5 | Brasília | Goiânia | 26 | Rio de Janeiro | Salvador |
| 6 | Brasília | Belo Horizonte | 27 | São Paulo | Brasília |
| 7 | Brasília | Porto Alegre | 28 | São Paulo | Curitiba |
| 8 | Brasília | Recife | 29 | São Paulo | Florianópolis |
| 9 | Brasília | Salvador | 30 | São Paulo | Fortaleza |
| 10 | Curitiba | Campinas | 31 | São Paulo | Foz do Iguaçu |
| 11 | São Paulo | Campo Grande | 32 | São Paulo | Recife |
| 12 | São Paulo | Cuiabá | 33 | São Paulo | Salvador |
| 13 | São Paulo | Goiânia | 34 | Belo Horizonte | Vitória |
| 14 | São Paulo | Joinville | 35 | Fortaleza | Recife |
| 15 | São Paulo | Belo Horizonte | 36 | Recife | Salvador |
| 16 | São Paulo | Porto Alegre | 37 | Rio de Janeiro | Brasília |
| 17 | São Paulo | Porto Seguro | 38 | Rio de Janeiro | Campinas |
| 18 | São Paulo | Vitória | 39 | São Paulo | Rio de Janeiro |
| 19 | Curitiba | Florianópolis | 40 | Rio de Janeiro | Curitiba |
| 20 | Belo Horizonte | Curitiba | 41 | Rio de Janeiro | Porto Alegre |
| 21 | Curitiba | Porto Alegre | 42 | Rio de Janeiro | Vitória |

A hipótese adotada neste trabalho é a existência de concorrência entre os modos de transporte rodoviário e aéreo, a qual é influenciada pela diferença tarifária, no segmento de transporte interestadual de passageiros. Com a finalidade de investigar esta afirmação necessita-se de um modelo que permita avaliar a repartição da demanda entre os modos. Neste contexto utilizou-se a análise de regressão múltipla, a qual permite estimar como um determinado conjunto de variáveis afeta uma determinada variável em estudo. Tem-se a seguir o modelo proposto:

$$\begin{aligned}
Part.Demanda\ A\acute{e}rea_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot Pop\ PolCidade_{+}Rica_i + \beta_2 \cdot Pop\ PolCidade_{-}Rica_i + \\
& + \beta_3 \cdot PIB\ Cidade_{+}Rica_i + \beta_4 \cdot PIB\ Cidade_{-}Rica_i + \beta_5 \cdot \Delta tempo_i + \\
& + \beta_6 \cdot \Delta tarifa_i + \beta_7 \cdot \Delta dist\grave{a}ncia_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, 42
\end{aligned} \quad (1)$$

em que *Part.DemandaAérea* é a participação da demanda aérea no par de cidades, *Pop PolCidade₊Rica* é a população polarizada da cidade mais rica, *Pop PolCidade₋Rica* é a população polarizada da cidade menos rica, *PIB Cidade₊Rica* é o produto interno bruto da cidade mais rica, *PIB Cidade₋Rica* é o produto interno bruto da cidade menos rica, *Δtempo* é o tempo de viagem do modo rodoviário menos tempo de viagem do modo aéreo, *Δtarifa* é a tarifa do modo aéreo menos tarifa do modo rodoviário, *Δdistância* é a distância rodoviária menos distância aeronáutica, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ e β_7 são os parâmetros a serem estimados.

No contexto da análise de regressão múltipla há dois tipos de violações dos pressupostos do modelo os quais foram identificados no modelo proposto: multicolinearidade (variáveis

explicativas correlacionadas) e heterocedasticidade (a variância dos erros não é constante). A multicolinearidade pôde ser contornada pela técnica de análise de componentes principais ao passo que a heterocedasticidade pôde ser sanada utilizando-se mínimos quadrados ponderados. A técnica de componentes principais é apresentada na próxima seção.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 Apresentação

A análise de componentes principais é uma técnica que busca explicar a estrutura de variância e covariância através de combinações lineares das variáveis originais. Esta técnica tem como objetivo principal a redução da dimensão e a interpretação de um determinado fenômeno em estudo. Embora $p-1$ componentes principais sejam necessárias para reproduzir a variabilidade total do sistema, muito desta variabilidade é devida a um pequeno número $k < p-1$ de componentes principais. Então as k componentes principais podem substituir as $p-1$ variáveis iniciais e os dados originais, consistindo de n medidas em $p-1$ variáveis que é substituído por n medidas em k componentes principais.

3.2 Componentes Principais

Considere o seguinte modelo de regressão múltipla:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

em que $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$ são os coeficientes de regressão (parâmetros) a serem estimados, ε_i é o erro aleatório e n é o número de elementos pertencentes a amostra.

Sejam $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{p-1}$ e $\tilde{e}_1, \tilde{e}_2, \dots, \tilde{e}_{p-1}$ os autovalores e autovetores unitários da matriz de correlação das variáveis explicativas X_1, \dots, X_{p-1} . Define-se a i -ésima componente principal por:

$$W_i = \tilde{e}_i^T \tilde{Z}, \quad i = 1, \dots, p-1 \quad (3)$$

em que \tilde{Z} é o vetor de variáveis explicativas padronizadas.

Sendo assim tem-se $p-1$ componentes principais conforme segue:

$$\begin{cases} W_1 = e_{11}Z_1 + e_{12}Z_2 + \dots + e_{1;p-1}Z_{p-1} \\ W_2 = e_{21}Z_1 + e_{22}Z_2 + \dots + e_{2;p-1}Z_{p-1} \\ \vdots \\ W_{p-1} = e_{p-1;1}Z_1 + e_{p-1;2}Z_2 + \dots + e_{p-1;p-1}Z_{p-1} \end{cases} \quad (4)$$

3.3 Proporção da Variabilidade Total

Deseja-se estabelecer um número $k < p-1$ de componentes principais que expliquem um grande percentual da variabilidade total do sistema, sendo assim usar-se-á a seguinte fórmula:

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{p-1} \lambda_i}, \quad i = 1, \dots, p-1 \quad (5)$$

em que P_i é a proporção da variabilidade total explicada pela i -ésima componente principal W_i .

Desta forma, tem-se P_1, P_2, \dots, P_{p-1} . Segundo Johnson e Wichern (1982) se, por exemplo, $P_1 + P_2 + \dots + P_k \geq 80\%$, em que $k < p-1$, deve-se utilizar as k componentes principais, pois estas explicam um grande percentual da variabilidade do sistema sem muita perda de informação.

Tendo-se definido as k componentes principais o modelo de regressão múltipla definido na equação (1) passa a ser:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 W_{i1} + \beta_2 W_{i2} + \dots + \beta_k W_{ik} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Definida a nova equação de regressão múltipla em (5) aplicar-se-á de forma análoga a metodologia de modelos de regressão múltipla.

3.4 Coeficiente de Correlação

Conforme descrito, a técnica de componentes principais tem como finalidade a redução da dimensão e a interpretação de um determinado fenômeno. Esta redução pode ser obtida analisando a matriz de correlação dos dados e agrupando as variáveis com maior correlação. Às vezes se torna difícil definir os grupos a partir da matriz de correlação e uma alternativa para este problema é utilizar o coeficiente de correlação entre a i -ésima componente principal W_i e a k -ésima variável X_k conforme definido a seguir:

$$\rho(W_i; Z_k) = e_{ik} \cdot \sqrt{\lambda_i}, \quad i, k = 1, \dots, p-1 \quad (7)$$

O coeficiente de correlação permite identificar quais variáveis do modelo estão correlacionadas com uma determinada componente principal o que possibilita identificar quais variáveis explicativas estão agrupados em uma determinada componente principal.

Nos modelos de regressão múltipla os quais há a presença de multicolinearidade, a análise de componentes principais suprime essa característica, tendo em vista que as k componentes principais não são correlacionadas entre si.

4. RESULTADOS

O objeto deste estudo é a estimativa da participação da demanda de passageiros no transporte interestadual buscando examinar se há concorrência entre os dois principais meios de locomoção, rodoviário e aéreo. Com base nos dados, o modelo estimado apresentou os seguintes resultados:

Tabela 2: ANOVA

| | gl | SQ | MQ | F | p-valor |
|-----------|----|------|------|------|---------|
| Regressão | 7 | 1,17 | 0,17 | 4,98 | 0,00 |
| Resíduo | 34 | 1,14 | 0,03 | | |
| Total | 41 | 2,32 | | | |

Tabela 3: Coeficientes estimados

| | Coeficientes | Stat t | p-valor |
|--|--------------|--------|---------|
|--|--------------|--------|---------|

| | | | |
|---------------------------------|-----------|-------|------|
| Interseção | 0,41 | 4,73 | 0,00 |
| População Pol. da Cidade + Rica | -1,71E-08 | -1,26 | 0,21 |
| População Pol. da Cidade - Rica | -1,12E-08 | -0,56 | 0,58 |
| PIB da Cidade + Rica | 4,78E-09 | 1,71 | 0,10 |
| PIB Cidade - Rica | 3,63E-09 | 1,01 | 0,32 |
| Δ tempo | 2,92E-05 | 0,16 | 0,87 |
| Δ preço | 1,80E-04 | 0,35 | 0,73 |
| Δ distância | 5,65E-04 | 1,25 | 0,22 |

No modelo proposto, nenhuma variável apresentou significância estatística ao nível de 5% como pode ser observado na tabela 3. Além disso, o modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,51, ou seja, apenas 51% da participação da demanda do setor aéreo da amostra é explicada pelo conjunto de variáveis explicativas.

Considerando que existe uma relação natural entre as variáveis selecionadas – quanto maior a população residente, maior a renda, por exemplo –, investigou-se a possível existência de multicolinearidade no modelo, o que pode afetar as estimativas dos coeficientes. Aplicando-se o teste formal que consiste em obter a inversa da matriz de correlação das variáveis explicativas na qual os elementos da diagonal fornecem o fator de aumento da variância (VIF) verificou-se a presença de multicolinearidade. Segundo Neter et al (1990) caso o fator máximo de aumento da variância seja maior que 10, diz-se que há multicolinearidade. No conjunto de variáveis explicativas em estudo o fator máximo de aumento da variância obtido foi 28,31. Com o intuito de contornar esta característica utilizou-se a análise de componentes principais com o objetivo de agrupar as variáveis explicativas do modelo de acordo com as suas correlações.

Na aplicação da técnica de componentes principais necessitam-se calcular os autovalores e autovetores unitários obtidos a partir da matriz de correlação das variáveis explicativas do modelo, apresentados na tabela 4. As sete variáveis explicativas do modelo fornecem uma matriz de correlação com igual número de linhas e colunas. Sendo assim obtêm-se 7 autovalores que permitem investigar a quantidade de componentes principais a serem formadas (Harris, 2001).

Na tabela 5 é apresentada a proporção da variabilidade total em que P_i representa a proporção da variabilidade total explicada pela i -ésima componente principal. A finalidade desta técnica é a redução da dimensão através de um determinado número de componentes principais menor que o número de variáveis explicativas do modelo. Neste contexto, para determinar a quantidade de componentes principais utiliza-se a proporção da variabilidade total acumula conforme pode ser vista na tabela 5.

Tabela 4: Autovalores e autovetores unitários

| Autovalor | Autovetor unitário associado ao autovalor | | | | | | | |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda_1 = 2,21$ | $e_1 =$ | 0,47 | 0,12 | 0,50 | 0,12 | 0,45 | 0,35 | 0,42 |
| $\lambda_2 = 1,92$ | $e_2 =$ | -0,49 | 0,15 | -0,46 | -0,11 | 0,49 | 0,05 | 0,52 |
| $\lambda_3 = 1,78$ | $e_3 =$ | 0,12 | -0,66 | 0,12 | -0,63 | 0,16 | -0,29 | 0,16 |
| $\lambda_4 = 0,76$ | $e_4 =$ | -0,10 | -0,11 | -0,10 | -0,40 | -0,12 | 0,86 | -0,21 |

| | | | | | | | | |
|--------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $\lambda_5 = 0,26$ | $e_5 =$ | -0,14 | -0,71 | -0,10 | 0,64 | 0,11 | 0,19 | 0,01 |
| $\lambda_6 = 0,05$ | $e_6 =$ | 0,12 | -0,06 | -0,11 | 0,03 | -0,69 | 0,08 | 0,69 |
| $\lambda_7 = 0,02$ | $e_7 =$ | -0,69 | 0,00 | 0,70 | -0,01 | -0,15 | -0,01 | 0,09 |

Os autovetores associados a cada autovalor fornecem os coeficientes da combinação linear das variáveis explicativas, combinação esta denominada componente principal.

Tabela 5: Proporção da variabilidade total

| Proporção da variabilidade total | % Variância explicada | % Variância explicada acumulada |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| P ₁ | 0,32 | 0,32 |
| P ₂ | 0,27 | 0,59 |
| P ₃ | 0,25 | 0,84 |
| P ₄ | 0,11 | 0,95 |
| P ₅ | 0,04 | 0,99 |
| P ₆ | 0,01 | 1,00 |
| P ₇ | 0,00 | 1,00 |

Os resultados desta análise indicam que a proporção da variabilidade total explicada acumulada é de 95% para as quatro primeiras componentes principais (tabela 5). Sendo assim o conjunto de sete variáveis explicativas definidas podem ser agrupadas em 4 componentes principais. As componentes principais serão uma combinação linear das variáveis explicativas cujos coeficientes são obtidos a partir das quatro primeiros autovetores unitário, sendo assim a primeira componente principal será uma combinação linear das variáveis explicativas cujos coeficientes são apresentados no primeiro autovetor unitário, e assim sucessivamente.

As componentes principais obtidas a partir da combinação linear das variáveis explicativas, cujos coeficientes são extraídos dos autovalores unitários, são apresentadas a seguir:

$$W_{i1} = 0,47Z_{i1} + 0,12Z_{i2} + 0,5Z_{i3} + 0,12Z_{i4} + 0,45Z_{i5} + 0,35Z_{i6} + 0,42Z_{i7} \quad (8)$$

$$W_{i2} = -0,49Z_{i1} + 0,15Z_{i2} - 0,46Z_{i3} - 0,11Z_{i4} + 0,49Z_{i5} + 0,05Z_{i6} + 0,52Z_{i7} \quad (9)$$

$$W_{i3} = 0,12Z_{i1} - 0,66Z_{i2} + 0,12Z_{i3} - 0,63Z_{i4} + 0,16Z_{i5} - 0,29Z_{i6} + 0,16Z_{i7} \quad (10)$$

$$W_{i4} = -0,10Z_{i1} - 0,11Z_{i2} - 0,10Z_{i3} - 0,40Z_{i4} - 0,12Z_{i5} + 0,86Z_{i6} - 0,21Z_{i7} \quad (11)$$

O coeficiente de correlação entre a i-ésima componente principal e k-ésima variável explicativa do modelo permite identificar quais variáveis explicativas são agrupadas em cada uma das quatro componentes principais. Os resultados apresentados abaixo se referem apenas aos coeficientes de correlação das quatro primeiras componentes principais com as sete variáveis explicativas padronizadas.

Tabela 6: Coeficientes de correlação

| | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $\rho(W_1; Z_1) = 0,69$ | $\rho(W_2; Z_1) = -0,68$ | $\rho(W_3; Z_1) = 0,17$ | $\rho(W_4; Z_1) = -0,09$ |
| $\rho(W_1; Z_2) = 0,17$ | $\rho(W_2; Z_2) = 0,21$ | $\rho(W_3; Z_2) = -0,88$ | $\rho(W_4; Z_2) = -0,10$ |
| $\rho(W_1; Z_3) = 0,75$ | $\rho(W_2; Z_3) = -0,63$ | $\rho(W_3; Z_3) = 0,15$ | $\rho(W_4; Z_3) = -0,08$ |
| $\rho(W_1; Z_4) = 0,18$ | $\rho(W_2; Z_4) = -0,16$ | $\rho(W_3; Z_4) = -0,84$ | $\rho(W_4; Z_4) = -0,35$ |
| $\rho(W_1; Z_5) = 0,67$ | $\rho(W_2; Z_5) = 0,68$ | $\rho(W_3; Z_5) = 0,21$ | $\rho(W_4; Z_5) = -0,10$ |
| $\rho(W_1; Z_6) = 0,52$ | $\rho(W_2; Z_6) = 0,08$ | $\rho(W_3; Z_6) = -0,38$ | $\rho(W_4; Z_6) = 0,75$ |
| $\rho(W_1; Z_7) = 0,62$ | $\rho(W_2; Z_7) = 0,72$ | $\rho(W_3; Z_7) = 0,21$ | $\rho(W_4; Z_7) = -0,19$ |

em que W_{i1} é a primeira componente principal, W_{i2} é a segunda componente principal, W_{i3} é a terceira componente principal, W_{i4} é a quarta componente principal, Z_{i1} é variável padronizada *Pop PolCidade₊Rica*, Z_{i2} é variável padronizada *Pop PolCidade₋Rica*, Z_{i3} é variável padronizada *PIB Cidade₊Rica*, Z_{i4} é variável padronizada *PIB Cidade₋Rica*, Z_{i5} é variável padronizada $\Delta tempo$, Z_{i6} é variável padronizada $\Delta tarifa$, Z_{i7} é variável padronizada $\Delta distância$

Os coeficientes de correlação mais altos em cada grupo na tabela 6 permitem identificar que a primeira componente principal agrupa os fatores que definem a renda das cidades mais ricas (População e PIB). A segunda agrupa os fatores de medem o benefício de viajar de avião ($\Delta tempo$ e $\Delta distância$), a terceira agrupa os fatores que determinam a renda das cidades menos ricas (População e PIB) e por último a quarta componente principal é composta da variável que mensura o custo de viajar de avião em detrimento ao ônibus ($\Delta tarifa$). Desse modo as componentes principais podem ser assim nomeadas: W_{i1} é a renda da cidade mais rica, W_{i2} é o benefício de viajar de avião em relação ao ônibus, W_{i3} é a renda da cidade menos rica e W_{i4} é o custo de viajar de avião em relação ao ônibus. Sendo assim tem-se o novo modelo de regressão múltipla:

$$Part.Demanda\ Aérea\ Padronizada_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot renda\ cidade_{+}rica_i + \beta_2 \cdot benefício_i + \beta_3 \cdot rendacidade_{-}rica_i + \beta_4 \cdot custo_i + \varepsilon_i \quad i = 1, ..., 42 \quad (12)$$

O novo modelo de regressão produziu os seguintes resultados:

Tabela 7: ANOVA

| | gl | SQ | MQ | F | p-valor |
|-----------|----|------|------|------|----------|
| Regressão | 4 | 0,46 | 0,12 | 7,97 | 9,69E-05 |
| Resíduo | 37 | 0,54 | 0,01 | | |
| Total | 41 | 1 | | | |

Tabela 8: Coeficientes estimados

| | Coeficientes | Stat t | p-valor |
|---------------------------|--------------|-----------|----------|
| Interseção | -4,83E-17 | -2,60E-15 | 0,99 |
| Renda da cidade mais rica | 0,43 | 5,27 | 6,05E-06 |
| Benefício | 0,14 | 1,59 | 0,12 |

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|------|
| Renda da cidade menos rica | 0,06 | 0,62 | 0,54 |
| Custo | -0,15 | -1,08 | 0,29 |

Embora conjuntamente as variáveis do modelo tenham se mostrado significativas, com exceção da variável renda da cidade mais rica, individualmente, todas as demais variáveis se mostraram não significativas ao nível de 5%, conforme visto na tabela 8. Além disso, o modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,46, ou seja, apenas 46% da participação da demanda do setor aéreo da amostra é explicada pelo conjunto de variáveis explicativas. O teste de Glejser para análise dos resíduos, entretanto, indicou que o termo do erro não é constante para toda a amostra, violando o pressuposto do modelo de regressão. Para contornar esta característica acerca da modelagem utilizou-se a metodologia de mínimos quadrados ponderados (Gujarati, 2004) dividindo-se todas as variáveis do modelo pela variável renda da cidade menos rica. Apresenta-se a seguir o modelo transformado:

$$C_i = \beta_0 D_{i1} + \beta_1 D_{i2} + \beta_2 D_{i3} + \beta_4 D_{i4} + v_i, \quad i = 1, \dots, 42 \quad (13)$$

em que

$$C_i = \frac{\text{Part.Demanda Aérea Padronizada}_i}{\text{rendacidade_rica}_i} \quad (14)$$

$$D_{i1} = \frac{\text{renda cidade_rica}_i}{\text{rendacidade_rica}_i} \quad (15)$$

$$D_{i2} = \frac{\text{benefício}_i}{\text{rendacidade_rica}_i} \quad (16)$$

$$D_{i3} = \frac{\text{rendacidade_rica}_i}{\text{rendacidade_rica}_i} = 1 \quad (\beta_2 \text{ passa a ser o intercepto}) \quad (17)$$

$$D_{i4} = \frac{\text{custo}_i}{\text{rendacidade_rica}_i} \quad (18)$$

O novo modelo apresentou os seguintes resultados:

Tabela 9: ANOVA

| | gl | SQ | MQ | F | p-valor |
|-----------|----|-----------|----------|--------|----------|
| Regressão | 4 | 39.362,17 | 9.840,54 | 684,70 | 3,92E-34 |
| Resíduo | 37 | 531,76 | 14,37 | | |
| Total | 41 | 39.893,93 | | | |

Quando se aplica a técnica de mínimos quadrados ponderados o cálculo do coeficiente de determinação difere da forma usual sendo obtido a partir do quadrado do coeficiente de correlação da variável dependente observada e sua respectiva previsão. O coeficiente de determinação obtido foi 0,99.

Tabela 10: Coeficientes estimados

| | Coeficientes | Stat t | p-valor |
|------------|--------------|--------|----------|
| Interseção | 0,03 | 3,37 | 2,46E-03 |

| | | | |
|-------------------------|-------|-------|----------|
| Variável D ₁ | 0,63 | 18,13 | 5,33E-20 |
| Variável D ₂ | 0,29 | -2,31 | 0,03 |
| Variável D ₃ | 0,11 | -8,34 | 5,06E-10 |
| Variável D ₄ | -0,47 | 4,09 | 2,26E-04 |

Adaptando as equações às características de heterocedasticidade e da multicolinearidade dos dados, obteve-se o modelo cujas variáveis transformadas D₁, D₂, D₃ e D₄ se mostram significativas ao nível de 1%. O teste F mostra que os parâmetros do modelo são conjuntamente significativos e o coeficiente de determinação mostra que 99% da participação da demanda do transporte aéreo pode ser explicada pelo conjunto de variáveis definidas no modelo deixando-se apenas 1% para outras variáveis omitidas ou para flutuações ao acaso.

Multiplicando-se as variáveis transformadas pelo inverso da variável renda da cidade menos rica restabeler-se-á a situação inicial sendo assim tem-se o seguinte modelo estimado:

$$Part.Demanda\ A\acute{e}rea\ Padronizada_i = 0,11 + 0,63 \cdot renda\ cidade_{+rica_i} + 0,29 \cdot benef\acute{icio}_i + \\ + 0,03 \cdot renda\ cidade_rica_i - 0,47 \cdot custo_i \quad i = 1, ..., 42 \quad (19)$$

em que a componente principal *renda cidade₊rica* agrupa as variáveis população e PIB da cidade mais rica no trecho, a componente principal *renda cidade₋rica* agrupa as variáveis população e PIB da cidade menos rica no trecho, a componente *benefício* agrupa as diferenças de tempo e distância entre o modo de transporte rodoviário e aéreo. A componente principal *custo* está associada à variável *Δtarifa*.

A partir do modelo pode-se verificar que renda (população, PIB) da cidade mais rica tem impacto positivo na participação da demanda do setor aéreo, isto significa dizer que quando maior a renda da cidade mais rica em determinado trecho maior será a participação da demanda de passageiros.

As variáveis que compõem a relação custo-benefício entre o transporte aéreo e o transporte rodoviário foram incorporadas separadamente ao modelo. A variável que mede o benefício de viajar de avião em relação ao ônibus tem o coeficiente positivo. Tendo em vista que esta variável agrupa as variáveis “diferença de tempo” e “distância entre os meios de transporte”, o sinal do coeficiente do modelo indica que, quanto maior o tempo de viagem do transporte rodoviário e a distância rodoviária entre as cidades há incremento da participação do transporte aéreo na demanda.

No que tange ao custo, representado pela diferença entre as tarifas praticadas pelo transporte aéreo e rodoviário, o sinal negativo do coeficiente no modelo indica que, quanto maior for a diferença entre as tarifas, menor será a participação da demanda. Neste contexto é importante salientar que uma diminuição na diferença dos preços das passagens de avião e ônibus acarreta em um aumento da participação do setor de aviação civil na demanda de passageiros, o que corrobora a afirmação de que, no período das observações, houve competição entre os meios de transporte em nível tarifário, o que implicou na migração de parte dos usuários do transporte rodoviário para o transporte aéreo.

5. CONCLUSÃO

O estudo apresentado neste artigo contribui para preencher a lacuna existente no âmbito da análise da concorrência entre o setor aéreo e o rodoviário a qual não é foco de estudo em outros países haja vista que este tipo de competição é peculiar ao Brasil. O modelo apresentado possibilita verificar o grau de competição através da influência da diferença tarifária entre os modos na participação da demanda do transporte aéreo.

Cabe ressaltar que o modelo apresentado serve de balizador para os órgãos governamentais no que se refere à implementação de políticas públicas de fomento aos setores rodoviário e aéreo tendo em vista que a análise de sensibilidade nos permite verificar o impacto de cada uma das variáveis na participação da demanda. Neste contexto, por exemplo, se o governo tiver interesse em priorizar o transporte rodoviário em detrimento ao aéreo em um determinado trecho pode-se investir na melhoria da infra-estrutura rodoviária o que acarretaria diminuição no tempo de viagem ao passo que também poder-se-ia conceder autorização a novas empresas o que acarretaria em competição no transporte rodoviário ocasionando na redução das tarifas.

Por fim cabe apresentar algumas sugestões para trabalhos futuros com o intuito de investigar aspectos não abordados neste estudo como, por exemplo, a competição entre os modos rodoviário e aéreo no segmento de transporte de carga. Outra sugestão de pesquisa refere-se à inclusão de novas variáveis não consideradas neste estudo como o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) estimando o seu impacto na distribuição da demanda entre os modos.

Os dados referentes a este artigo são provenientes da aviação geral entre grandes pólos geradores de demanda do setor aéreo, sendo assim tem-se ainda como sugestão de linha de pesquisa o estudo da concorrência intermodal no segmento da aviação regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abed, S. Y.; Ba-Fail, A. O. and Jasimuddin, S. M. (2001) *An Econometric Analysis of International Air Travel Demand in Saudi Arabia*. Journal of Air Transport Management. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em 22 de novembro de 2006
- Ba-Fail, A. O.; Abed, S. Y. and Jasimuddin, S. M. (2000) *The Determinants of Domestic Air Travel Demand in the Kingdom of Saudi Arabia*. Journal of Air Transport World Wide, v. 1, no 2, p. 72 – 86. Disponível em : <http://ntl.bts.gov/lib/000/700/744/jatww_5-2_ba-fail.pdf>. Acesso em 28 de novembro de 2006.
- Gujarati, D. N. (2004) *Basic Econometrics*. 4th ed. McGraw Hill.
- Harris, R. J. (2001) *A primer of multivariate statistics*. 3rd ed. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, New Jersey.
- Instituto de Aviação Civil (2001) *Demanda Global*. 1ª ed. Rio de Janeiro.
- Johnson R. A. and Wichern Dean W. (1982) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Marques, E. M. (2006) *A Intermodalidade Aero-Ferrovária no Transporte de Passageiros Existentes no Aeroporto de Frankfurt – Alemanha e Sugestão de Aplicação deste Modelo no Aeroporto de Guarulhos – Brasil*. Monografia, FATEC ZL. São Paulo.
- Marazzo, M. A. S.; Scherre, R.P.; Fernandes, E.; Pacheco R. R. (2008) *Air transportation Demand and Economic Growth in Brazil: A Time Series Analysis*. Air Transport Research Society Conference, 166, Athens, Greece, 6-10 July 2008.

- Martins, F. G. D. (2004) *Transporte Rodoviário Interestadual e Internacional de Passageiros: Regulação e Concentração Econômica*. Monografia, PGCE. Brasília, p. 10.
- Neter, J.; Wasserman, W. and Kutner, M. H. (1990) *Applied Linear Statistical Models*. 3rd ed. Irwin. Boston.
- Silveira, J. A. (2003) *Transporte Aéreo Regular no Brasil: Análise Econômica e Função de Custo*. Dissertação de Mestrado, COPPE / PET / UFRJ, Rio de Janeiro.
- Tretheway (2004) *Distortions of Airline Revenues: Why the Network Airline Business model is broken*. Journal of Air Transport Management. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/jairtraman>>. Acesso em 31 de outubro de 2006