

Análise econométrica aplicada ao planejamento de infraestrutura aeroportuária – Estudo de caso do aeroporto de Vitória

The Econometric analysis applied to the planning of airport infrastructure - Case Study of the Victoria Airport

Nathana Alcântara Lima
nathana.alcantara@gmail.com
Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Resumo

A necessidade de planejar a expansão da infraestrutura aeroportuária brasileira é um assunto bastante estratégico para o desenvolvimento do país. Este trabalho consiste na realização de um estudo de demanda aplicado ao aeroporto Eurico de Aguiar Salles, em Vitória-ES. Foram utilizadas ferramentas de econometria para desenvolver modelos de previsão de demanda para esse aeroporto, utilizando-se dados de receita média de passagens aéreas, crescimento econômico brasileiro (PIB) e demanda de passageiros domésticos, tendo como resultado uma função capaz de prever a demanda aeroportuária de acordo com o cenário econômico considerado. O planejamento das obras de infraestrutura aeroportuária brasileira é um tema crítico, pois elas têm alto custo e demandam alto tempo de execução. Assim, encontrar um modelo descritivo para prever a demanda aeroportuária se torna uma grande contribuição para o desenvolvimento e crescimento do Brasil.

Palavras-chave: Infraestrutura aeroportuária. Previsão de demanda. Econometria. Vitória.

Abstract

The need to plan the expansion of the Brazilian airport infrastructure is a very strategic issue for the development of the country. This work constitutes a study of demand applied to Eurico de Aguiar Salles Airport in Vitória - ES. Econometric tools were used to develop models to forecast demand for this airport, using data on average revenue from airline tickets, Brazilian economic growth (GDP) and domestic passenger demand, resulting in a function able to predict the demand airport according to the economic scenario considered. The planning of the works of Brazilian airport infrastructure is a critical issue, because these are costly and require high runtime. So finding a descriptive model for predicting the demand airport becomes a great contribution to the development and growth of Brazil.

Keywords: Airport Infrastructure. Demand forecast. Econometrics. Vitória.

1 Introdução

Um dos principais temas do governo atual é a preocupação com o planejamento e desenvolvimento da infraestrutura aeroportuária do Brasil. A maioria dos aeroportos brasileiros está saturada, devido ao crescimento da demanda pelo modal aéreo. Isso é considerado uma consequência do crescimento econômico do país e do aumento da concorrência entre as empresas aéreas. Avaliar os gargalos no setor aéreo é importante para planejar e viabilizar o crescimento do setor.

Nesse caso, faz-se necessário desenvolver modelos que façam a previsão da demanda por transporte aéreo, identificando as variáveis que estejam mais correlacionadas com a demanda. Para isso, serão desenvolvidas funções que representem o número total de passageiros domésticos para cada cenário econômico, a partir de uma base de dados e com auxílio de ferramentas de econometria.

O estudo será aplicado ao caso do aeroporto de Vitória-ES, sendo este um dos aeroportos mais deficientes nos quesitos de conforto e eficiência operacional do país, havendo um grande contraste com os outros aeroportos da região Sudeste.

Os aeroportos do Rio Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte são um dos maiores em movimento do país, sendo *hub* para algumas companhias aéreas, porém, o aeroporto de Vitória não pode ser comparado a nenhum deles em infraestrutura e movimento. Assim, um estudo de previsão de demanda para esse aeroporto é um importante instrumento a ser utilizado no planejamento de sua expansão. Se o aeroporto tivesse boas condições de operação, poderia ser utilizado para diminuir os gargalos dos maiores aeroportos do país e ser até utilizado como *hub* nacional ou internacional para companhias aéreas.

Tendo-se uma função representativa do número de passageiros que utilizam o aeroporto, é possível avaliar quando existirão gargalos e planejar a necessidade de expansão. Em alguns casos, expandir o atual sítio aeroportuário pode não ser suficiente, sendo necessário construir um novo.

Inicialmente, será feita uma análise do aeroporto, avaliando dados qualitativos, sua capacidade, seu movimento atual, assim como sua malha aérea. Será realizado o estudo de demanda, apresentando-se a base de dados e a modelagem econométrica utilizada. E por fim, serão apresentadas as conclusões sobre os resultados encontrados.

Será apresentado o modelo de regressão linear escolhido para realizar a previsão de demanda desse aeroporto, que depende das variáveis *yield* de passagens aéreas, PIB e novos consumidores do aeroporto.

2 Análise do aeroporto

O aeroporto de Vitória foi inaugurado no final de 1943, durante a Segunda Guerra Mundial. Esse aeroporto fazia parte do acordo firmado entre Brasil e Estados Unidos, no qual o Brasil permitia a utilização de determinadas áreas pelas Forças Armadas dos EUA durante o período de guerra. Com o fim do conflito, o aeroporto foi gradativamente sendo utilizado pela aviação comercial brasileira. Em 1975, a administração do aeroporto foi transferida do Ministério da Aeronáutica para a recém-criada Infraero. Após três anos, foram executadas obras de ampliação da pista de pouso e decolagem, que possui desde então 1.750 m de extensão. A pista tem capacidade para receber aviões de médio e grande porte, como Boeings 727, Boeings 737, Embraer 190, Embraer 195, dentre outros. Dessa forma, há décadas não são realizadas obras de modernização e ampliação do aeroporto Eurico de Aguiar Salles.

O movimento anual de passageiros mostra que a demanda do aeroporto é aproximadamente 550% maior que sua capacidade, sendo considerado o pior do país no quesito operacionalidade. O terminal de passageiros tem capacidade anual para movimentação de 560 mil passageiros por ano, e fechou 2012 com 3,643 milhões de embarques e desembarques. É bastante comum relatos de passageiros alegando atrasos nos voos, falta de água no aeroporto, filas para usar os banheiros, goteiras no saguão, falta de conforto nas salas de embarque e desembarque, dentre outros problemas. A Tabela 1 mostra a movimentação anual de passageiros a partir do ano de 2003.

Tabela 1: Movimento anual de passageiros para o aeroporto de Vitória.

<i>Ano</i>	<i>Movimento de Passageiros</i>
2003	1.174.290
2004	1.246.222
2005	1.517.578
2006	1.661.192
2007	1.894.540
2008	1.988.447
2009	2.342.283
2010	2.644.729
2011	3.182.394
2012	3.642.842
2013	1.699.398 até junho

Fonte: Infraero, 2013.

Esses números mostram a necessidade de obras de ampliação e modernização do aeroporto. Em 2005, as obras foram iniciadas, mas foram paralisadas diversas vezes em 2006 e 2007 por suspeitas de superfaturamento. Em 2008, o consórcio responsável abandonou definitivamente o canteiro de obras alegando que não recebia verbas da Infraero. Em 2009, foram realizadas algumas obras emergenciais, conhecidas como “puxadinhos”, que são atualmente bastante comuns nos aeroportos brasileiros, devido à falta de planejamento da capacidade. Houve uma ampliação da sala de embarque, instalação de uma nova esteira de bagagens e aquisição de novos carrinhos, porém, foram apenas melhorias emergenciais,

respectivamente, ele terá que fazer uma escala ou conexão, a qual provavelmente será na região Sudeste. Ou seja, haverá um acréscimo na movimentação de aeroportos com grande número de passageiros, como Confins, Galeão e Guarulhos, aumentando os gargalos já existentes. Logo, o aeroporto não interliga Vitória a muitos outros estados, gerando uma malha bastante concentrada e não abrangente.

As empresas aéreas que realizam as rotas mostradas são: TAM, Gol, AZUL, Línea Aérea Carguera de Colombia (LAE), ABSA - Aerolinhas Brasileiras (TUS) e Transportadora Aérea Regional do Interior Paulista (TIB). Os modelos de aeronaves que operam nesse aeroporto são: E170, E190, B737, B738, B763, A319, A320, AT43 e AT42, ou seja, têm-se aeronaves de pequeno, médio e grande porte.

No total, sendo 68 voos de origem no aeroporto de Vitória e 63 voos que chegam a ele por dia, são 131 voos diários. A quantidade de voos operados por empresa aérea encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de voos diários operados por empresa aérea do aeroporto de Vitória.

<i>Empresa</i>	<i>Número de voos diários</i>
TAM	30
GOL	50
AZUL	31
LAE	2
TIB	14
TUS	4

Fonte: Hotran, 2013.

Assim como o aeroporto de Vitória, muitos outros aeroportos brasileiros passam por problemas semelhantes. O Governo tem a preocupação de expandir os principais deles, por conta do grande aumento da demanda nacional pelo transporte aéreo. Além disso, há eventos importantes que acontecerão no Brasil, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, os quais incrementam ainda mais a movimentação da aviação comercial e executiva, exigindo o aumento da capacidade dos sítios aeroportuários.

Sem considerar esses eventos que fornecem picos de demanda, faz-se necessário pensar por que a demanda por transporte aéreo tem aumentado tanto no Brasil. O modal aéreo necessita de grandes obras de infraestrutura, por isso, é necessário realizar uma previsão de demanda, pois essas obras não podem ser rapidamente planejadas e executadas. Além disso, os custos são altíssimos, não sendo interessante a realização de pequenas reformas e expansões sem planejamento. Nesse sentido, é importante analisar as variáveis relevantes para explicar o aumento da demanda, analisar, por exemplo, o crescimento do PIB, a concorrência das empresas aéreas, a diminuição dos preços das passagens, dentre outras variáveis importantes para explicar o modelo.

Tendo-se um modelo de análise de demanda adequado, é possível fazer um bom planejamento da necessidade de obras de infraestrutura e evitar problemas futuros nos aeroportos, como gargalos e falta de capacidade. É importante ressaltar que um modelo de previsão de demanda não é perfeito. Podem surgir fatos na economia que não haviam sido observados antes que mudem o comportamento dos consumidores, afetando o modelo realizado de forma não prevista.

3 Descrição e análise inicial da base de dados

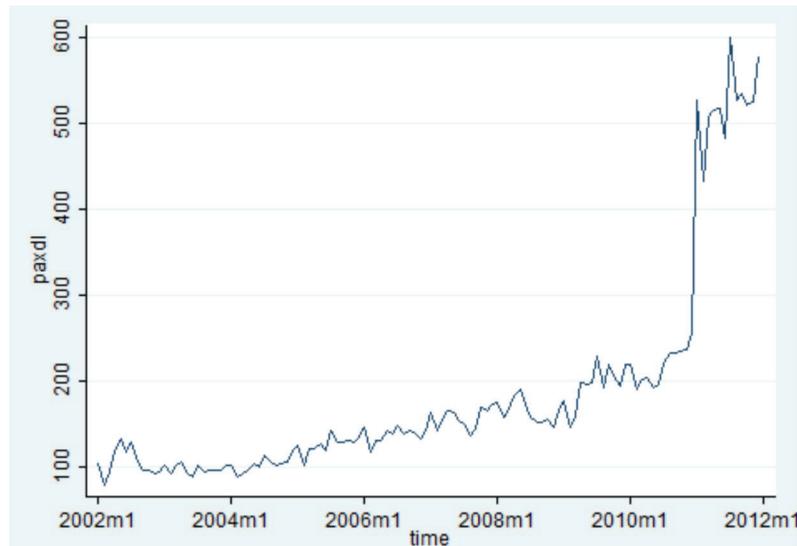
O estudo do modelo de previsão de demanda apresentado a seguir analisa quantitativa e qualitativamente a base de dados utilizada e os modelos econométricos desenvolvidos.

A base de dados utilizada no estudo foi obtida por meio de coleta de dados pela Infraero, ANAC, Banco Central e Ipeadata. As variáveis utilizadas foram o movimento de passageiros locais (paxdl), o yield médio doméstico nacional (yield) e o PIB nominal em reais (gdp), já considerando as taxas de inflação. Essas variáveis foram analisadas a cada mês. Vale ressaltar que seria mais interessante utilizar o yield doméstico apenas para o aeroporto de Vitória, mas esses dados não estão disponibilizados. Com os valores mensais das variáveis apresentadas, foi proposto um modelo de regressão linear, a fim de explicar da melhor forma possível o comportamento da demanda para o aeroporto de Vitória.

Com intuito de conhecer melhor a base de dados utilizada, a evolução temporal das variáveis analisadas, compreendidas no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011, pode ser observada.

Na Figura 2, tem-se a evolução dos passageiros domésticos locais ao longo do período estudado.

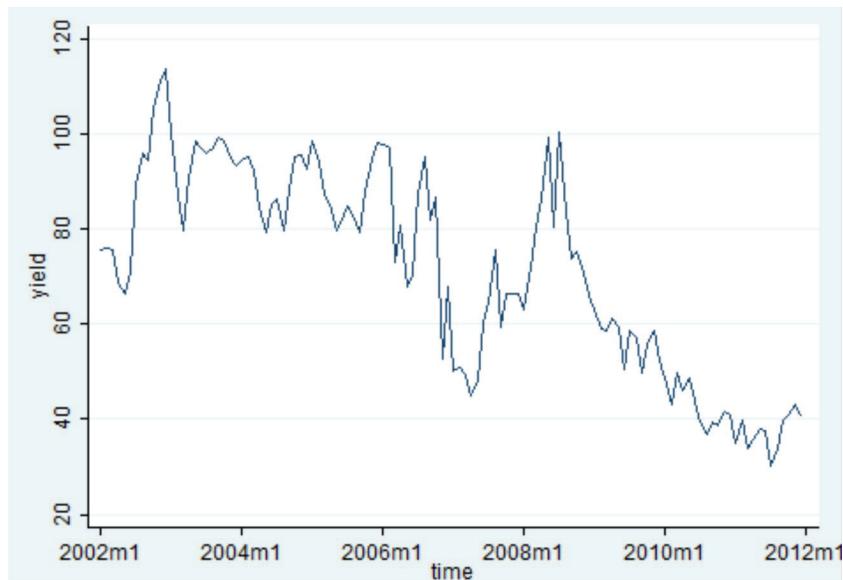
Figura 2 - Evolução do movimento doméstico de passageiros no aeroporto de Vitória.



Verifica-se um número crescente de passageiros ao longo do tempo, entretanto, no início de 2011, esse número passou a ser praticamente o dobro dos anos anteriores, caracterizando uma quebra de tendência. Isso não pode ser explicado por uma mudança drástica no cenário econômico ou pela entrada de uma nova companhia aérea no aeroporto. Assim, admitiu-se esse elevado crescimento no número de passageiros para a demanda do aeroporto.

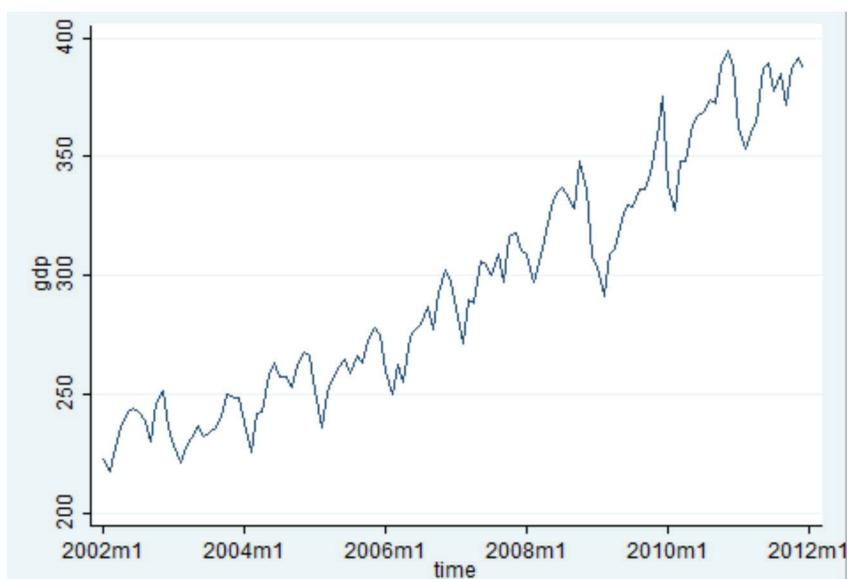
Na Figura 3, tem-se a evolução da receita média ao longo do período estudado.

Figura 3 - Evolução do yield.



Observa-se uma diminuição da receita média ao longo do tempo, o que é coerente com o fato de o número de passageiros haver aumentado. Se os preços das passagens diminuem, a utilização do modal aéreo tende a ser maior. Além disso, o PIB do Brasil aumentou nesse período, o que faz com que o consumidor tenha mais recursos para utilizar com viagens aéreas. Na Figura 4, tem-se a evolução do PIB brasileiro ao longo do período estudado.

Figura 4 - Evolução do PIB brasileiro.



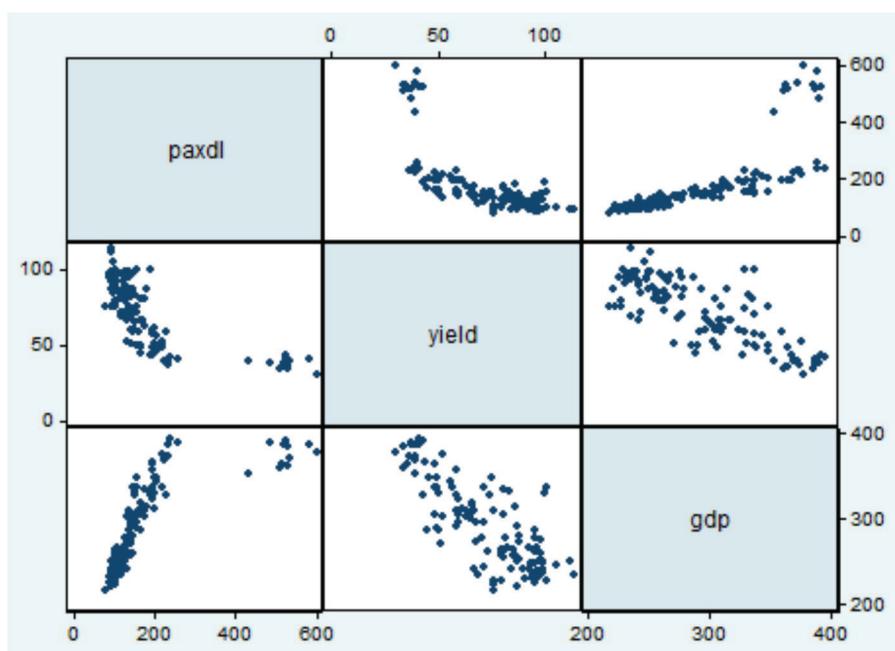
A Tabela 3 mostra as correlações para as variáveis analisadas. O movimento de passageiros doméstico é negativamente correlacionado com o yield e positivamente correlacionado com o PIB, como já havia sido inferido.

Tabela 3: Matriz de correlações das variáveis estudadas.

	paxdl	yield	gdp
paxdl	1.0000		
yield	-0.7189	1.0000	
gdp	0.7604	-0.8022	1.0000

A Figura 5 mostra as correlações para as variáveis analisadas em forma de diagramas de dispersão.

Figura 5 - Correlações em forma de diagramas de dispersão.



A partir da análise qualitativa da base de dados apresentada, buscou-se um modelo de regressão linear que melhor a descrevesse.

4 Metodologia de regressão linear

A projeção de demanda para o aeroporto de Vitória foi realizada por meio de uma abordagem de regressão linear.

Para isso, assume-se que o tráfego de passageiros domésticos pode ser expresso pela Equação (1).

$$Paxdl = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + u \quad (1)$$

Nesse caso, x_i são as variáveis que determinam a demanda, β_i são os coeficientes dessas variáveis, e u é um fator associado a influências não identificadas na demanda.

Dessa forma, a demanda para qualquer período de tempo pode ser estimada por meio da Equação (2).

$$Paxdl = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n \quad (2)$$

Esse modelo assume que os desvios-padrões dos coeficientes sejam constantes ao longo da série. Considerando a possibilidade de variação nos desvios-padrões, foi adotado um modelo com correção de heterocedasticidade. Foi também realizado um ajuste de autocorrelação.

Neste trabalho, foram construídos alguns modelos de regressão linear, sendo escolhido o que apresentou melhores resultados. Foram analisados alguns critérios para a escolha do modelo.

Para isso, foi analisado o p-valor para cada coeficiente de cada uma das regressões analisadas. Assim, quanto menor o Valor P, menor a probabilidade de rejeitar o teste hipótese estatisticamente, ou seja, maior a confiança para o coeficiente encontrado. Foram analisados p-valor a 1%, 5% e 10% de significância estatística, e buscou-se um modelo de regressão no qual todos os coeficientes possuíssem Valor P de 0,01, ou seja, um coeficiente com confiança superior a 99%.

Além disso, foi realizado o teste RESET para cada modelo encontrado. Esse teste avalia a probabilidade de variáveis cujos coeficientes sejam não nulos não estarem sendo consideradas no modelo de regressão proposto. Ou seja, quanto melhor o modelo de regressão, mais variáveis significantes para o modelo estão sendo consideradas, e maior o Valor P do teste considerado, no caso, o teste RESET. Assim, quanto maior o Valor P do teste RESET, melhor para o modelo, pois maior a probabilidade de não haver variáveis significantes desconsideradas no mesmo.

Dessa forma, a escolha da regressão a ser utilizada para previsão do número de passageiros para o aeroporto de Vitória levou em consideração os dois critérios descritos anteriormente.

5 Resultados e discussões

Na Tabela 4, encontra-se um resumo dos modelos de regressão que serão apresentados neste trabalho, sendo um deles linear e os outros três logarítmicos. No caso dos modelos logarítmicos, foi considerado o mesmo método já apresentado, porém, com a variável de previsão não sendo mais o número de passageiros domésticos locais, e sim o logaritmo desse número.

Foram diversas as modelagens analisadas para a regressão. Para este trabalho, tendo em vista o questionamento inicial e a geração de conhecimento, não serão apresentados todos os modelos, mas apenas um raciocínio que permita o entendimento da construção do modelo adotado.

Julgou-se importante considerar a variável de novos consumidores de voos no aeroporto de Vitória. Essa variável foi considerada devido ao crescimento abrupto do número de passageiros domésticos locais a partir de janeiro de 2011. A variável “novos consumidores” (ncon) foi incluída como uma *dummy*, ou seja, possuindo valor 0 (zero) até dezembro de 2010 e valor 1 (um) a partir de janeiro de 2011.

Tabela 4: Variáveis consideradas nos modelos de regressão analisados.

<i>Modelo</i>	<i>Variáveis</i>
linear_a	$paxdl = f(\text{yield}, \text{gdp})$
loglin_a	$\ln paxdl = f(\text{yield}, \text{gdp})$
loglin_b	$\ln paxdl = f(\text{yield}, \text{gdp}, \text{gdp}^2, \text{ncon})$
loglin_c	$\ln paxdl = f(\text{yield}, \text{gdp}, \text{gdp}^2, \text{gdp_ncon})$

A hipótese inicial foi encontrar um modelo linear que fosse função do yield e do gdp, porém, o Valor P encontrado para o teste RESET foi muito pequeno. Com esse resultado, foi considerado um modelo para representar o logaritmo do número de passageiros (lnpaxdl), porém, o Valor P ainda era menor que 10%, evidenciando uma probabilidade elevada de variáveis estarem sendo omitidas. Então, foi considerado também o PIB ao quadrado (gdp²) e os novos consumidores (ncon), levando a resultados melhores. Por fim, resolveu-se considerar a variável “gdp_ncon”, que é o produto do PIB e da variável “novos consumidores”.

Na Tab. (5), encontram-se os resultados para os quatro modelos apresentados.

Tabela 5: Resultados dos modelos de regressão analisados.

	(1) linear_a	(2) loglin_a	(3) loglin_b	(4) loglin_c
yield	-0.6692** [0.284]	-0.4749*** [0.156]	-0.2631*** [0.059]	-0.2702*** [0.059]
gdp	1.9787*** [0.505]	1.7851*** [0.297]	4.0804*** [0.752]	4.2886*** [0.761]
gdp ²			-1.3750*** [0.366]	-1.4881*** [0.372]
gdp_ncon				0.0826*** [0.003]
R-sq	0.6115	0.8036	0.9644	0.9642
RMSE	76.2652	0.2154	0.0925	0.0927
F	8.2954	25.7313	1.2e+03	2.0e+03
F_PValue	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
RESET	7.5304	3.3600	0.1308	0.0055
RESET_PValue	0.0061	0.0668	0.7176	0.9408

Notas:

- Erros padrões estimados em colchetes
- Representações de p-valor: ***p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10

Modelo linear_a: Análise PIB x yield

Como ponto de partida da investigação, foi assumido que a demanda seria definida por PIB e yield. Os resultados apresentaram que o coeficiente do yield possui confiança superior a 95% e o coeficiente do gdp possui confiança superior a 99%. Mas o Valor P do teste RESET é bastante baixo, 0,61%. Assim, há uma probabilidade maior que 99% de não estarem sendo consideradas variáveis importantes no modelo. Além disso, o valor de R-quadrado é de 0,6115.

Logo, buscou-se outro modelo para a previsão de demanda, pois o primeiro não apresentou resultados satisfatórios.

Modelo loglin_a: Análise PIB x yield considerando lnpaxdl

Considerou-se, ainda, que a demanda fosse definida por PIB e yield, porém, foi considerado o logaritmo do número de passageiros. Como resultados, os coeficientes do yield e do gdp possuem confiança superior a 99%. Mas o Valor P do teste RESET é bastante baixo, 71,76%. Assim, há uma probabilidade de 28,24% de não estarem sendo consideradas variáveis importantes no modelo. Além disso, o valor de R-quadrado aumentou para 0,8036.

Logo, buscou-se outro modelo para a previsão de demanda, pois este não apresentou resultados satisfatórios, porém, optou-se por continuar utilizando o lnpaxdl, e não mais paxdl, pelo fato de os valores de R-quadrado e Valor P do teste RESET terem aumentado em relação ao primeiro modelo analisado.

Modelo loglin_b: Análise PIB x yield x PIB² considerando lnpaxdl

Considerou-se, ainda, que a demanda fosse definida por PIB e yield, porém, foi adicionado o termo de gdp ao quadrado. Como resultados, os coeficientes do yield, gdp e gdp² possuem confiança superior a 99%. O Valor P do teste RESET aumentou para 71,76%. Assim, ainda há uma probabilidade de 28,24% de não estarem sendo consideradas variáveis importantes no modelo. Além disso, o valor de R-quadrado aumentou para 0,9644.

Apesar dos resultados terem melhorado consideravelmente, buscou-se outro modelo de previsão de demanda que levasse em consideração a *dummy* de novos consumidores.

Modelo loglin_c: Análise PIB x yield x PIB² considerando lnpxdl

Considerou-se, ainda, que a demanda fosse definida por yield, PIB e PIB², porém, foi adicionado o termo *gdp_ncon*, que representa o produto de *gdp* com a *dummy* novos consumidores. Como resultados, os coeficientes do yield, *gdp*, *gdp*² e *gdp_ncon* possuem confiança superior a 99%. O Valor P do teste RESET aumentou para 94,08%. Assim, há apenas a probabilidade de 5,92% de não estarem sendo consideradas variáveis importantes no modelo. Além disso, o valor de R-quadrado passou a ser 0,9642, permanecendo praticamente constante em relação ao modelo anterior.

Dentre todas as tentativas analisadas, este modelo apresentou os melhores resultados, considerando como critérios a significância estatística dos coeficientes e o teste RESET.

Vale ressaltar que a demanda aeroportuária é bastante influenciada pela sazonalidade, variando bastante com turismo e eventos. Na tentativa de levar isso em consideração no modelo, levou-se em conta a variável “sazonalidade” para cada mês, porém, nenhum dos resultados encontrados foi melhor que o modelo loglin_c.

Os resultados apresentados mostram que o modelo loglin_c apresenta todos os coeficientes com p-valor abaixo de 1% e, além disso, possui uma probabilidade de 94,08% de não haver variáveis significantes estatisticamente omitidas no modelo. Com isso, o modelo loglin_c pode ser escolhido dentre os analisados para prever a demanda de passageiros para o aeroporto de Vitória, considerando conhecidos o PIB e o yield médio.

4 Conclusão

Após a análise de vários modelos de regressão linear, o modelo loglin_c apresentou os melhores resultados, de acordo com os critérios apresentados. Foi considerado que o número de passageiros variasse com o yield, com o PIB, com o PIB elevado ao quadrado e com o produto do PIB com a variável novos consumidores.

Esse modelo de regressão linear apresentou todos os coeficientes das variáveis com confiança superior a 99%. O Valor P do teste RESET foi de 94,08%, ou seja, há apenas uma probabilidade de 5,92% de variáveis relevantes não estarem sendo consideradas no modelo. Além disso, o valor de R-quadrado foi de 0,9642.

Com esses resultados, o modelo loglin_c foi escolhido para representar o número de passageiros, de acordo com o cenário econômico considerado. Assim, um modelo de regressão linear pode ser utilizado para a realização de uma previsão de demanda, podendo ser utilizado para o planejamento da infraestrutura aeroportuária brasileira.

Referências

- BRESEGHELLO, Fernando Neves. *Estudo comparativo de métodos de previsão de demanda: uma aplicação ao caso dos aeroportos com tráfego aéreo regular administrados pelo DAESP*. 2005. 104f. Dissertação (Mestrado) – São José dos Campos, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.
- CONDÉ, M. Estudo e previsão de demanda aeroportuária para a cidade do Rio de Janeiro. *Revista de Literatura dos Transportes*, São José dos Campos, v.5, n. 1, p. 161-183, 2011.
- DINIZ, R. R. (2013) Dimensionamento de ampliação do aeroporto de Marabá com base estudo de previsão de demanda aeroportuária. *Journal of Transport Literature*, São José dos Campos, v. 7, n. 1, p. 147-162, 2013.
- HOLLOWAY, S. *Straight and level: practical airline economics*. 2.ed. Burlington: Ashgate Publishing Group, 2003.
- SANTOS, F. A. B. Demanda por transporte aéreo e seus desdobramentos. *Journal of Transport Literature*, São José dos Campos, v. 2, n. 2, p. 94-113, 2008.

Sobre os autores

Nathana Alcântara Lima

Engenheira civil aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atuou durante o último ano no desenvolvimento de projetos de engenharia, com enfoque na aplicação de tecnologias BIM.