

**XVI COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE  
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/AM – 2011**

**TRABALHO DE AVALIAÇÃO**

**Resumo:** *A avaliação de aviões é feita, muitas vezes, utilizando-se critérios de análise subjetivos, técnicas estatísticas rudimentares ou até mesmo catálogos de valor, conhecidos como blue books. Para um grande número de aviões, existe um mercado substancialmente aquecido, permitindo o uso de ferramentas estatísticas mais sofisticadas. Este trabalho mostra a aplicação prática da regressão linear múltipla na avaliação de um avião, bem como discute as variáveis mais importantes na formação de valor da mesma.*

**Palavras chave:** *Avaliação, Avião, Regressão Linear.*

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação de aviões é um assunto pouco abordado na literatura técnica nacional. Por outro lado, é um importante aspecto em muitos procedimentos que envolvam aviões, tais como operações de garantia, subscrição de seguros, indenização em sinistros, escrituração contábil e leasing.

Em muitos casos, aviões são avaliados através de critérios subjetivos, técnicas estatísticas rudimentares ou até mesmo por catálogos de valor, conhecidos como *blue books*. Neste âmbito, consegue-se valores até bastante coerentes, mas sem sustentação técnica por critérios objetivos. Também é impossível obter uma classificação da qualidade quantitativa da avaliação.

Para um número considerável de aviões, existe um mercado de usados bastante ativo, onde se obtém um grande número de ofertas no mercado internacional. Muito embora ofertas não representem diretamente o valor de venda das mesmas, com uma amostra significativa, é possível efetuar um tratamento estatístico rigoroso, que possa sustentar tecnicamente o valor obtido, bem como determinar os efeitos marginais das principais variáveis formadoras de valor e conseguir uma estimativa da precisão da avaliação realizada, considerando os elementos amostrais obtidos.

Neste trabalho, o objetivo é efetuar a avaliação de um avião específico utilizando técnicas de regressão linear múltipla por meio do método dos mínimos quadrados ordinários, bem como discutir as principais variáveis formadoras de valor, o relacionamento entre elas e a determinação do intervalo de confiança que permita inferir a adequação da amostra utilizada.

## 2. AVIÕES

### 2.1 TIPOS DE AVIÃO

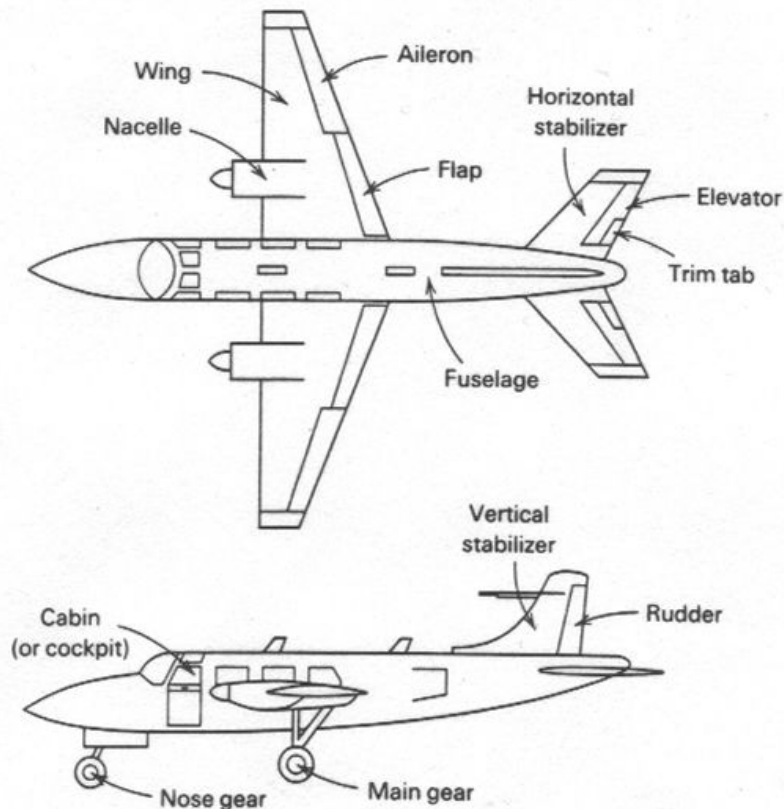
Existem diversos tipos e classificações de aviões, que podem depender de seu uso, capacidade, propulsão e outras. Embora existam outras, para fins deste trabalho adotamos a classificação proposta por American Society of Appraisers (2000):

- **Comerciais:** usados para transporte de carga ou passageiros, operando basicamente em datas e horários pré-definidos, sendo que os vôos são cobrados;
- **Corporativos:** usados por empresas, geralmente de médio a grande porte, para fins corporativos, não operando em datas ou horários pré-definidos, e não havendo cobrança pelos vôos;
- **Charters:** vôos contratados para data e horário específico, no Brasil também conhecidos por táxis aéreos;
- **Experimentais:** aviões que estão em fase de desenvolvimento ou teste;
- **Usos especiais:** aviões com usos específicos, tais como meteorológico, aviões bombeiro, aviões ambulância;
- **Militares:** para uso militar, sejam de ataque, defesa, transporte de cargas ou tropas, vigilância, dentre outros;
- **Clássicos:** aviões antigos e famosos.

Como pode ser visto citada obra, existem outras classificações, que não são pertinentes para este trabalho.

## 2.2 PARTES DE UM AVIÃO

Cada tipo de avião, seja ele um monomotor para 4 pessoas ou um Airbus A380 para 823 passageiros, tem uma série de componentes básicos, conforme a figura a seguir.



**Figura 1:** Esquema dos componentes de um avião

Usando a figura acima, podemos descrever os principais componentes:

- **Propulsor:** equipamento responsável pela propulsão (movimentação) do avião, podendo ser hélice, turbo-hélice ou turbina. Pode haver um ou mais propulsores;
- **Asas:** componente responsável pela sustentação do avião;
- **Fuselagem:** parte estrutural do avião, contendo tripulação, passageiros e carga;
- **Ailerons:** componentes localizados nas asas para controlar a direção do movimento do avião;
- **Flaps:** componentes localizados nas asas, que quando acionados alteram o perfil da mesma, aumentando a sustentação. São usados, geralmente, em decolagens e aterrisagens;

- **Estabilizador horizontal:** componente localizado na cauda, com função de manter o voo horizontal estabilizado;
- **Estabilizador vertical:** componente localizado na cauda, com função de manter o voo vertical estabilizado;
- **Elevador:** componente localizado junto ao estabilizador horizontal que, quando acionado, altera o equilíbrio de sustentação do avião, causando a elevação do mesmo;
- **Cabine (ou cockpit):** local de controle do avião, onde ficam o piloto e, quando for o caso, os co-pilotos;
- **Trens de pouso:** rodas usados para aterrissagem e decolagem.

## 2.3 DOCUMENTAÇÃO

Devido a forte regulamentação a que a aviação está submetida<sup>1</sup>, existe obrigatoriedade de uma série de documentos, sendo que alguns deles devem estar no avião durante seu uso.

- **Certificado de aeronavegabilidade:** documento que atesta a permissão de voo do avião. A validade do mesmo está atrelada a realização de todos os procedimentos de manutenção e inspeções obrigatórios;
- **Certificado de matrícula:** certidão que atesta que o avião está registrado junto a ANAC;
- **Diário de bordo:** documento em que são registradas todas as atividades do avião, como pousos e decolagens, horas da célula (fuselagem ou casco) e do motor, datas e eventuais ocorrências;
- **Caderneta de célula:** caderneta onde são anotados os registros de horas de voo da célula (fuselagem ou casco);
- **Caderneta de motor:** caderneta onde são anotados os dados dos motores, bem como as horas de voo;
- **Caderneta de hélice (onde aplicável):** caderneta onde são anotados os dados das hélices, bem como as horas de voo;
- **Ficha de inspeção anual de manutenção:** documento contendo as inspeções de manutenção realizadas no ano;
- **Ficha de peso e balanceamento:** ficha contendo a distribuição de peso do avião e o resultado de balanceamentos feitos, especialmente na alteração de características do mesmo, especialmente novas pinturas;
- **Licença de estação de aeronave:** licença para operação do rádio do avião.

## 2.4 MANUTENÇÃO

Para manter condições operacionais, um avião deve passar por um programa periódico de manutenção. As exigências deste programa apresentam variações conforme o tipo, tamanho, uso e capacidade do avião.

Dentre os mais importantes, podemos destacar os seguintes procedimentos:

---

<sup>1</sup> No Brasil, a regulação dos aviões é feita pela ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. Estão exclusas de suas responsabilidades os aviões militares.

- **IAM – Inspeção Anual de Manutenção:** inspeção geral no avião, a ser realizada anualmente em oficina especializada em manutenção aeronáutica, credenciada junto a ANAC. O relatório da IAM faz parte dos documentos que devem estar obrigatoriamente no avião;
- **Inspeção de meia vida dos motores:** motores de avião tem uma vida útil, em horas, conhecida como Time Between Overhaul (TBO). Por exemplo, motores Pratt Whitney PT6A-21, usados nos aviões King Air, é de 3.600 horas. Após 1.800 horas de vôo, é necessário realizar a inspeção de meia vida, onde o motor é desmontado e minuciosamente inspecionado;
- **Overhaul:** após o final da vida útil do motor, é realizado o overhaul. Trata-se de uma desmontagem do motor e substituição de partes importantes, bem como testes em laboratório, de modo a verificar a integridade e o desgaste de componentes importantes. É uma manutenção cara. Para motores Pratt Whitney PT6A-21, seu custo é de, aproximadamente, U\$ 230.000,00 por motor.

Além destas, existem outras manutenções e inspeções obrigatórias, dentre as quais, inspeções dos trens de pouso, inspeção da fiação da aeronave, análise estrutural da fuselagem, manutenção das hélices (para o caso de aviões a hélice), dentre outras.

O tipo e a periodicidade das manutenções dependem das especificações do fabricante do avião e/ou da regulamentação da ANAC.

## 2.5 HISTÓRICO

O histórico do avião é bastante importante, tanto no que concerne ao valor do mesmo, quanto a sua aeronavegabilidade. Ele envolve modificações, repinturas, acidentes ou danos ocorridos no avião.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 REGRESSÃO LINEAR

A regressão linear é uma técnica estatística utilizada para relacionar uma determinada variável  $y$ , a qual chamamos de dependente, com um conjunto de variáveis  $x_1 \dots x_n$ , denominadas variáveis independentes.

Teríamos a seguinte equação:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots a_nx_n + e \quad (1)$$

Sendo:

$a_0, a_1, \dots, a_n$  os coeficientes de ajuste;  
e o termo do erro estocástico

a qual chamamos equação de regressão.

Para obter a equação de regressão em questão, é necessária a determinação dos coeficientes de ajuste,  $a_0$ ,  $a_1$ , ... ,  $a_n$ . Os mesmos são obtidos, usualmente, através do método dos mínimos quadrados ordinários.

Além da determinação dos coeficientes, o modelo deve ser submetido a uma série de testes estatísticos, de modo a verificar se ele é adequado para exprimir a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

Não faz parte do escopo deste trabalho detalhar a metodologia para determinar o modelo de regressão. As obras apresentadas na bibliografia (Dantas, 1999; Gujarati, 2000 e Kmenta, 1978) apresentam detalhadamente os conceitos teóricos e a metodologia aplicável.

### **3.2 MERCADO DE AVIÕES**

O mercado de aviões é bastante ativo, para uma série de modelos, no exterior, sobretudo nos Estados Unidos.

Dentro do mercado brasileiro, existe um número significativo de ofertas, mas a variedade dos modelos que estão efetivamente no mercado é bastante restrita. Com efeito, em uma série de pesquisas, não foi possível identificar, no Brasil, ofertas de aviões de grande porte, tais como Boeing, Airbus ou Gulfstream. Por outro lado, no mercado americano observa-se um número significativo destas aeronaves.

Existem web sites com vasto repertório de ofertas, dentre os quais pode-se citar Controller ([www.controller.com](http://www.controller.com)), Aircraft Dealer ([www.aircraftdealer.com](http://www.aircraftdealer.com)), Aviation Business Index ([www.aviationbusinessindex.com](http://www.aviationbusinessindex.com)), americanos, e Gaplan ([www.gapla.com.br](http://www.gapla.com.br)) e Aeroglobo ([www.aeroglobo.com.br](http://www.aeroglobo.com.br)), brasileiros.

### **3.3 VARIÁVEIS NA FORMAÇÃO DE VALOR DE UM AVIÃO**

Existe um grande número de fatores que podem influenciar o valor de um avião. No entanto, para alguns deles, é muito complexo, se não impossível, medir quantitativamente o efeito dos mesmos sobre o valor.

Considerando que estamos lidando com o mesmo modelo de avião, podemos citar, como as principais:

- Ano;
- Horas de vôo da fuselagem (airframe);
- Horas de vôo do motor;
- Horas de vôo da hélice (para aviões propulsionados a hélice);
- Ano da pintura;
- Aviônica (equipamentos eletrônicos existentes);
- Histórico de danos do avião;
- Estado de conservação;
- Quantidade de decolagens e aterrisagens;
- Estado de conservação e acabamento interno;
- Acessórios.

Estas variáveis são as mais utilizadas na avaliação de aviões. No entanto, como se pode perceber, algumas delas são de difícil mensuração quantitativa, o que acaba, inevitavelmente, introduzindo subjetividades no processo avaliatório. Não é

possível, por exemplo, medir objetivamente o estado de conservação e acabamento interno de um avião. A aviônica e os acessórios, apesar de passíveis de medição, apresentam muita dificuldade em introduzir uma relação de pertinência eficiente.

Muitos avaliadores utilizam fundamentação, tomando como base os aspectos acima mencionados, além de outros, para se determinar o valor de um avião. No caso de variáveis como aviônica e/ou acessórios, soma-se o valor dos equipamentos acima do padrão médio do avião.

Muito embora, seja uma alternativa válida, é certo que há dificuldades em suportar tecnicamente o valor encontrado. Até porque, entre dois avaliadores distintos, avaliando o mesmo avião, podem haver divergências quanto a importância da mesma variável. Com efeito, um avaliador pode considerar as horas de vôo muito importante, enquanto outro pode entender mais significativa a variável decolagens e aterrisagens. Esta divergência de pontos de vista trará, muito comumente, diferenças de valor.

Além disso, não parece correto a soma de custos de acessórios e equipamentos de aviônica diretamente ao valor do avião. Seria necessária uma investigação de como, por exemplo, um real extra na aviônica afetaria o valor final do avião. Não há nada que suporte que a cada real investido em determinado equipamento resultará em um real a mais no valor final do avião.

Neste âmbito, o ideal é buscar, ao menos como ponto de partida, efetuar um tratamento matemático das variáveis disponíveis, diminuindo assim a subjetividade e dando fundamentação técnica a avaliação do avião em questão.

As principais variáveis passíveis de serem medidas objetivamente e que, via de regra, estão facilmente disponíveis para uso nos processos avaliatórios são:

- 1. Ano de fabricação;**
- 2. Horas de vôo da fuselagem (airframe);**
- 3. Horas de vôo do motor (normalmente a partir do último overhaul).**

Outras variáveis podem estar disponíveis e, sem em número suficiente, devem ser usadas, tais como quantidade de decolagens e aterrisagens, ano da última pintura ou ano do último dano.

Entretanto, as três variáveis apresentadas são suficientes, dado que haja uma amostra significativa, para apresentar uma excelente estimativa do valor do avião. A experiência em avaliação de aeronaves, assim como a aplicação prática a ser apresentada no próximo capítulo dão suporte a esta hipótese.

Daí, a partir do valor calculado usando as variáveis em questão, é possível fazer considerações de ordem subjetiva a respeito de outras variáveis, mas que ao menos serão feitas sobre uma estimativa quantitativa. Além disso, a existência de intervalos de confiança e de predição limitaria qualquer subjetivismo excessivo.

### **3.4 MULTICOLINEARIDADE**

#### **3.4.1 Definições**

No item anterior, relativo às variáveis mais importantes na formação de valor de um avião, destacamos o ano de fabricação, horas de vôo da fuselagem e horas de vôo do motor. Entretanto, uma prévia análise indica a possibilidade de

colinearidade entre tais variáveis. Com efeito, é razoável supor que um avião mais velho tenha um maior número de horas de voo, tanto da fuselagem quanto do motor. Naturalmente, tal situação não é uma regra.

Neste contexto, surge a questão da multicolinearidade. Segundo Gujarati (2000), trata-se da existência de uma relação entre duas ou mais variáveis independentes no modelo de regressão. Com efeito, suponha-se a seguinte equação de regressão:

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 \quad (2)$$

Temos que a variável  $x_1$  é uma combinação linear das demais, ou:

$$x_1 = \lambda x_2 + \rho x_3 + \omega x_4 \quad (3)$$

Segundo Farrar e Glauber (1967), se o conjunto de variáveis for totalmente interdependente, ou, nas palavras de Gujarati (2000), ocorrer multicolinearidade perfeita, os coeficientes da regressão não poderão ser determinados. Quando a multicolinearidade não é perfeita, mas alta, os efeitos da variável independente colinear na variável dependente não podem ser devidamente captados, uma vez que a mesma está contaminada pela influência das outras variáveis. Altas variâncias nos estimadores e baixa significância da regressão podem ser causadas pela ocorrência da multicolinearidade.

Um ponto observado por Dantas (2001) é de que a multicolinearidade, muitas vezes, é inerente ao conjunto de dados que se está pesquisando, e cita o exemplo de glebas urbanizáveis, no qual aquelas de maior porte estão usualmente localizadas a uma maior distância do centro do município. No caso da avaliação de aviões, esta ocorrência também já foi comentada.

### 3.4.2 Detecção

A detecção de multicolinearidade pode ser feita através de observação de particularidades no modelo inferido ou usar técnicas analíticas e estatísticas.

A observação de elevados coeficiente de correlação ( $r^2$ ) num modelo onde existem poucos ou nenhum regressor significativos ou a existência de elevadas correlações parciais geralmente são indicativos de multicolinearidade.

O caso das correlações parciais é um dos fatores citados pela ABNT (2004) para a investigação da multicolinearidade. Segundo a mesma, correlações acima de 0,80 indicam a presença da mesma, valor citado também por Dantas (2001). Entretanto, Gujarati (2000) informa que a existência de correlações parciais elevadas é necessária, mas não suficiente para a existência da multicolinearidade.

Este mesmo autor cita o uso de regressões auxiliares, autovalores e fator de inflação de variância como métodos para identificação da multicolinearidade.

Farrar e Glauber (1967) apresentam um teste paramétrico, que é criticado por Kumar (1975).

Para este trabalho, será adotada a técnica do Fator de Inflação de Variância (FIV), pois ela capta o aumento da variância em um determinado regressor de um modelo devido à presença da multicolinearidade, servindo não apenas para identificá-la, mas para analisar a severidade de sua ocorrência para o modelo.



Em linhas gerais, o teste pode ser descrito dessa forma:

1. Partindo-se da equação (2), efetua-se a regressão de cada uma das variáveis independentes em relação às demais, ou seja

$$x_1 = ex_2 + fx_3 + hx_4 \quad (4)$$

$$x_2 = ix_1 + jx_3 + kx_4 \quad (5)$$

$$x_3 = lx_1 + mx_2 + nx_4 \quad (6)$$

$$x_4 = ox_1 + px_2 + qx_3 \quad (7)$$

2. Para cada uma das regressões, calcula-se o coeficiente de determinação, que será o da variável independente  $i$  em relação às variáveis independentes  $j$ , por exemplo,  $r_{1,234}^2$ , que é o coeficiente de determinação da variável  $x_1$  em relação às variáveis  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$ .

3. Calcula-se o Fator de Inflação de Variância (FIV) para cada uma das variáveis independentes, através da fórmula:

$$FIV_i = \frac{1}{1 - r_{i,j}^2} \quad (8)$$

Onde  $r_{i,j}^2$  é o coeficiente de determinação entre a variável independente  $i$  e as  $j$  variáveis independentes do modelo. Valores para FIV superiores a 1 indicam a presença de multicolinearidade. Quanto maior o valor do fator, mais severa é a multicolinearidade. Gujarati (2000), dentre outros autores, indica que valores superiores a 10 indicam multicolinearidade severa, comprometendo o modelo. Por outro lado, O'Brien (2007) alerta que deve se tomar cuidado no uso de valores pré-estabelecidos para Fatores de Inflação de Variância num eventual descarte do modelo, ou mesmo para a tomada de medidas corretivas. Ele alerta que regras tais como  $FIV = 4$  ou  $FIV = 10$  não devem ser adotadas de forma direta, sem uma análise de outros aspectos do modelo. Termina informando que modelos cujas variáveis apresentam  $FIV = 40$  podem ainda ser usadas, dependendo de outros aspectos e da finalidade.

### 3.4.3 Tratamento da multicolinearidade

Uma vez detectada a ocorrência de multicolinearidade severa no modelo inferido, deve-se analisar os procedimentos a serem tomados para o tratamento da mesma.

É muito comum o descarte da variável que apresenta maior FIV, muito embora, este procedimento é questionado por Gujarati (2000), uma vez que pode introduzir viés de especificação no modelo, ou seja, desconsiderar uma variável importante na explicação do fenômeno estudado.

A combinação de duas ou mais variáveis em uma também é um caminho adotado, através da Regressão por Componentes Principais. As críticas neste sentido, feitas por O'Brien (2007) são de que se perdem informações relativas a influência das variáveis combinadas na explicação do fenômeno, bem como um considerável esforço matemático para obter resultados, muitas vezes, pouco superiores ao modelo original.

Por outro lado, quando a multicolinearidade é inerente à estrutura dos dados, como no caso da avaliação de um avião, há pouco o que se fazer, a não ser tentar expandir a pesquisa.

Por fim, conclui-se que, no caso de modelos de regressão com finalidade de avaliação, a multicolinearidade deve ser encarada como um problema caso ela traga distúrbios ao modelo inferido e não apenas tomando-se como base um parâmetro qualquer calculado. O FIV superior a 10 é importante indicativo, mas análises mais detalhadas devem ser realizadas.

#### 4. AVALIAÇÃO DE AVIÃO POR REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A seguir, é apresentado um exemplo prático de avaliação de um avião utilizando a regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

##### 4.1 AVIÃO AVALIANDO

O avião a ser avaliado no presente estudo trata-se de um CESSNA CITATION JET CJ2, também conhecido como CESSNA 525a, que apresenta as seguintes características básicas:

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>Altura:</b>                              | 4,27 metros                       |
| <b>Comprimento:</b>                         | 14,53 metros                      |
| <b>Largura:</b>                             | 15,19 metros                      |
| <b>Passageiros:</b>                         | 7 (máximo)                        |
| <b>Tripulantes:</b>                         | 1 (mínimo)                        |
| <b>Motor:</b>                               | 2 turbinas Williams Rolls FJ44-2C |
| <b>TBO Motores:</b>                         | 4.000 horas                       |
| <b>Empuxo motor:</b>                        | 2.490 libras                      |
| <b>Comprimento mínimo para decolagem:</b>   | 1.024 metros                      |
| <b>Altitude máxima:</b>                     | 45.000 pés (13.716 m)             |
| <b>Máxima velocidade de cruzeiro:</b>       | 774 km/h                          |
| <b>Alcance:</b>                             | 2.987 km (1.856 milhas)           |
| <b>Comprimento mínimo para aterrisagem:</b> | 908 metros                        |
| <b>Peso vazio:</b>                          | 3.470 kg                          |
| <b>Peso máximo na decolagem:</b>            | 5.670 kg                          |
| <b>Peso máximo na aterrisagem:</b>          | 5.228 kg                          |
| <b>Capacidade de combustível:</b>           | 1.796 kg                          |

A seguir, são apresentadas algumas fotos do avião em questão:



**Figura 2:** Cessna Citation CJ2 em vôo



**Figura 3:** Painel de comando de Cessna Citation CJ2

Para o avião avaliando, as variáveis específicas a serem utilizadas são:

**ANO:** 2002  
**HORAS VÔO:** 623,7 horas  
**HORAS MOTOR:** 623,7 horas

## 4.2 PESQUISA DE MERCADO

Foi realizada pesquisa de mercado junto a fontes do mercado aeronáutico internacional, onde foram obtidos os seguintes dados:

| NUM | PREÇO (U\$)  | ANO  | HORAS VOO FUSELAGEM | HORAS VOO MOTOR | Nº SÉRIE  | LOCAL      |
|-----|--------------|------|---------------------|-----------------|-----------|------------|
| 1   | 2.725.000,00 | 2001 | 1.370,00            | 1.370,00        | 525A-0054 | HOLANDA    |
| 2   | 2.750.000,00 | 2002 | 3.205,00            | 3.205,00        | 525A-0103 | EUA        |
| 3   | 2.795.000,00 | 2001 | 2.350,00            | 2.350,00        | 525A-0005 | ITÁLIA     |
| 4   | 2.795.000,00 | 2002 | 2.420,00            | 2.420,00        | 525A-0069 | EUA        |
| 5   | 2.950.000,00 | 2001 | 2.570,00            | 2.570,00        | 525A-0015 | EUA        |
| 6   | 2.995.000,00 | 2001 | 2.470,00            | 3.260,00        | 525A-0016 | EUA        |
| 7   | 3.350.000,00 | 2002 | 1.990,00            | 1.990,00        | 525A-0050 | EUA        |
| 8   | 3.400.000,00 | 2002 | 1.630,00            | 1.630,00        | 525A-0105 | EUA        |
| 9   | 3.450.000,00 | 2004 | 2.035,00            | 2.035,00        | 525A-0202 | INGLATERRA |
| 10  | 3.450.000,00 | 2002 | 1.555,00            | 1.555,00        | 525A-0082 | EUA        |
| 11  | 3.499.000,00 | 2003 | 2.030,00            | 2.030,00        | 525A-0168 | ALEMANHA   |
| 12  | 3.595.000,00 | 2002 | 1.280,00            | 1.280,00        | 525A-0113 | INGLATERRA |
| 13  | 3.595.000,00 | 2003 | 1.780,00            | 1.720,00        | 525A-0154 | EUA        |
| 14  | 3.595.000,00 | 2004 | 2.855,00            | 2.855,00        | 525A-0195 | ALEMANHA   |
| 15  | 3.695.000,00 | 2002 | 1.100,00            | 1.100,00        | 525A-0123 | EUA        |
| 16  | 3.750.000,00 | 2001 | 2.190,00            | 2.190,00        | 525A-0033 | ESPANHA    |
| 17  | 3.950.000,00 | 2002 | 3.240,00            | 3.240,00        | 525A-0084 | EUA        |
| 18  | 3.950.000,00 | 2003 | 3.150,00            | 3.150,00        | 525A-0142 | FRANÇA     |
| 19  | 3.951.542,00 | 2002 | 4.110,00            | 500,00          | 525A-0049 | SUIÇA      |
| 20  | 3.995.000,00 | 2003 | 1.960,00            | 1.960,00        | 525A-0180 | EUA        |
| 21  | 4.175.000,00 | 2003 | 1.640,00            | 1.640,00        | 525A-0190 | INGLATERRA |
| 22  | 4.200.000,00 | 2006 | 420,00              | 420,00          | 525A-0244 | JAPÃO      |
| 23  | 4.300.000,00 | 2005 | 895,00              | 895,00          | 525A-0221 | VENEZUELA  |
| 24  | 4.350.000,00 | 2003 | 2.470,00            | 2.470,00        | 525A-0155 | ESPANHA    |
| 25  | 4.600.000,00 | 2003 | 1.940,00            | 1.940,00        | 525A-0176 | AUSTRIA    |
| 26  | 3.845.653,75 | 2002 | 2.250,00            | 2.250,00        | 525A-0117 | BRASIL     |
| 27  | 4.500.000,00 | 2006 | 610,00              | 610,00          | 525A-0303 | MÔNACO     |
| 28  | 4.595.000,00 | 2008 | 1.345,00            | 1.345,00        | 525A-0397 | INGLATERRA |
| 29  | 4.750.000,00 | 2007 | 1.105,00            | 1.105,00        | 525A-0347 | INGLATERRA |
| 30  | 4.900.000,00 | 2007 | 1.140,00            | 1.140,00        | 525A-0362 | AUSTRIA    |
| 31  | 4.995.000,00 | 2007 | 700,00              | 700,00          | 525A-0341 | SUIÇA      |
| 32  | 5.000.000,00 | 2008 | 1.025,00            | 1.025,00        | 525A-0390 | AUSTRIA    |
| 33  | 5.000.000,00 | 2007 | 465,00              | 465,00          | 525A-0317 | BRASIL     |
| 34  | 5.750.000,00 | 2008 | 840,00              | 840,00          | 525A-0381 | ESPANHA    |
| 35  | 5.900.000,00 | 2008 | 80,00               | 80,00           | 525A-0384 | EUA        |

**Tabela 1:** Pesquisa de valores

### 4.3 MODELO INFERIDO

Foi estudado um modelo com as três variáveis consideradas mais importantes: ANO, HORAS VÔO E HORAS MOTOR, tendo resultado na seguinte equação.

$$\text{VALOR} = -35,8265 \times 10^8 + 4,7197 \times 10^8 \times \text{Ln}(\text{ANO}) + 84147 \times \text{Ln}(\text{HORAS VÔO}) - 320398 \times \text{Ln}(\text{HORAS MOTOR})$$

O modelo em questão apresentou coeficiente de correlação de 0,8886, indicando uma correlação muito forte entre as variáveis independentes e a variável dependente. O coeficiente de determinação foi de 0,7897, o que significa que o modelo explica cerca de 79% da variação do valor.

O modelo foi submetido ao teste estatístico F, apresentado nível de significância inferior a 1%. No teste bicaudal t de Student, foram consideradas significativas a nível de 5% as variáveis ANO e HORAS MOTOR, tendo sido reprovada a variável HORAS VÔO.

Uma vez que o coeficiente de determinação foi elevado e que o teste F revelou um modelo significativo a nível de  $6,0 \times 10^{-8}\%$ , o fato de que uma das variáveis tenha sido considerando não significativa é um indício da existência de multicolinearidade.

A seguir, calculou-se os Fatores de Inflação de Variância para cada uma das variáveis independentes.

$$FIV_{\text{ANO}} = 1,956$$

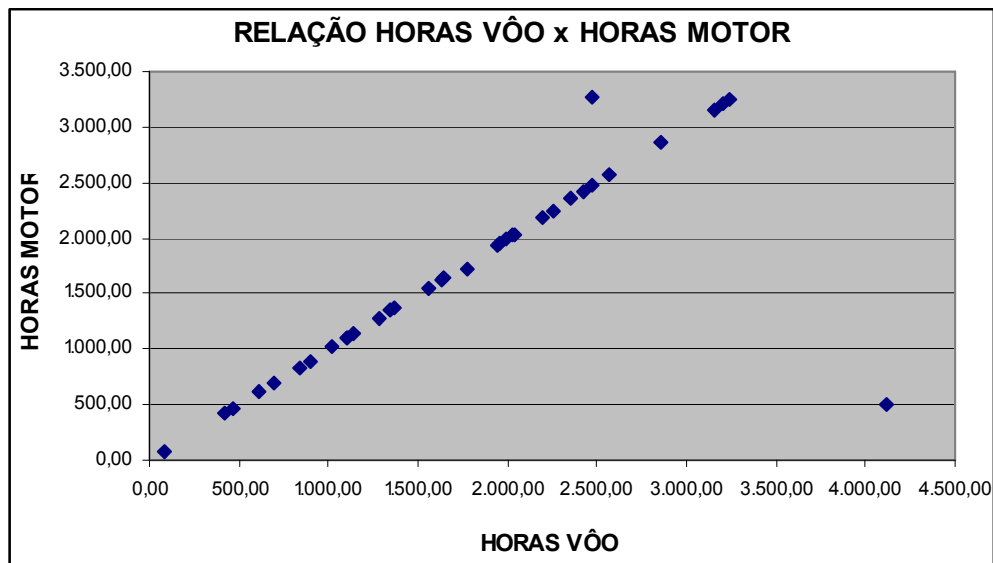
$$FIV_{\text{HORAS VÔO}} = 5,318$$

$$FIV_{\text{HORAS MOTOR}} = 4,668$$

A priori, não há indicativos de multicolinearidade severa, uma vez que os três fatores são inferiores a 10. No entanto, como já citado, o uso de uma regra rígida deve ser visto com reservas.

Diante disso, optou-se por analisar o relacionamento entre as variáveis HORAS VÔO e HORAS MOTOR, de modo a entender de forma mais detalhada a interação entre elas.

O gráfico a seguir apresentado mostra o relacionamento praticamente linear das variáveis em questão.



**Gráfico 1:** Gráfico de relacionamento entre as variáveis HORAS VÔO e HORAS MOTOR

De acordo com o gráfico apresentado, em tese, é possível eliminar uma das variáveis sem se perder informações importantes. A escolha intuitiva seria eliminar a variável HORAS VÔO, por ter apresentado maior Fator de Inflação de Variância bem como de não ter se mostrado significativa ao nível de 5% no teste t de Student.

No entanto, existe uma consideração de bastante importância. A cada 4.000 horas, os motores devem ser submetidos à manutenção conhecida como Overhaul (vide item 2.4). Após a mesma, que se trata de uma reconstrução, o motor passa a ter, perante o mercado, status de novo, ou seja, a variável HORAS MOTOR seria limitada a 4.000 horas e qualquer excesso de 4.000 horas de vôo não teria significância com relação ao valor, o que não é razoável do ponto de vista objetivo.

Neste caso, julga-se mais coerente com a formação dos valores de um avião descartar a variável HORAS MOTOR e manter a variável HORAS VÔO. Neste caso, tem-se o seguinte modelo.

$$\text{VALOR} = -36,2964 \times 10^8 + 4,7811 \times 10^8 \times \text{Ln}(\text{ANO}) - 190102 \times \text{Ln}(\text{HORAS VÔO})$$

O modelo apresentou coeficiente de correlação de 0,8763, indicando uma correlação muito forte entre as variáveis independentes e a variável dependente. O coeficiente de determinação foi de 0,7679, o que significa que o modelo explica cerca de 77% da variação do valor.

O modelo foi submetido ao teste estatístico F, apresentado nível de significância inferior a 1%. No teste bicaudal t de Student, as variáveis ANO e HORAS VÔO foram consideradas significativas a nível de 5%.

O modelo foi submetido aos testes de análise de resíduos, onde foi determinado que os mesmos apresentam normalidade, variância constante do erro (homocedasticidade) e não são auto-regressivos.

Finalmente, calcularam-se os Fatores de Inflação de Variância, a seguir expostos:

$$FIV_{ANO} = 1,944$$

$$FIV_{HORAS VÔO} = 1,944$$

O que resulta na conclusão de não ocorrência de multicolinearidade. Considerando as variáveis do avaliando, chegamos ao seguinte:

$$VALOR = U\$ 3.676.776,10$$

Considerando um nível de confiança de 80%, tem-se o seguinte intervalo de confiança:

$$IC_{80\%} = U\$ 227.891,08$$

O intervalo de confiança nos dá uma estimativa do grau de precisão do modelo inferido, através da expressão:

$$\frac{2 \times IC_{80\%}}{VALOR} = \frac{2 \times 227.891,08}{3.676.776,10} = 12,40\%$$

O valor de 12,40% nos indica um grau de dispersão da amostra em torno da média bastante aceitável. No entanto, ele não dá indicativos de como poderia variar o valor de um avião conforme o mesmo se desviasse para mais ou para menos da média da amostra.

Neste caso, seria necessário o cálculo do intervalo de predição para um nível de 80%. Considerando as expressões apresentadas em Stevenson (1981) para regressão linear simples, expandida para uma regressão múltipla de duas variáveis independentes, tem-se:

$$IP_{80\%} = U\$ 292.291,54$$

Desta forma, o valor do avião avaliando teria os seguintes valor médio e limites superior e inferior:

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| VALOR MÉDIO :     | U\$ 3.676.776,10 |
| LIMITE SUPERIOR : | U\$ 3.969.067,64 |
| LIMITE INFERIOR : | U\$ 3.384.484,56 |

Muito embora o ideal seja utilizar a estimativa central, representado aqui pelo Valor Médio, poderia ser utilizado, dentro de uma coerência estatística, valores entre os limites superior e inferior, considerando eventuais variáveis não estudadas no modelo.

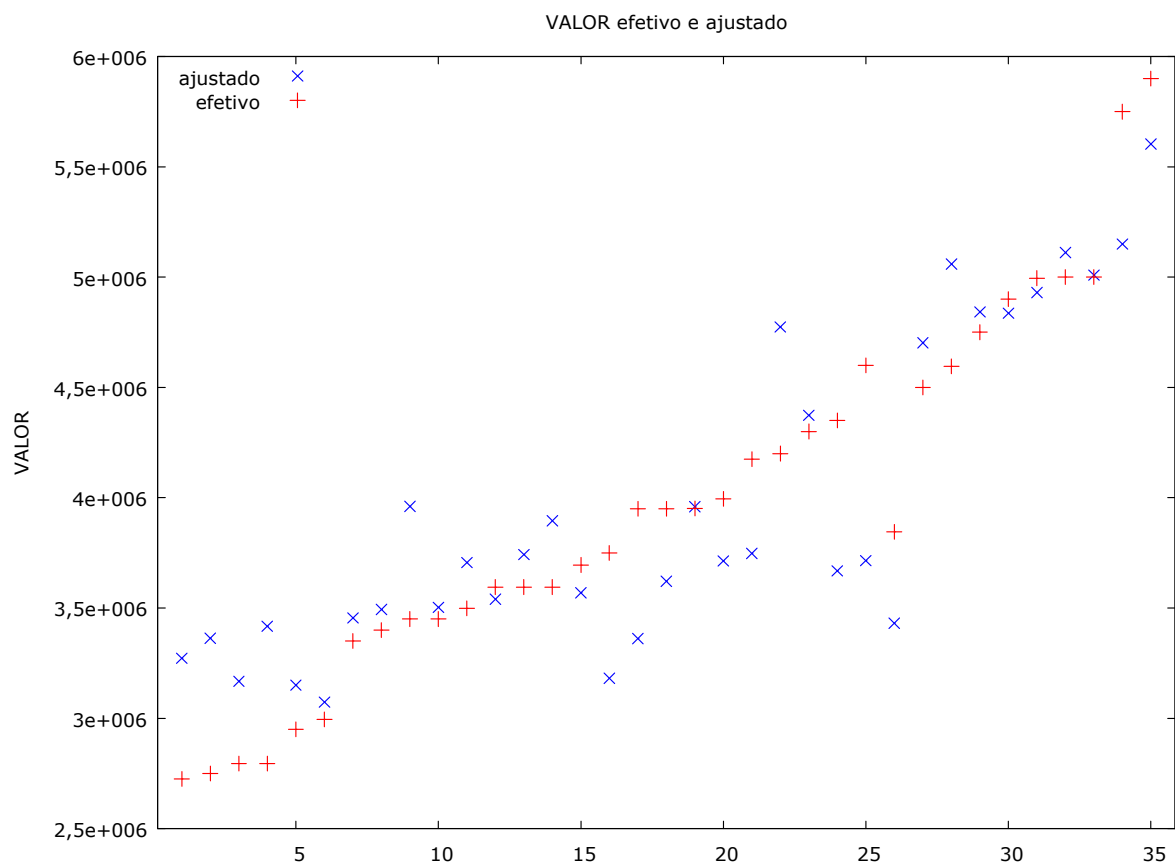
#### 4.4 CONSIDERAÇÕES

Uma comparação entre o modelo de três variáveis e o de duas revela alguns pontos bastante interessantes.

Em primeiro lugar, o coeficiente de correlação para o modelo de três variáveis,  $r_{3\text{variáveis}}$ , foi igual a 0,8886, ao passo que o  $r_{2\text{variáveis}}$  foi de 0,8762. Percebe-se que houve pouca melhora na correlação com a adição de uma variável. O coeficiente de determinação para o modelo de três variáveis foi  $r^2_{3\text{variáveis}} = 0,7897$ , ao passo que  $r^2_{2\text{variáveis}} = 0,7679$ , mostrando que a inclusão de mais uma variável traz pouca informação adicional para o modelo, indicativo claro de multicolinearidade.

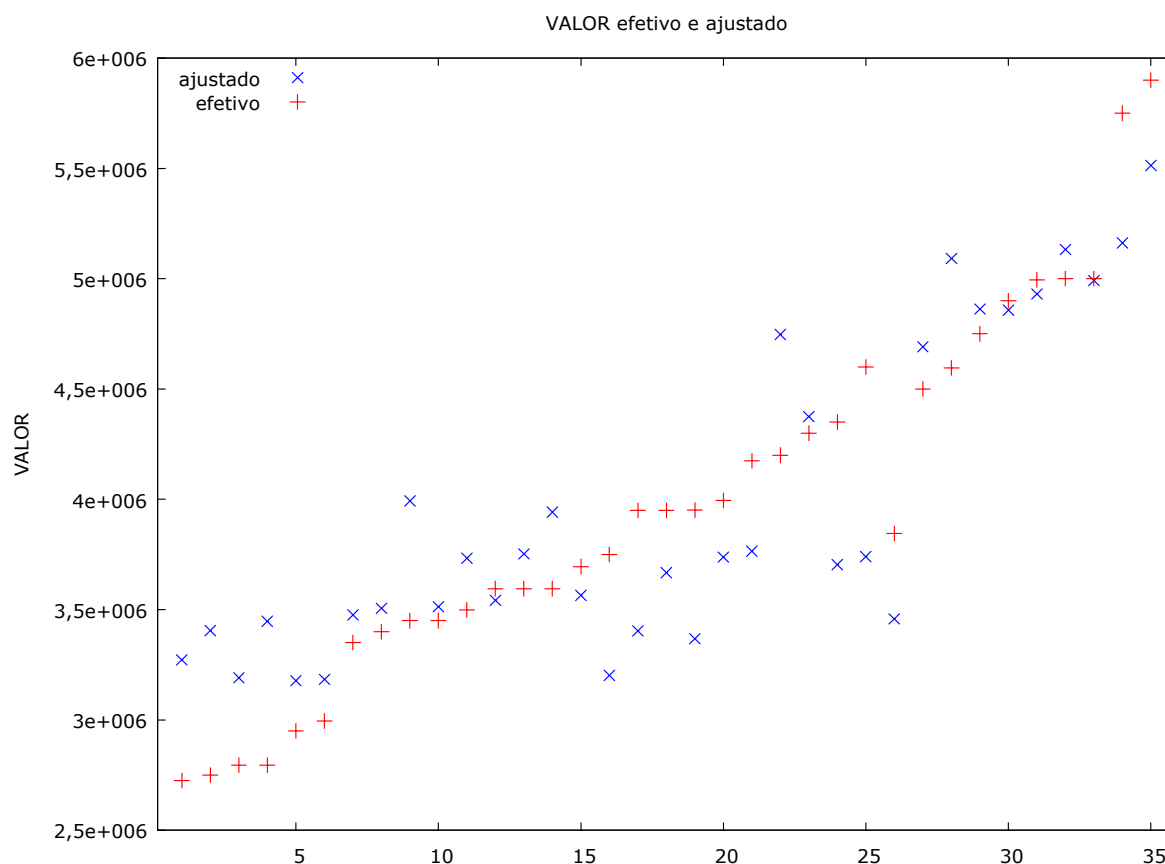
Mas a comparação da estatística F para os dois modelos também mostra uma melhora no de duas variáveis. Com efeito, o modelo de 3 variáveis mostrou uma significância de  $6,0 \times 10^{-8}\%$ , ao passo que o modelo de duas variáveis apresentou uma significância de  $3,1 \times 10^{-8}\%$ . No entanto, deve-se observar que a melhora na significância foi mínima.

Outro ponto interessante é de que a qualidade de ajuste para os modelos de duas e três variáveis é praticamente a mesma, conforme atestam os gráficos a seguir.



**Gráfico 2:** Gráfico de valores observados x valores ajustados para o modelo de três variáveis





**Gráfico 3:** Gráfico de valores observados x valores ajustados para o modelo de duas variáveis

Isto mostra que, muitas vezes a multicolinearidade pode não acarretar problemas mais sérios ao modelo, mas a existência de uma variável linearmente dependente de outra ou outras não traz benefícios.

Outro ponto a ser considerado é a apresentação de um intervalo de valores, que no caso do avião avaliando situa-se entre U\$ 3.384.484,56 e U\$ 3.969.067,64, tendo como estimativa central o valor de U\$ 3.676.776,10. É usual que avaliadores de aviões, sobretudo americanos, partam de um valor e façam ajustes, considerando média de horas voadas por ano, aviônica, acessórios, pintura e histórico.

No presente caso, seria possível também fazer estes ajustes, mas partindo de um valor calculado estatisticamente, e com alterações limitadas a um intervalo de predição também determinado de forma objetiva.

Um último aspecto observado foi a localização do avião em oferta. Foi aventada a possibilidade de que aviões localizados no Brasil pudessem ter seus preços de oferta distintos daqueles praticados nos países da Europa ou Estados Unidos. Um possível motivo para o mesmo seria a eventual necessidade de, na compra de um avião advindo do exterior, o pagamento dos impostos de importação, ou, no caminho inverso, o pagamento de impostos de exportação.

Para analisar esta situação, excluíram-se os itens 26 e 33, relativos a aviões ofertados localizados no Brasil, bem como o item 23, consistindo de avião localizado na Venezuela. Com os dados remanescentes, inferiu-se um novo modelo, com a seguinte equação:

$$\text{VALOR} = -39,5406 \times 10^8 + 5,20799 \times 10^8 \times \text{Ln}(\text{ANO}) - 202320 \times \text{Ln}(\text{HORAS VÔO})$$

O modelo em questão apresentou bons coeficientes de correlação e de determinação, bem como passou pelos testes estatísticos de validação.

A seguir, o mesmo foi utilizado para inferir o valor dos aviões localizados no Brasil e na Venezuela, de modo a determinar se os números preditos pelo modelo eram coerentes com os das ofertas. A tabela a seguir ilustra a comparação.

| NUM | PREÇO OFERTA (U\$) | VALOR CALCULADO PELO MODELO (U\$) | DIFERENÇA (%) | LOCAL     |
|-----|--------------------|-----------------------------------|---------------|-----------|
| 23  | 4.300.000,00       | 4.407.639,36                      | 2,50%         | VENEZUELA |
| 26  | 3.845.653,75       | 3.441.294,35                      | 10,51%        | BRASIL    |
| 33  | 5.000.000,00       | 5.059.357,05                      | 1,19%         | BRASIL    |

**Tabela 2:** Valores pesquisados e observados para aviões no Brasil e Venezuela

Apesar da limitação da amostra, com apenas 3 elementos, há um indício significativo de que a localização do avião não influencia o preço de oferta e, por analogia, o valor, pois como visto, a maior diferença entre um valor calculado pela regressão e o valor efetivamente observado foi de 10,51%, resultado aceitável, considerando que as outras diferenças são inferiores a 2,50%.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A regressão linear múltipla pelo método dos mínimos quadrados ordinários é uma ferramenta bastante útil na avaliação de aviões, considerando-se a existência de uma amostra numericamente suficiente para implementação da mesma. Apesar de não existirem amostras numerosas o suficiente para a avaliação de qualquer modelo de avião, para um grande número dos mesmos, há volume suficiente de dados para a adoção de tal técnica estatística.

Especial atenção deve ser dada às variáveis a serem utilizadas na implementação do modelo, sobretudo no que toca a possibilidade de quantificação objetiva das mesmas. Com efeito, existem variáveis que desempenham papel importante na formação de valor de um avião, no entanto, a aferição quantitativa das mesmas é complexa e, muitas vezes, impossível.

Outro ponto substancial na avaliação de aviões através da regressão linear múltipla é o entendimento da relação entre as variáveis independentes utilizadas no modelo. Como visto ao longo do trabalho, a ocorrência de multicolinearidade pode

trazer instabilidade ao modelo, além de que, a utilização de duas ou mais variáveis altamente correlacionadas demanda um maior esforço de pesquisa e, na maioria dos casos, não traz informações adicionais no refinamento do modelo. No caso deste trabalho, onde duas variáveis estudadas possuíam alto grau de correlação, o modelo que continha as duas não apresentou performance preditiva superior àquela onde uma das variáveis havia sido excluída.

No entanto, a exclusão de variáveis correlacionadas nem sempre é o caminho para a correção da multicolinearidade. Conclui-se que é possível aceitar níveis de multicolinearidade no modelo, desde que não se perca informações importantes na correção daquela, seja pela eliminação de uma variável, seja pela utilização de metodologias alternativas, tais como regressão por componentes principais ou regressão de topo.

Ainda no assunto multicolinearidade, é importante utilizar técnicas que possam captar, preferencialmente de forma quantitativa, sua ocorrência. Dentre a literatura pesquisada, conclui-se que o Fator de Inflação de Variância é o método mais adequado para avaliar a multicolinearidade de um modelo, mas este deve ser usado de forma parcimoniosa, e não como uma regra rígida (O'Brien 2007).

Para a amostra estudada neste trabalho, a localização do avião em oferta não afeta seu valor, pois quando comparados os preços pedidos por dois aviões localizados no Brasil e um na Venezuela, com os valores previstos pelo modelo ajustado, não se verificaram diferenças significativas. Esclareça-se que tais dados foram excluídos do ajuste do modelo auxiliar, de modo a isolar eventuais efeitos da localização.

Outro ponto importante é o cálculo do intervalo de predição para o avião avaliando, pois podem ser necessários ajustes devido a variáveis que não foram consideradas no modelo. Tais ajustes são usuais nas avaliações de aviões, sobretudo aquelas de avaliadores americanos, mas devem ser feitos dentro de um limite estatístico, partindo-se de um valor base objetivo. Não fazer isso significa transformar a avaliação, de um processo quantitativo e econométrico, para um exercício subjetivo e desprovido de fundamentação.

Por fim, fica como sugestão para novos trabalhos o uso de diferentes modelos de avião, a busca por amostras maiores e mais heterogêneas, bem como a tentativa de uso de outras variáveis, sejam elas mensuráveis (ano de pintura, custo da aviãoica e de acessórios) ou qualitativas (histórico de falhas, estado de conservação, detalhes de interior), a serem aferidas por variáveis proxy, de códigos alocados ou binárias.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14653-1/01. Avaliação de Bens. Parte 1: Procedimentos Gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14653-2/04. Avaliação de Bens. Parte 2: Imóveis urbanos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14653-5/06. Avaliação de Bens. Parte 5: Máquinas, equipamentos, instalações e bens industriais em geral.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006;

AMERICAN SOCIETY OF APPRAISERS. **Valuing Machinery and Equipment: The Fundamentals of Appraising Machinery and Technical Assets.** Washington: American Society of Appraisers, 2005;

BARBOSA F<sup>o</sup>, Domingos de Saboya. *Armadilhas, Cuidados e Soluções na Modelagem por Metodologia Inferencial, para Avaliações de Bens.* In II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES, 2000, São Paulo. **Anais eletrônicos...**São Paulo, 2002;

BARBOSA, João Carlos Alves e ZENI, André. *Avaliação Industriais – Novos Rumos.* In V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 1995, São Paulo. **Anais...** Florianópolis: IBAPE/SC, 1995. p. 173-195;

BUDHBHATTI, Kirit. **Valuation of Plant and Machinery.** Gujarat: Kirit Budhbhatti, 2002;

DANTAS, Rubens A. **Engenharia de Avaliações – Uma Introdução a Metodologia Científica.** São Paulo: Ed. PINI, 1999;

DANTAS, Rubens A. e ROCHA, Francisco J. S. *Erros em Engenharia de Avaliações – Diagnósticos e Medidas Corretivas.* In IV JORNADAS LARENSES DE INGENIARIA DE TASACIÓN, Barquisimieto, 2001;

DURBIN, J. *Errors in Variables.* **Revue de L'Institut International de Statistique.** Vol. 22, No.1/3 (1954), pp. 23-32;

GUJARATI, Damodar N. **Econometria Básica.** São Paulo: Makron Books, 2000;

FARRAR, Donald E. e GLAUBER, Robert R. *Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited.* **The Review of Economic and Statistics.** Vol. 49, No. 01 (Fevereiro, 1967), pp. 92-107;

FILLINGER, Victor Carlos. *Curso Básico Intensivo de Engenharia de Avaliações – Indústrias, Instalações Industriais, Máquinas e Equipamentos.* In I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES, 1974, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBAPE/SP, 1978. p. 132-143;

FRISCH, Ragnar. **Statistical Confluence Analysis by Means of Complete Regression Systems**. Oslo: Instituto de Economia, Universidade de Oslo, 1934;

KMENTA, Jan. **Elementos de Econometria**. São Paulo: Ed. Atlas, 1978;

KUMAR, T. Krishna. *Multicolinearity in Regression Analysis*. **The Review of Economic and Statistics**. Vol. 57, No. 03 (Agosto, 1975), pp. 366-368;

MOREIRA, Alberto Lélío. **Princípios da Engenharia de Avaliações**. São Paulo: Ed. PINI, 1997;

O'BRIEN, Robert M. *A Caution Regarding Rules of Thumb for Variation Inflation Factors*. **Quality & Quantity**. No. 41 (Primavera, 2007), pp. 673-690;

STEVENSON, Willian J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Ed. Harbra, 2001.