

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Lucas Azevedo da Conceição

**MODELO ECONOMETRICO DE RENOVACÃO E
MODERNIZAÇÃO DE FROTAS AÉREAS**

Trabalho de Graduação

2020

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Lucas Azevedo da Conceição

**MODELO ECONOMÉTRICO DE RENOVAÇÃO E
MODERNIZAÇÃO DE FROTAS AÉREAS**

Orientador

Prof. Phd. Alessandro Vinícius Marques de Oliveira (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DA CONCEIÇÃO, Lucas Azevedo. **Modelo econométrico de renovação e modernização de frotas aéreas**. 2020. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

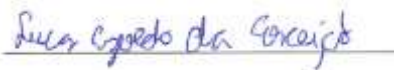
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Azevedo da Conceição

TÍTULO DO TRABALHO: Modelo econométrico de renovação e modernização de frotas aéreas.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2020

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



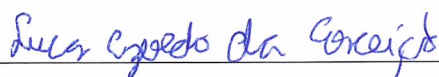
Lucas Azevedo da Conceição

Rua H8A, 134 – Campus do CTA

12.228-460, São José dos Campos – SP

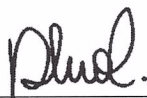
MODELO ECONOMETRICO DE RENOVACÃO E MODERNIZAÇÃO DE FROTAS AÉREAS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Lucas Azevedo da Conceição

Autor



Prof. Phd. Alessandro Vinícius Marques de Oliveira (ITA)

Orientador



Prof. Dr. João Cláudio Bassan de Moraes

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 12 de novembro de 2020

Aos meus familiares e amigos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha família por sempre acreditar e investir em mim, essa é mais uma conquista nossa. Só nós sabemos o sacrifício para chegar até aqui.

Aos amigos que tornaram essa caminhada mais agradável e descontraída, obrigado pela convivência ao longo desses anos. Sem dúvidas o ITA seria um lugar muito pior sem a presença de vocês

Ao professor Alessandro, meu orientador, por ter possibilitado a realização deste trabalho de forma agradável, mostrando que é possível com boa vontade existir companheirismo entre professor e aluno no Instituto.

Resumo

Um dos problemas de companhias aéreas é conseguir escolher qual a melhor situação para aquisição de frotas aéreas, se é via modernização ou renovação de aeronaves. Dessa forma, para entender o funcionamento dessas escolhas, é necessário estudar como funciona a parte de aquisição de aeronaves pelas companhias. Este trabalho analisa um banco de dados compilado pelo Núcleo de Economia do Transporte Aéreo do ITA (NECTAR- ITA), com diversas variáveis de voos domésticos desde 2003 até 2018. Utiliza-se de um modelo econométrico com Regressão Lasso de modo a penalizar as variáveis não interessantes ao modelo proposto. Os resultados obtidos mostram quais variáveis são estatisticamente relevantes e como elas afetam o modelo. O modelo mostrou que variáveis relacionadas ao aumento do preço de combustível tem uma correlação positiva com o nível de modernização de uma companhia aérea, bem como as variáveis referentes a preço. Também foi possível observar que o tamanho das aeronaves, principalmente quanto maiores forem, maior é a tendência de modernização.

Palavras-chave: renovação de frotas aéreas, modernização de frotas aéreas, econometria, regressão Lasso, regressão linear.

Abstract

One of the problems of airlines is to be able to choose the best situation for the acquisition of air fleets, whether it is via modernization or renovation of aircraft. Thus, in order to understand the functioning of these choices, it is necessary to study how the aircraft acquisition part by companies works. This work analyzes a database compiled by the ITA Air Transport Economics Center (NECTAR-ITA), with several domestic flight variables since 2003. An econometric model with Lasso Regression is used in order to penalize uninteresting variables. to the proposed model. The results obtained show which variables are statistically relevant and how they affect the model. The model showed that variables related to the increase in fuel prices have a positive correlation with the level of modernization of an airline, as well as variables related to price. It was also possible to observe that the size of the aircraft, especially the larger they are, the greater the trend towards modernization.

Keyword: renewal of aerial fleets, modernization of aerial fleets, econometrics, Lasso regression, linear regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Crescimento do número de viagens per capita no Brasil.....	16
Figura 2- Composição de custos operacionais de companhias aéreas	23
Figura 3- Preço do Combustível de aviação em Reais x Dólar	24
Figura 4- Variação de ICMS por estado Brasileiro em 2016	25
Figura 5- ICMS por estado em 2020	26
Figura 6- Amostra da base de dados do STATAER	39
Figura 7- Fluxograma de escolha de variáveis	42
Figura 8- Estimções realizadas.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Porcentual de arrendamento de aeronave no mundo	27
Tabela 2- As 10 maiores companhias de arrendamento do mundo	29
Tabela 3- Composição de Frotas Gol Linhas Aéreas.....	30
Tabela 4- Idades média Gol Linhas Aéreas.....	30
Tabela 5- Composição de Frotas AZUL Linhas Aéreas.....	31
Tabela 6- Idades médias Azul Linhas Aéreas	31
Tabela 7- Composição de Frotas Latam Airlines	32
Tabela 8- Idades médias Latam Linhas Aéreas	32
Tabela 9- Estatísticas descritivas das variáveis	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CAPACIDADE DA FROTA EM COMPANHIAS AÉREAS	17
2.2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE FROTAS	18
2.2.1 Efeitos de relação com fabricantes	19
2.2.2 Análise econômica para renovação	21
2.2.3 Custos relativos as frotas pelas companhias aéreas	21
2.2.4 Custo operacional com combustível	23
2.2.5 Custos de arrendamento e manutenção	27
2.3 HISTÓRICO DE AQUISIÇÕES	29
2.3.1 Frotas Gol Linhas Aéreas	30
2.3.2 AZUL Linhas Aéreas Brasileiras	31
2.3.3 LATAM Airlines Brasil	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA	33
3.1.1 Regressão linear múltipla	33
3.1.2 Premissas para a regressão Linear	34
3.1.3 Mínimos quadrados ordinários	36
3.1.4 Estimador Lasso	37
3.1.5 Testes de significância estatística	37
3.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO ECONOMETRICO	39
3.2.1 Descrição da Base de Dados	39
3.2.2 Modelo empírico	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A habilidade de combinar a capacidade da frota aérea com a demanda de passageiros, é um dos fatores cruciais para decidir a rentabilidade de uma companhia aérea, e naturalmente, a composição das frotas aéreas se torna um parâmetro relevante. Além disso, os ciclos econômicos influenciam a demanda de transporte aéreo de maneira bastante aparente (SIMÕES, 2003). Uma recessão econômica geralmente acompanha a demanda aérea reduzida, resultando em receitas insuficientes e capacidade excedente em relação à demanda, que sobrecarrega ainda mais as companhias aéreas com custos ociosos da frota, reduzindo assim os lucros.

Por outro lado, as companhias aéreas usualmente também sofrem uma grande perda de lucro em uma rápida recuperação econômica. Isso pode acontecer quando a capacidade de atendimento da demanda não é capaz de se expandir a tempo, devido ao intervalo de tempo entre a encomenda, recebimento e a operação de aeronaves extras (MOSTARDEIRO, 2019). Embora as decisões de renovação de aeronaves possam ser tomadas com antecedência para atender à demanda futura, essa característica cíclica pode afetar significativamente um planejamento de longo prazo, no que tange a renovação de frotas.

As companhias aéreas operam em um ambiente de negócios onde a incerteza é onipresente, os custos são intensivos em capital, mas facilmente transferíveis e a pressão competitiva é intensa (GIBSON; MORREL, 2005). Neste contexto, as falências são comuns e atestam as baixas margens operacionais típicas do setor aéreo. Para aumentar suas chances de sobrevivência e reduzir a probabilidade de inadimplência, as companhias aéreas devem investir nos ativos certos e possuir uma boa capacidade de saber o momento ideal para renovar suas aeronaves.

Ao mesmo tempo, os ciclos de desenvolvimento de aeronaves e motores são longos e caros. Cada tomada de decisão de renovação envolve um planejamento futuro, onde se busca prever como se comportará o setor num horizonte de futuro utilizando como base a conjuntura atual, e estudos de comportamentos passados. A Companhia Azul, por exemplo, anunciou um investimento de 1 bilhão de reais em novos aviões maiores e mais econômicos, para se renovar num prazo de 5 anos, começando em 2019 para ser finalizado em 2024 (BANHOLZER, 2019).

Devido aos enormes investimentos e riscos associados a esse planejamento, houve um estímulo às empresas para buscarem alternativas mais viáveis como a prática de arrendamento em aeronaves e *hedges* cambiais para novas aquisições. Além disso, frequentemente existe o desafio de falta de disponibilidade de *slots*. *Slots* aeroportuários podem ser entendidos como uma vaga disponível nos aeroportos para as companhias pousarem seus aviões, logo a falta de *slots* dificulta o espaço e disponibilidade e de infraestrutura para novos entrantes, e a renovação de aeronaves de companhias já presentes. Assim, os fabricantes de aeronaves e motores, bem como as linhas aéreas, devem analisar essas particularidades para avaliar sua viabilidade econômica (GARGIULO, 2008).

Essas análises são realizadas pelas companhias aéreas durante o processo de planejamento de aquisição e tem sido tradicionalmente desafiadoras, devido à complexidade da avaliação do desempenho econômico de uma aeronave, e aos vários ambientes econômicos em que o ativo pode operar (GOMES; FONSECA, 2014). Nitidamente, essas incertezas interferem na decisão das empresas de como elas podem adquirir essas aeronaves.

Uma empresa pode, por exemplo, arrendar uma aeronave ou pode comprar uma aeronave nova diretamente do fabricante, pode comprar de outras companhias, sejam nacionais ou internacionais, ou variar a idade das aeronaves. Cada possibilidade gera uma vasta gama de combinações, o que permite inferir que não há uma estratégia absoluta, e cada companhia pode adotar uma alternativa diferente.

Devido a essa complexidade, o presente estudo busca responder ao questionamento de como ocorre a dinâmica de compra de aeronaves focando nas idades médias das mesmas. Pode-se ampliar a análise de idades em dois conceitos: Modernização e Renovação. Tais conceitos podem parecer sinônimos e confundir o leitor a priori, porém cada um tem suas particularidades. Para definição dos mesmos, são necessários alguns conceitos prévios, como idade de uso e idade de projeto:

- Idade de uso: Refere-se ao tempo de existência da aeronave, ou seja, o tempo desde que esta aeronave foi efetivamente utilizada da primeira vez até uma data definida. Então, ao encomendar uma aeronave diretamente do fabricante, a companhia teria um modelo com idade de uso nula, ao passo que caso comprasse

de uma outra companhia, já teria uma aeronave (ou alguma de suas variantes) com idade de uso não nula.

- Idade de projeto: Essa idade refere-se ao tempo em que foi lançado a primeira variante dessa aeronave pela fabricante. Por exemplo, a versão mais recente do B737 da *Boeing*, o B737 *Max*, foi entregue em 6 de maio de 2017, para a *Malindo Air*. Dessa forma, uma companhia que comprou da *Boeing* em 2019, teria um avião com idade de uso nula, mas uma idade de projeto de 2 anos.

- Renovação: É o evento em que as companhias aéreas decidem comprar aeronaves com idade média de uso menor do que a frota atual, podendo ser a aquisição usada de terceiros ou diretamente do fabricante. Essa estratégia pode ser usada como parte de um programa de expansão ou em substituição às aeronaves já existentes.

- Modernização: É o evento de alterar a idade de projeto média da composição de frotas aéreas. Isso pode ser feito num programa de expansão, adquirindo idades mais modernas ou substituição as aeronaves atuais. Naturalmente, a modernização tende a causar uma renovação, mas além de apenas mudar a idade, podem ter novas tecnologias, novos sistemas de consumo de combustível e outras possibilidades de implementação

As companhias poderiam renovar comprando aeronaves com baixa idade de uso, mas ainda com idades de projeto mais antigas, e não estariam modernizando, ou optar, por exemplo, por adquirir aeronaves pouco utilizadas, mas com uma modernização maior, adquirindo os modelos mais recentes das fabricantes.

Assim sendo, este estudo tem por objetivo estudar um tópico ainda não explorado na literatura, que é entender como funciona a renovação e modernização das frotas pelas companhias aéreas. Tendo por objetivos específicos:

- Explicar como funciona o processo de aquisição de uma aeronave;
- Evidenciar os fatores para renovação ou modernização de frotas áreas;
- Apresentar casos recentes de aquisição de frotas de algumas companhias;
- Propor um modelo econométrico que possa representar variáveis explicativas para a composição da idade de projeto de aeronaves.

Este estudo é relevante tanto para o âmbito acadêmico, quanto para o setor do transporte aéreo brasileiro, já que a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC),

relatou que “ no ano de 2018, houve uma retomada do número de decolagens que estava em queda desde 2013” (ANAC (2019, p.4) seguido de um novo aumento em 2019, com crescimento de 1,3% em relação a 2018 (ANAC, 2020), o que é um forte indício que está ocorrendo a retomada deste setor cíclico. Apesar de cíclico, no longo prazo a tendência é crescente como pode ser observado na Figura 1. Em 1990 havia 0,14 viagem aérea por habitante, ao passo que, em 2015, esse indicador atingiu 0,58, um crescimento rápido e uma densidade de viagem bem acima da média global de 0,3 viagens aéreas por passageiros (ABEAR, 2020). Vale ressaltar que em 2020, vivenciou-se a pandemia do CORONAVÍRUS, que afetou fortemente o setor aéreo com a restrição de voos entre os locais.

Figura 1- Crescimento do número de viagens per capita no Brasil
Passageiros transportados por via aérea* per capita no Brasil (1927-2015)



Fonte: ABEAR (2020)

Desta forma, tendo em vista esse aumento do número de passageiros e consequentemente o número de voos, estimulando assim o crescimento do mercado de transporte aéreo das companhias brasileiras, pode-se gerar uma necessidade de renovação de frota para atender este aumento na demanda, e também no sentido de atingir novas rotas aéreas. Ademais, esta pesquisa busca contribuir para o âmbito acadêmico e científico, a fim de estimular o estudo desse tema, já que há poucos estudos nesta área.

Após essa parte introdutória, o trabalho será dividido em mais 4 capítulos. No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica de como funciona a renovação da frota nas companhias, mostrando algumas estratégias e motivações. Em seguida, há uma

parte mais específica sobre o funcionamento e planejamento das companhias, analisando o custo de combustível, manutenção e outros são relevantes. Também são feitas análises referentes as aquisições recentes das principais empresas Brasileiras, LATAM, AZUL e GOL, e como foram os processos de renovação e modernização de cada uma.

No capítulo 3 é discutido como funciona a metodologia aplicada neste trabalho, de criação de um modelo econométrico.

No capítulo 4, são discutidos os resultados obtidos com o modelo e a base de dados.

Por fim no capítulo 5, algumas considerações finais são feitas como a conclusão e sugestão de melhorias pro trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CAPACIDADE DA FROTA EM COMPANHIAS AÉREAS

A capacidade da frota de uma companhia aérea depende do número total de diferentes tipos de aeronaves compradas, arrendadas e sucateadas por um período de tempo. Estudos relevantes se concentraram principalmente na escolha do tipo certo de aeronave, rota e frequências de voos, usando métodos determinísticos de programação matemática (YAN; CHEN; CHEN, 2006).

Wei; Hansen (2007) consideraram os fatores de competição nas decisões sobre tamanho da aeronave e frequência de serviço. Utilizando um mercado compartilhado de companhias, os autores examinaram o impacto das decisões de tamanho de aeronave e a frequência no custo e na demanda de transporte aéreo. Os mesmos autores também examinaram a capacidade de frota relacionando o tamanho de aeronave e disponibilidade de assentos.

Eles utilizaram um modelo linear com a função *logit*, e descobriram que as companhias aéreas operando em rotas mais densas e movimentadas podem ter retornos maiores, aumentando a frequência de vôos, do que aumentar o tamanho da aeronave (WEI; HANSEN, 2005).

Esse estudo pode indicar que, para uma aquisição de novas aeronaves, pode ser mais viável uma aeronave com uma durabilidade maior, ou seja, que suporte um alto número de viagens, e tenha uma vida útil maior. Considerando que, problemas

de substituição de equipamentos em indústrias intensivas em capital, como é o caso do setor de transporte aéreo, têm sido amplamente discutido na literatura de engenharia de operações e operações industriais (SIMAS; PACCA, 2013). Alguns estudos fora do setor de aviação podem servir de estímulo, para observar como acontece o tratamento de compra ou venda de ativos com base em custos comuns como gastos com manutenção e operações.

Hartman (2001), por exemplo, assume que a utilização de ativos possui uma aleatoriedade como mudanças de demandas e cronogramas de uso. Utilizando programação dinâmica, a solução determina, por exemplo, um custo mínimo esperado para cada ativo em função da sua idade de uso, permitindo critérios para a decisão de substituição.

Oum, Zhang; Zhang (2000), desenvolveram um modelo para as companhias aéreas determinarem a combinação ideal de capacidade arrendada e própria, levando em consideração que a demanda por transporte aéreo é incerta e cíclica. O *status* financeiro da companhia aérea e a demanda de passageiros são fatores críticos quando se trata de decisões de capacidade arrendada e de propriedade, pelo fato de que numa recessão, as empresas de *leasing* também são impactadas e disponibilizam suas frotas a preços menores. Por isso, empresas mais capitalizadas poderiam negociar contratos mais vantajosas nesses períodos, e se prevenirem dos preços mais altos num momento de expansão.

Como exposto, a literatura contém vários estudos sobre aquisição de aeronaves, e de como analisar o tipo certo de aeronave (YAN; CHEN; CHEN, 2006), entender o tamanho ideal da aeronave (WEI; HANSEN, 2007), ou a combinação ideal entre arrendamento e frota própria. Apesar disso, a literatura é escassa sobre a forma de incluir a idade média da frota atual nesse processo, e também não levam em conta as possibilidades de aquisição das aeronaves com diferentes níveis de modernização.

2.2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE FROTAS

O planejamento da frota é realizado pelas companhias aéreas para determinar a quantidade e o tipo de aeronave a ser comprada ou arrendada, a fim de fornecer um serviço lucrativo em todo o horizonte de planejamento de longo prazo. Um planejamento estratégico de frota é essencial, pois tem um grande

impacto na eficiência econômica das companhias aéreas. Além disso, o fornecimento de aeronaves de grandes dimensões pode implicar um aumento no custo de operação da aeronave, enquanto uma composição de aeronaves de menor tamanho, ou poucas quantidades, podem resultar num não atendimento da demanda gerando perdas de receitas substanciais para as companhias aéreas.

No entanto, a frequência de voos e rotas das companhias aéreas é bastante afetada pelos limites regulatórios, especialmente com os *slots* de restrição de chegada/partida em alguns aeroportos em particular (CRAVO, 2014). Dessa forma, uma companhia com elevado *Market share* (HHI) teria vantagens e facilidades competitivas na renovação de frota podendo, portanto, ser um fator interessante a ser considerado, e isso provavelmente impactaria no processo de modernização.

Como tal, a estratégia das companhias aéreas para fornecer uma frequência de serviço mais alta (para atender à crescente demanda) pode não ser viável, a menos que seja obtida aprovação prévia (por exemplo, via compra de *slot*) (SANGLARD, 2017). Dessa forma, poderia ser obtida frequência de operação maior, incorporando a compra de slots ao tomar uma decisão ideal de planejamento de frota. A falta de *slots* desejados para frequência de serviço adicional, pode levar a uma perda de receita devido à incapacidade das companhias aéreas de atender à demanda dos passageiros (CAETANO, 2011).

Além disso, para o planejamento deve-se considerar os custos operacionais indiretos, ou seja, custos não diretamente ligados a parte aérea. Alguns exemplos se encaixam venda de passagens, promoções, serviços prestados e custos administrativos (HOLLOWAY, 2008) que apesar de não afetarem diretamente a aquisição da aeronave podem interferir no planejamento delas.

Com base no estudo de Babic; Kalic, (2011), no sistema IATA (*International Air Transportation Association*), a compra de *slots* (ou alocação de slots) é feita duas vezes por ano durante a *IATA Scheduling Conference*, o que de certa forma, facilita na renovação e o planejamento das companhias, por ser uma troca rápida em comparação a renovação.

2.2.1 Efeitos de relação com fabricantes

O planejamento de renovação de frota também se baseia nos acordos de negociação com fabricantes de aeronaves e motores. Portanto, ao entender os elementos básicos como tempo de entrega, financiamento, e vantagens, pode-se avaliar como as companhias atuam com os fabricantes.

Nota-se que, existem outros fatores que influenciam na renovação da aeronave, os quais são externos à companhia, como alianças, fatores de pessoas e comunidade. Por exemplo, conforme cita Clark (2001), a *Airbus* ao comercializar suas aeronaves, alega que existe comunalidade entre suas aeronaves e a vantagem de ter uma frota de diferentes tamanhos de aeronaves:

- Devido à comunalidade que existe, é necessário menos tempo no treinamento de pilotos para pilotar um tipo de aeronave para outro;
- Também menos tempo no treinamento de mão de obra de manutenção de um tipo de aeronave para outro.
- Como os sistemas são semelhantes e usam adequadamente as mesmas ferramentas e procedimentos para manutenção ou operação, como reabastecimento ou manuseio de bagagem, isso teria um grande efeito nos custos operacionais.

A principal desvantagem da comunalidade é que, se houver toda a frota do mesmo tipo de aeronave, é difícil mudar e a companhia aérea não estaria em boa posição na negociação de uma nova aeronave com os fabricantes. Como será visto no item 3, a companhia Gol é um caso em que todas as suas aeronaves são da *Boeing*. É importante observar que, a renovação de frota depende muito desse processo, pois afeta o planejamento da frota não só na avaliação e comparação de aeronaves, análise de rotas, aquisição de aeronaves ou adequação da oferta à demanda isoladamente, mas inclui todos esses elementos simultaneamente. Dessa forma, a análise da composição atual de frota pode ser influente na idade, visto que caso uma empresa tenha uma base da *Airbus* por exemplo, a tendência seria permanecer nela, e consequentemente, a modernização estaria sujeita a capacidade dessa empresa de se modernizar.

O estudo de Narcizo (2018), mostra consequências da padronização de frota nas companhias brasileiras. Ele concluiu que a padronização da família de frotas é uma variável estatisticamente significativa sobre os custos operacionais unitários e sobre a margem de lucros das companhias. Logo, a padronização pode ser uma alternativa viável para reduzir custos e viabilizar a aquisição de novas aeronaves.

Uma melhor compreensão das causas de que estimulam a renovação de frotas em uma companhia aérea, ajudariam em uma das decisões mais difíceis em uma companhia aérea, a escolha entre a compra ou arrendamento. Dessa forma, a escolha é muito complexa, pois envolvem diversos fatores.

Cada companhia tem um perfil de frota, e como a padronização afeta os custos e margens, é esperado que empresas possam ter estratégias de renovação distintas. Além disso, existem grandes companhias aéreas que são suportadas pelo governo, outras menores possuem menos lucros por isso, pois a forma de financiamento e tempo de entrega, tendem a variar de acordo com o fluxo de caixa da companhia.

2.2.2 Análise econômica para renovação

Este Item destina-se a compilar dados e informações que permitem ao leitor um melhor entendimento e termos específicos do transporte aéreo. Dessa forma, foi analisado primeiramente como é realizado o procedimento de aquisição de aeronaves, bem como os principais custos de operação, tais como gasto com combustível, manutenção e arrendamento de aeronaves. Em seguida, são analisadas algumas motivações e causas que estimulam empresas aéreas a buscarem diminuir sua idade média, pela renovação de suas frotas e servirem como base na escolha das variáveis relevantes ao modelo.

2.2.3 Custos relativos as frotas pelas companhias aéreas

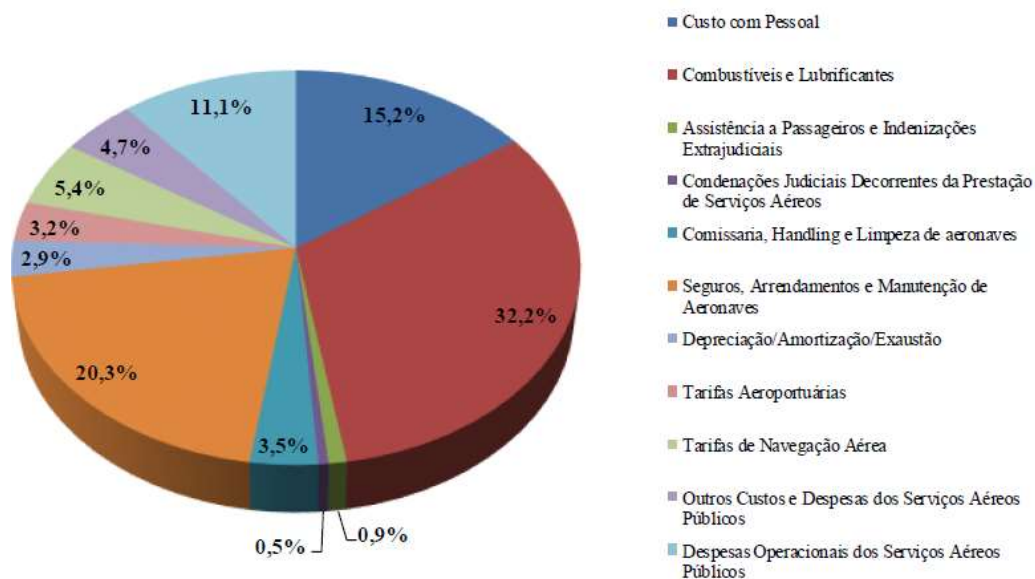
O transporte aéreo, seja em âmbito doméstico ou internacional, não representa um modelo de negócios desejado ou favorecido pelo consumo, e sim fundamentalmente um setor de serviços, transportando os passageiros e seus pertences. Porém, a viagem em si é apenas um meio para o consumidor chegar ao seu destino final, e não um objeto de consumo aos clientes, e ainda que as companhias criem políticas e estratégias buscando agregar valor a seus usuários, com serviços auxiliares, essa receita é pouco relevante, de apenas 1,6 % em 2018 contra 86% de passagens tradicionais (ANAC, 2019). Consequentemente, a receita de uma empresa está intimamente ligada à capacidade de otimizar o custo por lugares oferecidos por uma companhia, logo é importante a análise de como

relacionar esses custos a métricas bem definidas de lucratividade e eficiência de empresas aéreas como *ASK (available seat kilometer)*, *RPK (revenue passenger kilometer)*, *CASK (cost per available seat kilometer)* e *RASK (revenue per seat kilometer)*.

O estudo de Wei; Hansen (2003), desenvolve essa premissa de lugares e tamanho de aeronave afetarem o custo operacional. No trabalho, o autor desenvolve uma função de custo econométrico, que dá indícios de que, para um trecho curto, o tamanho da aeronave ótimo é significativamente menor e com poucos passageiros.

A forma com que os custos e receitas são distribuídos na empresa, são determinantes no planejamento de frota. Custos indiretos como gastos administrativos, *marketing*, venda de passagens aéreas dificilmente serão aumentados com uma renovação de frota e facilmente são diluídos no aumento de capacidade de assentos, ao passo que custos fixos como, manutenção, consumo de combustível e custo com pessoal, têm uma relação, a priori, variável com o número de assentos, pois ambos crescem no processo de renovação.

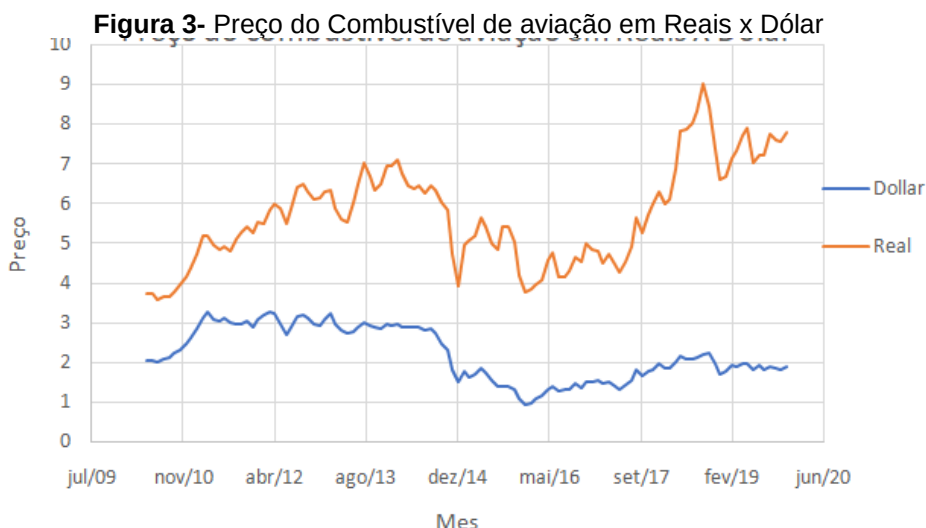
A Figura 2, representa a composição dos custos e despesas de voo na indústria brasileira no ano de 2018. E em seguida, serão avaliados como se comportam os 2 principais custos operacionais das companhias.

Figura 2- Composição de custos operacionais de companhias aéreas

Fonte: ANAC (2020)

2.2.4 Custo operacional com combustível

O preço do combustível, por representar a maior parte dos custos de operação, e ter a particularidade de seu preço depender de fatores macroeconômicos externos ao Brasil, representa uma forte desvantagem competitiva das companhias, e instabilidade de previsão de gastos. Pelo fato de o barril do combustível ter sua cotação em dólar, seu preço depende basicamente da variação cambial e de fatores de oferta e demanda. A Figura 3 apresenta a variação do preço do petróleo em dólares e em real, por galão, e demonstra nitidamente a desvantagem cambial, onde apesar da ocorrência de redução do preço do petróleo no âmbito mundial, o valor em real sofreu um significativo aumento.



Fonte: Elaboração própria (a partir de informações contidas no Banco de dados do Index mundi)

O estudo de Cobbs; Wolf (2014), avaliou a estratégia de *hedge* de proteção adotado por companhias norte americanas, contra as oscilações de preços. O *hedge* de contratos é uma opção de compra futura, onde a empresa paga uma pequena taxa para garantir um preço fixo de compra no futuro. Dessa forma, é possível estar protegido de grandes variações de preço, contudo, o desafio cambial ainda se mostra presente para companhias brasileiras. Para Carter; Rogers; Simkins, (2002) o uso de *hedge* de combustível está positivamente correlacionado a oportunidades de investimento no setor de transporte aéreo, e que uma boa política de *hedge* pode facilitar crédito ao financiamento.

Um outro item que interfere nos custos de uma empresa aérea, sendo esta uma particularidade brasileira, consiste na alíquota do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), um imposto que varia conforme localidade. A Figura 4 mostra como é a variação do ICMS em diferentes lugares do Brasil, no ano de 2016. Essa disparidade de preços, implica em uma medida conhecida como *tankering*, um método onde dependendo da rota e da etapa percorrida, é preferível voar com peso extra para evitar abastecimento numa cidade mais cara. Felizmente, políticas de reestruturações tributárias foram realizadas com a intenção de diminuir a alíquota de ICMS, como mostra a Figura 5.

Figura 4- Variação de ICMS por estado Brasileiro em 2016

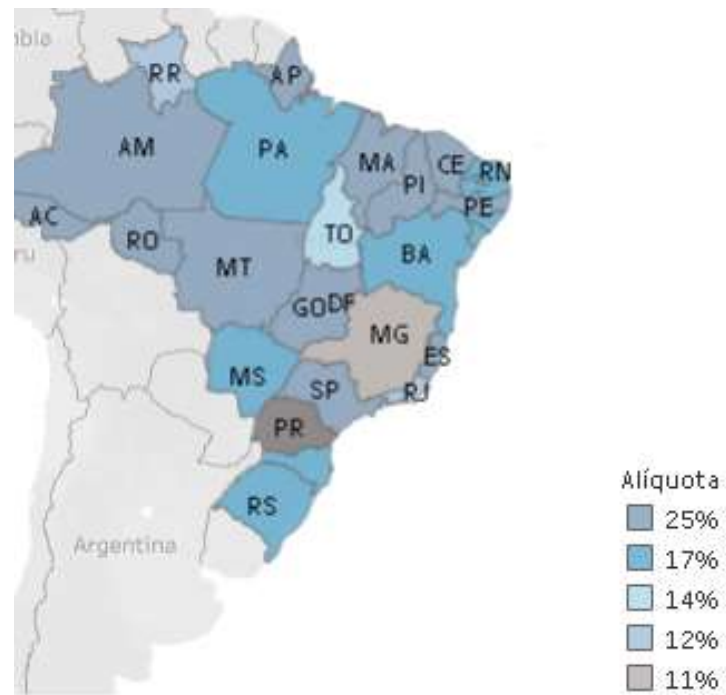


Figura 5- ICMS por estado em 2020

	DESTINO																										
	AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA	PB	PR	PE	PI	RN	RS	RJ	RO	RR	SC	SP	SE	TO
U R I G E M	AC		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	AL	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	AM	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	AP	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	BA	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	CE	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	DF	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	ES	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	GO	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	MA	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	MT	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	MS	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	MG	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7
	PA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	PB	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	PR	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7		7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7
	PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	PI	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12
	RN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12
	RS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7		12	7	7	12	12	7	7
	RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12		7	7	12	12	7	7
	RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12	12
	RR	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	12
	SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7		12	7	7
	SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12		7	7
	SE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12
	TO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12

Fonte: Consultoria RR (2020)

A busca por redução do consumo, pode ser amenizada com aquisições de aeronaves com diferentes capacidades de rendimento. Holloway (2008) aponta que frotas mais modernas, tendem a ter tecnologias melhores e serem mais econômicas no consumo. Neste contexto, alguns acordos de aquisições recentes corroboram nessa premissa. Como, por exemplo, a aquisição da Internacional *Airline Group* do *Boeing 737 Max* que é 14% mais econômico devido a motores *CFM International Leap-1B* (BOEING, 2019), e da GOL (BOEING, 2018), além da aquisição da AZUL

de um A321 NEO, que consome mais, porém o custo do passageiro é menor em relação ao A320 NEO (BANHOLZER, 2019).

Tais indícios, apontam para o nosso estudo que a cotação do combustível, aliado a variações no câmbio e possíveis diferenças de imposto, provavelmente afetam na decisão de uma empresa tendendo pro lado da modernização, o que será verificado posteriormente.

2.2.5 Custos de arrendamento e manutenção

Por se tratar de um setor que exige altos valores de capital, por muitas vezes as empresas recorrem ao uso de arrendamento (*leasing*) de aeronaves para reduzir a idade média da frota. O *Leasing* consiste em um contrato de aluguel no mercado secundário por um período pré-estabelecido de tempo, que pode ter contratos do tipo “tudo incluso” como pilotos, seguro, manutenção (*wet leasing*) ou apenas a aeronave (*dry leasing*).

Essa alternativa frequentemente tem se tornado uma opção cada vez mais frequentes na tomada de decisão de companhias aéreas. De acordo com uma previsão da *Boeing*, estima-se que aeronaves via *leasing* representem 50% das aeronaves em 2020 (GEFFERT, 2015). A tabela 1 mostra a evolução crescente de arrendamento no mundo nos últimos 50 anos.

Tabela 1- Porcentual de arrendamento de aeronave no mundo

ANO	PERCENTUAL
1970	0,15%
1980	1,7%
1990	14,7%
2000	24,7%
2014	40,7%
2015	50,0%

Fonte: Geffert (2015)

A decisão de realizar o arrendamento, traz a possibilidade de investimentos menores e alternativas para empresas com pouco crédito, além de evitar perdas financeiras com depreciação do bem. Também pode ser interessante no viés temporal, pois para a realização de uma compra de frota, o financiamento muitas vezes é feito anos antes da entrega, para incluir mecanismos complexos de desconto (IATA, 2016). Por outro lado, o arrendamento gera gastos mensais que não irão compor o patrimônio da empresa futuramente.

Similarmente ao arrendamento, o custo de manutenção tem grande percentual no custo das companhias, além de representar, possivelmente, a área de maior responsabilidade. Uma aeronave com manutenção adequada, sofre menos risco de ficar impossibilitada de voar e manter-se operacionalmente, e isso gera um senso de confiança por parte dos consumidores, algo que é crucial para a reputação da empresa (MARCUIZZO, 2008).

Além disso, a manutenção é essencial para garantir a segurança de voo. Segundo De Medeiros et.al (2017), a probabilidade de falha estrutural, é maior quanto mais velha for a idade média da frota, dessa forma, pode-se buscar reduzir o custo operacional de manutenção utilizando aeronaves novas.

Relativo ao *leasing*, pode-se destacar o mercado competitivo e a concorrência. Por envolver um mercado mundial, empresas de *leasing* concorrem com empresas de outros países o que pode ser vantajoso para o consumidor. Os contratos de *leasing* podem ter diferentes prazos de durações, entregas, e obrigações como, por exemplo, a manutenção ser realizada pela empresa de arrendamento ou pela própria companhia aérea, conforme apresentado na Tabela 2

Tabela 2- Tipos de contratos de *leasing*

Acordo	Duração	Manutenção e Reparo	Local de entrega
Master Lease	variável	Empresa de arrendamento	Restritivo
Aluguel de longo prazo	5 – 8 anos	Locatário	Super restritivo
Locação de curto prazo	Maior que 6 meses	Locatário	Super restritivo
Aluguer unilateral	variável	Locatário	Desejo do remetente

Fonte: XCHANGE (2020)

Dentre as companhias de *leasing*, pode-se destacar as maiores 10 companhias, pela Tabela 3. A Azul linhas aéreas, adquiriu oito aeronaves EMBRAER E195 através de um contrato de US\$ 200 milhões com o *Industrial and Commercial Bank of China (ICBC)*, a 10º maior empresa, (AZUL, 2015).

Tabela 3- As 10 maiores companhias de arrendamento do mundo

Colocação	Companhia
1º	AERCAP HOLDING NV
2º	DUBAI AEOROSPACE ENTERPRISE
3º	CHAPMAN FREEBORN
4º	TEXTRON FINANCIAL
5º	GENERAL ELETRIC CAPITAL AVIATION SERVICES
6º	AIR LEASE CORPORATION
7º	AVALON
8º	NORDIC AVIATION CAPITAL
9º	SMBC AVIATION CAPITAL
10º	INDUSTRIAL AND COMERCIAL BANK OF CHINA (ICBC)

Fonte: MOTOTOK (2018)

2.3 HISTÓRICO DE AQUISIÇÕES

Conforme explicado no item 1, o maior objetivo do trabalho é poder identificar como funciona a diferença entre:

- a) Renovação de frota, que ocorre quando uma companhia faz uma aquisição nova de uma aeronave ao portfólio, reduzindo a idade de uso de aeronave e;
- b) Modernização de frota, que acontece quando essa aquisição leva em conta uma idade de projeto menor.

Esses conceitos podem ser facilmente confundíveis e, portanto, para identificar esse comportamento, foi estudado a atual composição das 3 principais companhias aéreas brasileiras GOL, AZUL e LATAM, e foi estudado como foi feita a aquisição de cada uma.

A análise foi limitada apenas a companhias brasileiras, para servir como uma base mais fiel de estudo, por levar em conta características internas equivalentes. Ou seja, eventos econômicos e políticos, por exemplo, são igualmente relevantes nas decisões das companhias, o que não seria verdade analisando frotas de companhias internacionais.

Foi utilizado o banco de dados do site *Planelogger* que continha todos os modelos de cada companhia, e seu respectivo histórico de datas. A primeira data, era referente a data de projeto do modelo da aeronave, denominado *acvarini*. A segunda data, era referente a data do modelo de fabricação em específico, denominado *acini*. Por último, pelo banco de dados *AirFleet*, foi extraída a atual

composição de frotas e sua respectiva data de aquisição pela companhia denominado $ACINI_{brasil}$.

A partir dos dados, foi definido a variável AGE , relativa a idade de uso da aeronave no momento da aquisição dado por $(ACINI_{brasil} - ACVARINI)$, e AGE_{proj} relativo a idade de projeto dado por $(ACINI_{brasil} - ACINI)$. Vale ressaltar que essas idades são referentes ao momento em que as aeronaves foram adquiridas e não as idades atuais.

2.3.1 Frotas Gol Linhas Aéreas

A Gol Linhas Aéreas Inteligentes, fundada em 2001, é atualmente a maior companhia aérea do Brasil em número de passageiros. Atualmente, detém a liderança no mercado de vôos domésticos com 38,6% dos vôos, porém a 3ª no mercado internacional com 12% (ANAC,2020).

A Gol possui toda sua frota composta de 126 aeronaves da *Boeing* contendo 22 B737-700, 97 B737-800 e 7 B737-MAX. Atualmente a idade de frota é de 10,9 anos, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Composição de Frotas Gol Linhas Aéreas

Quantidade	Aeronave
22	B 737-700
97	B 737-800
7	B737-MAX
Total - 126	
Idade média – 10,6 anos	

Fonte: AirFleet (2020)

Referente ao processo de aquisição, como já explicado, foi realizado a análise de idade de uso e idade de projeto das aeronaves. Dessas, 72 aquisições foram aeronaves novas, com idade nula, e por ser uma quantidade grande em comparação as 126 aeronaves, foi inserida uma variável da média sem considerar as aeronaves novas $\overline{AGE}$. Dessa forma, é possível ter uma real noção de idade das aeronaves compradas. A Tabela 5 apresenta essas informações para a GOL.

Tabela 5- Idades média Gol Linhas Aéreas

AGE	2,06 anos
$\overline{AGE}$	5,68 anos
AGE_{proj}	6,22 anos

Fonte: Produção própria a partir de, Airfleet (2020) e Plannelogger (2020)

2.3.2 AZUL Linhas Aéreas Brasileiras

A Azul Linhas Aéreas Brasileiras S.A. Inteligentes, fundada em 2008 é atualmente a terceira companhia aérea do Brasil em número de passageiros. Atualmente, detém 23,3% dos vôos, domésticos, porém é a 2ª no mercado internacional com 22,5% (ANAC, 2020).

A Azul possui sua frota bem diversificada em fabricantes. Composta de 145 aeronaves da *Boeing*, *Embraer* e *Airbus*. Atualmente a idade de frota é de 6,4 anos, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Composição de Frotas AZUL Linhas Aéreas

Quantidade	Aeronave
41	Airbus A320
3	Airbus A321 Neo
2	Airbus A330Neo
8	Airbus A330-200
32	ATR 72
2	Boeing 737-400
6	Embraer 190
51	Embraer 190
Idade média - 6,4 anos	

Fonte: AirFleet (2020)

Semelhantemente ao feito no item anterior com a Gol, a Tabela 7 mostra as idades para a AZUL.

Tabela 7- Idades médias Azul Linhas Aéreas

AGE	1,62 anos
$\overline{AGE}$	7,29 anos
AGE_{proj}	5,23 anos

Fonte: Produção própria a partir de Airfleet (2020) e Plannelogger (2020)

2.3.3 LATAM Airlines Brasil

A LATAM Airlines Brasil, subsidiária Brasileira da LATAM Airlines atualmente, detém 37,7% dos vôos, domésticos, em 2º lugar atrás da Gol, porém é a líder no mercado internacional com 65,5% (ANAC, 2020).

A LATAM possui sua frota de aeronaves da *Boeing* e *Airbus*. Composta de 147 aeronaves, na atualmente a idade de frota é de 9,5 anos. A Tabela 8 mostra a composição de frota da LATAM.

Tabela 8- Composição de Frotas Latam Airlines

Quantidade	<i>Aeronave</i>
22	Airbus A319-100
6	Airbus A320 Neo
63	Airbus A320-200
26	Airbus A321-200
7	Airbus A350-900
10	Boeing 767-300
10	Boeing 777-300
Idade média 9,5 anos	
Fonte: AirFleet (2020)	

Semelhantemente ao feito nos itens anteriores com a GOL a Azul, a Tabela 9 mostra as idades para a LATAM.

Tabela 9- Idades médias Latam Linhas Aéreas

AGE	6,23 anos
$\overline{AGE}$	6,38 anos
AGE_{proj}	16,23 anos

Fonte: Produção própria a partir de Airfleet (2020) e Planelogger (2020)

3 METODOLOGIA

Esse trabalho utiliza a metodologia de métodos econométricos para estudos estatísticos, com foco no estudo de renovação e modernização de frotas aéreas. O principal objetivo é compreender quais variáveis são estatisticamente relevantes para modelar a idade média e de projeto das frotas aéreas. O uso de econometria já demonstrou ser uma forma eficaz de tratar e testar as relações entre variáveis numa regressão linear. Alguns trabalhos no ramo do transporte aéreo que utilizaram tal metodologia destacam-se Miranda (2017) e Filho (2015).

Simplificadamente, a regressão linear possibilita explicar a variável independente Y em função de um conjunto de variáveis dependentes e explicativa X, gerando relações de causa-efeito. Uma particularidade interessante, refere-se ao fato de quando há regressões múltiplas, a regressão garante o efeito *ceteris paribus*, ou seja, mantendo todas as demais variáveis constantes, é possível analisar a influência isolada de cada variável. Tal característica deriva do comportamento linear que será explicado na parte de premissas da regressão.

Alguns possíveis problemas do método estão na necessidade de análise subjetiva dos resultados pelo pesquisador, que pode gerar algum tipo de viés e também da possibilidade de *overfitting* dependendo da amostra utilizada.

O item a seguir explica a modelagem matemática utilizada.

3.1 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA

3.1.1 Regressão linear múltipla

As regressões múltiplas no trabalho, visam explicar as variáveis de estudos. A ideia principal é analisar como o comportamento de um conjunto de variáveis explicam uma grandeza estimativa de modo a modelar o processo. De maneira geral, uma regressão linear múltipla é dada pela equação (3.1)

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t1} + \beta_2 x_{t2} + \dots + \beta_k x_{tk} + \epsilon_t ; t = 1, 2 \dots n' \quad (3.1)$$

Na equação (3.1), o indicador t mostra o tempo no qual a observação é feita e n o número total de observações. Os termos x_{tk} são as variáveis independentes (ou

explicativas), também chamados de regressores com k sendo o total de variáveis. O termo y é a variável dependente (ou explicada).

Os termos β_i indicam a inclinação (slope) de cada parâmetro, e representa justamente o efeito percebido pela variável dependente y , ao variar 1 unidade na variável dependente x_i , também é conhecido como efeito marginal. Por fim, o parâmetro β_0 é o chamado parâmetro do intercepto, e ϵ_0 é o parâmetro de erro, referente ao erro de cada observação de x , mas que não puderam ser observados na amostra analisada. Um formato alternativo para a equação (3.1) é a forma matricial mostrada na equação (3.2)

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 & \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_k \end{bmatrix}' + \begin{bmatrix} \epsilon_0 \\ \epsilon_1 \\ \dots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

Ou ainda na forma reduzida, pela equação (3.3)

$$y = X\beta + \epsilon \quad (3.3)$$

3.1.2 Premissas para a regressão Linear

Para a validação do modelo regressão linear, algumas premissas sobre a base de dados são necessárias. As principais são:

a) Linearidade Dos Parâmetros

Pela própria definição, a hipótese básica consiste na existência de uma relação linear entre as variáveis independentes e a variável independente. Entretanto, não é aplicável a variáveis estritamente lineares, de modo que é possível, realizar linearizações como, por exemplo, aplicar em expressões exponenciais, de modo que possam ser linearizadas por logaritmos de modo que.

$$Y = e^{\beta'_0 x_1^{\beta_1} \dots x_n^{\beta_n}} \quad (3.4)$$

A equação (4.4) pode ser transformada numa função linear dada em (3.5)

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x_1) + \dots + \beta_n \ln(x_n) \quad (3.5)$$

b) Inexistência de multicolinearidade

Nenhuma variável do modelo pode ser descrita como combinação linear das demais variáveis. Matematicamente, não é possível existir uma variável x_i tal que:

$$x_i = \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \dots + \lambda_n x_n \quad (3.5)$$

Vale ressaltar que a colinearidade afeta o valor dos erros padrão dos *slopes* β , o que aumenta o risco de falso negativo no teste de significância. Essa hipótese foi utilizada ao selecionar as variáveis e dividir em subconjuntos maiores, dessa forma podem existir várias variáveis que se referem a concentração de passageiros por exemplo, e na medida do possível escolheu-se apenas uma.

c) Homoscedasticidade

A hipótese de homoscedasticidade propõe que para um valor de x , a variância, e consequentemente o desvio padrão, de ϵ serão constantes ao longo do tempo e independentes de x . A equação (3.6) demonstra matematicamente essa hipótese:

$$\text{Var}(\epsilon|x) = \sigma^2 \quad (3.6)$$

d) Distribuição normal de erros

Essa hipótese diz que os termos de erros representam uma distribuição normal. Essa hipótese é importante para validar os testes de significância F e t que serão discutidos em breve. Matematicamente, para uma média zero e variância σ , a hipótese é dada pela equação (3.7)

$$\epsilon \sim \text{Normal}(0, \sigma^2) \quad (3.7)$$

e) Média condicional nula

Como já dito, o termo de erros mostra casos que não puderam ser observados na amostra, mas que fazem parte do modelo de explicação. A média condicional zero, indica que para cada período t , o valor esperado do erro de cada observação medida é nulo, e, portanto, ao termo de erro, não sofre influência de nenhuma variável independente. Matematicamente

$$E(\epsilon|x) = 0 \quad (3.8)$$

Essa hipótese é válida ao utilizar uma estimação de efeitos fixos que reduz a variação do erro com a variação temporal.

f) Ausência de autocorrelação

Essa hipótese significa dizer que os erros em diferentes períodos de tempo são sempre não correlacionados, ou seja:

$$Corr(\epsilon_t|\epsilon_s) = 0 \quad (3.9)$$

g) Estimadores

Dada a regressão, o objetivo é estimar os coeficientes β de forma a modelar a situação. No estudo, serão usadas 2 formas de estimadores, o método dos mínimos quadrados ordinários e uma variação da regressão múltipla chamada de regressão Lasso.

3.1.3 Mínimos quadrados ordinários

O método mais comum, é através dos mínimos quadrados ordinários MQO, ou do inglês OLS (*Ordinary Least Squares*). Esse método consiste na minimização dos quadrados dos resíduos estimados $\hat{u}_i$, dado pela diferença entre o valor real e o valor calculado pelo modelo. Ou seja, sendo Y_i o valor da amostra e $\hat{Y}_i$ o valor estimado, o método tenta minimizar Z , dado por:

$$Z = \sum \hat{u}_i = (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_1 - \hat{\beta}_2 x_2 - \dots - \hat{\beta}_k x_k)^2 \quad (3.10)$$

Portanto os valores de β_i são as soluções que minimizam a variável Z dada pela equação (3.10)

3.1.4 Estimador Lasso

A regressão Lasso, que é um método de regressão penalizado desenvolvida por Tibshirani (1996) como uma alternativa a Regressão *Ridge*. A regressão Lasso sugere uma forma de selecionar subconjuntos de variáveis que melhor explicitam a variável dependente. Um exemplo dessa aplicação, foi o estudo de Wang et al. (2018), que sugeriram uma forma de predição de consumo de combustível de navios selecionando parâmetros usuais de viagens marítimas. Segundo Tibshirani (1996), a regressão Lasso minimiza a soma residual dos quadrados, sujeito a soma dos valores absolutos dos coeficientes, limitada a uma constante máxima. Essa restrição, indica que os coeficientes na regressão das variáveis menos relevantes ao modelo, encolham ao valor de 0, podendo ser eliminadas das variáveis explicativas da regressão.

Logo, a forma de encontrar os estimadores β , é encontrar a solução que minimize o valor de Z dado na equação (3.11)

$$z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^j (y_i - b_0 - x_i^t \beta)^2 + \lambda \sum_{i=1}^m |\beta_i| \quad (3.11)$$

3.1.5 Testes de significância estatística

Após estabelecer as hipóteses do modelo, estimar os β resta uma parte essencial do estudo econométrico referente a análise da qualidade do modelo. Logo, os testes de significância estatísticos são calculados a fim de verificar a real explicabilidade do modelo em casos reais. Os principais testes são o teste F, o cálculo do R^2 e o teste t.

O teste F, que gera a estatística F, indica o quão estatisticamente significativo foi o conjunto de variáveis independentes x. A hipótese nula desse teste considera o

caso da regressão não explicando a variável dependente y , e por isso, testa se essas variáveis geram algum efeito sobre a variável explicada, considerando o caso de todos os coeficientes nulo. Sendo H_0 a hipótese nula e H_a a hipótese alternativa, a equação (3.12) e (3.13) explicam

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \quad (3.12)$$

$$H_a: \exists k \mid \beta_k \neq 0 \quad (3.13)$$

O valor da estatística F é dado pela equação (3.14)

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / k}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1 - k)} \quad (3.14)$$

Mais importante ainda, é realizar o teste individualmente sobre cada coeficientes, que é o chamado teste-t, que mensuram o efeito de uma variável específica sobre a variável dependente, ou seja:

$$H_0: \beta_i = 0 \quad (3.15)$$

$$H_a: \beta_i \neq 0 \quad (3.16)$$

Dessa forma, quando a hipótese nula é rejeitada, ou seja, o coeficiente é não nulo, a variável é útil da predição. A forma de determinar a rejeição ou não, consiste na determinação de uma probabilidade de não ter falso negativo, caso a probabilidade seja alta, ou falso positivo caso baixa. Usualmente, adota-se tais níveis de significância da ordem de 1%, 5% e 10%, e essa quantia é chamada de p-valor, logo um p-valor baixo leva à rejeição da hipótese nula.

Por fim, o modelo pode explicar muito ou pouco da amostra, o que é conferido pelo R^2 . É importante enfatizar que o R^2 apenas mostra um ajuste, não verificando presença de viés, nem relação de causa e efeito.

Um R^2 de 80% significa que 80% da variável dependente foi explicada. Matematicamente definido por

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.17)$$

Contudo, para evitar com que uma regressão com muitas variáveis aumente artificialmente o R^2 , o R^2 -ajustado é utilizado e penalizar a adição de mais variáveis. O R^2 -ajustado, poder ser representado por $\bar{R}^2$, dado pela equação (3.18).

$$R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - 1 - k} \quad (3.18)$$

3.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO ECONOMETRICO

3.2.1 Descrição da Base de Dados

Para a realização desse trabalho, foi utilizada a base de dados do STATAER compilada pelo Núcleo de Transporte Aéreo ITA. A base consiste de uma sequência mensal desde 2003 até 2018, com 206.433 observações e 1.206 variáveis de estatísticas de voos domésticos brasileiros. A base contém variáveis referentes ao voo, preço, indicadores econômicos, indicadores de aviação e muitos outros. Na base, não há distinção entre aeroportos, por exemplo, voos do Aeroporto de Santos Dummont (SDU) e Galeão (GIG) são unificados como “RIO”. Além disso, são consideradas rotas de acordo com a origem e destino, ou seja, o par de aeroporto São Paulo - Rio de Janeiro (SAO - RIO) é diferente de Rio de Janeiro - São Paulo (RIO - SAO). A Figura 6, mostra uma pequena amostra da base utilizada.

Figura 6- Amostra da base de dados do STATAER

	ym	origin	dest	freq	loge_cstg_id	mean_id	freq_id	loge_cstg_id	loge_cstg_id	loge_cstg_id	mean_id	loge_cstg_id	eff_id
1	200308	AAC-BRZ/200308	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
2	200309	AAC-BRZ/200309	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
3	200310	AAC-BRZ/200310	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
4	200311	AAC-BRZ/200311	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
5	200312	AAC-BRZ/200312	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
6	200401	AAC-BRZ/200401	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
7	200402	AAC-BRZ/200402	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
8	200403	AAC-BRZ/200403	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
9	200404	AAC-BRZ/200404	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
10	200405	AAC-BRZ/200405	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
11	200406	AAC-BRZ/200406	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
12	200407	AAC-BRZ/200407	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
13	200408	AAC-BRZ/200408	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
14	200409	AAC-BRZ/200409	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
15	200410	AAC-BRZ/200410	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
16	200411	AAC-BRZ/200411	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
17	200412	AAC-BRZ/200412	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
18	200501	AAC-BRZ/200501	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
19	200502	AAC-BRZ/200502	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
20	200503	AAC-BRZ/200503	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
21	200504	AAC-BRZ/200504	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
22	200505	AAC-BRZ/200505	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
23	200506	AAC-BRZ/200506	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
24	200507	AAC-BRZ/200507	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
25	200508	AAC-BRZ/200508	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
26	200509	AAC-BRZ/200509	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
27	200510	AAC-BRZ/200510	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
28	200511	AAC-BRZ/200511	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104
29	200512	AAC-BRZ/200512	BR	5104007	5104	BR	5104007	5104007	5104007	5104007	5104	5104007	5104

Fonte: STATAER (2020)

3.2.2 Modelo empírico

O objetivo do estudo, é a análise de como funciona a renovação e modernização de frotas aéreas em companhias brasileiras. Pela metodologia da regressão, a variável de interesse foi definida como $FLMOD = 1/agemod$, onde *agemod* representa a idade média de projeto da aeronave em determinada rota analisada, no STATA-ER de modo que seu inverso representa o quão moderno que a frota.

Conforme discutido no item 2, estratégias de aquisição de novas frotas demandam um planejamento prévio, por isso todas as variáveis dependentes utilizadas no modelo, foram defasadas em 3 anos. Essa estratégia foi utilizada porque as características de um ano só gerarão impacto na idade da frota após um tempo de planejamento para a aquisição de novas aeronaves, e a premissa utilizada é um tempo médio de 3 anos para começar a surtir efeito.

O modelo é dado por:

$$\begin{aligned} \ln FLMOD = & \beta_0 + \beta_1 * \ln FLMOD_{3Y} + \beta_2 * \ln FLREN_{3Y} + \beta_3 * \ln FUELP_{3Y} \\ & + \beta_4 * \ln PAX_{3Y} + \beta_5 * \ln HHI_{3Y} + \beta_6 * \ln CAMBIO_{3Y} + \beta_7 * \ln FUELEFF_{3Y} \\ & + \beta_8 * \ln RPK_{3Y} + \beta_9 * \ln REVENUE_{3Y} \\ & + \beta_{10} \sum PRES_{G*3y} + \beta_{11} \sum SAIRC_{G*3y} + \epsilon \end{aligned}$$

Variáveis independentes

- *FLMOD* é o índice de modernização de frota, dado por $100/agemod$ onde *agemod* é a idade média de projeto da frota na rota.

Unidade: 1/ano

- *FLRENB* é o índice de renovação da frota, dado $100/age$ onde *age* é a idade média de uso da frota na rota.

Unidade: 1/ano

- *FLREN* corresponde a diferença entre *FLRENB-FLMOD*, ou seja é a parcela da renovação que não consiste de modernização.

Unidade: 1/ano

- *FUELLP*: Mínimo preço do querosene de aviação na rota já incluso os impostos.

Unidade: 1/ano

- *PAX*: Representa o total de passageiros pagos na etapa por voo.

Unidade: pax/voo.

- *HHI*: O Índice de Herfindahl-Hirschman (*hhi*), representa a soma dos quadrados dos Market share das companhias na rota, o $HHI = 10000 * hhi$

Unidade: adimensional

- *CAMBIO*: Cotação do dólar em real no momento do voo.

Unidade: real/dólar

- *RPK*: *Revenue por kilometer*, representa a receita obtida por quilômetro voado.

Unidade: reais/km

- *FUELEFF*: Representa a receita por litro de combustível consumido.

Unidade: reais/l

- *REVENUE*: Receita total do voo

Unidade: reais

- *PRES_g*: Variável dummy aérea representa a presença ou não da companhia “g” naquela rota

Unidade: adimensional

- *SAIRC_g*: Variável que representa a proporção de vôos com aeronaves modelo “g” na rota

A escolha das variáveis foi embasada com base nos tópicos abordados no referencial teórico e foram definidas a partir de um conjunto maior dado por:

- Variáveis relativas a frota: São as variáveis que representam as características atuais como *FLMOD*, *FLREN*

- Variáveis referentes a parte econômica: Variáveis que mostram informações econômicas para as companhias como por exemplo *FUELLP*, *CAMBIO*, *REVENUE*, *FUELEF*

- Variáveis das companhias: Variáveis referentes a informações de rota, mercado, aeronaves entre outros, como *HHI*, *LF*, *ASIZE*, *RPK*, *SAIRC_g*, *PRES_g*.

A Figura 7 exemplifica o processo de escolha de variáveis, e seu conjunto mostrando como foi realizado o estudo.

Figura 7- Fluxograma de escolha de variáveis

Fonte: Elaboração própria (2020)

Para as variáveis, as descrições estatísticas contendo número de observações, máximo, mínimo, média, desvio padrão, constam na Tabela 10.

Tabela 10- Estatísticas descritivas das variáveis

Variável	N	Média	SD	Min	Max
FLMOD	115234	5,4	2.06	1.96	23.54
FLRENB	115234	6,8	2.57	2.33	98.92
lnFLREN	115234	0,23	0.15	0.000	2.95
FUELP	115336	2,43	0.63	1.06	4.19
PAX	115336	70,78	41.76	2.73	194
HHI	115336	7323	2684.8	2058	10000
CAMBIO	115336	9,70	10.27	0.03	95.0
FUELEFF	115336	17,06	8,07	0,64	67,39
RPK	115336	9.4e+6	2,2E+7	4006	2,9E+8
LF	115336	0,65	0,16	0,12	0,93
REVENUE	55994	2,27e6	4,85e6	47,43	8,01e7
ASIZE	115336	105	50.67	9.	207.46

Fonte: Elaboração própria a partir do STATAER

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definido o modelo anterior, a variável dependente FLMOD irá mensurar o nível de modernização de uma companhia aérea, com base em variáveis dos 3 anos

anteriores. Utilizando os resultados desse modelo, é possível entender como é o nível de modernização de uma companhia a partir dos dados atuais, e entender que variáveis geram uma correlação positiva ou negativa na modernização.

Para os modelos, foi realizada a aplicação de um estimador de efeitos fixos. Isso foi feito para garantir que os coeficientes angulares dos estimadores sejam invariantes no tempo e poder considerar todos os anos de observações. Foram feitas 3 estimações conforme a seguir:

- 1) Modelo com aplicação de efeitos fixos, sem regressão Lasso e sem o uso de controles de *dummies*.
- 2) Modelo com aplicação de efeitos fixos e uso de controles $SAIRC_g$, $PRES_g$.
- 3) Aplicação de efeitos fixos e uso da regressão Lasso penalizando os controles $SAIRC_g$, $PRES_g$.

Os resultados de cada estimação, encontram-se na Figura 8 contendo todas as elasticidades das variáveis e suas significâncias estatísticas.

Figura 8- Estimações realizadas

	(1) lnFLMOD	(2) lnFLMOD	(3) lnFLMOD
lnFLMOD_3Y	0.0388***	0.6688***	0.6688***
lnFLREN_3Y	0.0659***	0.2090***	0.2091***
lnFUELP_3Y	0.1221***	0.0336***	0.0335***
lnPAX_3Y	-0.2614***	-0.0681***	-0.0682***
lnHHI_3Y	0.0106**	-0.0045	-0.0044
lnCAMBIO_3Y	-0.5725***	-0.0199	-0.0193
lnFUELEFF_3Y	0.2221***	0.0745***	0.0746***
lnRPK_3Y	-0.0162***	-0.0037	-0.0037
lnREVENUE_3Y	0.0513***	0.0234***	0.0234***
RMSE	0.1309	0.1212	0.1212
RMSE_CV	0.6017	0.3065	0.3065
N_Obs	27,968	27,968	27,968
N_Vars	9	83	52
FE	yes	yes	yes
Controls	no	yes	yes
Lasso	no	no	yes

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

Fonte: Resultado estatístico STATAER

O primeiro resultado que chama atenção, foi a comparação entre o modelo 2 sem a presença do estimador Lasso, e o modelo 3, com a aplicação do estimador Lasso. No modelo 2, considerando os controles, o modelo apresentava 85 variáveis, entretanto com a aplicação do algoritmo do Lasso, o número de variáveis representativas do modelo foi de 53, uma redução de 32 variáveis explicativas.

Entretanto, apesar do estimador Lasso ter eliminado essas variáveis, nenhuma variável endógena foi eliminada, isso sugere que o modelo proposto é uma boa seleção de variáveis para estimar o modelo.

Outro ponto que permite concluir a validade do modelo, é o fato de com exceção de 2 variáveis, quase todas terem uma elevada significância estatística com p-valor menor que 1%.

O modelo mostrou uma correlação positiva com a variável $\ln\text{FLMOD_3Y}$, o que comprova um resultado que já era esperado de que uma companhia que tem um elevado nível de modernização, tem idades de projeto baixa e em três anos tende a manter um comportamento assim. O mesmo acontece para $\ln\text{FLREN_3Y}$.

Quanto às variáveis referentes aos combustíveis, pode-se constatar uma relação positiva entre a modernização e o preço do combustível. Isso mostra uma relação condizente com Holloway (2008), que afirma que as aeronaves mais modernas podem ajudar na economia de combustível, logo um aumento no preço do combustível, pode estimular uma modernização para mitigar esses efeitos. É claro que é necessário analisar se o custo dessa modernização compensa a possível economia com combustível, de modo que rotas pouco movimentadas essa correlação possa ser diferente. Como a base de dados desse estudo contem bastante rotas movimentadas, esse resultado pode ter sido enviesado para características de rotas movimentadas.

Um resultado que surpreende, é o efeito da variável PAX, pois a intuição diz que o quanto mais passageiros por voos, financeiramente a companhia é mais sólida e pode se renovar mais. Entretanto, o que é constatado, é uma correlação negativa nessa variável. Esse resultado pode ser decorrente de um elevado número de passageiros por voo não gerar um estímulo para a companhia melhorar, uma vez que, como o objetivo da companhia é o maior número de clientes e uma rota lotada, gera a sensação de que está tudo ocorrendo bem.

As variáveis que consideram a receita são $\ln\text{REVENUE}$, e $\ln\text{FUELEF}$. Para $\ln\text{REVENUE}$ e $\ln\text{FUELLF}$, mostram que uma relação positiva para a modernização,

sugerindo que companhias mais rentáveis tendem a ter uma vantagem competitiva que facilita a modernização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa desenvolveu um modelo econométrico para tentar evidenciar fatores que motivem as empresas a gerar um processo de modernização de suas frotas. Através de um estudo de características defasadas de 3 anos, foi possível encontrar fatores para auxiliar as empresas no processo de planejamento de frota. Os resultados mostraram como variáveis de companhias aéreas, variáveis de frota e variáveis econômicas têm efeito na modernização.

Uma das limitações do trabalho, foi a limitação do uso de uma base de dados que considera apenas voos domésticos. Naturalmente, uma companhia que opera voos nacionais e internacionais, realiza uma análise global de suas finanças para a decisão, e também no processo de modernização pode ter aeronaves que alternem entre voos domésticos e internacionais, o que claramente afetaria o processo e tomada de decisão de novas aquisições.

Pode ser viável através desses resultados o estabelecimento de políticas públicas ou até mesmo com parcerias privadas a fim de incentivar e facilitar a renovação/modernização de frotas. Pode-se por exemplo, ter incentivos fiscais ou de financiamentos para companhias aéreas menos capitalizadas. Em geral essas empresas passam por vários problemas abordados nesse estudo como poucos slots, pouca frequência de voo, e custos operacionais proporcionalmente altos.

Além disso, pensando em companhias aéreas, é interessante o uso de aviões compartilhados para rotas em comum. Por exemplo, a latam e gol compartilharem o mesmo voo com cada companhia recebendo de suas vendas. Isso geraria um risco e custo dividido entre as empresas e a melhor em termos de marketing e divulgação seria beneficiada

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se o uso de uma base de dados mais ampla com voos internacionais bem como a análise de frotas feita no tópico 2.3 para companhias internacionais. Além disso, essa pesquisa encontrou apenas um modelo econométrico que pode ser refinado e ampliado com o uso de mais variáveis representativas, ou outros métodos de penalização. No estudo, utilizou-se a regressão Lasso, que poderia ser ampliada para uma regressão *Elastic-*

net por exemplo. Outra recomendação pode ser separar o banco de dados em 2 categorias, uma com rotas extremamente movimentadas e outras com rotas menos movimentadas, dessa forma é possível tentar entender isoladamente o efeitos da frequência de voos na modernização e renovação.

REFERÊNCIAS

ABEAR. **Panorama da Aviação Brasileira**. 2020. Disponível em <<http://panorama.abear.com.br/dados-e-estatisticas/custos-das-empresas/>> Acesso em 19 set. 2020.

ABEAR. **Panorama da Aviação Brasileira**. 2020. Disponível em <<http://panorama.abear.com.br/dados-e-estatisticas/series-historicas/#c>> Acesso em 11 ago. 2020.

AIRFLEETS AVIATION. **Aviation website for aircraft and airline information**. 2020. Disponível em: <https://www.airfleets.net/home/>. Acesso em 18 set. 2020.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do transporte aéreo 2018**. 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/anuario-do-transporte-aereo/dados-do-anuario-do-transporte-aereo>. Acesso em 19 set. 2020.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Demanda e Oferta do Transporte Aéreo**. 2020. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/envio-de-informacoes/relatorio-demanda-e-oferta-do-transporte-aereo-empresas-brasileiras>. Acesso em 18 set. 2020.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Empresas aéreas brasileiras transportam 104,4 milhões de passageiros em 2019**. 2020. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/noticias/2020/empresas-aereas-brasileiras-transportam-104-4-milhoes-de-passageiros-em-2019>>. Acesso em: 29 jun. 2020.

AZUL: **Azul linhas aéreas fecha acordo de leasing de US\$ 200 milhões com banco chinês**. 2015. Disponível em: <<https://www.voeazul.com.br/imprensa/releases/azul-linhas-aereas-fecha-acordo-de-leasing-de-us-200-milhoes-com-banco-chines-1383355026929>> Acesso em: 01 out. de 2020.

BABIC, D.; KALIC, M. **Modelling the estimation of the airline profit in case of purchasing new slots for increasing flight frequency**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 20, pp. 1069–1079, 2011.

BANHOLZER, Marília, Azul investe em renovação de frotas para baixar tarifas aéreas, 2019. **Uol Notícias**. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/canal/economia/nacional/noticia/2020/01/23/azul-investe-em-renovacao-da-frota-para-baixar-tarifas-aereas-398034.php>>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BOEING, **Gol, Boeing Announce Order for 60 737 MAXs**, 2018. Disponível em: <<https://www.boeing.com/commercial/customers/gol-airlines/brazils-largest-low-cost-airline-to-use-737-max.page>>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BOEING, **International Airlines Group Announces Intent to Buy 200 Boeing 737 Max Airplanes**, 2019. Disponível em: <<https://boeing.mediaroom.com/2019-06-18->

International-Airlines-Group-Announces-Intent-to-Buy-200-Boeing-737-MAX-Airplanes>. Acesso em: 24 jun. 2020.

CAETANO, Daniel Jorge. **Modelagem integrada para a programação de voos e a alocação de frotas**: abordagens baseadas em programação linear inteira e na meta-heurística colônia de formigas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

CARTER, D.; ROGERS, D. A.; SIMKINS, B. J. **Does fuelhedging make economicsense?** The case of the US airline industry. The Case of the Us Airline Industry (September 16, 2002). AFA. 2002.

CLARK, Paul. **Buying the Big Jets, Fleet Planning for Airlines**. Aldershot: Asqate, 2001.

COBBS, R.; WOLF, A. **Jet fuel hedging strategies**: options available for airlines and a survey of industry practices. 2004. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.613.5440&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em 24 jun. 2020.

CONSULTORIARR: **Tabela ICMS 2020 atualizada**: veja quanto pagar de imposto aqui. 2020. Disponível em: < <https://www.consultoriarr.com.br/tabela-icms-2020-atualizada-veja-quanto-pagar-de-imposto-aqui> > Acesso em: 28 set. 2020.

CRAVO, Beatriz Malerba. A alocação de slots e a concorrência no setor de transporte aéreo. **Journal of Transport Literature**, v. 8, n. 1, p. 159-177, 2014.

DE MEDEIROS, J. G. et al. Impacto do Envelhecimento da Frota Brasileira na Segurança de Voo. **Revista Conexão SIPAER**, 8(1), 25-32. 2017.

FILHO, Alberto Huet Moraes de Arruda. **Estudo sobre a presença de Companhias Aéreas de Baixo Custo (LCC) nos Principais Países, segundo o PIB**. Trabalho de conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.

GARGIULO, Flávio. **Indústria de construção aeronáutica, o caso da EMBRAER: história e avaliação**. Dissertação apresentada ao Mestrado em Finanças e Economia Empresarial. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/2157/055204018-Flavio_Riva.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 25 ago. 2020.

GEFFERT, N., **Leasing on the rise**, 2015. Disponível em: <<https://aeroreport.de/en/aviation/leasing-on-the-rise>>. Acesso em: 24 jun. 2020.

GIBSON, W.; MORRELL, P. Airline finance and aircraft financial evaluation: evidence from the field. **In Conference conducted at the 2005 ATRS World Conference**. 2005.

GOMES, Sérgio Bittencourt Varella; FONSECA, Paulus Vinicius da Rocha. **Análise econômico-operacional do setor de transporte aéreo: indicadores básicos**.

2014. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2861>. Acesso em 15 set. 2020.

HARTMAN, Joseph C. An economic replacement model with probabilistic asset utilization. **lie Transactions**, v. 33, n. 9, p. 717-727, 2001.

HOLLOWAY, Stephen. **Straight and level: practical airline economics**. 3rd ed. Aldershot, England: Ashgate Publishing, 2008.

IATA, **Airline disclosure guide aircraft acquisition**. Aircraft acquisition cost and depreciation. 2016. Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/4a4b100c43794398baf73dcea6b5ad42/airline-disclosure-guide-aircraft-acquisition.pdf>. Acesso em 25 set. 2020.

INDEXMUNDI. Banco de Dados. **Country Facts**. 2020. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/>. Acesso em 15 out. 2020.

MARCUZZO JUNIOR, Adílio. **Legislação Aeronáutica Comentada: ênfase em manutenção**. São Paulo:ASA, 2008.

MIRANDA, Victor de Abreu Pinheiro. **Atrasos e cancelamentos de voos: Slots aeroportuários atenuam o problema dos passageiros?** Trabalho de conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2017.

MOSTARDEIRO, Priscila Hoehr. **Estudo do caso de falência da VARIG à luz da Cadeia de Valor de Porter**. Dissertação de Mestrado em Transportes. Universidade De Brasília Faculdade De Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 2019.

MOTOTOK: TOP 10 **Aircraft leasing companies**. 2018. Disponível em: < <https://www.mototok.com/blog/top-10-aircraft-leasing-companies/> > Acesso em: 12 out. 2020.

NARCIZO, Rodolfo Romboli. **Análise de causas e consequências da padronização de frota de companhias aéreas brasileiras**. Dissertação de mestrado em Transporte Aéreo e Aeroportos- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2018.

OUM, T. H.; ZHANG, A.; ZHANG, Y. **Optimal demand for operating lease of aircraft**. Transportation Research Part B 34, 17–29, 2000.

PLANELOGGER. **Online spotters logbook and aircraft registration**. 2020. Disponível em: <https://www.planelogger.com/>. Acesso em 16 set. 2020.

SANGLARD, Renan Nideck. **Atratividade de voos internacionais de companhias aéreas estrangeiras em aeroportos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013.

SIMÕES, André Felipe. **O transporte aéreo brasileiro no contexto de mudanças climáticas globais: emissões de Co2 e alternativas de mitigação**. Tese Doutorado. Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

TIBSHIRANI, Robert. Regression shrinkage and selection via the lasso. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 58, n. 1, p. 267-288, 1996.

WANG, Shengzheng et al. Predicting ship fuel consumption based on LASSO regression. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 65, p. 817-824, 2018.

WEI, Wenbin; HANSEN, Mark. Airlines' competition in aircraft size and service frequency in duopoly markets. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 43, n. 4, p. 409-424, 2007.

WEI, Wenbin; HANSEN, Mark. Cost economics of aircraft size. **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, v. 37, n. 2, p. 279-296, 2003.

WEI, Wenbin; HANSEN, Mark. Impact of aircraft size and seat availability on airlines' demand and market share in duopoly markets. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 41, n. 4, p. 315-327, 2005.

XCHANGE: **TOP 10 Container Leasing Companies**| Market Overview. 2020. Disponível em: < <https://container-xchange.com/blog/top-10-container-leasing-companies/>> Acesso em: 21 set. de 2020.

YAN, Shangyao; CHEN, Shin-Chin; CHEN, Chia-Hung. Air cargo fleet routing and timetable setting with multiple on-time demands. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 42, n. 5, p. 409-430, 2006.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 26 de novembro de 2020	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-078/2020	4. N° DE PÁGINAS 50
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Modelo econométrico de renovação e modernização de frotas aéreas			
6. AUTOR(ES): Lucas Azevedo da Conceição			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: renovação de frotas aéreas, modernização de frotas aéreas, econometria, regressão Lasso, regressão linear			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Frotas aéreas; Regressão linear; Econometria; Operações de linhas aéreas; Administração de transportes.			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional () Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil Aeronáutica Orientador: Alesssandor Vinícius Marques Publicado em 2020			
11. RESUMO: Um dos problemas de companhias aéreas é conseguir escolher qual a melhor situação para aquisição de frotas aéreas, se é via modernização ou renovação de aeronaves. Dessa forma, para entender o funcionamento dessas escolhas, é necessário estudar como funciona a parte de aquisição de aeronaves pelas companhias. Este trabalho analisa um banco de dados compilado pelo Núcleo de Economia do Transporte Aéreo do ITA (NECTAR- ITA), com diversas variáveis de voos domésticos desde 2003 até 2018. Utiliza-se de um modelo econométrico com Regressão Lasso de modo a penalizar as variáveis não interessantes ao modelo proposto. Os resultados obtidos mostram quais variáveis são estatisticamente relevantes e como elas afetam o modelo. O modelo mostrou que variáveis relacionadas ao aumento do preço de combustível tem uma correlação positiva com o nível de modernização de uma companhia aérea, bem como as variáveis referentes a preço. Também foi possível observar que o tamanho das aeronaves, principalmente quanto maiores forem, maior é a tendência de modernização.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			