

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LUAN KEVIN FERREIRA MONQUELAT BERMUDEZ

**WINDOWLESS PLANES: UMA VISÃO ECONÔMICA, ESTRUTURAL E
PSICOLÓGICA DA SUBSTITUIÇÃO DE JANELAS POR TELAS EM
AERONAVES COMERCIAIS**

SÃO CARLOS

2020

Luan Kevin Ferreira Monquelat Bermudez

**WINDOWLESS PLANES: UMA VISÃO ECONÔMICA, ESTRUTURAL E
PSICOLÓGICA DA SUBSTITUIÇÃO DE JANELAS POR TELAS EM
AERONAVES COMERCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Aeronáutica, complementar a
disciplina SAA0201 - Projetos de Aeronaves II,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro Aeronáutico.

Orientador: Hernan Dario Cerón Muñoz

São Carlos

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).



B516w Bermudez, Luan Kevin Ferreira Monquelat
 WINDOWLESS PLANES: UMA VISÃO ECONÔMICA,
ESTRUTURAL E PSICOLÓGICA DA SUBSTITUIÇÃO DE JANELAS POR
TELAS EM AERONAVES COMERCIAIS / Luan Kevin Ferreira
Monquelat Bermudez; orientador Hernan Dario Cerón
Muñoz. São Carlos, 2020.

 Monografia (Graduação em Engenharia Aeronáutica)
-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2020.

 1. Windowless. 2. Plane. 3. Análise. 4. Economica.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Luan Kevin Ferreira Monquelat Bermudez
Título do TCC: Windowless planes: <i>uma visão econômica, estrutural e psicológica da substituição de janelas por telas em aeronaves comerciais</i>
Data de defesa: 10/12/2020

Comissão Julgadora	Resultado
Jorge Henrique Bidinotto 	Aprovado
Instituição: EESC - SAA	
Professor Doutor Marcelo Leite Ribeiro 	Aprovado
Instituição: EESC - SAA	

Presidente da Banca: Jorge Henrique Bidinotto



(assinatura)

RESUMO

Janelas para passageiros em aeronaves comerciais existem por aspectos quase que puramente psicológicos, e, apesar de tal, exigem grande esforço das fabricantes para projetar, analisar estruturalmente e certificar todas as partes do avião por estas influenciadas. Muito dinheiro é investido na confecção e manutenção de janelas aeronáuticas, e bastante combustível a mais é utilizado para mover todo esse peso extra nos ares. A intenção deste trabalho é analisar sob aspectos estruturais, econômicos e ambientais (por parte das companhias aéreas, fabricantes e empresas de manutenção), e sob aspectos psicológicos (por parte dos passageiros, tripulantes e pilotos) a substituição de janelas por telas/telões/dispositivos visuais.

ABSTRACT

Windows for passengers in commercial airplanes exists for almost purely psychological aspects, and, besides, they require a huge effort from the manufacturers to project, analyze the structure and certify every single part of the airplane directly affected by them. A lot of money is inverted in the making and maintenance of aeronautical wings, and a plenty more fuel is burned to move all this extra weight through the air. The intention of this work is to analyze beyond structural, economic and environmental aspects (in respect to manufacturers, flight companies and maintenance enterprises) and psychological aspects (in respect to passengers, crew and pilots) the substitution of wings by displays.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Demoiselle voando	08
Figura 02 - Túnel de vento dos irmãos Wright, de 1916	09
Figura 03 - Otimização topológica de peças	10
Figura 04 - detalhamento de estruturas de janela em fuselagem	11
Figura 05 - Cabine de 737-200 (lançado em 1968) à esquerda versus Cabine de 737-MAX (lançado em 2017) à direita	12
Figura 06 - comparação entre display comum e display retina	13
Figura 07 - Acima, Boeing 747 da operadora British Airways, e, abaixo, A380 da companhia Fly Emirates.	15
Figura 08 - número de pixels do comprimento do avião e do comprimento dos corredores (51m e 11m) do 747-400	20
Figura 09 - número de pixels do comprimento do avião e do comprimento dos corredores (45m e 49m) do A380	21
Figura 10 - preço do galão de querosene aeronáutica nos últimos 6 anos	23
Figura 11 - Interior de um avião sem janelas (com displays nas laterais), imagem ilustrativa	27
Figura 12 - passageiros interagindo com display lateral, imagem ilustrativa	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - A380 vs 747-400	16
Tabela 02 - variáveis da fórmula de Roskam	17
Tabela 03 - variáveis da fórmula do LTH	18
Tabela 04 - Peso total estimado das janelas de uma aeronave	19
Tabela 05 - peso aproximado dos displays instalados	21
Tabela 06 - variáveis da equação de Breguet	22
Tabela 07 - Economia gerada pela remoção de janelas	24

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
JUSTIFICATIVA	11
COVID-19	13
OBJETIVO	14
DISCUSSÃO	15
AERONAVES SELECIONADAS PARA ANÁLISE	15
CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica em si surgiu de um sonho inovador: tornar possível ao homem voar.

Tal processo inicial só foi possível através de inúmeras melhorias constantes de eficiência (fazer uma máquina voadora desde sempre foi um grande desafio para construir uma estrutura ao mesmo tempo robusta e leve, dois conceitos que soam desafiadoramente desconsoantes), como é possível ver em algumas das primeiras máquinas voadoras (utilizando estruturas em bambu, fornecendo a rigidez da madeira mas com material interno naturalmente vazado, e panos e tecidos para as camadas de revestimento- para seu objetivo até então o suficiente), como o 14-BIS, os catapultados dos irmãos Wright e o Demoiselle, primeiro avião a ser produzido em série no mundo.



Figura 01 - Demoiselle voando

Fonte: (<http://www.avioesemusicas.com/wp-content/uploads/2012/08/demoiselle-100anos1-500x280.jpeg>, 2020)

A natural disputa econômica no mercado aeronáutico mantém aquecida a necessidade de inovações (reduzindo custos e aumentando lucros) que tragam eficiência às aeronaves.

Desde 1916 testes em túnel de vento são realizados com aerofólios nos EUA, período a partir do qual grandes melhorias em eficiência aerodinâmica foram alcançados. Com o tempo, apesar de a aerodinâmica ser um campo cada vez mais estudado, o desenvolvimento tecnológico nesse campo aplicado aos aviões acabou por estagnar (chegou-se num ponto a partir do qual é muito difícil obter expressivos ganhos de eficiência em aerodinâmica, a última novidade expressiva podem ser considerada à winglet, inovação advinda do estudo de efeitos tridimensionais de escoamentos em asas).

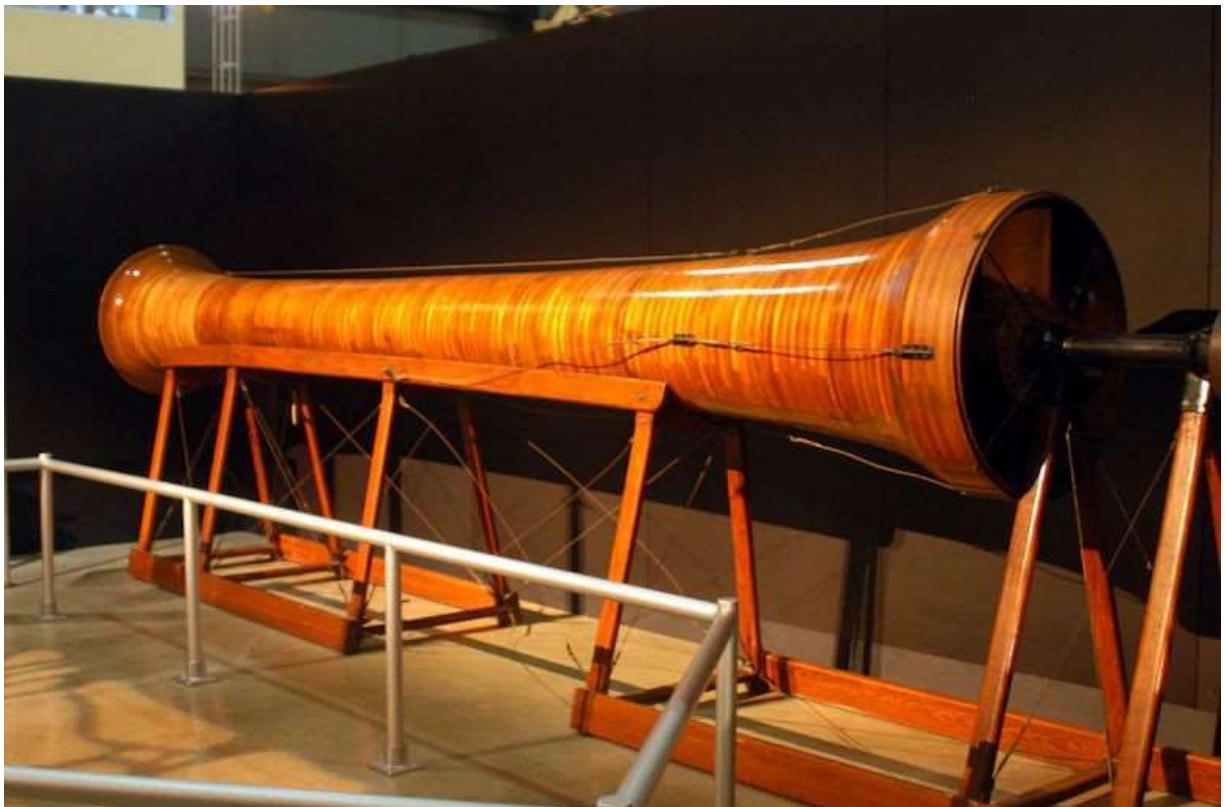


Figura 02 - Túnel de vento dos irmãos Wright, de 1916

Fonte: (<https://media.defense.gov/2005/Dec/18/2000575192/780/780/0/050401-F-1234P-002.JPG> , 2020)

Das estruturas metálicas, amplamente estudadas e otimizadas, pouco pode-se, também, retirar de inovador com otimização topológica.

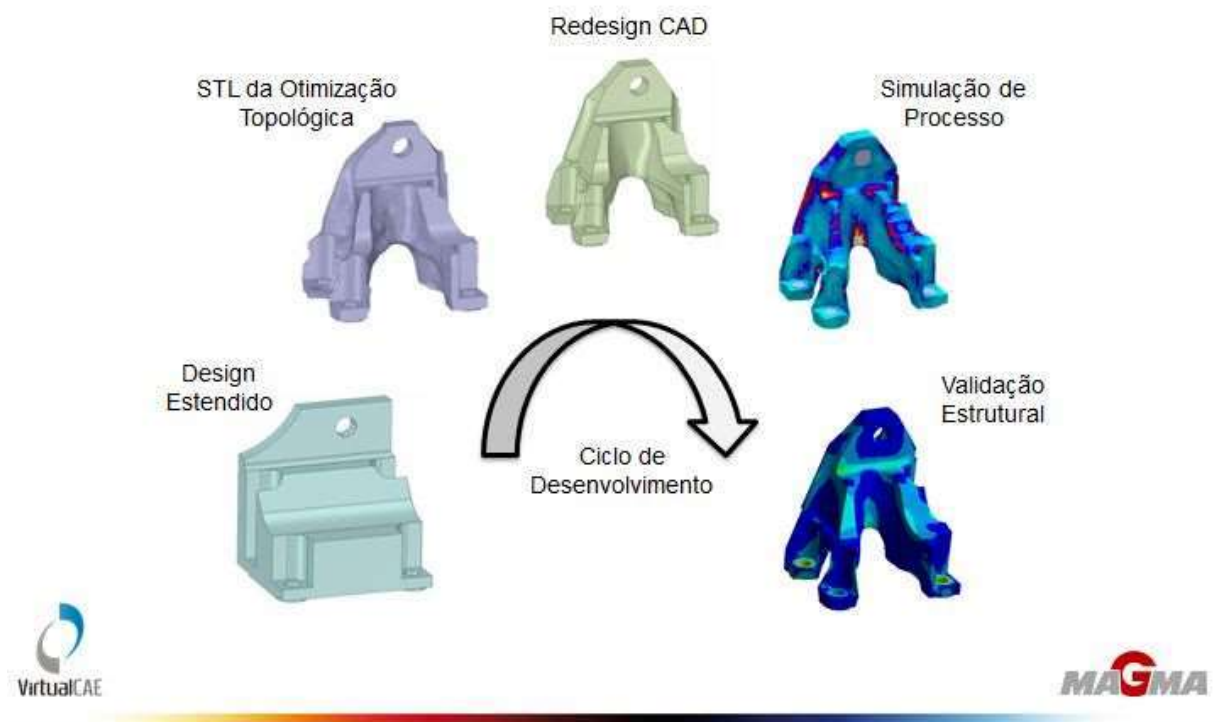


Figura 03 - Otimização topológica de peças (reduzir volume/peso e manter características estruturais)

Fonte: (http://virtualcae.com.br/wp-content/uploads/2016/01/Screenshot_4-1.png, 2020)

Recaem as expectativas de inovação e aumento de eficiência na otimização de sistemas de controle de voo (como os fly-by-wire) e modernização de sistemas de acionamento, estudo e otimização de aplicação de materiais (como compósitos, que apesar de não serem novidade no mercado, ainda tem modos de falha pouco conhecidos), novas formas de organizar a estrutura das aeronaves (que não só o modelo asa-fuselagem), remoção de componentes estruturais, redução de peso em embarcados e tecnológicos e criação de novos tipos de motor (que seriam uma inovação absurdamente complexa e inesperada).

JUSTIFICATIVA

Por muito tempo parecia inquestionável a necessidade de se colocar janelas para passageiros em aviões comerciais, que basicamente estão presentes por questões psicológicas (a sensação claustrofóbica que ficar sentado por muito tempo num ambiente reduzido é claramente desgastante).

Uma vez que o material da fuselagem é não translúcido, para se fazer uma janela é necessário gerar uma descontinuidade (“buraco”) na estrutura. Tal descontinuidade gera concentração de tensão natural, principalmente em cantos não arredondados.

Por conta dos efeitos de altitude atuantes, é necessário não apenas balancear a concentração de tensão na fuselagem, como também aplicar resistência à efeitos de pressurização, o que torna a implementação de janelas um processo estruturalmente demandante.

Fora todos os problemas com detalhamento de projeto, análise estrutural mais complexa, certificação de mais itens quanto à fadiga e crescimento de trincas, a instalação completa das janelas gera um considerável peso extra na aeronave.

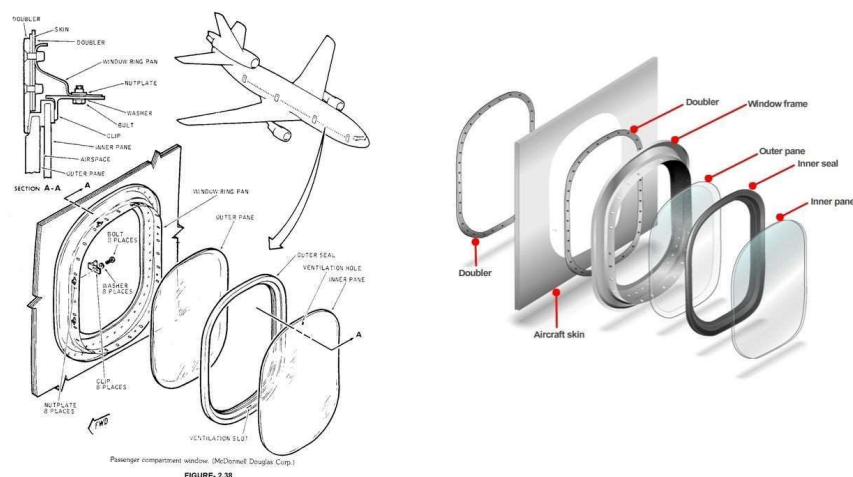


Figura 04 - detalhamento de estruturas de janela em fuselagem

Fontes: (<https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-226532e2ee4248c32e01dbd61c91a2cc> , 2020) e (<https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-34084d2c0af5eb00dd36a4299010bea6> , 2020)

Com a evolução tecnológica dos últimos anos, o surgimento de displays, com resolução cada vez mais alta e tecnologias que exigem cada vez menos espaço, foi aos poucos trazendo ao meio aeronáutico inovação e visionismo de futuro (melhorando primeiramente a cabine de pilotagem, com instrumentação de visualização mais simples/efetiva/confortável, logo em seguida trazendo distração aos passageiros com possibilidade de instalação de monitores para cada passageiro).



Figura 05 - Cabine de 737-200 (lançado em 1968) à esquerda versus Cabine de 737-MAX (lançado em 2017) à direita; é notável como o volume de informação no cockpit e sua facilidade de leitura mudaram em 50 anos!

Fonte: (<https://preview.redd.it/l9fz2pm88mrv.jpg?width=960&crop=smart&auto=webp&s=24995a0f34cfbd248895a6ce8746d6c81605afc7> , 2020)

Nos últimos anos, partindo de rumores para a realidade, foram fabricados os primeiros displays não-planos, e os primeiros displays comerciais “Retina” (com

resolução suficiente para que o olho humano não detecte pixelamentos na tela, que está em torno de 300dpi - pixels por polegada).

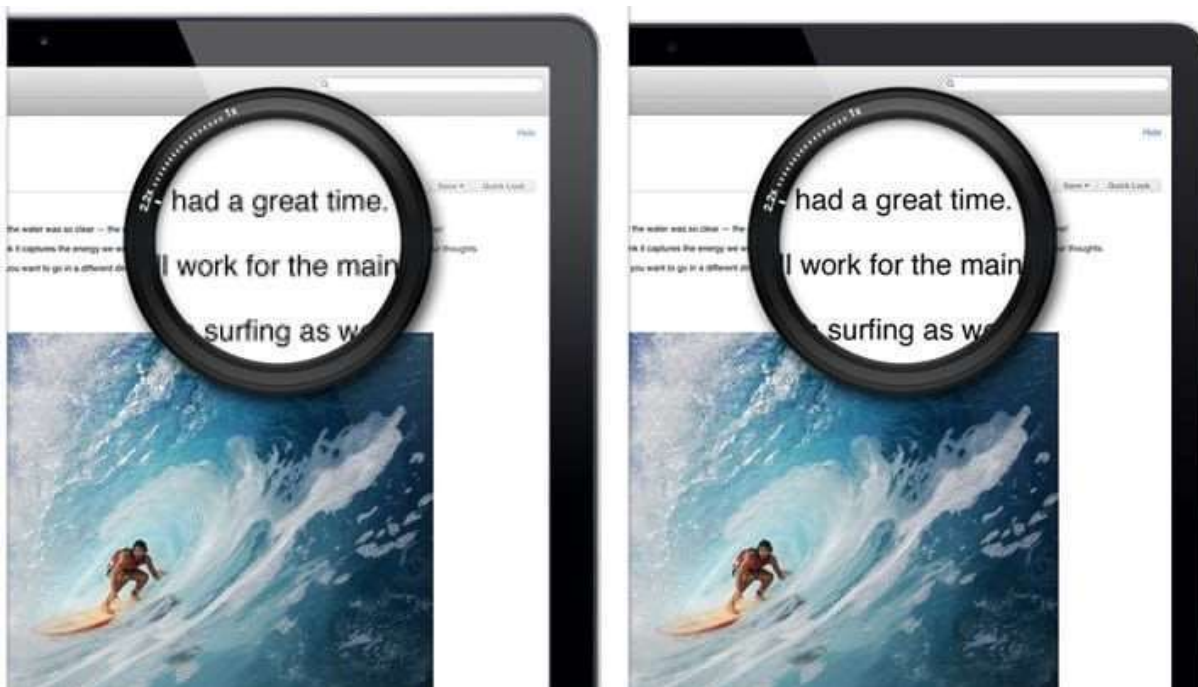


Figura 06 - comparação entre display comum e display retina (que tem resolução acima de 300dpi - pixels por polegada)

Fonte: (<https://www.oficinadanet.com.br/imagens/post/11662/750xNxrd01.jpg.pagespeed.ic.eef5e515a8.jpg> , 2020)

Com tais tecnologias combinadas, o que parecia antes impossível, agora é não só discutível como aplicável: tornar as cabines de passageiros em aviões comerciais com displays no lugar das janelas (e talvez até das paredes, gerando um ambiente completamente imersivo).

COVID-19

Desde o começo do ano de 2020, o mercado de transportes tem sido altamente impactado pelos efeitos de medidas adotadas para reduzir impactos gerados pelo Covid-19.

Uma vez que uma das principais medidas para evitar e reduzir a disseminação do vírus é reduzir aglomerações de pessoas e também migrações e movimentações desnecessárias, viagens em geral, e, principalmente, as coletivas, só devem acontecer em casos de estrita necessidade.

Assim sendo, não há forma de companhias aéreas manterem atualmente as operações como num período normal. Grandes companhias, como a Fly Emirates, começaram a pensar em reduzir suas frotas e/ou mudar os tipos de aviões em uso, e os aviões comerciais de grande porte para passageiros são os primeiros da lista a serem cortados numa eventual crise (que está acontecendo).

Desta forma, ganha-se uma justificativa extra para o projeto, que é trazer ideias de baratear o custo básico de operação dessa categoria de aeronaves para que, quando houver redução de demanda, a frota possa ser mantida por mais tempo com menos danos às empresas.

OBJETIVO

Analisar a viabilidade econômica da substituição de janelas por displays em fuselagens de aviões comerciais para companhias aéreas, e os impactos (com vantagens e desvantagens) gerados na experiência de voo dos passageiros, sejam psicológicos, ambientais ou de interação.

DISCUSSÃO

AERONAVES SELECIONADAS PARA ANÁLISE

Para realizar as análises, foram escolhidos dois modelos de aeronave amplamente utilizados no setor comercial, de marcas diferentes, porém de mesma categoria (aviões de passageiro de grande porte).

As aeronaves escolhidas foram o A380-800, da AirBus, e o 747-400, da Boeing.

O número de passageiros máximo de cada aeronave varia com sua configuração interna. Para os cálculos realizados, foram coletados os dados com maior número de passageiros possível, o que reflete dados mais coesos com a situação de uma companhia low-cost de vôos transcontinentais, que, por operarem com margem de lucro muito baixa, tornam bem-vinda toda e qualquer forma de reduzir custos operacionais.



Figura 07 - Acima, Boeing 747 da operadora British Airways, e, abaixo, A380 da companhia Fly Emirates.

Fonte: (<https://www.contatoradar.com.br/wp-content/uploads/2020/04/Capa-1024x595.jpg> , 2020)

Abaixo, algumas informações das duas aeronaves:

	A380	747-400	
número de janelas	220	210	
máximo de passageiros	525	568	
velocidade de cruzeiro	910	913	[km/h]
velocidade máxima	970	988	[km/h]
mach na v. máxima	0,85	0,85	
peso máximo de decolagem	560000	396900	[kg]
peso vazio	276800	295000	[kg]
alcance	15700	13400	[km]
largura da cabine	6,54	6,1	[m]

Tabela 01 - A380 vs 747-400

IMPACTOS ECONÔMICOS PARA AS OPERADORAS DE VOOS COMERCIAIS

Uma maneira inicial de estimar impactos econômicos que a substituição de janelas por displays em fuselagens de aviões comerciais geraria para empresas de linhas aéreas é verificar a mudança de peso base da aeronave, e sua consequente mudança na quantidade de combustível utilizada por voo.

Peso total das janelas em aviões comerciais

Como já discutido anteriormente, a inserção de janelas em fuselagens é um processo que requer, para certificação e segurança da aeronave, diversos elementos estruturais.

Ao longo dos anos, a tendência tem sido o peso por janela em aviões comerciais aumentar. Em outras palavras, quanto mais novo o avião, mais pesadas são suas janelas.

Considerando apenas os elementos estruturais diretamente envolvidos com a instalação das janelas, pode-se estimar o peso de cada janela, e, subsequentemente, obter o peso total aproximado das janelas em um avião comercial.

Duas fórmulas para cálculo do peso de janelas em aviões comerciais são mostradas na literatura, ambas baseadas em análises estatísticas de aviões de mesma classificação.

Jan Roskam cita em seu livro [1] a seguinte fórmula:

$$109 \cdot \left(n_{pax} \cdot \frac{1 + \Delta p}{100} \right)^{0.505}$$

na qual:

Variável	Descrição	Unidade
n_{pax}	número de passageiros	
Δp	diferença de pressão interna e externa da fuselagem	[psi]

Tabela 02 - variáveis da fórmula de Roskam [1]

O livro de Roskam é relativamente mais antigo, o que torna a estimativa de peso das janelas obtidas pela suas análises mais conservadora (ou seja, será considerado um peso menor por janela do que o real).

Numa análise um pouco mais recente, o livro Luftfahrttechnisches Handbuch [2] (referido como LTH) determina uma fórmula para essas mesmas estimativas, baseada na análise de 16 aeronaves de mesma categoria que foram adaptados de aviões comerciais para cargueiros (ou seja, que passaram por uma remoção das janelas e outros procedimentos de reestruturação).

$$n_{Windows} = 4.641 \cdot S_{Window}^{0.976} \cdot (1.0 + \Delta p)^{4.945}$$

fórmula na qual:

Variável	Descrição	Unidade
$n_{windows}$	número de janelas	
S_{window}	área total de uma janela	[in ²]
Δp	diferença de pressão interna e externa da fuselagem	[psi]

Tabela 03 - variáveis da fórmula do LTH [2]

Para a fórmula do LTH, o desvio padrão é de aproximadamente 23%.

Considerando que a pressão atmosférica a 11 [km] é de 0,35 [atm] e que a cabine de um avião comercial é mantida à pressão atmosférica (aproximadamente 1,05 [atm]), a variação de pressão sofrida pela fuselagem de um avião em tais condições é de 0,7 [atm]. Assim, como o teto de serviço dos dois aviões utilizados para as aproximações é acima dos 13 [km], pode-se considerar que um avião em voo de cruzeiro tem $\Delta p = 0,7$ [atm] numa condição aceitável.

Com os dados acima, é possível estimar o peso total das janelas de uma aeronave comercial:

	Variável	A380	747-400	Dimensões
máximo de passageiros	n_{pax}	525	568	
quantidade de janelas	n_{windows}	220	210	
altura da janela		13,5	12,5	[in]
largura da janela		9,5	9	[in]
área da janela	S_{window}	0,08274177	0,0725805	[m ²]
diferença de pressão	Δp	0,7	0,7	[bar]
peso das janelas - Roskam	W_{j-R}	329	342	[kg]
peso das janelas - LTH	W_{j-LTH}	1165	975	[kg]

Tabela 04 - Peso total estimado das janelas de uma aeronave

Impactos da instalação dos displays LED

Para tornar a análise mais consistente, deve-se, agora, saber a compensação de peso que a instalação de painéis OLED na parte interior da fuselagem geraria, e seus consequentes gastos.

Sabendo a densidade do display por área, a área a ser coberta, e considerando um peso extra de 10% para cobrir os aparatos de instalação dos displays, pode-se obter uma estimativa para o peso total instalado.

Foi desconsiderado o peso das câmeras instaladas na parte externa da fuselagem para captação da imagem ambiente externa, por ser relativamente pequeno.

Analisando a vista lateral de um Boeing 747-400, pode-se concluir que o corredor principal tem, aproximadamente, 51 metros, e o corredor superior cerca de 11 metros.



Figura 08 - número de pixels do comprimento do avião e do comprimento dos corredores (51m e 11m) do 747-400

Fonte:

(https://media.istockphoto.com/photos/illustration-of-airplane-boeing-747-stands-still-isolated-on-blue-picture-id1059101886?k=6&m=1059101886&s=170667a&w=0&h=6PH7sJLmpnS23px_aqp7G5Sec8MIOX2kSDslvVkWihw=, modificada, 2020)



Figura 09 - número de pixels do comprimento do avião e do comprimento dos corredores (45m e 49m) do A380

Fonte:

(https://airbus-h.assetsadobe2.com/is/image/content/dam/channel-specific/website-/products-and-services/aircraft/aircraft_specifications/passengers/A380-800_R.png?wid=1000&fit=constrain.1&fmt=png-alpha , modificada, 2020)

Assim, temos:

	A380	747-400	Unidade
densidade dos displays	2,03	2,03	[kg/m ²]
comprimento dos corredores	187	120	[m]
altura dos displays	1,1	1,1	[m]
peso total displays	459	295	[kg]

Tabela 05 - peso aproximado dos displays instalados

Volume de combustível utilizado por peso da aeronave

Com uso da equação de Breguet, é possível verificar quanto combustível uma aeronave utilizará dependendo de seu peso, baseado em parâmetros fixos da aeronave considerada:

$$m_1 = m_2 \times e^{\left(\frac{R \cdot g \cdot b_f}{v \cdot D}\right)}$$

na qual:

Descrição	Variável	Unidade
massa de combustível utilizada em voo	m_1	[kg]
massa total do avião na decolagem	m_2	[kg]
alcance da aeronave	R	[m]
aceleração da gravidade	g	[m/s ²]
consumo específico do motor	b_f	[kg/(Ns)]
velocidade do voo de cruzeiro	v	[m/s]
eficiência aerodinâmica	L/D	

Tabela 06 - variáveis da equação de Breguet

Desta forma, pode-se calcular a massa de combustível que será economizada com a diminuição do peso base do avião com a remoção das janelas.

O preço médio do combustível despencou no início de 2020 e vem se recuperando aos poucos. Para evitar oscilações econômicas locais em consideração, foi utilizado o valor do preço médio do combustível por galão dos últimos seis anos, que é de aproximadamente \$1,60.

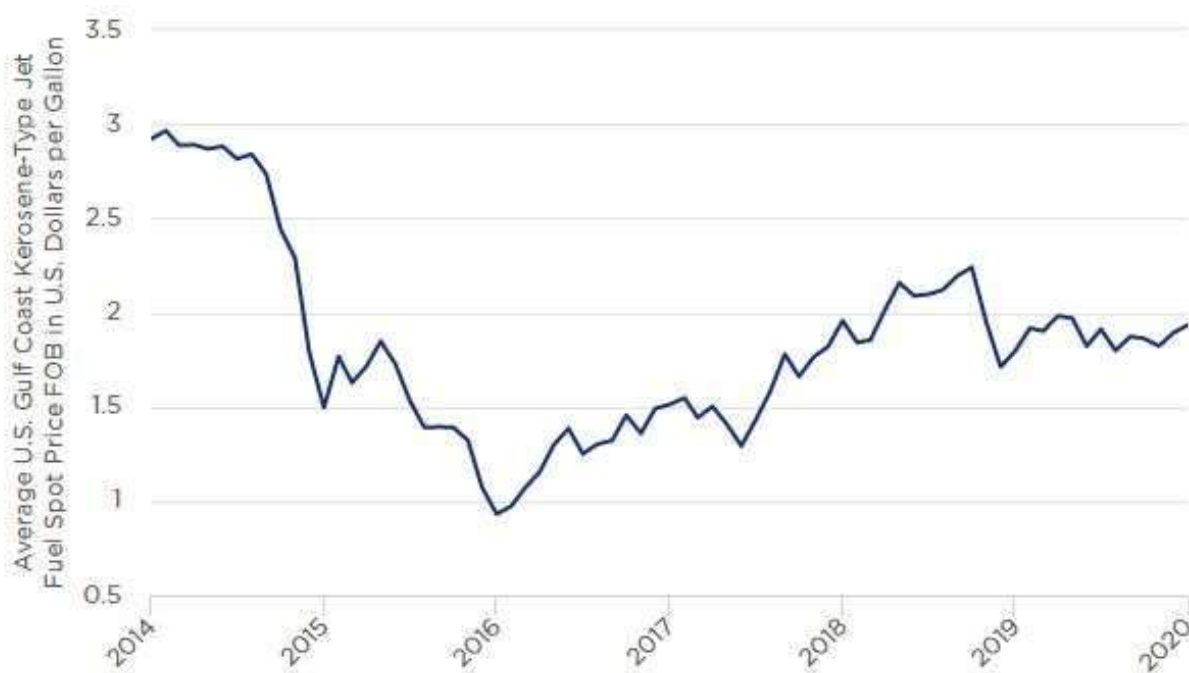


Figura 10 - preço do galão de querosene aeronáutica nos últimos 6 anos

Dados do gráfico obtidos de:

(https://www.quandl.com/data/EIA/PET_EER_EPJK_PF4_RGC_DPG_M-U-S-Gulf-Coast-Kerosene-Type-Jet-Fuel-Spot-Price-FOB-Monthly, 2020)

e, subsequentemente, o valor em dólares por vôo aproximado economizado, e, então, o valor total anual economizado para uma frota completa, baseado no número de viagens por avião:

	A380	747-400	Unidade
velocidade de cruzeiro	910	913	[km/h]
alcance	15.700	13.400	[km]
consumo específico do motor	0,00001840	0,00001840	[kg/(Ns)]
L/D	19,00	14,40	
peso total das janelas aproximado	1.770	1.482	[kg]
peso total displays + 10%	459	295	[kg]
massa de combustível economizado	1.311	1.188	[kg]
densidade do combustível	0,77	0,77	[kg/L]
volume de combustível	1.703	1.543	[L]
preço do combustível por galão	1,60	1,60	[\$/gal]
preço do combustível por litro	0,42	0,42	[\$/L]
economia por voo	719,94	652,08	[\$]
tempo voo máx. alcance	17h30	14h30	
turnover	1h	1h	
flights per year	456	531	
Economia por avião por ano	328.243,54	346.154,79	[\$]

Tabela 07 - Economia gerada pela remoção de janelas

Análise dos resultados

Cerca de 30-40% dos custos operacionais de uma companhia aérea são relacionados à combustível. Assim sendo, qualquer redução na quantidade de combustível utilizado gera aumento na margem de lucro.

Sabendo que a Fly Emirates (uma das maiores companhias de aviação do mundo) possui 115 A380 em sua frota, pode-se considerar que, aproximadamente, \$38mi poderiam ser economizados em um ano de serviço.

Considerando que a empresa faturou \$631mi na temporada de 2018-2019, essa modificação gera um impacto direto de aproximadamente 6% do faturamento anual!!

Não estão sendo considerados os possíveis ganhos com propaganda que as companhias podem ter, uma vez que com o interior das aeronaves muito mais interativo audio-visualmente abrem-se inúmeras possibilidades criativas de fazer marketing.

Não estão sendo considerados os possíveis incentivos fiscais relacionados à redução de uso de combustíveis fósseis (e sua consequente liberação de gases nocivos em geral), que tornam toda essa ideia, de certa maneira, mais eco-consciente.

Para endossar a importância dessa análise, a Fly Emirates, de fato, está estudando a possibilidade de obter e utilizar aviões sem janela no ramo comercial, como aponta [3].

IMPACTOS PARA AS FABRICANTES E EMPRESAS DE MANUTENÇÃO

Impactos para as fabricantes

É muito difícil precificar todos os processos internos que fabricantes aeronáuticas têm em cada etapa de produção da conjuntura de peças que se torna um avião.

Entretanto, presume-se que, com uma fuselagem sem aberturas, será necessário menor número de elementos estruturais em geral em sua confecção (sejam reforços ou elementos de redundância), e em menor peso (com a maior previsibilidade dos

efeitos atuantes numa fuselagem sem aberturas, seria possível otimizar o processo de projeto, certificação e produção da mesma para utilizar menos material, por exemplo, reduzindo a espessura base da mesma).

Assim sendo, o projeto como um todo fica mais simples: menos peças, menos detalhes, menos concentradores de tensão, menos reforços e redundâncias estruturais, menos gastos com simulação e certificação de peças.

Claramente fazer um avião sem janelas trará benefícios econômicos para as fabricantes, e ajudarão a tornar o avião mais seguro.

Com menos peças para analisar na fuselagem e menos concentradores de tensão (regiões formadoras de trincas), com certeza ficará mais fácil e rápido fazer os diagnósticos e reparos na fuselagem (até porque, com menor quantidade de elementos estruturais, a montagem/desmontagem é mais rápida).

Apesar de toda ideia ser interessante, ela exigiria certificação, e, por ser fruto de uma inovação/revolução grande, acaba gerando desafios para esta etapa, que pode ser complexa, demorada e de custo não muito previsível.

Uma vez que a função das autoridades certificadoras é manter o padrão de segurança em voo, e toda inovação gera riscos novos e desconhecidos, as mesmas tentarão frear o processo de inovação até que esteja provado que, para uma gama de possibilidades de problemas, as novas estruturas/ itens adicionados à aeronave tem comportamento conhecido e não gerarão grandes riscos a operação de voo.

Alguns exemplos de testes que podem ser cobrados pelas autoridades certificadoras referentes à mudança de janelas para displays são:

- testes de inflamabilidade do sistema (quando partes do sistema pegam fogo, geram fumaças tóxicas?)

- umidade e corrosão de componentes dentro da fuselagem (sem janelas, uma das maneiras de evitar a umidade do ambiente fechado do interior do avião é perdida, e a autoridade desejaria saber quais são os riscos decorrentes dessa mudança)
- teste de interferência do sistema (o avião possui diversos sistemas funcionando concomitantemente, e a fabricante deve provar que a instalação dos monitores e todo aparato necessário para mantê-los funcionando não irá interferir em sistemas vitais de operação do avião)

Impactos para as empresas de manutenção

É difícil precificar o impacto econômico que a modificação de alguns processos ou intervalos de tempo de manutenção gerariam no mercado (após substituição de janelas por displays), mas alguma compensação existiria com a instalação de displays no interior da caverna da aeronave, uma vez que estes também demandarão manutenção e instalação de cabeamento extra.

IMPACTOS PARA OS PASSAGEIROS EM VOOS COMERCIAIS

Ideia inicial

Com displays que ocupam toda a área lateral visível das paredes da fuselagem, um windowless plane dá em seu nome a ideia totalmente oposta ao que aparenta, visualmente, para os passageiros: um avião com uma janela contínua que ocupa toda a lateral da fuselagem.

Como a resolução dos displays é muito alta, o exterior da aeronave pode ser fielmente reproduzida neles, e a sensação de claustrofobia que geralmente surge no ambiente do avião é drasticamente reduzida com a sensação de ambiente aberto.



Figura 11 - Interior de um avião sem janelas (com displays nas laterais), imagem ilustrativa

Fonte: (<https://www.uk-cpi.com/windowless-plane> , 2020)

Além disso, os monitores podem ser utilizados para interagir com dispositivos dos passageiros e mostrar informações úteis de maneira bem mais interessante que as atuais telinhas que ficam na parte traseira dos assentos.

Os displays podem ser utilizados para customizar a aparência ambiente e luminosidade, tanto pelas companhias como pelos usuários em voo.

A tela pode ser dividida em setores, fazendo com que cada viajante possa fazer ajustes.



Figura 12 - passageiros interagindo com display lateral, imagem ilustrativa

Fonte: (<https://www.uk-cpi.com/windowless-plane> , 2020)

Em casos de emergência, as informações necessárias podem ser transmitidas de maneira muito mais clara, de rápida absorção e intuitivamente.

As imagens acima foram produzidas e disponibilizadas pela empresa CPI, que propôs esse modelo de estruturar a parte interna de aeronaves comerciais.

Fases de transição

Por questões de adaptação ambiental, provavelmente, o melhor a se fazer para levar as pessoas a se acostumarem com a renovação total do interior de aviões seria fazê-la de maneira gradativa, o que contemplaria necessidades das autoridades certificadoras em reduzir os riscos que inovações muito intensas podem trazer na segurança e também das projetistas e fabricantes em reduzir custos de certificação.

Uma ideia para a etapa de transição seria a instalação de pequenos displays substituindo as janelas (não um grande painel que cobre praticamente toda a parede lateral da fuselagem), e mostrando a mesma imagem que seria obtida com elas.

Uma vez que os displays ocupariam menor área que o painel da ideia inicial, o peso do sistema seria menor (o que traria mais economia).

CONCLUSÃO

Reduzindo custos e complexidades de projeto e certificação para as fabricantes, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e trazendo redução de custos para companhias aéreas, abrindo novas possibilidades de explorar o espaço aéreo publicitário, trazendo mais conforto, tecnologia e interação para os passageiros, mantendo, para os que desejam, a visão exterior da aeronave, é impossível dizer que a instalação de displays substituindo janelas em aeronaves comerciais não é uma ideia aplicável.

Concomitantemente a realizar análises econômicas e de projeto mais refinadas para certificar as vantagens econômicas da proposta, deve-se fazer pesquisas de mercado e estudos psicológicos sobre o comportamento humano em relação a esta nova ambientação, e as consequências que a mesma pode trazer.

REFERÊNCIAS

[1] Raymer, D. P. (2006) Aircraft Design, a conceptual approach, AIAA education series.

[2] Luftfahrttechnisches Handbuch (LTH): Handbuch Strukturberechnung (HSB) / hrsg. vom Industrie-Ausschuß Struktur Berechnungsunterlagen (IASB); Industrie-Ausschuß Struktur-Berechnungsunterlagen, by IASB, München; 1969

[3] Emirates looks to windowless planes. BBC News.

Disponível em <<https://www.bbc.com/news/business-44383220>>. Acesso em Outubro de 2020.