EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Aviões Militares

TRABALHO REALIZADO POR:

FÁBIO DIAS

INÊS CID

MIGUEL BARRETO

TIAGO JESUS

INSTITUTO DO EMPREGO E FORMAÇÃO PROFISSIONAL, IP

CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DE ÉVORA

POPH PROGRAMA OPERACIONAL POTENCIAL HUMANO

QREN QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO NACIONAL PORTUGAL 2007.2013

UNIÃO EUROPEIA Fundo Social Europeu

Governo da República Portuguesa

Índice

INTRODUÇÃO 2
O INÍCIO DA AVIAÇÃO MILITAR 3
AVIÕES COMO MÁQUINAS DE GUERRA 3
AVIÕES NA PRIMEIRA GUERRA MUNDIAL 4
JUNK J.1 E O INÍCIO DO ALUMÍNIO AERONÁUTICO 5
AVIÕES NA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL 6
P-51 MUSTANG 7
SPITFIRE 8
AVIÕES MILITARES NA ATUALIDADE 9
F22 12
EUROFIGHTER TYPHOON 13
BIBLIOGRAFIA 15
ANEXOS E IMAGENS EXTRA 16
ESQUEMAS DA DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS DE OUTROS AVIÕES MODERNOS NÃO REFERIDOS NO TRABALHO 25

INTRODUÇÃO

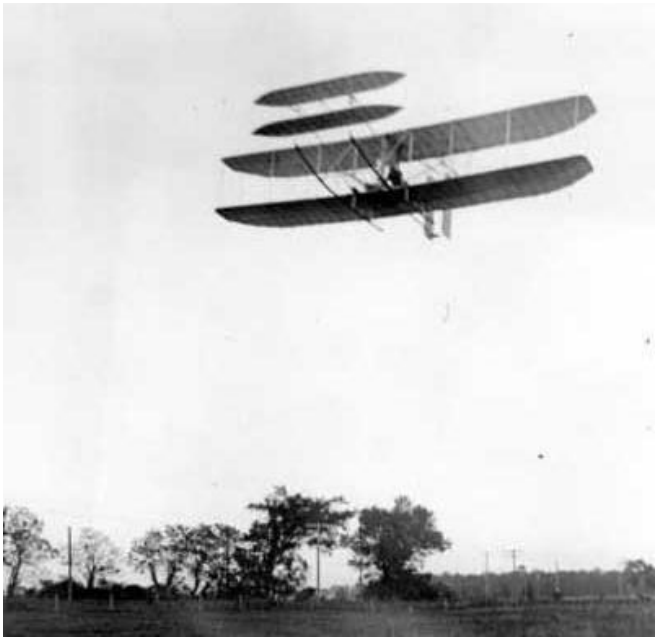
"Uma vez que você tenha experimentado voar, você andará pela terra com seus olhos voltados para o céu, pois lá você esteve e para lá você desejará voltar."

Leonardo da Vinci

Desde sempre o homem desejou voar livremente pelo ar como um pássaro, porém conquistar o céu não foi uma tarefa fácil. Imensas aeronaves foram criadas assim como histórias de homens voadores, contudo o primeiro voo tripulado com uma subida e uma descida controlada foi efetuada apenas no seculo 18 num balão de ar quente.

Com o avanço das tecnologias, dos materiais e de técnicas de construção o desenvolvimento aeronáutico deixou de ser um sonho de poucos para ser uma realidade para muitos. No entanto a maior evolução deve-se à necessidade de usar aeronaves como armas bélicas.

Este trabalho visa falar sobre a evolução dos materiais na aviação militar desde os primórdios até aos dias de hoje.



(Figura 1) - O Wright Flyer III pilotado por Orville sobre Huffman Prairie, em 4 de Outubro de 1905. Voo #46, cobrindo 33,39 km em 33 minutos e 17 segundos.

O INÍCIO DA AVIAÇÃO MILITAR

As primeiras utilizações de aeronaves por parte dos militares tiveram um cariz de monitorização de movimentos de tropas. Para tal os militares usavam balões mais leves que o ar. Durante a Batalha de *Fleurs* em 1794 os franceses usaram o balão *l'Entreprenant* para monitorizar os movimentos das tropas Austríacas. Durante o século 19 a utilização deste tipo de aeronaves tornou-se comum sendo usado com regularidade durante a Guerra Civil Americana. Porem à medida que outros tipos de aeronaves (mais pesadas que o ar) foram evoluindo os balões e aeronaves mais leves que o ar (como zepelins) começaram a ser removidos aos poucos perdendo assim o seu valor militar.

AVIÕES COMO MÁQUINAS DE GUERRA

Desde cedo que foi reconhecida aplicação militar aos aviões ainda que inicialmente estes tivessem grandes limitações. O seu primeiro grande papel foi reconhecimento contudo, no final da Primeira Guerra Mundial, a aviação militar já teria adquirido muitas outras funções assim como localizadores de artilharia, controlo pela superioridade aérea, ataque ao solo, patrulhas antissubmarinos, entre outros. As tecnologias evoluíam a um ritmo alucinante e no final da Primeira Grande Guerra entraram ao serviço os primeiros aviões todos feitos em metal.

No espaço de tempo entre as duas Guerras Mundiais os aviões tiveram grandes evoluções em diversas áreas especialmente nas estruturas, aerodinâmica, motores e armas. Estas evoluções levaram a uma melhoria da sua performance fazendo com que estes passassem a ter papéis mais importantes. Por exemplo o império Britânico usava os aviões como instrumentos de supressão de pequenas revoltas ao longo do seu vasto território, inclusive introduziu o avião como meio de transporte militar o que revolucionou a logística permitindo o movimento de tropas e armamento com rapidez e a grandes distancias.

Durante a Segunda Guerra Mundial os aviões tiveram um papel muito importante na vitória da batalha do Atlântico. A evolução de sistemas de radar bem como do armamento levou a que estes fossem peças decisivas no desenrolar da guerra, tendo havido momentos marcantes em que foram o elemento principal, como por exemplo, o ataque a Pearl Harbor ou o lançamento das bombas atómicas de Hiroshima e Nagasaki que levaram à conclusão da guerra. Para além dos radares e evolução no armamento ouve a introdução dos aviões a jato, helicópteros e computadores.

Hoje em dia os aviões são, frequentemente, a primeira linha de defesa contra um ataque ou a primeira força a atacar um inimigo, tendo a sua efetividade (ou falta dela) provado ser um fator decisivo em conflitos recentes (como por exemplo na Guerra do Golfo).

AVIÕES NA PRIMEIRA GUERRA MUNDIAL

O primeiro avião a voar, o Wright Flyer em 1903, era fabricado, quase na sua totalidade por materiais compósitos. A escolha destes materiais era ditada por diversos fatores, incluindo o peso, a resistência do material, o custo e, claro, a facilidade que havia em adquirir o material. Durante as duas décadas seguintes a este evento, a madeira e a lona reinaram com supremacia sobre todos os outros materiais no que toca a construção das aeronaves, com apenas alguns projetistas a usarem metal nos trens de aterragem e em outros sistemas sem ser os motores.

Construction Type	Elements	
Composite Structure	• Wood, steel, or aluminum framing • Steel bracing wires (internal and external) • Fabric or aluminum non-stressed skins	
Stressed Skin Construction	• Wood, metal or composite load-carrying skins supported by wood, metal or composite internal structure (spars, ribs, bulkheads, or frames)	
Transition from composite to alclad stressed skin construction accomplished by major companies	• Germany • United States • France • United Kingdom • Japan • USSR	1918-1930 1930-1936 1932-1938 1930-1939 1934-1938 1922-1944

Tabela 1 – Materiais utilizados na construção da fuselagem, 1915-1940

Historicamente é importante referir que a madeira usada era um material compósito que continha fibras de celulose envoltas em resina. Da mesma forma as lonas, principalmente feitas em fibras de linho, eram de origem natural e criadas em tecido. Esse tecido era esticado sobre a estrutura de madeira sendo de seguida impregnado com resina.

Apesar dos materiais compostos dominarem na construção das estruturas dos aviões, foi no final da Primeira Grande Guerra que aparece o primeiro avião totalmente metálico, o JUNK J.1.

JUNK J.1 E O INÍCIO DO ALUMÍNIO AERONÁUTICO

O Alumínio aeronáutico apareceu pela primeira vez na Alemanha no início do século 20. Nessa altura a tecnologia da sua produção industrial já se encontrava aperfeiçoada porém a sua produção era ainda reduzida. Os cientistas investigavam maneiras de reforçar o alumínio. Alfred Wilm, físico Alemão e um dos cientistas que estava envolvido na investigação, inesperadamente, para ele e para toda a comunidade científica, descobre o "efeito envelhecimento" que melhorava consideravelmente a resistência do material. A sua descoberta foi patenteada e a sua produção foi iniciada em 1909 na fábrica Duerener Metallweke A G. Oficialmente a fábrica apresenta esse alumínio como uma liga ultra resistente chamada de duralumin (alumínio, cobre (1,3%), magnésio (2,8%) e manganês (1%) tornando-se esta liga a base para a evolução das ligas aeronáuticas.

Foi com o aparecimento desta liga que o professor da Universidade de Aachen, Hugo Junkers, viu o seu sonho de produzir um avião todo em metal realizado. A sua alta resistência, maleabilidade e a incrível leveza para um metal preenchia todos os requisitos por ele estipulados. Em 1917 o primeiro avião totalmente construído em metal "leve" levantou voo do aeródromo de Adlershof com sucesso e, no mesmo ano a produção do JUNK J.1 foi iniciada, por ordem do ministério da Defesa Alemão. O avião participou com sucesso na Primeira Guerra Mundial provando que os cálculos de Hugo Junkers estavam corretos; o metal da fuselagem protegia os pilotos de balas e artilharia. Devido a isso o Junk J.1 ganhou a alcunha de "tanque voador", havendo registos de casos onde os aviões sofreram 480 tiros nas asas e na fuselagem e o avião não só completou a missão como também aterrou com sucesso na sua base.

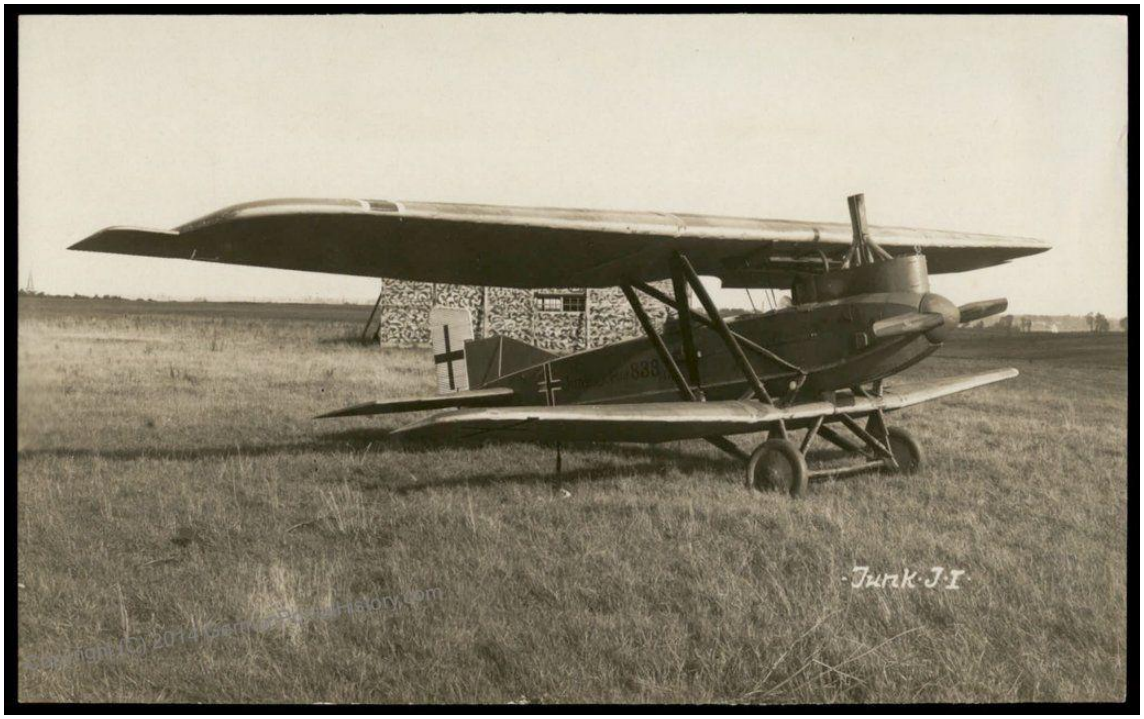


Figura 2 – Fotografia de um JUNK J.1 da força aérea Alemã.

Há medida que a performance dos aviões aumentava, novos materiais eram necessários para suportar maiores stresses aerodinâmicos. Esses materiais eram as ligas de aço de elevada resistência e as ligas de alumínio. Contudo a introdução desses materiais não foi rápida havendo, ainda, no final da Segunda Grande Guerra alguns aviões militares de alta performance feitos extensivamente de madeira (como por exemplo: o deHavilland Mosquito, planadores de transporte de tropas, entre outros).

A utilização de metal na construção de aviões militares em massa teve de esperar até ao desenvolvimento de uma liga de alumínio resistente à corrosão, o Duralium. A partir deste ponto os metais começaram a ser extensivamente usados na produção de aviões militares de alta performance, apesar de só no final da Segunda Guerra Mundial é que todos os aviões militares de alta performance passaram a ser fabricados em metal. Subsequentemente o desenvolvimento de novas ligas mais fortes e mais resistentes à fadiga permitiram os aviões voarem mais rápido, mais alto e carregarem maiores cargas. Porém, considerando a multitude de possibilidades de ligas que se poderiam criar, apenas um pequeno grupo de ligas são integradas na construção de aviões militares. Essas ligas incluíam alumínio puro (liga 1100), Duralium, Alcoa 17S, Alclad, liga 2024, liga 7075-T6 e a liga 7075-T76.

Year	Alloy	UTS (ksi)	Aircraft	Applications	Remarks
1912	1100 Pure Hard	24	Reissner	Wing, canard	Corrugated Al skins
1915-1919	Al Cu Mn "Duralumin" (17-S)	50-55	Germany: Dornier Junkers France: Bréguet Britain: Short	Wings, fuselages, tail units, struts	Alloy invented by Alfred Wilm, 1908 Some corrosion and cracking problems
1920	Alcoa 17S and 14S products	45-55	U.S.: Stout 1923	Complete airframes: corrugated skins	"Alclad" has excellent corrosion resistance
1926	Alcoa "Alclad" Al clad 17S sheet	50	Ford Trimotor 1926	Formed sheet or extrusions, substructure	Ford/Stout construction infringement of Junkers patents No European sales permitted
1931-1955	2024 Al-Cu - bare - clad sheet - forgings Equivalent European and Japanese alloys	 64 56	U.S.: Northrop Douglas Martin Boeing Foreign: all major manufacturers	Complete airframes: stressed-skin, semi-monocoque, and integral structure	Standard material for WWII aircraft
1940-1995	7075-T6 Al-Zn -bare -clad sheet -forgings Equivalent European and Japanese alloys	80	World-wide use of 7075 and foreign equivalents	Complete airframes: compression-dominated stressed skin, semi-monocoque, and integral structure. Used in combination with 2024	Japan: Used in "Zero" spars in 1940 U.S.: Used for reinforcement of B-29 "Enola Gay" in 1945 Standard military aircraft material, 1946-1990
1971-1995	7075-T76 Al-Zn As above	75	Preferred to -T6	Used in place of 7075-T6	Improved stress corrosion resistance to 7075-T6

Note: Aluminum construction was finally accepted for airframes by most aeronautical engineers and aircraft users about 1935. This was 20 years after the first use of "Duralumin" in 1915 by Prof. Claude Dornier for the Rs.I flying boat lower fuselage covers and struts.

P-51 MUSTANG

Possivelmente um dos aviões mais marcantes da Segunda Guerra Mundial, também conhecido entre as tropas americanas por “Angel of the Sky”, combateu tanto na frente europeia (tanto na Batalha do Atlântico bem como nos céus da Europa) como na Batalha do Pacífico.

O avião era fabricado integralmente em alumínio sendo a sua fuselagem e cavernas feitas com alumínio 24T, que basicamente é uma liga de alumínio com cobre. Os caixões das asas e pontos de maiores tensões, como por exemplo as ligações dos trens de aterragem, eram feitas usando alumínio 75T (7075), que basicamente é uma liga de alumínio com zinco.

Era equipado por um motor Rolls-Royce e voava acima dos 15.000 ft. Foram construídos mais de 15000 unidades com um preço de construção de $50,985 em 1945.

Figuras 3, 4 e 5 – Fotografias do avião P-51 Mustang ao serviço da força aérea americana

SPITFIRE

O Spitfire foi um dos aviões icónicos da RAF (Royal Air Force) e um dos principais intervenientes da Battle of Britain, batalha travada nos céus de Inglaterra e do canal da mancha.

O avião era fabricado integralmente em alumínio sendo a sua fuselagem e cavernas feitas com alumínio 24T, que basicamente é uma liga de alumínio com cobre. Os caixões das asas e pontos de maiores tensões, como por exemplo as ligações dos trens de aterragem, eram feitas usando alumínio 75T (7075), que basicamente é uma liga de alumínio com zinco.

Figura 6, 7 e 8 – Fotografias do avião Spitfire ao serviço da RAF.

AVIÕES MILITARES NA ATUALIDADE

Historicamente, os materiais têm sido introduzidos na aviação militar quando permitem um aumento significativo na performance do avião. Porém, nos últimos 50 anos apenas dois novos materiais estruturais foram introduzidos na aviação militar, o titânio e os compósitos com matriz de polímeros. Apesar dos seus custos elevados ambos foram introduzidos porque permitem saltos astronómicos em relação à performance dos aviões. No entanto, após o final da Segunda Guerra Mundial e até aos dias de hoje, ter um "*edge*" sobre o adversário a nível de performance tem sido o objetivo principal de todas as construtoras de aviões militares.

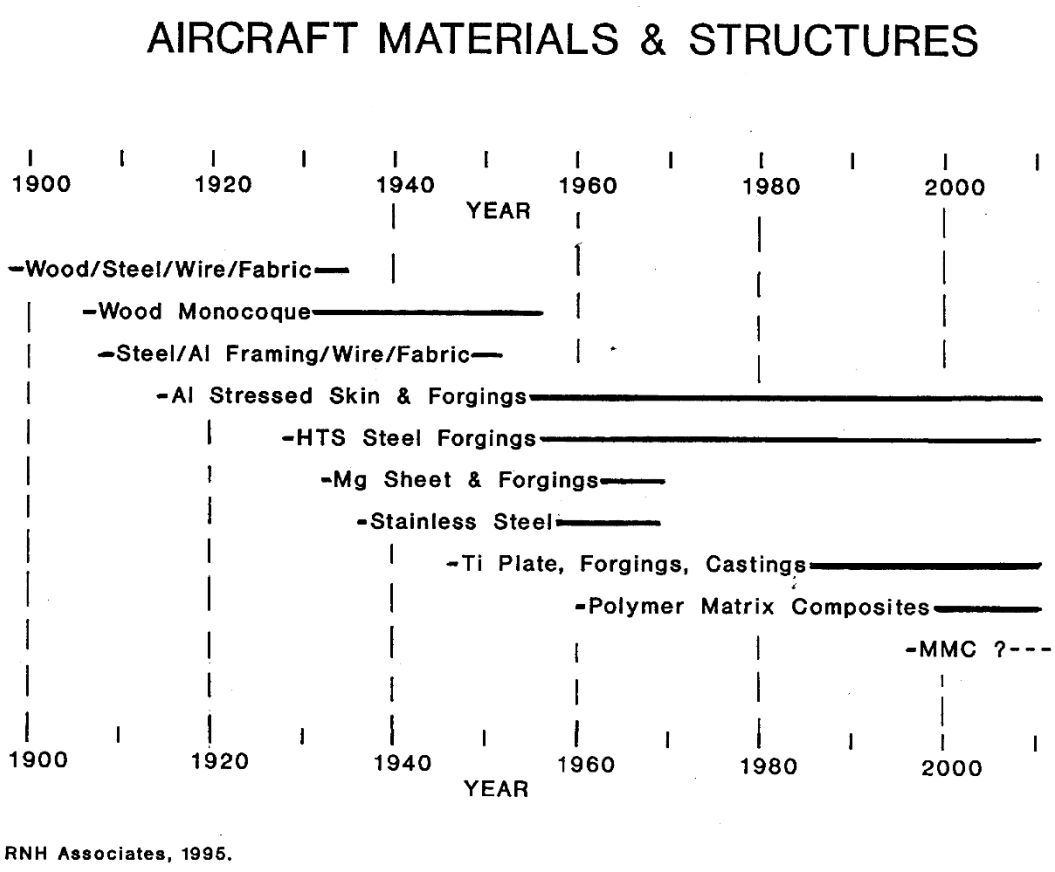


Figura 9 – Materiais usados a nível estrutural nos aviões militares

Com algumas exceções, como por exemplo o SR-71 e o F-22, as ligas de alumínio contabilizam cerca de 70% do peso estrutural do avião desde 1934 até hoje. No entanto as exceções são importantes pois são exemplos de sistemas que cuja performance exige a escolha de materiais exóticos (titânio no caso do SR-71 e titânio e compósitos no caso do F-22) apesar do seu custo elevado.

A influência da escolha dos materiais é melhor ilustrado através de um gráfico da distribuição de materiais em função da velocidade máxima de voo (*gráfico 1*).

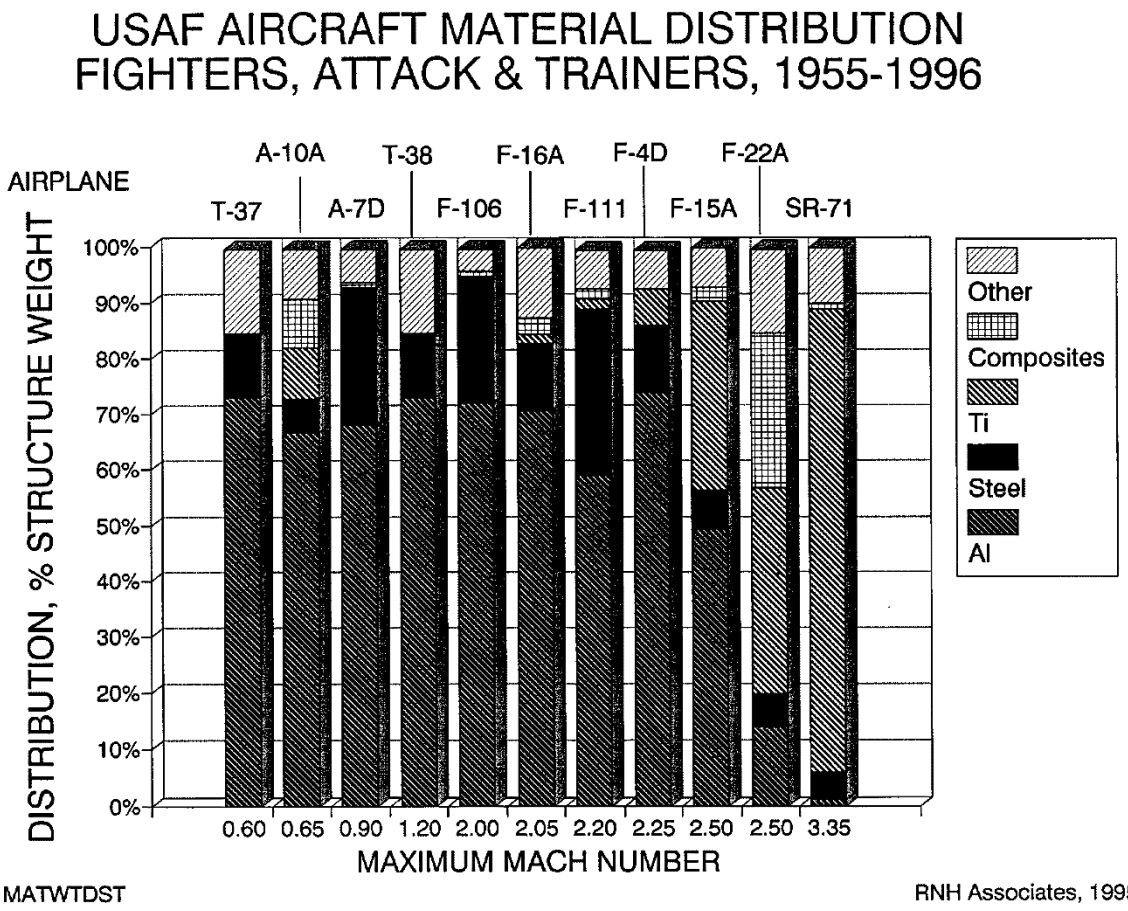


Gráfico 1 – Materiais usados em função da velocidade máxima de voo.

Podemos observar um rápido decréscimo do uso de alumínio e a introdução de titânio à medida que a velocidade máxima de voo ultrapassa Mach 2.4. Esta alteração de materiais deve-se ao rápido aumento das temperaturas na estrutura do avião com o aumento da velocidade devido ao atrito com o ar.

Em relação à utilização de compósitos de matriz de polímeros como material estrutural nos aviões militares muito tem sido falado e escrito mas para percebermos melhor o quanto realmente é utilizado temos de observar o gráfico 2 apresentado em baixo.

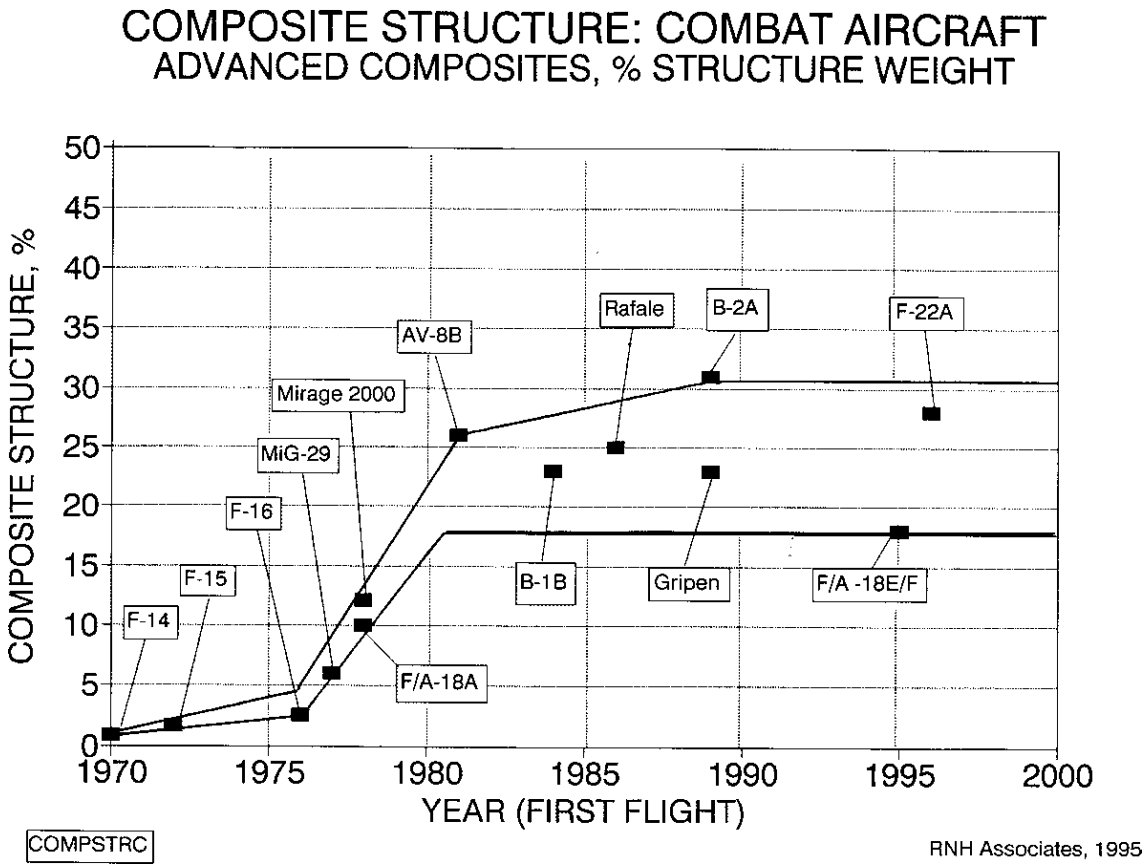


Grafico 2 – Gráfico ilustrativo da quantidade de compósitos de matriz de polímero por percentagem de peso

Podemos assim verificar que a quantidade de material compósito utilizado em função do peso da aeronave não tem alterado muito desde os inícios de 1980. Mesmo os aviões que são produzidos em compósito, como o AV-8B, o Rafale, o B2-A e o F-22A, incorporam apenas 30% do seu peso em compósitos de matriz de polímeros. Claro que, devido à baixa densidade dos compósitos comparativamente com os aços e as ligas de alumínio e titânio, a quantidade da estrutura do avião que é feita em compósitos é consideravelmente maior, ultrapassando, em alguns casos, os 60%. É importante referir que a utilização dos compósitos nos casos referidos no *gráfico 2* se deve ao aumento da performance através da diminuição do peso, agilidade, carga útil e velocidade.

F22

O F22 é um avião tripulado por apenas um piloto, com dois jatos para propulsão e que foi desenvolvido para ser um avião de ataque ar-ar com características stealth. A sua produção foi iniciada em 1996 tendo um custo por unidade de $150 milhões. O projeto custou ao governo dos estados unidos $66,7 biliões sendo produzidas apenas 195 unidades (8 para testes).

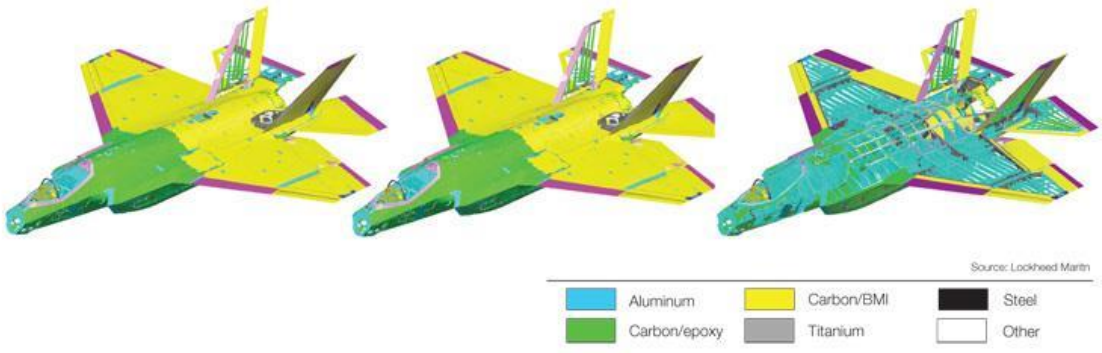


Figura 10 – Distribuição dos materiais na estrutura do F22

TITANIUM 64 (TI-64)	**36%**
THERMOSET COMPOSITES	24%
ALUMINUM (AL)	16%
OTHER MATERIALS*	15%
STEEL	6%
TITANIUM 62222 (TI-62222)	3%
THERMOPLASTIC COMPOSITES	>1%

Os materiais tradicionais, como o aço e o alumínio, fazem apenas 1/5 do seu peso. Os altos níveis de performance do F22 requer um uso significativo de titânio (42% do seu peso) bem como de materiais compósitos (24% do seu peso) que são ambos mais fortes e leves que os materiais tradicionais e oferecem melhor proteção contra a corrosão. Para além disto tudo o titânio oferece proteção contra as elevadas temperaturas.

Figura 11 e 12 – Fotografias do F22

EUROFIGHTER TYPHOON

O Eurofighter Typhoon foi criado para se tornar num dos aviões militares de topo da atualidade. Projeto inteiramente europeu foi desenvolvido de forma a fornecer décadas de serviço e capacidade de se adaptar aos avanços das novas tecnologias.
Foi construído com materiais compósitos de forma a fornecer um baixo perfil ao radar e uma estrutura resistente. Apenas 15% da superfície do avião é metal.

Carbon Fibre Composites	Metais	GRP (Glass Reinforced Plastics)	Outros materiais
70%	15%	12%	3%

Figura 13 – Compósitos de fibra de Carbono

Figura 14 – Alumínio de Lítio

Figura 15 – GRP (Glass Reinforced Plastics)

Figura 16 – Titânio

BIBLIOGRAFIA

http://www.eurofighter.com/the-aircraft

https://en.wikipedia.org/wiki/Fighter_aircraft#Development_overview

https://en.wikipedia.org/wiki/Y_alloy

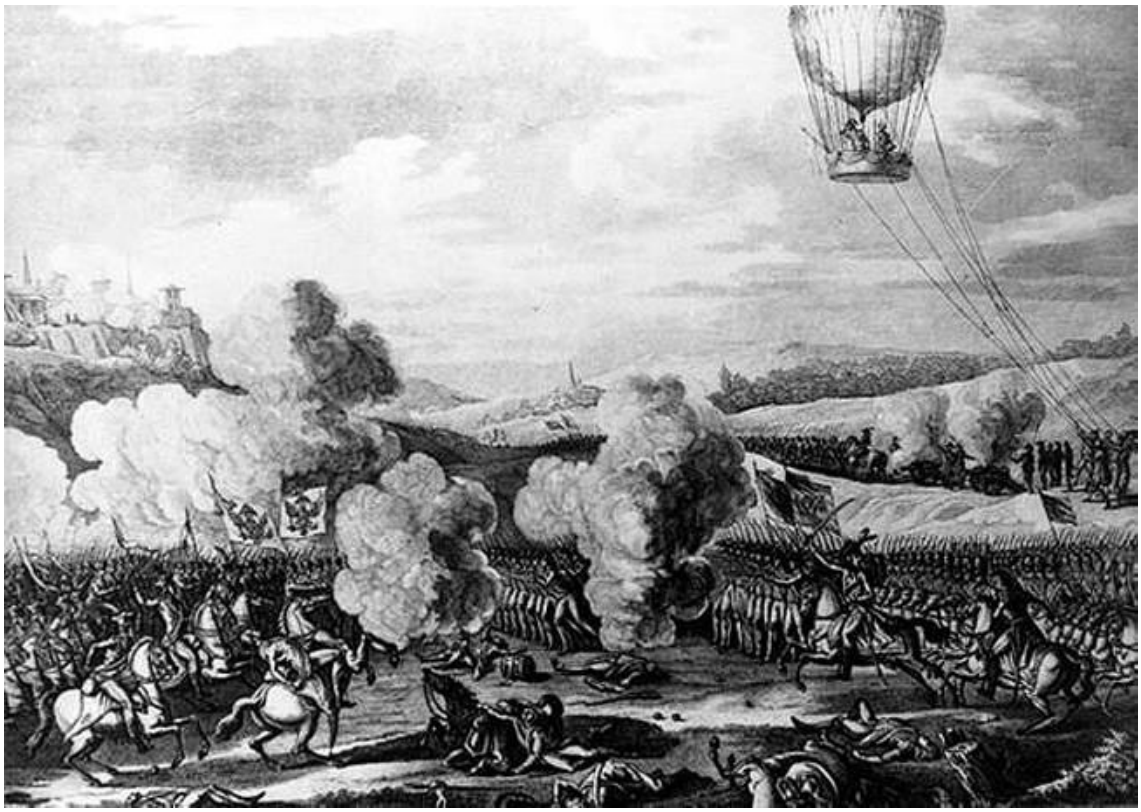
http://www.aluminiumleader.com/en/around/transport/aircraft

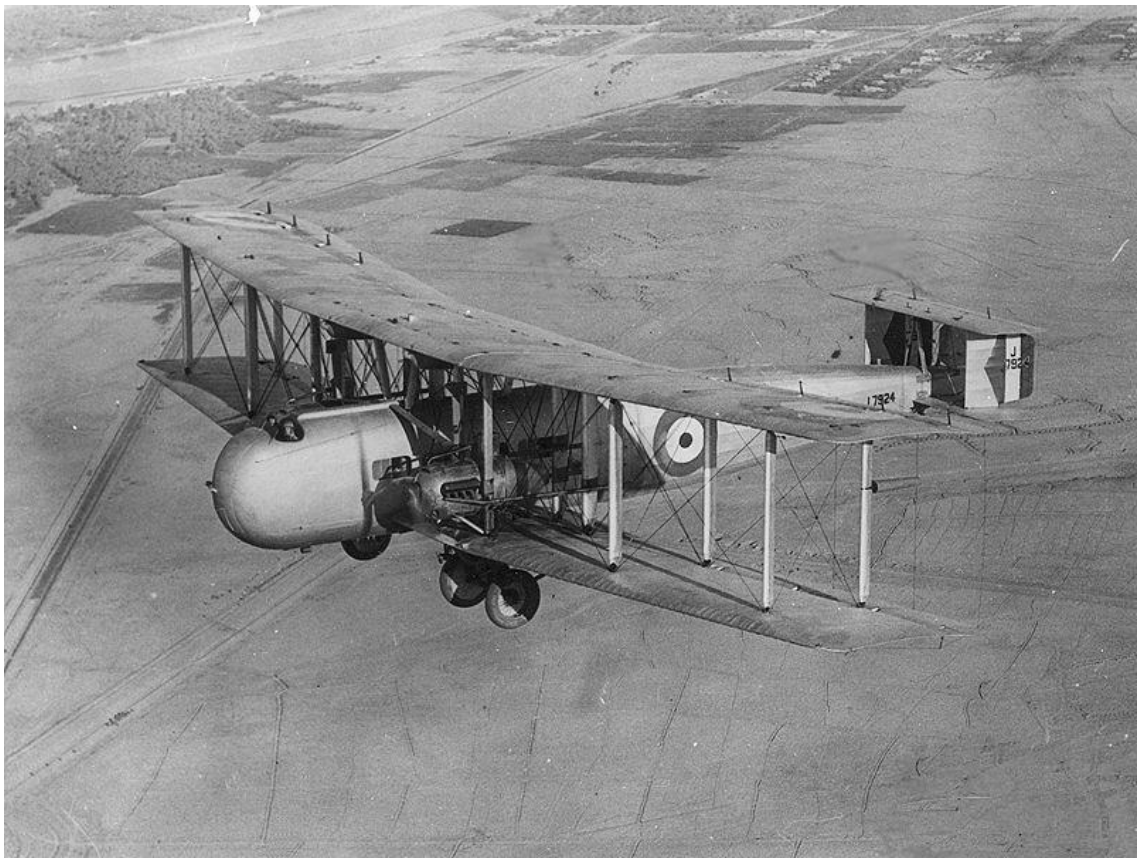
https://en.wikipedia.org/wiki/Aerospace_materials

http://machinedesign.com/news/century-progress-aircraft-materials-part-2-metals

http://www.britannica.com/technology/airplane/Use-of-composite-materials

ANEXOS E IMAGENS EXTRA





My Bird

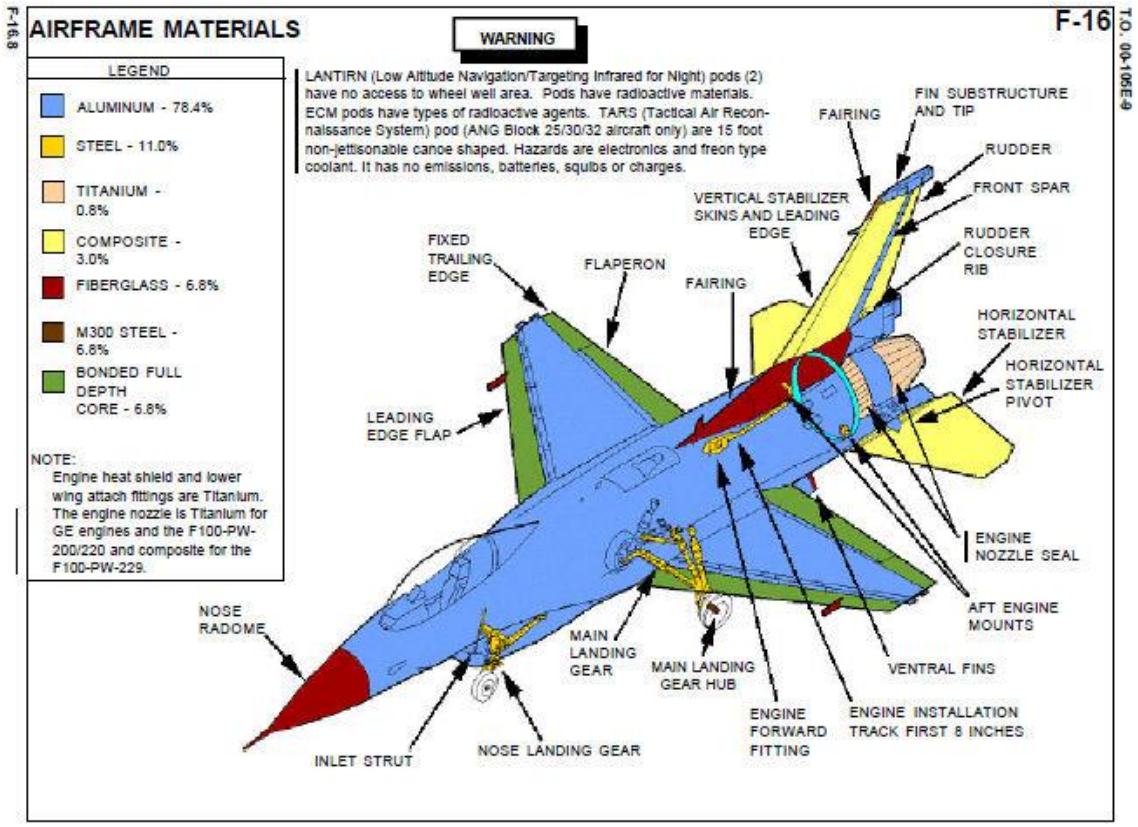
GLAMOROUS GLEN III

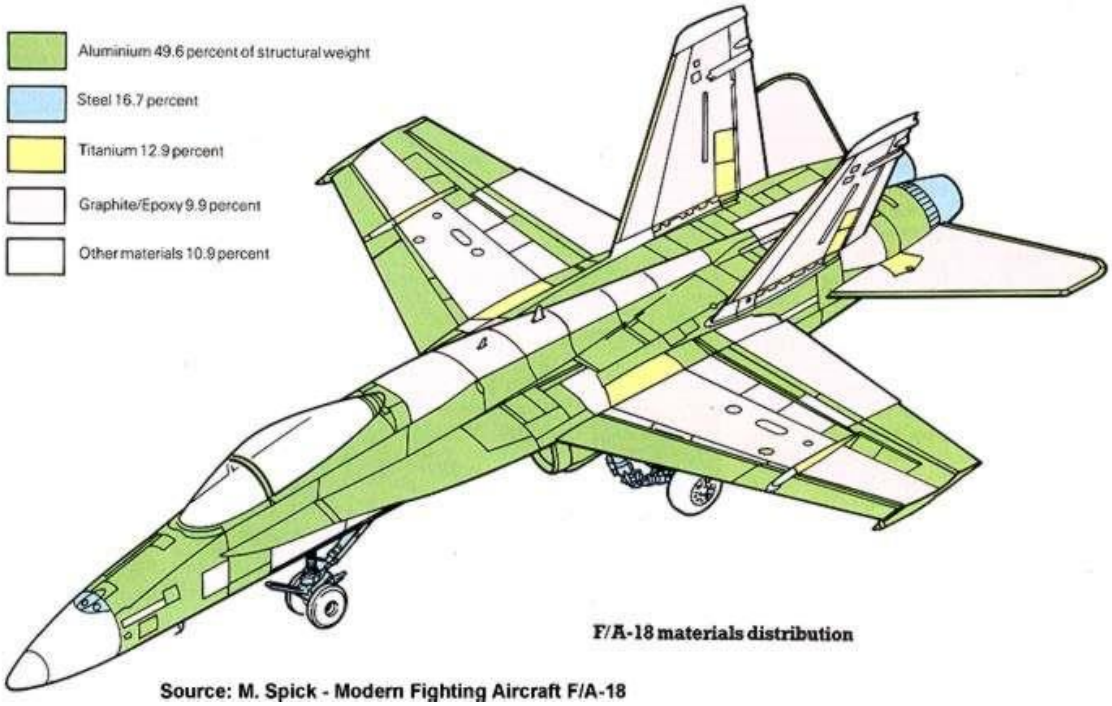
Skipper's Darlin' III

CLEAN AS YOU GO!

Copyright GarryRidsdale
AIRLINERS.NET

ESQUEMAS DA DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS DE OUTROS AVIÕES MODERNOS NÃO REFERIDOS NO TRABALHO





F/A-18 materials distribution

Source: M. Spick - Modern Fighting Aircraft F/A-18