



A Engenharia Mecânica na Fórmula 1

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Supervisor: Ana Rosanete Lourenço Reis

Monitor: Mário André de Magalhães e Silva

Gonçalo Falcão Tavares Quinta Pereira N.º 201404578

Marta Oliveira Ramos N.º 201405416

Paulo Jorge Ferreira Fernandes N.º 201405557

Pedro Fernandes Lima N.º 201405500

Pedro Filipe da Rocha Seabra N.º 201404405

Pedro Tomás Gonçalves Forte N.º 201405211

Resumo

Neste relatório pretende-se analisar todo o sistema mecânico relacionado com o funcionamento do carro utilizado na Fórmula 1, sendo este alvo de uma contínua evolução tecnológica que pode, um dia, ser transportada para o desenvolvimento da indústria automóvel.

Os motores empregues hoje são desenvolvidos tendo em mente a tecnologia híbrida e a diminuição do consumo, através de métodos que melhor rentabilizam cada gota de combustível e, ao mesmo tempo, conseguem fornecer mais energia para o movimento do carro. No campo da aerodinâmica, os engenheiros tentam criar o máximo de *downforce* e, ao mesmo tempo, o menor arrasto possível para permitir ao carro uma melhor estabilização durante a corrida.

Outro elemento importante relacionado com a evolução da Fórmula 1 é o sistema de travagem, que tem vindo a ser desenvolvido com o intuito de evitar o *brake fade*, um dos principais problemas neste ramo. Os pneus, outro componente dos carros de fórmula 1, sofrem regularmente alterações, de modo a criarem maior aderência ao piso, proporcionando, assim, uma maior segurança para o condutor. O chassi pode ser considerado o esqueleto do carro, ou seja, ao qual tudo é preso e anexado. Sem este não seria possível a existência de nenhum dos outros sistemas, entre eles a suspensão, que assegura a estabilidade do carro em qualquer circuito.

Atualmente, o maior objetivo da FIA é garantir a segurança de todos os envolvidos neste desporto, provocando, assim, um desenvolvimento em relação aos materiais utilizados tanto nos carros como na indumentária dos pilotos.

Summary

The aim of the present report is to analyse all the mechanical system related to the gear of a Formula 1 car, which is under constant technological evolution that can, one day, be applied in the car industry development.

Nowadays, the engines are developed having in mind the hybrid technology and the reduction of fuel consumption. This is achieved by certain methods that make every fuel drop profitable and, at the same time, they can supply the car with more power.

In the aerodynamics' field, engineers try to create the maximum of downforce and, simultaneously, create the least of drag to make the car more stable during the race.

Another important element related to the evolution of Formula 1 is the braking system that has been being developed in order to avoid the brake fade, one of the most common problems in this subject area.

The tyres, another component of a Formula 1 car, are under constant regulation changes so as to increase ground adhesion, providing the driver with increased safety.

The chassis can be seen as the car's skeleton, to which every component is welded. Without it, the existence of the other systems, amongst them the suspension (ensures that the car is stable throughout the entire circuit), would be impossible.

Currently, FIA's major goal is to ensure the safety of everyone involved in this sport, inducing the development of the materials used in the cars as well as in the pilot's clothing.

Índice

Índice de Figuras	5
Introdução	8
1. Motores	9
1.1. Princípios gerais de funcionamento	9
1.2. Contexto histórico	11
1.3. Atualidade	14
1.3.1. O motor	14
1.3.2. ERS	14
1.3.3. Turbo-alimentador (ou Turbocompressor)	15
1.3.4. Transmissão	16
2. Aerodinâmica	18
2.1. O que é	18
2.2. Aerodinâmica na F1 antes dos anos 70	19
2.3. As asas de um carro F1	19
2.4. Evolução depois dos anos 70	20
2.5. Coeficiente de arrasto	21
2.6. Regulamento para 2014	22
2.7. Curiosidade	23
3. Sistema de Travagem	24
3.1. Princípios gerais de funcionamento	24
3.2. Travões de Tambor	25
3.3. Travões de Disco	25
3.4. Evolução do sistema de travagem	26
3.5. Sistema de Travagem atual	27
4. Pneus	28
4.1. Características e composição	28
4.2. Diferenças entre pneus de corrida e pneus de estrada	28
4.3. História	28
5. Suspensões	30
5.1. Princípios gerais de funcionamento	30
5.2. Contexto Histórico	32
5.3. Componentes	34
5.4. Funcionamento	36
5.4.1. <i>Push-rod</i> vs <i>Pull-rod</i>	36
5.4.2. Vantagens e Desvantagens	37
6. Chassis	39
6.1. Princípios gerais de funcionamento	39
6.2. Contexto histórico / tipos de chassis	40
7. Segurança	44
7.1. Acidentes	44
7.2. Evolução dos sistemas de Segurança	45
7.3. Outros aspetos de segurança	50
Conclusão	52
Bibliografia	53

Índice de Figuras

Figura 1 - Motor de combustão interna	9
Figura 2 - Tempo de admissão	9
Figura 3 - Tempo de compressão	10
Figura 4 - Tempo de explosão	10
Figura 5 - Tempo de escape	10
Figura 6 - Carro de competição dos anos 50	11
Figura 7 - Motor DFV <i>type</i> Ford V8	11
Figura 8 - Renault RS01 (esquerda) e o seu motor turbo (direita)	12
Figura 9 - Motor V6 turbo-aspirado Honda RA168E de 1988	12
Figura 10 - Motor V10 3,5L Honda RA100E de 1990	12
Figura 11 - Ayrton Senna, McLaren Honda, Hockenheimring, 1990	13
Figura 12 - Renault R26 e o seu motor V8 de 2006	13
Figura 13 - Composição da “ <i>Power Unit</i> ” de 2014	14
Figura 14 - Motor Mercedes-Benz de 2014	14
Figura 15 - Constituição de um turbocompressor	15
Figura 16 - Embraiagem	16
Figura 17 - Caixa de velocidades	16
Figura 18 - Patilhas para mudar a velocidade	16
Figura 19 - Forças num perfil alar	18
Figura 20 - Diferentes ângulos de uma asa de Fórmula 1	19
Figura 21 - Alfa Romeo Brabham BT46B	20
Figura 22 - Gordon Murray - famoso designer de carros de F1	20
Figura 23 - Circuito do Mónaco	20
Figura 24 - Circuito de Monza	20
Tabela 1 - Comparação entre diferentes coeficientes de arrasto entre diferentes veículos	22
Figura 25 - Comparação do comprimento da asa frontal medida desde a ponta até ao seu eixo	22
Figura 26 - Diferenças nas regulamentações na asa traseira entre o ano de 2013 e o ano de 2014	23
Figura 27 - Representação das forças de um carro de F1 que conduz de cabeça para baixo	23
Figura 28 - Componentes do travão de tambor	25
Figura 29 - Componentes do travão de disco	25
Figura 30 - Connaught tybe B, 1995	26
Figura 31 - Disco ventilado	26
Figura 32 - Disco Perfurado	26
Figura 33 - Discos Ranhurados	26
Figura 34 - Discos Mistos	26
Figura 35 - Abertura de refrigeração do travão	26
Figura 36 - Disco do travão a elevada temperatura	26
Figura 37 - Pneus “ <i>slick</i> ”	28
Figura 38 - Pneus com nervuras da época de 2008	29
Figura 39 - Pneus com nervuras da Bridgestone	29
Figura 40 - As diferentes cores dos pneus de F1 na época de 2010	29
Figura 41 - Pneu intermédio Pirelli para pisos molhados	30

Figura 42 - As diferentes cores dos pneus de F1 nesta época	30
Figura 43 - Tipos de suspensão na Fórmula 1	30
Figura 44 - Sistema de suspensão de braços triangulares superpostos no Honda Accord Coupé 2005	30
Figura 45 - Importância da suspensão	31
Figura 46 - Irregularidades da estrada	31
Figura 47 - Transferência de peso nas manobras (frenagem=travagem)	31
Figura 48 - Exemplos de transferências de pesos	32
Figura 49 - Suspensão	32
Figura 50 - Feixe de molas	32
Figura 51 - Suspensão independente e rígida	32
Figura 52 - Suspensão McPherson	33
Figura 53 - Suspensão Double Wishbone	33
Figura 54 - Convergência	33
Figura 55 - Suspensão <i>multi-link</i>	33
Figura 56 - Possíveis posições dos braços em suspensões <i>multi-link</i>	33
Figura 57 - FW15-C	34
Figura 58 - Efeito da suspensão ativa	34
Figura 59 - Carro sem molas	35
Figura 60 - Barra de torção	35
Figura 61 - Mola helicoidal	35
Figura 62 - Carro com molas mas sem amortecedores	35
Figura 63 - Função do amortecedor	35
Figura 64 - Funcionamento do amortecedor	35
Figura 65 - Suspensão de um carro de Fórmula 1	36
Figura 66 - Funcionamento da suspensão <i>push-rod</i>	36
Figura 67 - Funcionamento da suspensão <i>pull-rod</i>	36
Figura 68 - Suspensão <i>push-rod</i> vs suspensão <i>pull-rod</i>	37
Figura 69 - Diferentes posições da suspensão	37
Figura 70 - Posição da suspensão <i>pull-rod</i> no veículo	38
Figura 71 - Posição da suspensão <i>push-rod</i> no veículo	38
Figura 72 - Chassi do carro de Fórmula 1	39
Figura 73 - Design de chassi	39
Figura 74 - Chassi e suspensão	39
Figura 75 - <i>Ladder</i> chassi	40
Figura 76 - <i>Ladder</i> chassi	40
Figura 77 - Kart com chassi tipo escada	40
Figura 78 - Chassi cruciforme	41
Figura 79 - <i>Space Frame</i> chassi	41
Figura 80 - Tubos de chassi tubular	41
Figura 81 - Chassi tubular	42
Figura 82 - Chassi monocoque comum	42
Figura 83 - Chassis monocoque em fibra de carbono do McLaren F1	42
Figura 84 - Chassi de um carro de Fórmula 1	43
Figura 85 - Fibra de carbono	43
Tabela 2 - Qualidade dos chassis	43
Gráfico 1 - Número de acidentes fatais na Fórmula 1	44
Figura 86 - Travão de Disco	45

Figura 87 - Ricardo Rodriguez	45
Figura 88 - Robert Kubica	46
Figura 89 - Cockpit	46
Figura 90 - Cockpit	47
Figura 91 - Cinto de segurança	47
Figura 92 - HANS	48
Figura 93 - Macacão do piloto	48
Figura 94 - Material utilizado para o fabrico do macacão	49
Figura 95 - Ayrton Senna	49
Figura 96 - Capacete	49
Figura 97 - Pistas de Fórmula 1	50
Figura 98 - <i>Safety-car</i>	51
Figura 99 - <i>Crash-test</i>	51

Introdução

No âmbito da unidade curricular “Projeto FEUP” do 1.º ano do Mestrado Integrado de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi realizado o presente relatório, pela equipa nº3 da turma 1M05, cujo tema é “Engenharia Mecânica na Fórmula 1”.

Na abordagem deste tema, foca-se o desenvolvimento de todo o sistema mecânico relacionado com os carros de Fórmula 1, desde o motor, a aerodinâmica, os travões, os pneus, as suspensões, o chassis, bem como alguns componentes relacionados com a segurança neste desporto. É objetivo deste relatório informar os leitores, de uma forma clara e explícita, sobre o funcionamento de cada componente indicado, fazendo uma contextualização no tempo e clarificando o objetivo de cada um dentro do veículo. A metodologia utilizada para este trabalho foi a pesquisa bibliográfica em *sites* específicos, enriquecida com alguns livros e revistas.

A Fórmula 1 é, atualmente, considerada a categoria mais popular do automobilismo. A sua história tem como início as competições de Grandes Prémios disputados na Europa no início do século XX. Com exceção da Segunda Guerra Mundial, sempre houve, desde essa altura até aos dias de hoje, as competições com os carros de alta velocidade. No entanto, apenas a 13 de Maio de 1950, foi inaugurada, pela FIA (Federação Internacional de Automobilismo), a primeira prova do campeonato mundial de Fórmula 1. Esta modalidade era considerada como um campeonato mundial de pilotos, no entanto, em 1958 passou a ser também uma disputa entre construtores.

Ao longo das décadas houve enormes mudanças neste desporto, tanto a nível de carros, como também a nível de circuitos, regras e mesmo de segurança. Na maior parte das vezes a razão pela qual as regras foram alteradas foi com o propósito de aumentar a segurança e a competitividade nas pistas. Em relação às mudanças em circuitos, normalmente, tinham como objetivo as melhorias nos *guard rails* e nas áreas de escape.

Este desporto é governado pela FIA, e administrado pela FOA (*Formula One Administration*) em parceria com muitas outras empresas.

1. Motores

“Um motor de Fórmula 1 atual consiste em cerca de 5000 partes, 1500 das quais movem-se!”^[1]

1.1. Princípios básicos de funcionamento de um motor de combustão interna a quatro tempos

Um motor de combustão interna gera movimento através da energia libertada na combustão. Os gases criados neste processo encontram-se a altas temperaturas e pressões, o que causa a aplicação de uma força ao pistão.

O pistão:

Os pistões são pequenas peças cilíndricas que deslizam ao longo dos cilindros localizados no bloco do motor. O movimento deste componente vai provocar, através da biela um movimento circular à cambota (virabrequim na Figura 1).

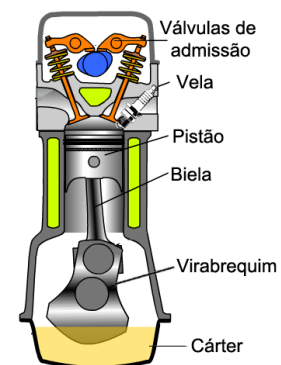


Figura 1 - Motor de combustão interna ^[2]

1.1.1. Os quatro tempos

Em cada duas voltas do eixo, são repetidos 4 passos: Admissão, Compressão, Explosão e Escape.

1º Admissão

Com a válvula de admissão aberta e a válvula de escape fechada, o pistão (ou êmbolo) move-se da posição de menor volume (quando o pistão se encontra no ponto morto superior) para a posição de maior volume (quando o pistão se encontra no ponto morto inferior), o que causa uma queda de pressão. A mistura combustível é então sugada para a câmara de combustão.

A válvula de admissão fecha no final deste processo.

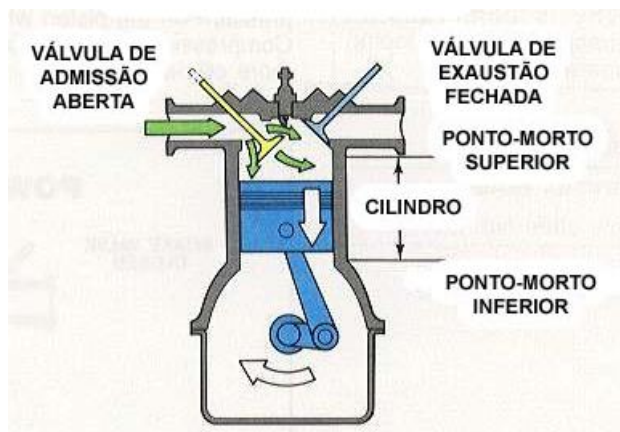


Figura 2 - Tempo de admissão ^[3]

2º Compressão

Estando ambas as válvulas fechadas, o pistão movimenta-se em direção ao topo do cilindro, comprimindo a mistura, tornando-a mais densa e aumentando a sua temperatura e pressão.

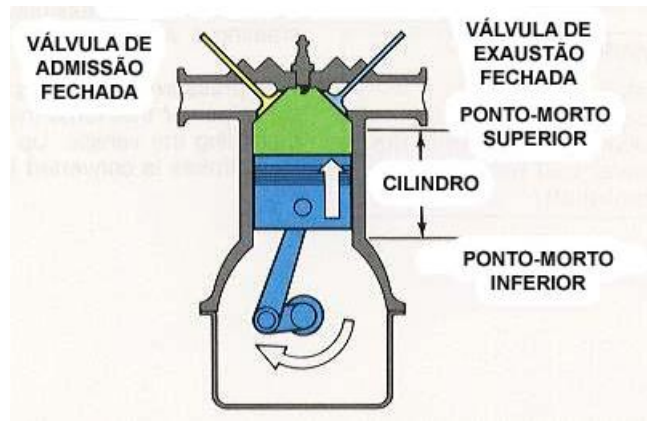


Figura 3 - Tempo de compressão ^[3]

3º Explosão

Quando o pistão atinge uma posição perto do ponto morto superior, a vela de ignição inflama a mistura combustível, causando a sua expansão e empurrando o pistão para baixo.

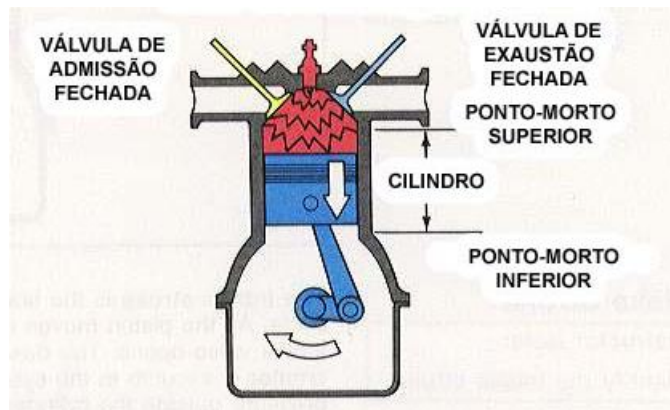


Figura 4 - Tempo de explosão ^[3]

4º Escape

Com a válvula de escape aberta e o pistão a mover-se para cima a partir do ponto morto inferior, os gases resultantes da combustão saem do cilindro.

No final deste tempo a válvula de escape fecha e a válvula de admissão abre, repetindo-se todo o processo.

[3,4,5,6,7]

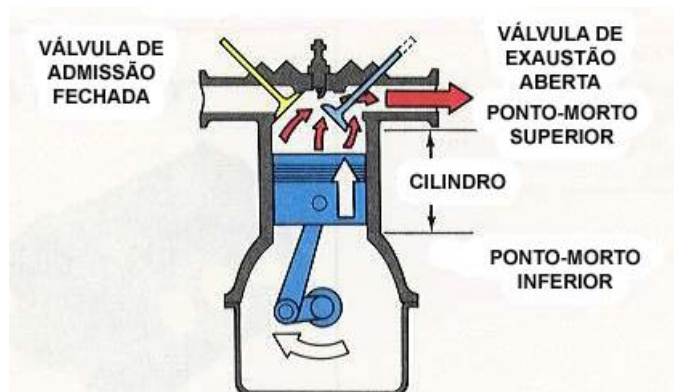


Figura 5 - Tempo de escape ^[3]

1.2. Contexto histórico

Anos 50

No início da Fórmula 1, o regulamento era pouco apertado, o que permitia grandes diferenças nas tecnologias utilizadas pelos diversos competidores. Uma das únicas semelhanças era o facto de o motor se encontrar à frente.

Esta era é também marcada pelo aparecimento de sistemas de injeção direta de combustível* (sistemas esses em que combustível a alta pressão é injetado diretamente na câmara de combustão de cada cilindro) que substituiu o carburador. É de notar ainda, o uso de cames em vez de molas no controlo das válvulas.

A partir de 1959 generalizou-se o uso dos motores na parte central do veículo, atrás do condutor. [8,9,10]

*O sistema de injeção indireta viria a tomar o lugar do sistema de injeção direta devido a razões económicas.



Figura 6 - Carro de competição dos anos 50 [9]

Anos 60

A segunda década da Fórmula 1 é marcada pelo triunfo das companhias petrolíferas na sua campanha a favor do uso de combustíveis normalizados.

É nesta década que se assiste também ao aumento da potência dos motores para 220cv e a uma variada gama de motores utilizando grande número de cilindros (tanto a Ferrari como a Honda utilizavam motores com 12 cilindros), no entanto em 1967 o motor DFV type Ford V8 fez a sua estreia e passou a dominar as series até ao aparecimento dos turbos. [11]



Figura 7 – Motor DFV type Ford V8 [12]

Anos 70

A primeira crise petrolífera de relevo afasta as companhias do ramo, como a Shell, da competição. Isto causou uma estagnação no desenvolvimento tecnológico da área e uma mudança do foco de atenção para os motores.

É em 1977 que aparece o primeiro motor turbo-alimentado, fabricado pela Renault, que embora não obtivesse muito sucesso numa fase inicial, marca o reaparecimento dos motores de aspiração forçada. ^[13]

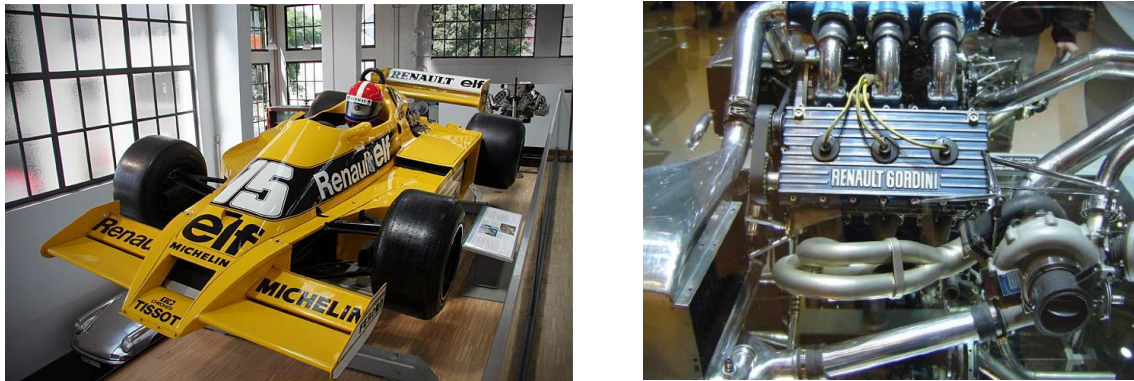


Figura 8 – Renault RS01 (esquerda) e o seu motor turbo (direita) ^[14,15]

Anos 80

Por volta de 1983, os motores turbo-aspirados generalizaram-se, com a potência destes a exceder os 1.000cv e carros a atingirem 350 km/h.

Devido ao iminente perigo provocado pelo uso desta tecnologia, a FIA (Federation Internationale de l'Automobile) foi introduzindo medidas que limitavam a pressão de impulso dos turbos e a quantidade de combustível.

Estas medidas inviabilizaram o uso dos turbos, acabando por bani-los definitivamente em 1989 e permitir a ascensão de motores de injeção de 3,5l (figura 10). ^[16]



Figura 9 - Motor V6 turbo-aspirado Honda RA168E de 1988 ^[17]



Figura 10 - Motor V10 3,5L Honda RA100E de 1990 ^[18]

Anos 90

A década de 90 é caracterizada pelo foco na obtenção de um maior rácio potência/capacidade, com investimentos monetários bastante elevados.

É também neste espaço de tempo que são impostas regras que condicionam a composição do combustível. Este devia agora ser composto apenas por hidrocarbonetos e quantidades limitadas de azoto e oxigénio. Banindo-se assim certos aditivos que eram usados para aumentar a potência dos veículos. Mais tarde foi decidido que os combustíveis utilizados tinham de cumprir todas as normas de saúde e segurança da União Europeia, estreitando assim a diferença entre os combustíveis utilizados em competição e os utilizados nos automóveis de estrada ditos normais.^[19]



Figura 11 - Ayrton Senna, McLaren Honda, Hockenheimring, 1990^[20]

De 2000 até hoje

No final de 2005 a maior parte das equipas competidoras tinham optado por motores V10 de 3L com um ângulo interno de 90°. A escolha de 90° está relacionado com a relação entre potência e resistência do motor.

Estes motores produziam mais de 980cv, chegando bastante perto dos 1.000cv, um feito que não se repetia desde a proibição dos motores turbo-aspirados, em carros que podiam atingir os 370km/h!

A partir de 2006 a FIA foi introduzindo regras cada vez mais apertadas, tornando os motores utilizados pelas várias equipas bastante parecidos. Esta ação teve o benefício de ter posto um travão na máxima dos últimos anos de "ganha quem mais gasta".^[1]



Figura 12 – Renault R26 e o seu motor V8 de 2006^[21,22]

1.3. Atualidade

O ano 2014 é dos que introduz mais mudanças na legislação da Fórmula 1 como, por exemplo:

- Limite de combustível, por corrida, limitado a 100Kg (menos 60 Kg que no ano anterior);
- Fluxo deste limitado a 100Kg/h.

O motor foi dos componentes mais afetados com estas novas imposições que tencionam minimizar tanto o impacto ambiental como os custos, apostando na tecnologia híbrida.



Figura 13 - Composição da "Power Unit" de 2014 ^[23]

1.3.1. O motor

Os carros de Fórmula 1 de 2014 têm um motor de injeção direta 90° V6 turbo-aspirado de 1,6L que produz 600cv e atinge as 15.000rpm, enquanto os de 2013 possuíam um motor de injeção indireta, de aspiração normal com um ângulo interno de 90° V8 de 2.4L e que atingia as 18.000rpm. [17,24,25]



Figura 14 - Motor Mercedes-Benz de 2014 ^[26]

No entanto, dois cilindros a menos e menor capacidade não colocam o motor de 2014 atrás do seu precedente, por duas razões fundamentais: o turbo e o ERS.

1.3.2. ERS (Energy Recovery System)

Em 2014, os carros de Fórmula 1 contam com mais potência proveniente de dois "Sistemas de Recuperação de Energia": o MGU-K e o MGU-H.

MGU-K:

O MGU-K (Motor Generator Unit – Kinetic) é uma evolução do KERS (Sistema de Recuperação de Energia Cinética) utilizado até 2013, que utilizava a energia desperdiçada na travagem e a transformava em energia elétrica, proporcionando assim 80cv de potência por aproximadamente 6,67 segundos por volta.

Esta versão melhorada é capaz de fornecer 160cv de potência funcionando como um motor sob aceleração durante aproximadamente 33 segundos por volta.

MGU-H:

Por sua vez o MGU-H (Motor Generator Unit – Heat) está ligado ao turbocompressor, armazenando a energia proveniente do calor dos gases de escape sobre a forma de energia elétrica. É usado para fornecer energia ao MGU-K ou para controlar a velocidade do turbo, impedindo assim fenômenos como o “*turbo lag*” (como poderemos ver mais à frente). [24,27,28,29,30]

1.3.3. Turbo-alimentador (ou Turbocompressor)

Esta tecnologia teve origem na aviação e proveio da necessidade de compensar a rarefação do ar a grandes altitudes. O turbo era então responsável por aumentar a pressão dentro dos cilindros do motor, aumentando também a potência deste.

Como é constituído?

“1 - Carcaça compressora e rotor do compressor: O compressor de ar centrífugo tem a função de aspirar o ar atmosférico e comprimi-lo para o interior do cilindro, chegando a atingir até três vezes a pressão atmosférica.

2 - Carcaça central: recebe óleo lubrificante do próprio motor e serve de sustentação ao conjunto eixo da turbina e rotor do compressor.

3 - Eixo e carcaça da turbina: a turbina centrípeta é acionada pela energia térmica dos gases de escape e tem a função de impulsionar o compressor centrífugo.” [31]

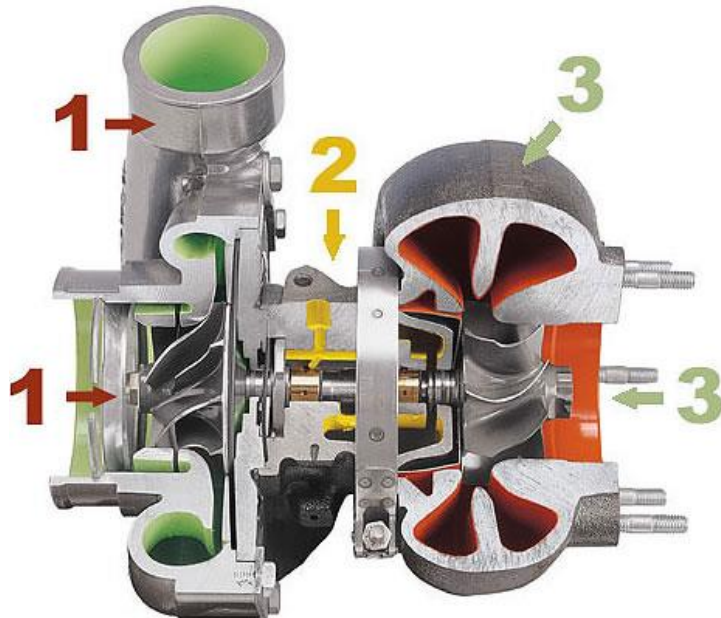


Figura 15 - Constituição de um Turbocompressor [31]

Assim o motor serve-se de um maior volume de ar facilitando a queima e reduzindo o consumo de combustível, assim como reduzindo as emissões de gases de escape. Tudo isto enquanto aumenta a sua potência! [31]

Turbo lag – A maior desvantagem do turbo em competições

O fenómeno de *turbo lag* consiste no atraso que o impulso de potência proveniente do turbo-alimentador apresenta em relação ao momento em que pressionamos o acelerador.

Quando carregamos no acelerador, aumentamos o volume de ar que entra no circuito, aumentando também o volume de gases de escape produzidos, estes gases que se encontram a alta pressão vão aplicar uma força na turbina centrípeta que a faz girar, no entanto, como esta tem massa, o aumento da sua velocidade será gradual até atingir o valor necessário para garantir o impulso criado pela aspiração forçada de gases.

O MGU-H é por isso utilizado para manter a velocidade das turbinas, fazendo com que a potência adicional gerada por ação do turbo esteja pronta a ser disponibilizada. [30]

Opinião do Diretor Geral Adjunto da Renault Sport, Rob White: "It's a slightly unusual engine architecture with a single big turbo. If we didn't have the electrical boost then the turbocharger lag would be absolutely catastrophic. In the 1980s the big single turbo was already an unfavorable solution, with turbo lag in the order of several seconds. We've added a big turbo because we need it, but [without the MGU-H] the lag would probably be several tens of seconds, which is completely unviable." [30]

1.3.4. Transmissão

Atualmente, os carros da Fórmula 1 usam 9 mudanças sequenciais semiautomáticas, em que uma delas é usada para realizar a manobra de marcha atrás (antes desta época eram apenas 8). A caixa de velocidades é constituída por carbono e titânio, visto que a dissipação de calor pelo motor é elevada, e é colocada na parte de trás do motor.

O condutor realiza as mudanças de velocidades utilizando duas patilhas colocadas do lado esquerdo (para reduzir uma velocidade) e do lado direito (para aumentar uma velocidade) na parte de trás do volante, sendo um sistema elétrico e hidráulico que realiza as mudanças das velocidades. O controlo da embraiagem também é realizado através de um sistema electro-hidráulico, exceto quando o automóvel está ou irá parar, em que o condutor embraia usando uma alavanca colocada na parte de trás do volante.

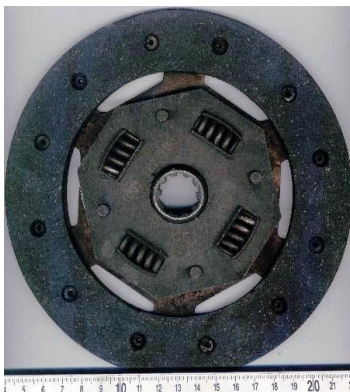


Figura 16 – Embraiagem [34]



Figura 17 – Caixa de velocidades [35]



Figura 18 – Patilhas para mudar a velocidade [36]

A embraiagem de um automóvel moderno da Fórmula 1 é uma multi-placa de carbono com um diâmetro menor que 100mm, pesando menos de 1 Kg. Desde 2009, todas as equipas utilizam um sistema de transmissão que permite uma mudança quase instantânea de velocidades. O tempo necessário para realizar a mudança de uma velocidade para outra é, aproximadamente, 0.05s. Para tornar os custos mais acessíveis na Fórmula 1, as caixas de velocidades devem durar pelo menos 6 corridas consecutivas, contudo a relação de caixa pode se mudada em cada evento. Se se substituir uma caixa de velocidades antes do tempo permitido, a equipa que causou essa substituição será penalizada (na grelha de partida o automóvel desce 5 posições na primeira corrida desde a substituição).

O sistema CVT não é permitido na Fórmula 1 e os automóveis apenas podem ter duas rodas de tração. A transmissão não pode conter o controlo de tração nem de dispositivos que ajudem o condutor a manter a embraiagem num ponto específico para ajudar a ter um início de marcha mais rápido.

Por razões de segurança, todos os automóveis devem possuir um Sistema para desembraiar no exterior do cockpit do carro e está marcado com uma letra vermelha N dentro de um círculo branco. [27,33,34,35,36]

2. Aerodinâmica

2.1. O que é a Aerodinâmica

Aerodinâmica é a ciência que estuda as propriedades e características do movimento de fluidos gasosos (ex.: ar) e as forças que estes exercem em corpos sólidos neles imersos.

A Aerodinâmica só ganhou a sua importância após o surgimento de aviões e carros, pois estes precisam de se deslocar com a menor resistência de ar possível para poderem ser mais rápidos e gastar menor quantidade de combustível. ^[37]

Para perceber como funciona a aerodinâmica, temos primeiro que ter em consideração quatro forças que atuam num carro quando este se desloca num meio gasoso.

Assim, num carro que se desloque pelo ar, temos as seguintes forças que atuam nele:

- Peso (origem não aerodinâmica);
- *Downforce*;
- Arrasto;
- Impulsão;
- Força aerodinâmica.

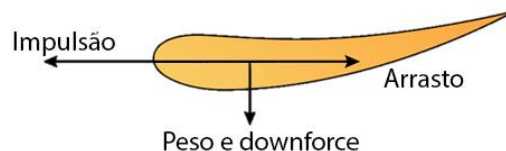


Figura 19 - Forças num perfil alar ^[38]

O peso é uma força que é sempre dirigida para o centro da Terra. A intensidade desta força depende de todas as partes do carro (a sua massa, a sua carga, etc.).

A força vertical descendente, também conhecido como *downforce*, é uma força originada pelas características aerodinâmicas de um carro. O objetivo desta força é permitir que um carro se movimente com mais velocidade numa curva, através do aumento da força vertical. Assim cria-se mais aderência ao piso.

Conforme o carro se desloca pelo ar, este resiste ao movimento do objeto. Esta força de resistência é designada por arrasto. A intensidade desta força depende da forma do carro, da viscosidade do ar e da velocidade a que o objeto se desloca. O sentido do arrasto é sempre contrário ao sentido de movimento do veículo. ^[37]

A impulsão trata-se de uma força de reação. Quando um sistema expelle ou acelera massa numa determinada direção, essa massa acelerada vai causar uma força de igual intensidade mas em sentido oposto. É assim que aviões e outros objetos se deslocam no ar. Esta força é útil não só para superar o arrasto, mas também para gerar propulsão a um carro. A intensidade desta força depende de vários fatores, como, por exemplo, o tipo de motor e o número de motores. ^[39]

A força aerodinâmica é a resultante de forças exercidas num carro pelo ar e é devida ao movimento relativo entre a viatura e o ar. ^[40]

2.2. Aerodinâmica na F1 antes dos anos 70

A aerodinâmica não era um tópico de importância antes dos anos 70. Só no final da década de 60, os engenheiros de Fórmula 1 começaram a prestar atenção a esta ciência que revelou ser um elemento bastante importante num carro de F1. Tão importante que as equipas gastam atualmente dezenas de milhões de euros em pesquisa e desenvolvimento nesta área. ^[41]

Os carros de F1 sofreram uma revolução nos finais dos anos 60 quando várias equipas começaram a fazer experiências nos seus carros com as agora tão famosas asas. Estas acabaram por ser um dos elementos mais importantes num carro de F1. ^[42]

2.3. As asas de um carro de F1

As asas de um carro de F1 funcionam de forma semelhante às asas de um avião. No entanto, as asas de um avião funcionam de maneira a proporcionar sustentação ao avião, as asas num carro de F1 proporcionam estabilidade. Como? Proporcionando força vertical descendente. O ângulo das asas pode ser ajustado de forma a conseguir a relação ideal entre a resistência do ar e a força descendente.



Figura 20 - Diferentes ângulos de uma asa de Fórmula 1 ^[43]

2.4. Evolução depois dos anos 70

Na década de 70, os engenheiros da marca de carros Lotus descobriram que o próprio carro de F1 poderia ser transformado numa enorme “asa”. Esta “asa” poderia ajudar a manter o carro “colado” à pista.

Um exemplo desta ideia foi o *Brabham BT46B*, desenhado por Gordon Murray. Este carro chegou mesmo a ter uma ventoinha que extraia o ar que passava por debaixo do carro, criando uma enorme *downforce*.

O efeito provocado por esta “asa” foi designado *ground effect*.



Figura 21 - Alfa Romeo Brabham BT46B [44]

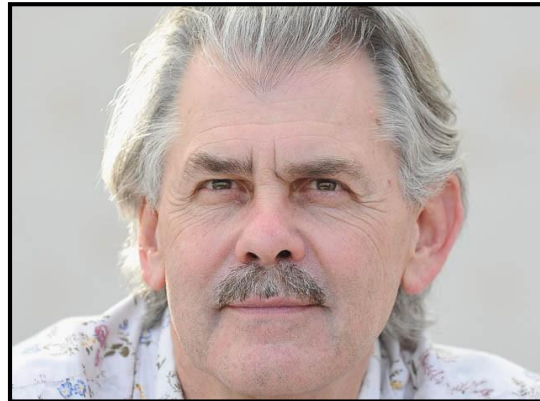


Figura 22 - Gordon Murray – famoso designer de carros de F1 [45]

Esta “asa” foi imediatamente abandonada devido a problemas técnicos e novas regulamentações que proibiram o uso do *ground effect*. Hoje, a parte inferior de um carro de F1 é completamente plana, desde o bico até à linha do eixo traseiro.

As asas primárias montadas tanto à frente como atrás estão equipadas com diferentes perfis dependendo da necessidade de *downforce* de cada circuito em particular.

Assim, circuitos apertados e onde os carros circulam a uma velocidade menor, como o circuito do Mónaco, requerem duas lâminas na asa traseira para aumentar a *downforce*. Em contraste, circuitos de alta velocidade, como o circuito de Monza, veem os carros desprovidos de tanta asa quanto possível para diminuir a força de arrasto e assim conseguirem atingir maiores velocidades nas retas.

Quando um carro de F1 é desenhado, o principal detalhe em ter atenção é a aerodinâmica do mesmo. Desde a forma das

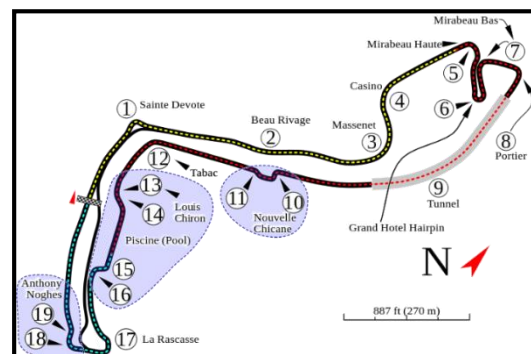


Figura 23 - Circuito do Mónaco [47]

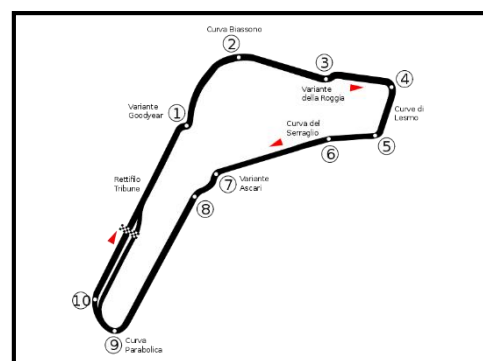


Figura 24 - Circuito de Monza [48]

ligações da suspensão até ao capacete do condutor, tudo tem o seu efeito aerodinâmico considerado.

Na zona onde a corrente de ar separa-se do corpo do carro cria-se turbulência que, por sua vez, cria arrasto, diminuindo a velocidade do carro. Assim, os esforços estão focados na diminuição do arrasto e no aumento de *downforce*.

Nos últimos anos, a maioria das equipas de F1 tentam simular a “cintura fina” de um Ferrari, isto é, a frente do carro é feita de maneira a ser a mais fina e baixa possível. Com este *design*, reduz-se o arrasto e maximiza-se a quantidade de ar disponível para a asa traseira. Sendo a primeira parte a encontrar resistência do ar, a asa frontal é a chave da aerodinâmica. A asa conduz o ar para as laterais do carro e para cima, assegurando-se que chega às partes certas para criar *downforce* e evitando que atinge áreas onde teria um efeito negativo.^[46] As laterais do carro ajudam na movimentação da corrente de ar e minimizam a quantidade de turbulência.^[42]

2.5. Coeficiente de arrasto

O coeficiente de arrasto é um número adimensional que é usado para quantificar o arrasto de um corpo que se desloque num fluido. Quanto menor o coeficiente, menor a resistência oferecida pelo ar ao movimento do corpo.

O coeficiente de arrasto c_d é definido como:

$$c_d = \frac{F_d}{0,5\rho v^2 A},$$

Onde:

F_d é a força de arrasto, a qual é por definição o componente de força na direção da velocidade de fluxo;

ρ é a densidade de massa de um fluido;

v é a velocidade do objeto relativo ao fluido, e

A é a área de referência.

A área de referência depende do tipo de objeto que se desloca pelo ar. Por exemplo, no cálculo do coeficiente de um carro, a área é a área da projeção frontal do veículo.^[49]

Automóvel	Coefficiente de arrasto
Pac-Car II - 2005	0.075
BMW i8 – 2014	0.22
Mercedes-Benz S-Class - 2014	0.24
Nissan GT-R – 2011	0.26
Seat Leon – 2012	0.30
McLaren F1 - 1992	0.32
Koenigsegg Agera R - 2013	0.33 a 0.37
Dodge Viper GTS – 1996	0.35
Smart ForTwo – 2008	0.35
Ferrari F50 – 1996	0.37
Valores típicos de um carro de F1	0.7 a 1.1

Tabela 1 – comparação entre diferentes coeficientes de arrasto entre diferentes veículos ^[50]

2.6. Regulamento para 2014

Comparativamente ao regulamento de 2013, houve duas mudanças cruciais nas asas dos carros de F1.

- A asa frontal passou de um comprimento máximo de 1800mm para um comprimento máximo de 1650mm, numa tentativa de mudar a influência aerodinâmica que esta peça atinge.

A sua largura também mudou de 60mm para 50mm e ainda é obrigatório que seja uma única peça que não esteja a mais de 100mm do plano de referência. ^[51]

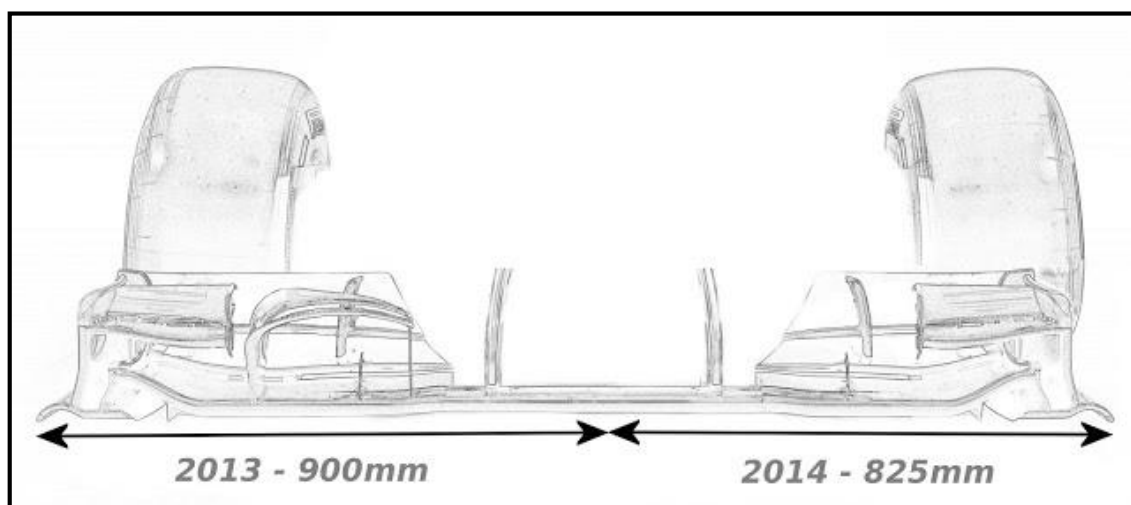


Figura 25 - comparação do comprimento da asa frontal medida desde a ponta até ao seu eixo ^[6]

- O plano mediano da asa traseira subiu 20mm relativamente a 2013, estando agora nos 750mm.

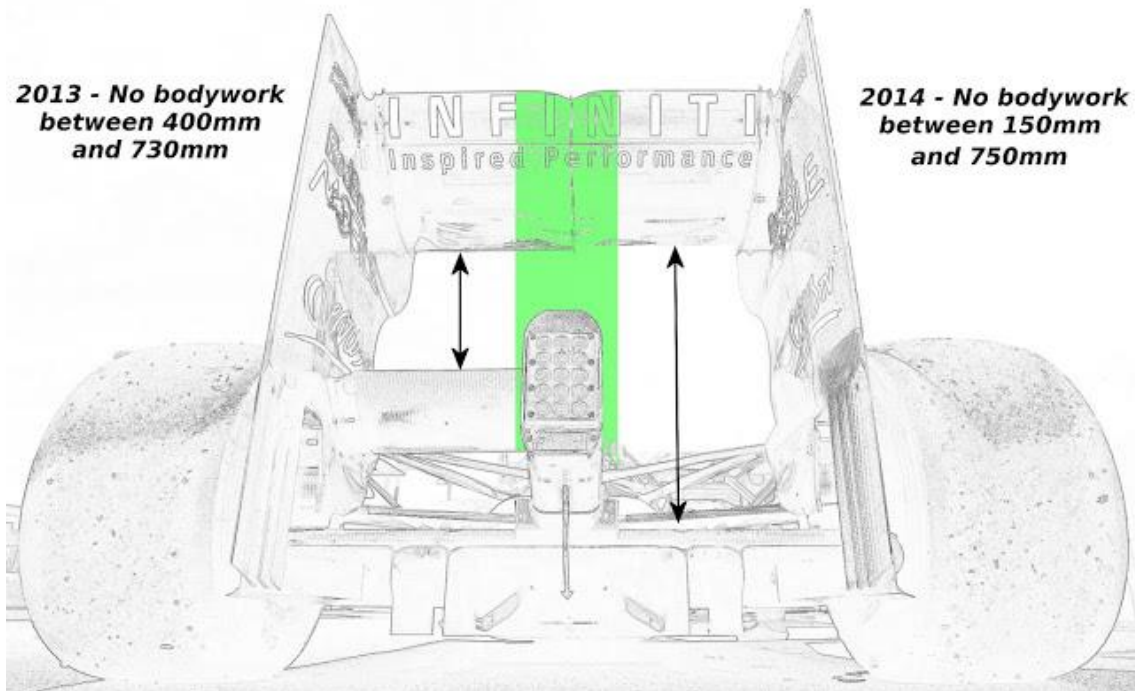


Figura 26 - diferenças nas regulamentações na asa traseira entre o ano de 2013 e o ano 2014 ^[51]

O feixe inferior da asa traseira era um método utilizado pelas equipas para conseguir obter uma *downforce* adicional, desde que este não se encontrasse a mais de 400mm acima do plano de referência. Com as novas regulamentações, qualquer tipo de material acima dos 150mm é proibido (com a exceção da zona central de 150mm mostrada a verde na figura 26 acima). ^[51]

2.7. Curiosidade

Um carro moderno de F1 é capaz de desenvolver uma força vertical de cerca de 2.500kg, ou seja, mais do que quatro vezes o peso do próprio carro. Isto advém da engenharia aerodinâmica. Teoricamente, com uma força dessa intensidade, a alta velocidade, um carro de F1 é capaz de circular de cabeça para baixo. ^[42]

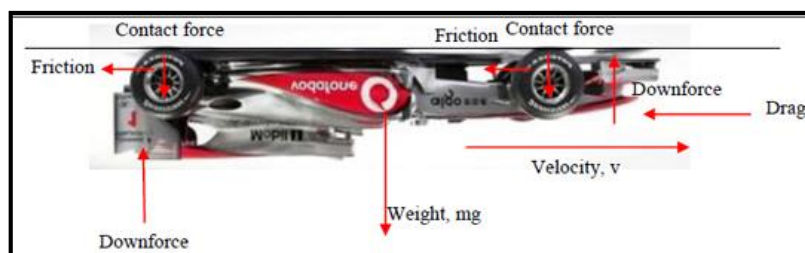


Figura 27 - representação das forças de um carro de F1 que conduz de cabeça para baixo ^[51]

3. Sistema de Travagem

O sistema de travagem de um Fórmula 1 é certamente o mais bem preparado do mundo. Um carro de Fórmula 1 a 300Km/h leva cerca de 4 segundos para parar totalmente, quando a 200Km/h o carro leva apenas 2,9 segundos para parar e faz isso em cerca de 65m. Finalmente, a 100Km/h demora 1,4 segundos e pára totalmente em 17 metros! Esses são alguns dados impressionantes.

Contudo, antes de nos debruçarmos em específico sobre os travões de um Fórmula 1, convém perceber como se processa a travagem de um veículo comum.

3.1. Conceitos gerais de funcionamento

Como todos sabemos, os travões tem um papel importantíssimo no veículo, sendo estes os responsáveis pelo abrandamento do mesmo. No entanto, muita gente desconhece o seu funcionamento real.

A maioria das pessoas pensa que os travões apertam os tambores ou os discos – consoante se trate de travão de tambor ou de disco – e que essa pressão faz travar o veículo. Contudo esta é uma ideia errada, pois não é a pressão exercida pelos travões que origina o abrandamento do veículo, mas sim o facto de os travões serem um mecanismo que possibilita as trocas de energia. Assim sendo, quando estes são ativados, os calços vão transformar a energia cinética do veículo em energia térmica por fricção, uma vez que, segundo a lei da conservação de energia, nada se perde ou cria tudo se transforma.

Contudo, como em qualquer domínio, podem sempre ocorrer situações anormais e o correto funcionamento ficar alterado. Desta forma, surge-nos um conceito bastante importante, e que vai ser frequentemente referido neste relatório: o conceito de *brake fade*. Esta expressão designa o fenómeno resultante do sobreaquecimento dos travões e consequente perda da sua capacidade de absorver mais energia.

Isto pode ser observado em duas situações. Num primeiro caso, a resina presente nos calços evapora-se, criando um gás que forma uma camada entre estes e o disco ou tambor. Tal situação provoca um efeito semelhante à aquaplanagem, que leva a uma perda de contacto entre os dois e diminui a fricção. Outra situação surge quando, devido a elevadas temperaturas, o líquido dos travões começa a ferver, criando bolhas de ar nos tubos. Desta forma, nas próximas vezes que ativarmos os travões, estes vão estar mais “soltos”, uma vez que o ar, ao contrário do fluido dos travões, é compressível. Ou seja, quando pressionarmos o travão estaremos a comprimir as bolhas de ar e não a pressionar o disco. ^[52]

3.2. Travões de tambor

O sistema de travões de tambor tem como principais constituintes os tambores, os calços e os cilindros. Neste tipo de sistema, a pressão exercida no pedal é transmitida pelo líquido dos travões, através de tubagens, para os cilindros, que por sua vez vão pressionar os calços contra os tambores, uma vez que estes rodam juntamente com a roda, e os cilindros são fixos.

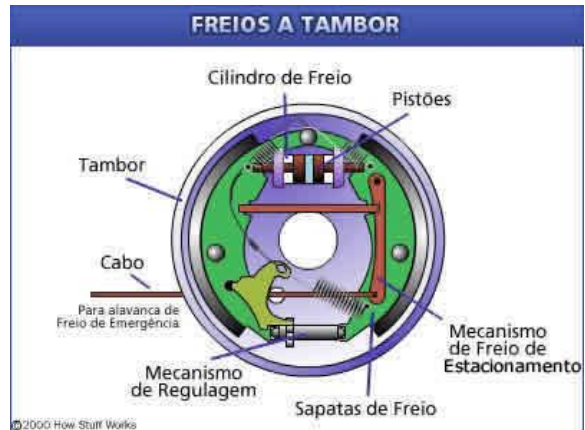


Figura 28 - Componentes do Travão de Tambor ^[53]

Para se obter uma travagem eficaz com os travões de tambor, o estado deste é importantíssimo. O sistema deverá assim ser estanque, não permitindo a entrada de elementos estranhos. Por outro lado, o tambor deverá ter uma forma cilíndrica perfeita e uma superfície de travagem regular.

O outro constituinte, as pastilhas ou calços de travão, revelam-se de uma importância fulcral para a segurança do veículo, pelo que o seu estado de conservação deve ser cuidadosamente controlado.

Estes são fabricadas num material mais mole do que o dos discos ou tambores. Por esse motivo, naturalmente, desgastam-se progressivamente com o uso, sendo considerados como consumíveis. Esse desgaste provém do atrito provocado pela travagem ao reduzir a velocidade de rotação da roda, aumentado ainda pelo calor que é gerado durante a travagem. ^[54,55]

3.3. Travões de Discos

Neste sistema de travões, o disco do travão acompanha o movimento da roda, ao passo que a pinça onde estão colocadas as pastilhas do travão é fixa à suspensão. Deste modo, ao aplicar pressão no pedal, o líquido dos travões vai pressionar as pastilhas contra o disco, fazendo-o perder velocidade por fricção. ^[54,56]

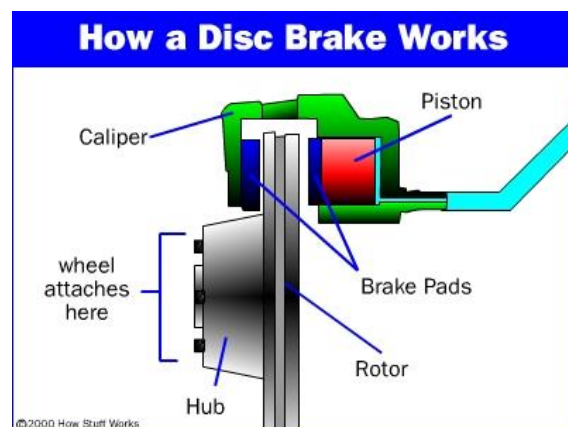


Figura 29 – Componentes do Travão de Disco ^[56]

Este tipo de travões oferece um maior poder travagem. Além disso, tem a vantagem de permitir um mais fácil arrefecimento das superfícies de fricção através do ar que circula em redor do disco. No entanto, a localização das referidas superfícies também as coloca expostas aos elementos externos, tais como água, poeiras entre outros, que as vão danificando. Além

disso, a manutenção destes travões é mais dispendiosa que a dos travões de tambor, pois requer uma maior frequência e é necessário substituir tanto as pinças como os discos e calços. Nos de tambor, apenas é necessário substituir os calços. ^[57]

3.4. Evolução do sistema de travagem na Formula 1

Os travões de tambor foram os primeiros a serem utilizados pelos carros de Fórmula 1 em 1950. No entanto, devido à evolução dos motores, foi necessário criar uns travões que tivessem um maior poder de travagem e que fossem menos suscetíveis ao *brake fade* e, em 1955, o britânico Tony Brooks conduzia pela primeira vez um Connaught com travões de disco. Contudo, só uma série de anos mais tarde é que se tornou uma prática comum. ^[58]



Figura 30 - Connaught type B, 1955 ^[59]

Apesar desta mudança, como os automóveis a atingirem velocidades cada vez mais elevadas, não demorou muito até estes terem novamente problemas com o *brake fade*. Por essa razão foram criados novos tipos de discos: discos perfurados, discos ventilados, discos com ranhuras e discos mistos. Para além deste melhoramento, foram também introduzidos discos com um maior volume, o que significa um maior poder de absorção de calor, uma maior área para as pastilhas gerarem fricção e uma maior área por onde pode ser dissipado o calor. ^[52]



Figura 31- Disco ventilado ^[60]



Figura 32- Disco perfurado ^[61]



Figura 33- Discos ranhurados ^[62]



Figura 34- Discos mistos ^[63]

Atualmente, os discos de travões dos carros de Fórmula 1 deixaram de ser produzidos em aço para serem fabricados em fibra de carbono, um material mais leve e principalmente resistente à temperatura. Convém lembrar que um disco de travão de um Fórmula 1 trabalha normalmente a cerca de 650°C e pode passar dos 1000°C. Adicionalmente, estes possuem uma abertura de refrigeração do travão para ajudar no seu arrefecimento. ^[52]



Figura 35- Abertura de refrigeração do travão ^[64]



Figura 36 – Disco do travão a elevada temperatura ^[65]

3.5. Sistema de travagem atual na Fórmula 1

Como vimos, o sistema de travagem tem sofrido inúmeras mudanças desde o início da Fórmula 1, no entanto uma das principais alterações foi a proibição, nos anos 90, do uso do ABS (Anti-lock Breaking System), que distribui o líquido dos travões entre as rodas, impedindo que as rodas bloqueiem totalmente e deixem o carro a derrapar sem aderência à pista. Tal sistema melhorava incrivelmente o desempenho do piloto na hora de travar, o que não se pretende neste desporto. Assim sendo, hoje em dia, a travagem é uma competência importantíssima que os pilotos têm de desenvolver e têm de possuir uma sensibilidade muito grande para equilibrar o carro nas curvas.

Para além disto, nos dias de hoje, os carros de Fórmula 1 possuem dois sistemas de travagem separados – o posterior e anterior – assegurando que, mesmo havendo uma falha num dos sistemas, será possível travar graças ao segundo circuito. ^[66]

Atualmente introduziu-se, na Fórmula 1, o sistema de travagem *brake-by-wire*, um sistema eletrónico que mede a força aplicada pelo piloto no pedal, e então – usando informações adicionais da recuperação de energia – determina em uma fração de segundo a quantidade de pressão de travagem que deve ser aplicada nas pinças dos travões traseiros. ^[67]

Atualmente, os travões na Fórmula 1 obedecem a um conjunto de normas restritivas: ^[68]

1. O disco deve medir no máximo 278 mm de diâmetro e 28 mm de largura;
2. Tem de ter apenas uma pinça/maxila como um máximo de 6 pistões e 2 calços;
3. Há também limitações no tamanho nos canais de refrigeração dos travões e não podem sair para além da roda;
4. É proibida a utilização de líquido para arrefecimento dos travões.

4. Pneus

Os pneus de fórmula 1 são fundamentais para a performance do automóvel, visto que são o elemento que liga o veículo à estrada e permite a sua circulação. Ao longo dos anos, as características de pneus têm alterado significativamente.

4.1. Características e composição

O pneu de corrida é constituído por uma mistura de diferentes tipos de borracha (mole, sintética e natural) o que fornece a máxima aderência ao piso. Contudo os pneus, durante a circulação do automóvel, tendem a gastar-se bastante. Os pneus aderem melhor ao piso quando se encontram a elevadas temperaturas, pelo que no início da corrida quando estão frios, não aderem tanto como quando o carro já circulou durante algum tempo.

Os pneus de fórmula 1 são cheios com uma mistura especial de ar rico em nitrogénio, de modo a diminuir as variações de pressão dentro do pneu com a temperatura. ^[69]

4.2. Diferenças entre pneus de corrida e pneus de estrada

Apesar de algumas características técnicas serem idênticas, existem várias diferenças entre os pneus de corrida e os de estrada. Por um lado, os pneus para automóveis são feitos com camadas de malha de aço, de modo a aumentarem a durabilidade do pneu (pelo menos 16.000 Km). Por outro lado, os atuais pneus de F1 são feitos para durarem cerca de 120 Km, sendo leves e resistentes. Este tipo de pneu têm uma camada interior de uma estrutura de nylon e poliéster, feita para resistir a forças superiores às que um pneu de estrada está sujeito. ^[70]

4.3. História

No começo da Fórmula 1, nos anos 50, os pneus eram estreitos e altos e, normalmente, os pneus dianteiros eram do mesmo tamanho dos traseiros. Nesta década havia vários fabricantes de pneus, tal como a continental, Dunlop e Pirelli. No início da década de 60, os pneus tornaram-se mais largos e os traseiros eram, ligeiramente, maiores que os dianteiros. Em meados dessa época, os pneus tornaram-se, ainda mais largos e no final dos anos 1960 e início da década de 70, apareceram os pneus “slick” (lisos) que por serem totalmente lisos, a área de contacto com o solo era maior logo a aderência também era maior.



Figura 37 – Pneus “slick” ^[72]

Em 1998, foram introduzidos os pneus com nervuras (3 nervuras nos pneus dianteiros e 4 nos traseiros). Entre 1999 e 2008, o regulamento exigia que todos os automóveis possuíssem, no mínimo, pneus com 4 nervuras, com o objetivo de diminuir a velocidade máxima. [71]



Figura 38 – Pneus com nervuras da época de 2008 [73]



Figura 39 – Pneus com nervuras da Bridgestone [75]

Os pneus dianteiros não poderiam ter uma largura superior a 355 mm, e 380 mm nos traseiros, sendo o diâmetro máximo permitido igual a 660 mm (670 mm nos pneus de chuva). A partir de 2007, passou a haver apenas um produtor de pneus, de modo a haver mais competitividade e redução de custos, (Bridgestone nessa época) e foram introduzidos 4 tipos de pneus para piso seco e 2 para piso molhado, sendo que o pneu mais duro (prime), tem uma duração maior mas tem menos aderência, enquanto, o pneu mais mole (option), tem uma duração mais pequena, mas tem mais aderência ao piso. Para cada evento, cada equipa escolhia 2 desses 4 tipos de pneus e eram obrigadas a utilizar os dois tipos (caso não o fizessem a equipa seria desqualificada do evento). [8] Contudo, quando as condições atmosféricas não o permitiam (como quando chovia), a regra de obrigação da utilização dos dois tipos de pneus secos não se aplicava.

De modo, a distinguir os tipos de pneus, pintava-se na segunda nervura do lado interno do pneu uma cor que identificava qual o tipo de pneu. Em 2009, foram introduzidos de novo os pneus “slick” (lisos), pintando-se nas laterais das rodas a marca do fornecedor com a cor identificativa do tipo de pneu, visto que já não existiam sulcos nos pneus. [75]

Em 2010, a Pirelli passou a ser a fornecedora de pneus e até à atualidade, continua a sê-lo. Esta marca definiu que para cada tipo de pneu haveria uma cor diferente, sendo que o tipo de pneu para piso seco mais duro teria uma cor prateada, o intermédio teria cor branca. o mole teria cor amarela e o mais mole teria cor vermelha. Para os pneus de chuva, os intermédios teriam cor azul claro e os pneus para o piso mais molhado teriam cor alaranjada. [9,10,11]



Figura 40 – As diferentes cores dos pneus de F1 na época de 2010 [69]

Na época atual (2014), as cores dos pneus alteraram-se, pelo que o pneu mais mole e o pneu mole mantêm a cor vermelha e amarela, respetivamente, o pneu “slick” intermediário tem cor branca e o mais duro tem cor alaranjada. Quanto aos

pneus para piso molhado, o intermédio tem cor verde e o de piso muito molhado tem cor azul.



Figura 41 – Pneu intermédio Pirelli para pisos molhados ^[69]



Figura 42 – As diferentes cores dos pneus de F1 nesta época ^[79]

5. Suspensões



Figura 43- Tipos de suspensão na fórmula1 ^[80]

5.1. Princípios gerais de funcionamento

No entanto, todos os sistemas falados destinados a aumentar a capacidade do veículo são inúteis se o condutor não puder controlar o carro. Por isso, os engenheiros automobilísticos começaram a voltar a sua atenção para o sistema de suspensão quase ao mesmo tempo que descobriram os motores.



Figura 44 - Sistema de suspensão de braços triangulares superpostos no Honda Accord Coupe 2005 ^[81]

A função da suspensão é, assim, maximizar o atrito entre os pneus e o solo, de modo a fornecer estabilidade na direção e conforto aos passageiros.

Isto porque não existem estradas perfeitamente planas, todas elas, até as recém-pavimentadas, possuem irregularidades (que interagem com as rodas dos veículos transmitindo-lhes uma força que vai provocar sempre uma aceleração vertical) e também existem curvas (nas quais devido à inércia do veículo ele resiste à mudança de direção provocando um aumento da pressão no lado para o qual vai virar e na frente/traseira ao travar/acelerar). [81]

Movimentos estes que, como todos os outros, possuem energia que, sem uma estrutura que intervenha, vai ser transferida para todo o veículo o que provoca uma perda de controlo e, como é claro, desconforto. [81,82]

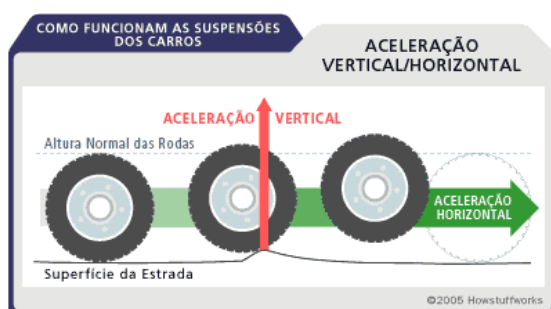
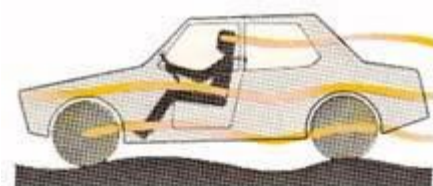
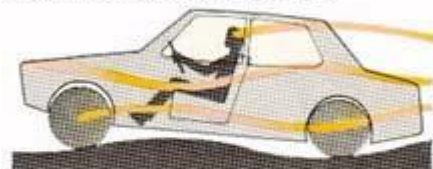


Figura 45 - Irregularidades da estrada [81]



AUSÊNCIA DE SUSPENSÃO

Todas as irregularidades da superfície da faixa de rodagem são transmitidas aos ocupantes do automóvel.



AUSÊNCIA DE AMORTECEDORES

O automóvel oscilará continuamente para cima e para baixo, a menos que as oscilações sejam absorvidas pelos amortecedores.



SUSPENSÃO EFICIENTE

As rodas movem-se facilmente para cima e para baixo; porém, graças às molas e aos amortecedores, os ocupantes do automóvel não sentem esses movimentos.

Figura 46 - Importância da suspensão [83]

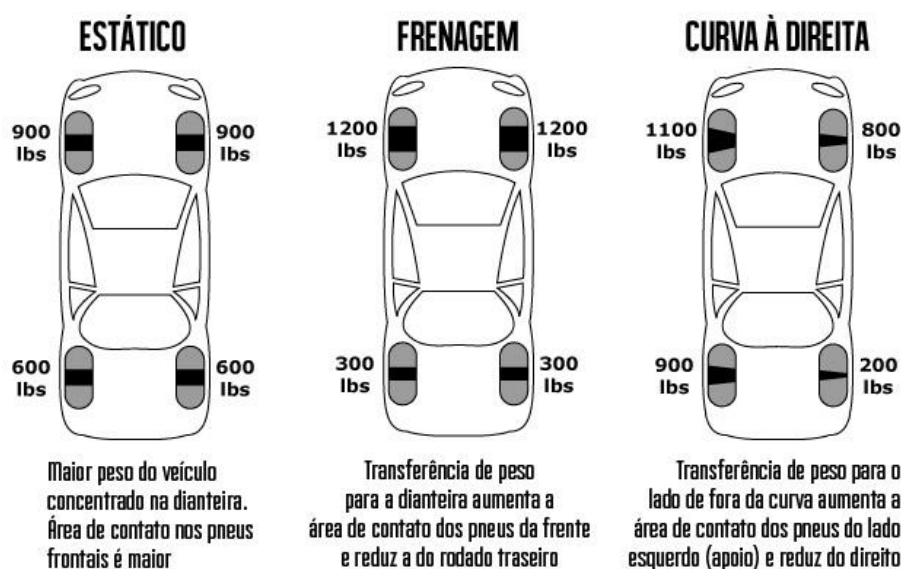


Figura 47 - Transferência de peso nas manobras (frenagem=travagem) [82]

Daí ser necessário um sistema que irá absorver a energia das rodas aceleradas verticalmente e dos efeitos provocados pela inércia, permitindo que o chassi e o corpo permaneçam inalterados enquanto as rodas seguem as ondulações do solo.



Figura 48 - Exemplos de transferências de peso ^[82]

5.2. Contexto Histórico



Figura 49 – Suspensão ^[84]

A evolução dos sistemas de suspensão desde sempre foi potenciada pela fórmula 1 e outros desportos automóveis, sendo no início apenas constituída por um feixe de molas (seis ou sete lâminas de ferro sobrepostas) que basicamente não absorviam os impactos do solo, o que só melhorou em meados dos anos 50 com a adoção das molas helicoidais e amortecedores tornando a condução bem mais leve e proporcionando maior estabilidade (o que chegou aos carros de rua alguns anos mais tarde). ^[85]



Figura 50 - Feixe de molas ^[86]

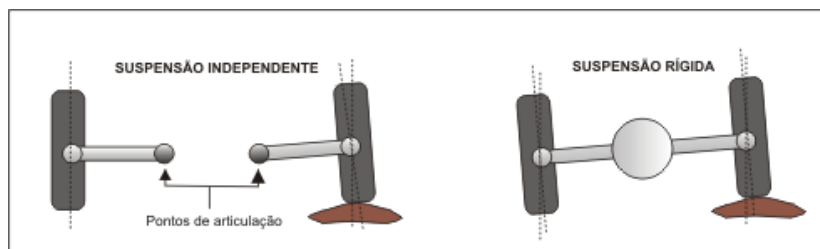


Figura 51 - Suspensão independente e rígida ^[87]

Passando depois de uma suspensão dependente/rígida (onde as suspensões das diferentes rodas estão ligadas provocando que, se uma das rodas encontrar um obstáculo, a outra se mova paralelamente) para a independente (onde estão separadas). ^[87]

E começando a divagar a partir daí, aparecendo vários modelos sendo os mais famosos e ainda utilizados atualmente nos carros normais (principalmente devido ao preço que implica usar uma melhor) a suspensão McPherson (a mais básica) e a Double Wishbone (ou braços sobrepostos, que apareceu um pouco depois e possui dois braços de suspensão que permitem um maior controlo da posição do pneu em relação ao chassi e da sua convergência nas curvas). [88]

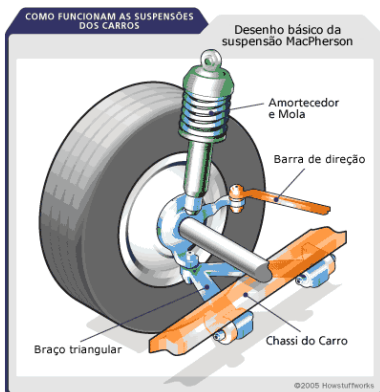


Figura 52 - Suspensão McPherson [81]



Figura 53 - Suspensão Double Wishbone [88]



Figura 54 – Convergência [89]

Suspensão Double Wishbone a partir da qual se desenvolveu a multi-link nos 70 e que, com pequenas alterações, ainda é a usada atualmente na fórmula 1, que apenas possui os braços de suspensão divididos, ou seja, cada parte, embora ligadas no mesmo ponto, em baixo (braço inferior) e em cima (braço superior), ao eixo, movimentam-se independentemente das outras permitindo várias direções e ângulos entre elas o que leva a que quando o eixo gira durante a condução altere a geometria da suspensão permitindo a adaptação a qualquer situação do terreno. [90]

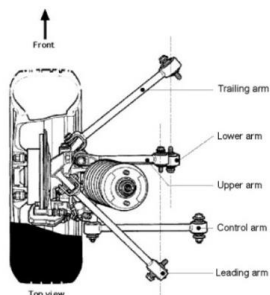


Figura 55 - Suspensão multi-link [90]

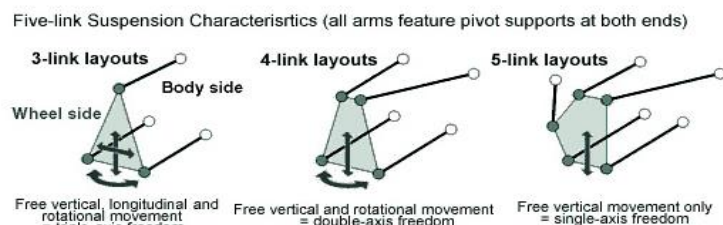


Figura 56 - Possíveis posições dos braços em suspensões multi-link [90]

No entanto, embora este sistema seja o usado atualmente, com diferenças mínimas, a suspensão teve o seu auge nos anos 90 com a suspensão ativa e os amortecedores reguláveis (em 2000), ambos controlados eletronicamente.

Basicamente na suspensão ativa, apresentada no seu máximo pela equipa Williams em 1992, é usado um conjunto de sensores que “leem” o piso á frente do veículo e transmitem as informações a uma central eletrônica que as envia a mecanismos na suspensão para adaptarem os pneus no momento certo às irregularidades do terreno.

Usando o mesmo sistema os amortecedores reguláveis controlados eletronicamente, nos quais a central eletrônica envia para as válvulas solenoides, que se situam nos amortecedores, a “ordem” de aumentar ou reduzir a vazão do óleo e/ou torna-lo menos ou mais consistente.

Na imagem ao lado vê-se o carro FW-15C da equipa Williams que foi o primeiro a usar suspensões ativas

E por, conseqüentemente, se adaptar melhor às pistas venceu dez das 16 etapas em 1992 e repetiu a proeza em 1993.



Figura 57 - FW-15C ^[91]



Figura 589 - Efeito da suspensão ativa ^[91]

Sendo a tecnologia banida a partir da temporada de 1994, por supostamente tirar espetacularidade à corrida, visto que o carro era controlado em parte eletronicamente e não pelo condutor.

Atualmente esta tecnologia apenas é usada em carros topo de gama devido ao elevado custo. ^[91]

5.3. Componentes

Assim, atualmente, o sistema de suspensão na Fórmula 1 possuiu os seguintes componentes:

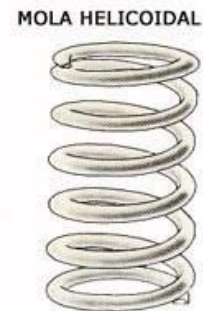
- Uma barra de torção e uma mola (geralmente chamada terceira mola ou *inerte*) que acumulam a energia resultante dos solavancos provocados pela irregularidade do pavimento.



Figura 59- Carro sem molas [87]



Figura 60 - Barra de torção [83]



Uma mola helicoidal consiste numa barra de torção especial que acumula a energia produzida pelo movimento alternado ascendente e descendente.

Figura 61 - Mola helicoidal [83]

- Um amortecedor que limita as oscilações da mola, impedindo a sua expansão e retração, tornando a dirigibilidade muito mais segura e estável.



Figura 62 - Carro com molas, mas sem amortecedores [87]

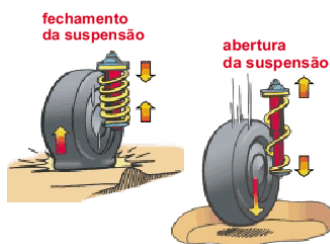


Figura 63 - Função do amortecedor [87]

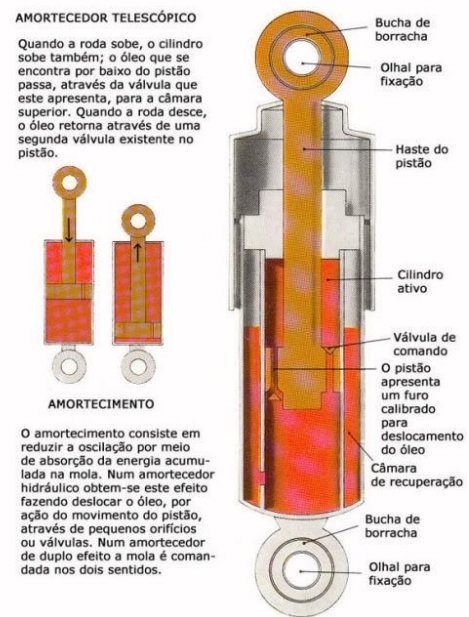
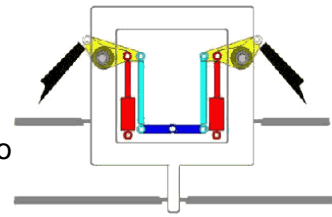


Figura 64 - Funcionamento do Amortecedor [83]

- Dois braços de suspensão que servem como apoio à suspensão ligando-a ao chassi e orientam o movimento vertical da roda.
- Barra de ligação/estabilizadora que liga a suspensão de uma roda à da outra sendo responsável pela estabilidade do veículo.

- Uma barra de acionamento (*rod*).
- E uma alavanca que transfere a energia do deslocamento da roda fornecida pela barra de acionamento à mola, torcendo-a. ^[92]



Preto - Barra de acionamento
Amarelo - Alavanca
Cinza - Barra de torção
Vermelho - Amortecedor
Azul - Barra de ligação

Figura 65 - Suspensão de um carro da Fórmula 1 ^[92]

5.4. Funcionamento

Sendo estes componentes montados em dois sistemas: *pull-rod* e *push-rod* que apenas diferem entre eles devido à posição da barra de acionamento (*rod*) e dos outros sistemas *multi-link* usados nos carros normais pela existência desta e da alavanca o que permite a colocação dos outros componentes dentro do chassi, ocupando um menor espaço no veículo, reduzindo o peso da massa não suspensa (massa que sente todos os efeitos transmitidos pelas irregularidades do piso) e que, por conseguinte, exige menos dos sistemas de direção e suspensão, sendo usada na sua construção uma fibra de carbono com o mesmo propósito (reduzir o peso e aumentar a dureza).

5.4.1. Push-rod vs Pull-rod

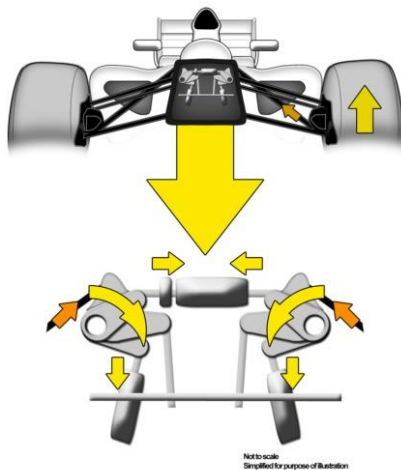


Figura 66 - Funcionamento da suspensão push-rod ^[93]

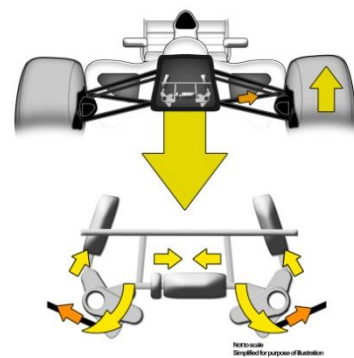


Figura 67 - Funcionamento da suspensão pull-rod ^[93]

No caso da figura da página anterior (na suspensão *push-rod*), a roda ao subir quando passa a irregularidade faz com que a barra de acionamento (*rod*) também suba e, ao fazê-lo, empurre (*push*) a alavanca (*rocker*) que por sua vez ao mover-se vai torcer a barra de torção (*torsion bar*) fazendo com que depois, a alavanca, à medida que a barra volta à posição original, comprima o amortecedor (*damper*), eliminando a oscilação, e a terceira mola (*inertor*) que evita que o carro seja empurrado para cima, operando também a barra estabilizadora para que não seja perturbada a estabilidade do veículo.

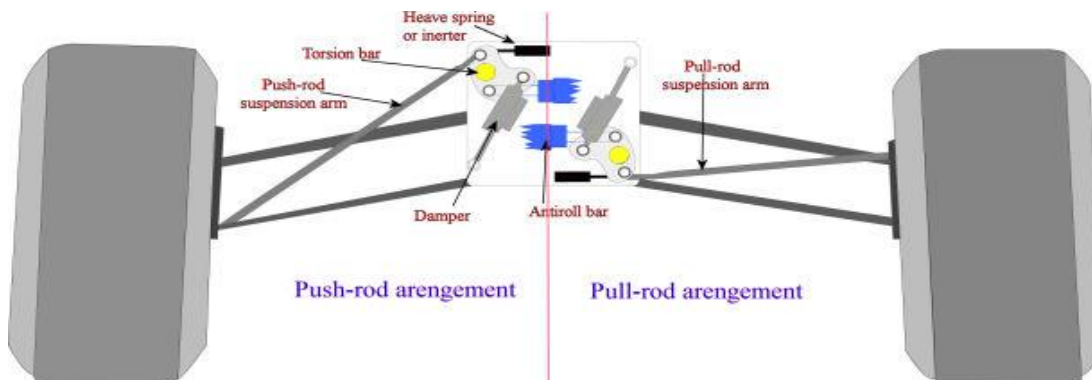


Figura 68 - Suspensão *push-rod* vs suspensão *pull-rod* ^[12]

Verificando-se também o mesmo mecanismo na suspensão *pull-rod*, sendo a única diferença a posição do arranjo, como se verifica na figura acima, e o facto de esta ser ativada não pelo “empurrão” (*push*) da roda a subir mas sim puxada (*pull*) devido à diferente posição da barra de acionamento como se verifica na figura. ^[92,93]

5.4.2. Vantagens e desvantagens

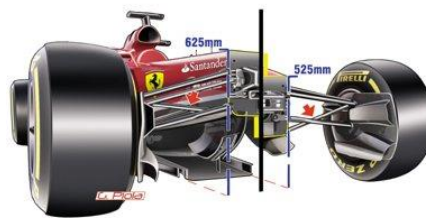


Figura 69 - Diferentes posições da suspensão ^[94]

Quanto à escolha do sistema a utilizar diferencia de equipa para equipa, embora atualmente quase todas usem a suspensão *push-rod* à frente e a *pull-rod* atrás, mas vão existindo mudanças, pois ambas têm várias vantagens e desvantagens, tais como:

Pull-Rod:

No caso da *pull-rod* a suspensão não precisa ser muito forte pois trabalha em tração (puxa) e não em compressão (empurra), sendo por isso mais fina e apresentando menor resistência aerodinâmica, permitindo também que o sistema de suspensão seja colocado mais a baixo diminuindo o centro de gravidade e sobrando mais espaço na parte traseira, fazendo com que melhore o fluxo de vento (arrasto) e a condução.

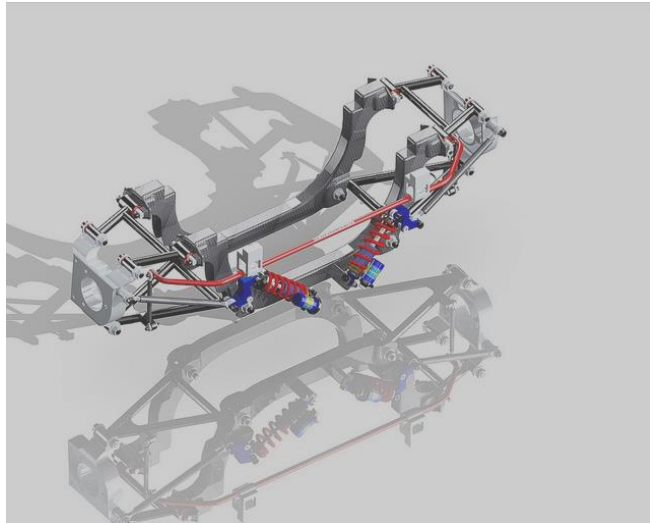


Figura 70 - Posição da suspensão pull-rod no veículo [95]

No entanto, esta configuração gera uma força de ação-reação no braço superior, vinda da barra de acionamento transmitindo mais carga ao chassi. Tendo o braço superior de ser mais robusto e pesado, anulando parte dos ganhos vindos da redução do centro de gravidade, também o mecanismo da suspensão é de difícil acesso, visto estar na parte mais baixa do chassi o que dificulta a manutenção, e é difícil a sua montagem em bicos altos devido ao ângulo necessário. [92,96]

Push-Rod:

Por outro lado é mais fácil executar a manutenção nas *push-rods* e é mais adequada aos bicos elevados permitindo uma *downforce* maior, sendo também mais resistente visto a força de reação gerada pela barra ser direcionada para o solo e não para o chassi.

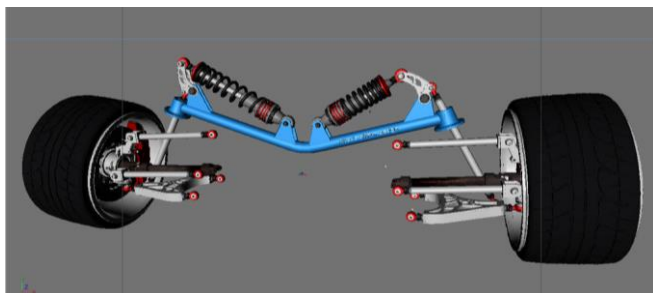


Figura 71- Posição da suspensão push-rod no veículo [97]

Contudo possui um centro de gravidade mais alto e não permite um fluxo de ar tão bom como a *pull-rod*, pois a barra e os braços tem de ser mais resistentes, visto que executam uma força de compressão. [96]

6. Chassis



Figura 72- Chassi de carro da Fórmula 1 ^[98]

6.1. Princípios gerais de funcionamento

O chassi é o esqueleto de qualquer automóvel, sendo o seu suporte onde tudo é preso e anexado, é sobre ele que se montam a carroçaria, o motor, a ele se prendem as rodas, etc. e sem ele não seria possível nada disso existir.

Assim cada chassi, na Fórmula 1, representa um compromisso entre menor peso (de forma a adquirir uma maior aceleração) e uma maior rigidez (de forma a manter o controlo sobre a geometria da suspensão mantendo as rodas firmemente no chão), sem esquecer o tamanho dos componentes, complexidade e custo, tendo sempre em conta que os esforços que o chassi sofre, quando o veículo está em movimento, são violentos devendo por isso também ser resistente: não deformar-se e nem permitir que os outros componentes o façam.

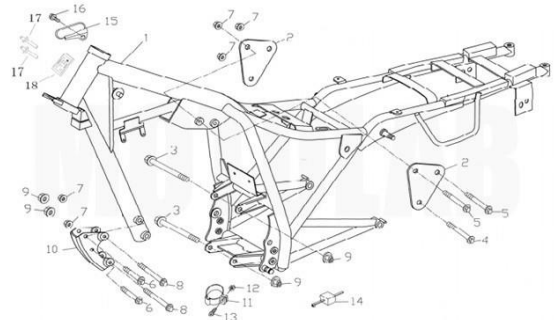


Figura 73 - Design de chassi ^[101]

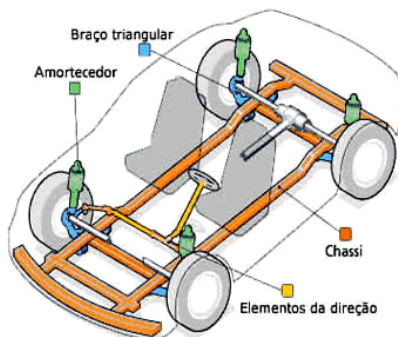


Figura 74 - Chassi e suspensão ^[102]

Resumindo, deve possuir as qualidades necessárias a qualquer chassi desenvolvidas ao mais alto patamar:

- Ser estruturalmente sólido de forma a nunca quebrar sob as condições para as quais foi preparado, tendo um tempo de vida maior do que é esperado;
- Manter as localizações de montagem da suspensão de forma à manipulação do automóvel ser segura e consistente em grandes curvas e sob pressão, ou seja ter o mínimo de flexibilidade possível;

- Suportar todos os componentes do veículo de modo a parecerem sólidos;
- E proteger o condutor contra invasões externas. ^[99,100]

6.2. Contexto histórico/tipos de chassis

Assim, na história do automóvel, a estrutura do chassis tem sofrido um grande número de alterações, principalmente devido ao desenvolvimento tecnológico, mudanças organizacionais, etc. Dentre estas alterações destacam-se o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos materiais com preocupação com o ambiente natural segurança, custo, desempenho, etc.

Existindo por isso vários tipos de chassis ao longo dos anos, que se agruparam em cinco grandes grupos:

Ladder Chassis (chassi tipo escada)

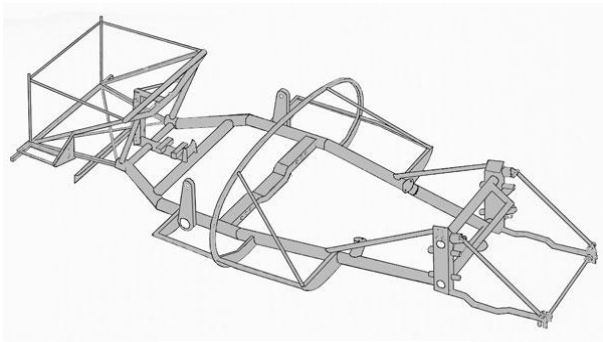


Figura 75 - Ladder Chassi ^[99]

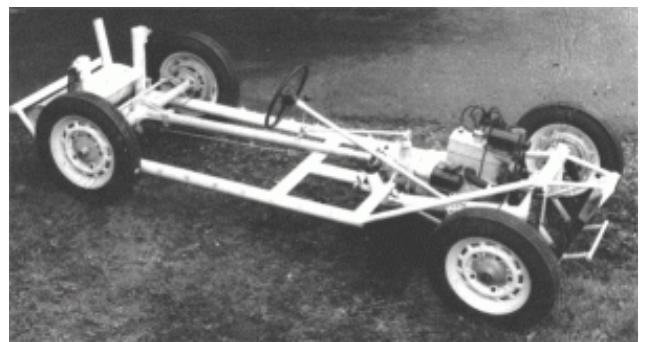


Figura 76- Ladder Chassi ^[103]

Este tipo de chassis foi usado desde os primeiros carros até início dos anos 50 e tal como o nome indica ele lembra a forma de uma escada tendo duas calhas longitudinais (que lidam com a força de reação provocada na aceleração e na travagem) ligadas por várias barras laterais, transversais e vários tubos (que lidam com as forças laterais) e eixos para sustentar o peso.

Assim este é um chassis barato, fácil de manusear e capaz de aguentar grandes cargas, mas, no entanto, é pouco rígido, não tendo quase nenhuma resistência à torção, não proporcionando estabilidade a altas velocidades e pouca resistência e protegendo minimamente o condutor em caso de acidente.



Figura 77- Kart com chassis tipo escada ^[100]

Atualmente este chassis ainda é usado em *karts* e SUV's. ^[100,103]

Chassis cruciforme

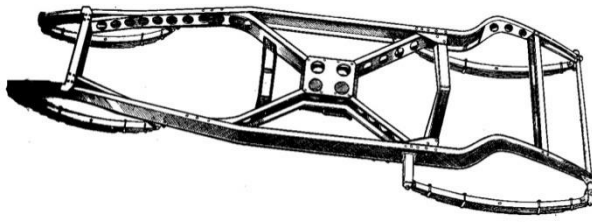


Figura 78 - Chassi cruciforme [105]

Este chassi é parecido com o chassi tipo escada (*ladder*), mas em vez de ter duas calhas longitudinais elas posicionam-se em cruz, o que compensa a falta de resistência à torção do *ladder*, mas torna o local em que se intercetam crítico pois nele exercem-se a força de torção e de flexão, continuando, também,

com todas as outras desvantagens presentes no modelo anterior. [104]

Space frame chassis (tubular)



Figura 79 - Space Frame chassi [103]

O chassi *Space Frame* baseia-se na utilização de perfis (aglomerados de tubos de secção circular ou quadrada) metálicos, unidos entre si através de pontos de soldadura extremamente resistentes, cuja espessura varia em função da resistência que aos mesmos se pretende conferir, sendo colocados em várias direções de forma a obter uma estrutura 3D (que possui altura para além da espessura).

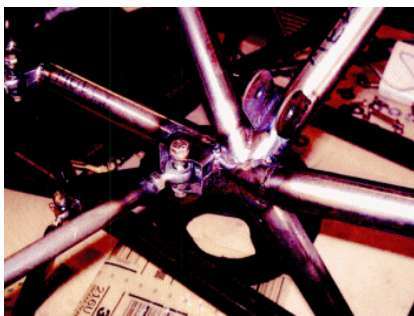


Figura 80 - Tubos de chassi tubular [100]

Desta forma, a estrutura resulta bem mais resistente que o habitual, exibindo maior capacidade para absorver e dissipar energia em caso de embate (os impactos são absorvidos progressivamente, cada perfil/compartimento por sua vez, fazendo com que, mesmo que o carro possa ser muito danificado, minimize-se as lesões do condutor), não tendo também prejuízos em termos de peso.

Podendo-se, também, intervir sobre a estrutura em locais concretos, ou seja, alterar apenas os perfis desejados sem ser necessária a reconstrução de parte do chassi, para proceder a alterações específicas, como por exemplo aumentar a resistência aos impactos de uma determinada área ou reparar uma área danificada.

No entanto é muito caro e tem de ser feito, em grande parte, manualmente, pois os tubos são quase todos diferentes tendo de ser cortados, perfilados e soldados de forma específica para cada perfil. [99,100]



Figura 81- Chassi tubular [100]

Chassis Monocoque



Figura 82 - Chassi monocoque comum [100]

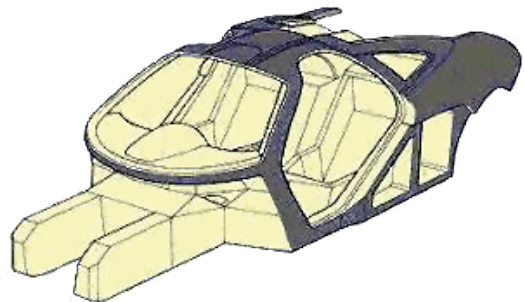


Figura 83 - Chassi monocoque em fibra de carbono do McLaren F1 [100]

O chassi monocoque é uma peça única que junta o chassi e a carroçaria definindo a forma final do carro. No fabrico folhas de metal são prensadas com grandes máquinas de estamparia formando peças que são soldadas ou rebitadas em conjunto para se conformar ao chassi, sendo o processo robotizado.

Estes chassis têm uma gestão de espaço muito melhor e são mais resistentes em caso de choque ou acidente, sendo barato e fácil de produzir em massa, visto o processo ser todo robotizado, razão pela qual 99% dos carros comuns usam este tipo de chassi atualmente.

No entanto são mais pesados devido ao uso de muito metal, menos rígidos que os *space frame* e mais caros quando produzidos em baixa quantidade (como é o caso da Fórmula 1). [100,104]

Chassis combinado

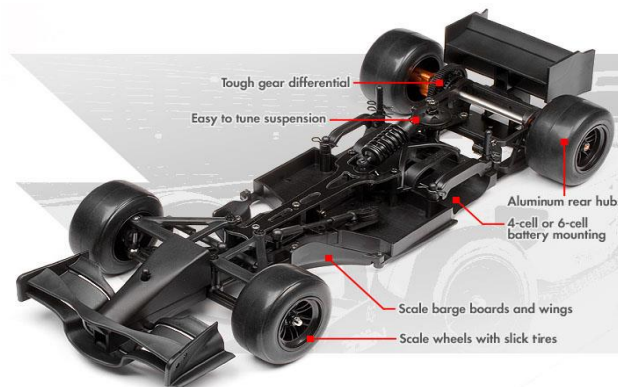


Figura 84 - Chassi de um carro Fórmula 1 ^[107]

Este chassis, que é o usado atualmente na Fórmula 1, é uma combinação do monocoque e do *space frame* (tubular) juntando as vantagens de cada um: a parte central onde se encontra o piloto (célula de segurança) é feita pelo método do chassis monocoque, conferindo uma grande proteção e segurança ao piloto, e o resto é feito pelo método do chassis tubular, conferindo uma maior rigidez (resistência à torção e flexão) ao veículo e sendo possível efetuar a reparação de forma rápida e eficiente.

Ao que ainda se ajunta o facto de este tipo de chassi ficar mais barato que qualquer um dos outros dois produzidos sozinhos.

Concluindo fica aqui uma tabela/resumo das qualidades dos diferentes tipos de chassi, sendo que o combinado do monocoque e tubular que não está na tabela junta as vantagens dos dois últimos tornando-se o chassi perfeito, nos limites tecnológicos atuais, para os carros da Fórmula 1. Sendo ainda importante mencionar que o material atualmente usado na construção é a fibra de carbono devido a fornecer a melhor relação de pouco peso/elevada rigidez conhecida atualmente. ^[103,104]

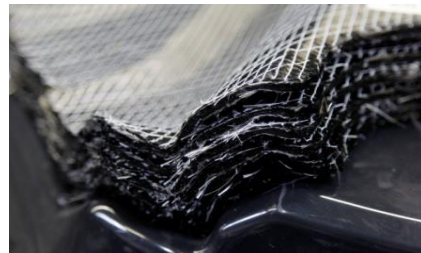


Figura 85 - Fibra de carbono ^[106]

Tipo de chassis	Geometria	Produção	Rigidez em flexão	Rigidez em torção
Em escadas	2D	Pequena série	-	-
Cruciforme	2D	Pequena série	+	+
Tubular	3D	Pequena série	+	+++
Monocoque	3D	Grande série	+	++

Tabela 2 - Qualidades dos chassis ^[104]

7. Segurança

7.1. Acidentes

Qualquer piloto de Fórmula 1, quer tenha muitos ou poucos anos de carreira, já sofreu um acidente. A partir de 1950, devido à nova tecnologia e ao novo material derivados da indústria da aeronáutica, a performance dos carros aumentou incrivelmente: tornaram-se mais velozes, mais aderentes e com travões mais eficientes e, desta forma, foi realizada a primeira corrida do Campeonato Mundial de Fórmula 1. No entanto, os carros naquela altura eram somente projetados para atingirem grandes velocidades sem conterem qualquer sinal de segurança. ^[108]

Consequentemente, na década de 50 e, também 60, havia um grande número de acidentes neste desporto, que foi diminuindo devido ao desenvolvimento de componentes de segurança rodoviária. O gráfico seguinte expõe o número de acidentes fatais dos pilotos de Fórmula 1, que podem ter acontecido durante as corridas, assim como durante treinos, ou mesmo testes. ^[109]

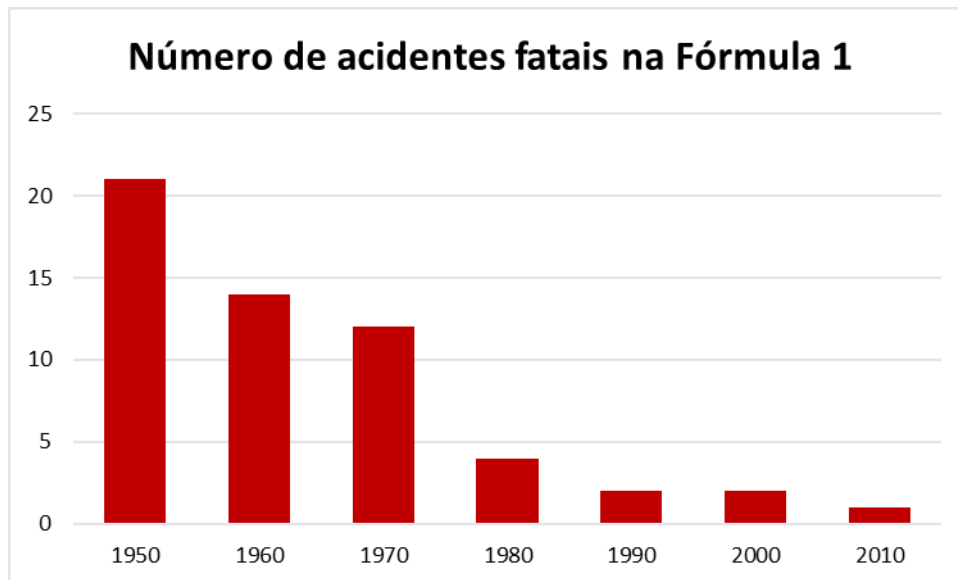


Gráfico 1 – Número de acidentes fatais na Fórmula 1

Ao longo dos anos, devido à grande quantidade de acidentes, os mecânicos começaram a melhorar a resistência contra o impacto, promovendo ao carro e ao piloto elementos essenciais para a segurança do ser humano. Na história da Fórmula 1, houve alguns defensores das melhorias dos padrões de segurança. Um deles foi Jackie Stewart, tricampeão mundial, que, na década de 1970, juntamente com trabalho de Sid Watkins melhoraram bastante a segurança desta modalidade. Em seguida serão designados alguns dos elementos que contribuem para uma maior segurança. ^[110]

7.2. Evolução dos sistemas de Segurança

Travões de Disco

A maior parte dos acidentes fatais de pilotos de Fórmula 1 ocorridos até 1955 foram uma consequência da falta de eficácia dos travões. Chester Miller, um piloto americano, morreu em 1953 num acidente durante um teste onde perdeu o controlo do carro e colidiu a grande velocidade contra um muro, ou seja, se a eficácia dos travões fosse maior o impacto poderia ter sido menor. Acidentes como o de Onofre Marimón (1954), Manny Ayulo (1955) e Bill Vukovich (1955) aconteceram pela mesma razão. Assim, em 1955, foram introduzidos travões de disco (freios) uma vez que oferecem um melhor desempenho de travagem pois o disco arrefece mais facilmente. Outra vantagem é, devido ao facto de a sua força de travagem ser sempre proporcional à pressão exercida no pedal de travagem, o motorista tem uma melhor tendência para evitar um bloqueio iminente. ^[111]



Figura 86 - Travão de Disco ^[112]

Tanques de combustível



Figura 87- Ricardo Rodriguez ^[113]

Em 1962, Ricardo Rodriguez, durante uma corrida, devido a velocidade excessiva a que ia, o seu carro descapotou e incendiou provocando assim a morte do piloto. Assim como este, também anteriormente muitos pilotos, como Stuart Lewis-Evans, Jerry Unser, entre outros, morreram pelas mesmas razões. ^[109]

Desta forma, em 1963, os tanques de combustível pesaram a ser feitos com outro material. Enquanto antigamente eram de metal, revestidos de borracha sem possuírem qualquer material não-inflamável, atualmente, são tanques de fibra de alta tecnologia, sendo muito menos propensos a ruturas em acidentes, evitando assim os incêndios. Atualmente, mortes de pilotos que envolvem fogo são muito raras. ^[110]

Sistema de combate de incêndios

Outra mudança feita para evitar os acidentes provocados pelo fogo foi, em 1969, a instalação em cada carro de um sistema de combate de incêndios. Este solta a fumaça em torno do chassi e do motor se o incêndio começar. Este também pode ser ativado manualmente pelo condutor ou pelo chefe de corrida. ^[114]

Monocoque

Monocoque significa “concha única” ou “tubo” em francês, e tornou-se um elemento muito importante para a segurança dos pilotos de Fórmula 1. Este constitui a cabine do piloto e a concha de sobrevivência, assim como atua como um grande componente do chassi do carro. Este elemento é feito de fibra de carbono, que pode chegar à espessura de 60 camadas. ^[114]

Célula de sobrevivência

Em 10 de Junho de 2007, Robert Kubica sofreu um gravíssimo acidente durante o Grande Prémio do Canadá, ele foi sujeito a mais de 28 vezes a aceleração gravitacional, ou seja, o corpo dele pesava, efetivamente, 2 toneladas em vez de 73 quilogramas. No entanto, saiu do acidente apenas com um tornozelo torcido, tudo devido à célula de sobrevivência. ^[115]



Figura 88- Robert Kubica ^[116]

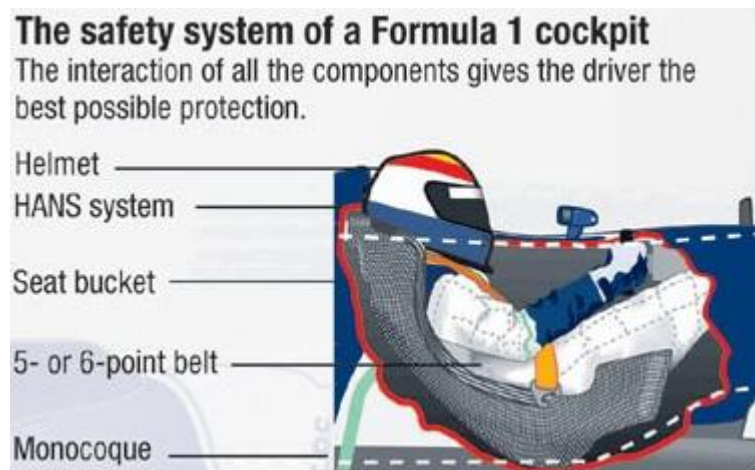


Figura 89 - Cockpit ^[117]

Esta situa-se no monocoque abrindo assim a cabine do piloto. Em termos de segurança, esta talvez tenha sido uma das mais brilhantes evoluções da Fórmula 1 pois, feita de material resistente, foi projetada para proteger o piloto em caso de acidente, permanecendo-se intacta e evitando a entrada de fragmentos do corpo do carro.

É rodeada por estruturas amortecedoras de choque desenvolvidas através de material maleável e, lateralmente, é constituída por uma camada de carbono e por zylon.

Esta cabine inclui o banco do condutor, feito às suas medidas, e o apoio da cabeça e do pescoço (HANS). Para ajudar na atuação da célula de sobrevivência, atualmente os carros são contruídos de forma a se desintegrarem no impacto, absorvendo a maior parte da energia da batida. Na verdade, nos tempos atuais esta célula aguenta um impacto de 25 toneladas. ^[114,118]

Cabine do piloto

A cabine do piloto deve permitir ao condutor que saia do veículo num intervalo de tempo de 5 segundos tendo apenas que remover o cinto de segurança e o volante. As dimensões desta cabine são de 850 mm de comprimento, 350 mm de largura nos pedais, 450mm de largura no volante e, na metade superior, 520 mm. Por razões de segurança, gasolina, óleo ou água, não devem passar através da cabine. A sua temperatura interior ronda os 50 graus Celcius. Antigamente, a cabeça dos pilotos estava muito exposta, o que consequentemente provocava muitas mortes por fratura do pescoço. Assim, foi desenvolvida uma elevação lateral do cockpit que permitiu a proteção de uma das partes vitais do piloto. ^[118]



Figura 90 - Cockpit ^[119]

Cinto de segurança

Em 1970, Jochen Rindt, o único campeão póstumo da história da Fórmula 1, morreu num acidente durante um treino para o Grande Prémio da Itália, desconfiando-se que o motivo da sua morte foi o uso de apenas uma tira do cinto de segurança. Foi a partir daí que foi percebido que cintos de segurança melhores poderiam salvar vidas. ^[109]

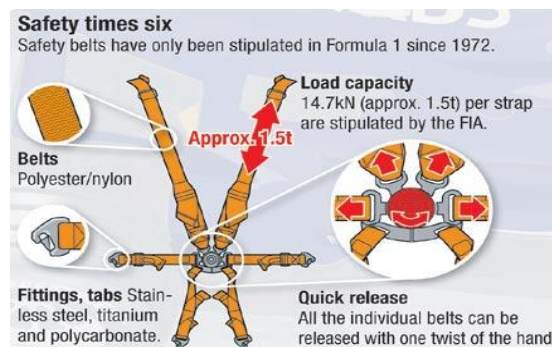


Figura 91 - Cinto de segurança ^[117]

Assim, em 1972, os cintos de segurança nos carros de Fórmula 1 tornaram-se obrigatórios sendo eles constituídos por seis tiras diferentes de forma a manter o piloto no lugar correto e a absorverem a força do impacto. As tiras, feitas de tecido a partir de Náilon, consistem em duas alças para os ombros, duas pélvicas e duas para as pernas. Todas as tiras são conectadas a um fecho central, onde podem ser soltas a parti de um único movimento giratório da mão. ^[120]

HANS

A maior parte dos acidentes fatais assistidos na Fórmula 1, foram provocados pela falta de proteção na cabeça/pescoço. Então, a meados da década de 80, o Dr Bob Hubbard inventou o HANS (*Head and Neck Support*), um elemento de segurança passiva que, na altura do impacto, absorve e redistribui as forças geradas pelo choque impedindo o movimento rápido e excessivo da cabeça do piloto, evitando assim fraturas no pescoço. Em 1990, este produto foi posto no mercado, no entanto este não era capaz de se adaptar a todos os carros de Fórmula 1. Em 1995, Mika Hakkinen teve um assustador acidente causado pelo embate da sua cabeça contra o volante, o que quase causou a sua morte. Foi então a partir daí que, em 2003, após algumas alterações, o HANS tornou-se um equipamento obrigatório para todos os pilotos de Fórmula 1. ^[108]

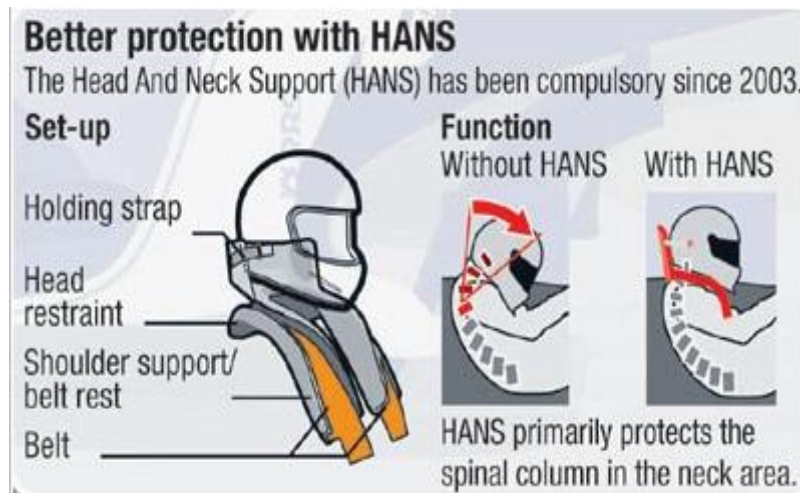


Figura 92 - HANS ^[117]

Este aparelho é uma espécie de colarinho feito de fibra de carbono que é ligado levemente ao capacete por três faixas, permitindo ao condutor um livre movimento de cabeça. Este também é projetado para trabalhar em conjunto com o cinto de segurança, pois, em caso de impacto, protege o motorista de danos decorrentes de ricocheteadas. ^[121]

Macacão

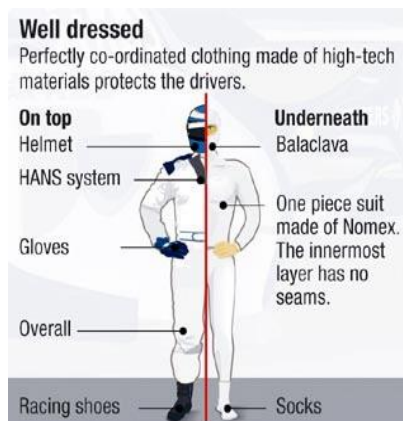


Figura 93 - Macacão do piloto ^[117]

Desde 1975, a FIA tem exigido o macacão de pilotos, que é constituído por botas, luvas e capacete, formando uma barreira resistente, projetados, assim, para proteger o piloto de um incêndio por pelo menos 12 segundos (tempo necessário para a equipa de resgate chegar). Este é feito de duas a quatro camadas de Nomex, um material resistente a fogo e de leve fibra sintética que sofre grandes ensaios térmicos no laboratório.

O teste consiste em atuar uma chama com uma temperatura de 300 a 400 graus Celcius a três centímetros de distância e, se não pegar fogo em 10 segundos, significa que pode ser usada pelo condutor. Na verdade, todos os elementos que constituem o macacão do piloto devem ser resistentes à chama: o fio utilizado para cozer, os logotipos, entre outros. No entanto, estes também são respiráveis, ou seja, também libertam todo o suor que o piloto produz durante a corrida. Relativamente às luvas, são feitas de Nomex, mas também contém uma camada de camurça nas palmas para uma melhor sensibilidade de direção. Em relação às botas, são feitas de um couro macio acolchoado, no entanto contém uma sola muito fininha feita de borracha para que, assim, tenha uma maior liberdade de deslize e precisão no contacto com os pedais. ^[121]

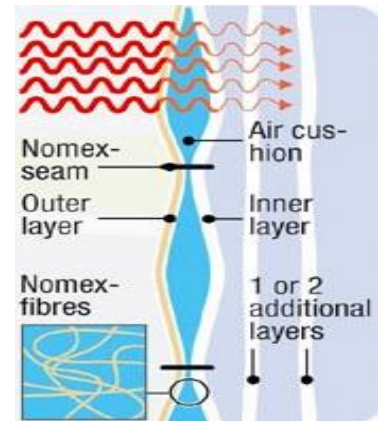


Figura 94 -Material utilizado para o fabrico do macacão ^[117]

Capacetes

Desde 1953, que os capacetes têm sido um elemento de segurança fundamental na Fórmula 1, e como tudo, este tem desenvolvido ao longo dos anos. Isto porque a maior parte dos acidentes fatais ocorridos neste desporto são por fratura do pescoço ou por traumas cranianos. ^[108]



Figura 95 - Ayrton Senna ^[122]

O tamanho e formato dos capacetes de Fórmula 1 não tem alterado muito, mudou foi o material de que são feitos.

Um dos acidentes que causou um grande impacto tanto a nível da evolução do capacete, como a nível geral de segurança, foi o acidente fatal de Ayrton Senna, em 1994. Três vezes campeão mundial, o piloto brasileiro de Fórmula 1, após perder o controlo do carro chocou contra um muro e, conseqüentemente, um pedaço da suspensão dianteira partiu-se penetrando o visor do capacete. Danificou o seu lobo frontal, sofrendo, assim, uma morte cerebral. Esse problema de falta de resistência do capacete foi logo corrigido, sendo agora resistentes a tiros. ^[109]



Figura 96 - Capacete ^[117]

Atualmente estes são fabricados com o mesmo material de fibra de carbono utilizado no monobloco, ou seja, resistente e leve (cerca de 1250 gramas). Desta forma reduz a inércia a que a cabeça do piloto pode estar sujeita em caso de acidente e, ao mesmo tempo, tem a capacidade de absorver impactos e resistir à penetração de algum objeto. Todos os capacetes são postos à prova em rigorosos testes para verificar se estes são realmente feitos de fibra de carbono, kevlar e polietileno. Este ainda é revestido com o mesmo material à prova de fogo utilizado no macacão. A viseira é feita de policarbonato, o que permite uma excelente proteção contra impactos, resistência à chama e ainda, uma boa visibilidade. É revestida com um anti embaciamento e contém tiras removíveis que podem ser retiradas no caso de detritos ou líquidos se fixar nesta. Em 2011, foi acrescentada uma faixa de Zylon na parte superior para um aumento de proteção. Curiosamente, os capacetes de Fórmula 1 são, ainda, livremente pintados à mão. Requer muitas horas de trabalho devido aos seus diversos e complexos padrões/desenhos. ^[121]

7.3. Outros aspetos de segurança

Pistas

No início do século XX, as beiras das pistas eram constituídas por fardos de palha e, mais tarde, por paredes com barreiras de pneus. Nos dias de hoje, os circuitos são projetados sendo a sua prioridade a segurança. Desde 1990, todas as novas pistas são concebidas com grandes áreas de escapatória nas curvas de alta velocidade e com barreiras capazes de absorver a maior parte da energia de impacto. ^[110]



Figura 97- Pistas da Fórmula 1 ^[117]

Safety-car

O *Safety-car* entra na pista durante a corrida quando é pretendido reduzir a velocidade por razões de segurança (após um acidente ou porque a pista está alagada devido a fortes chuvas). De acordo com os regulamentos o *safety-car* entra no circuito "sempre que há um risco imediato, mas as condições não exigem que a corrida seja interrompida". ^[123]

Figura 98 - Safety-car^[117]

Medicina de Emergência

Os carros médicos, junto com os paramédicos, estão normalmente posicionados em torno dos circuitos para que, assim, possam aceder ao local de acidente em pelo menos 30 segundos. Também existem helicópteros para o caso de ser necessário o transporte de pilotos, ou outro pessoal, gravemente feridos, para hospitais próximos. Em cada corrida há uma média de 130 profissionais de saúde.^[110]

Crash-test

Em 1985, supervisionados pela FIA, foi introduzido o *crash-test*, uma rigorosa avaliação que têm como objetivo de verificar que impactos os carros conseguem suportar. Este teste é realizado na frente, lateral e traseira do chassi tendo que a célula de sobrevivência suportar impactos a velocidades 15 m/s, 10 m/s e 11 m/s, respetivamente. A razão de as velocidades serem pequenas é permitir uma medição mais precisa da capacidade de absorver a dinâmica do acidente.

Figura 99 - Crash-test^[125]

Todos estes testes também ajudaram a melhorar a segurança para os utentes da estrada. Através das parcerias entre a FIA e a Euro-NCAP, e entre a Williams e a Allianz, é lhes mais facilmente, através dos testes de Fórmula 1, alertar os fãs para a importância da segurança, tanto na pista como nas vias públicas.^[124]

Conclusão

O mundo da Fórmula 1 está sobre constante mudança de regulamentos por parte da FIA. Esta muda-os com o objetivo de reduzir custos, de aumentar a segurança do veículo, de tornar os campeonatos mais justos e também para “obrigar” as equipas a abraçarem novas ideias e novos conceitos, como, por exemplo, a tecnologia híbrida.

A Fórmula 1 é um desporto onde dezenas de milhões são gastos para que equipas possam concorrer uma ao lado das outras. Desde que apareceu este desporto, os engenheiros mecânicos foram, através de muita pesquisa e experiências, uns dos, senão os principais, impulsionadores da criação e do desenvolvimento do veículo de Fórmula 1. Tendo em conta que a mais simples modificação no carro pode influenciar muito o resultado final, os engenheiros mecânicos têm a responsabilidade de, além dos projetos, prever as possíveis falhas dos carros de corrida antes de elas ocorrerem.

São muitos os fatores que influenciam o desempenho de um carro e, por isso, dependendo da situação, o objetivo do engenheiro mecânico não é apenas construir um motor que possa responder a todas as situações, mas também fazer outros ajustes na máquina para que ela renda durante a corrida, como por exemplo: ajustes no chassis, nos travões, nos pneus, nas suspensões e mesmo, em todas as partes que possibilitam uma maior segurança, tanto ao condutor como a todos os presentes na corrida.

Sem todos estes componentes, um carro de Fórmula 1 não conseguiria atingir as velocidades que atinge, com a estabilidade que tem. Isto é um fenómeno incrível a nível tecnológico, na medida em que tem repercussões na construção e melhoria da automobilística em geral, de que todos usufruímos.

Bibliografia

- [1] Groote, Steven De. 2009. Formula One engines. 18 de julho. Acedido em 5 de outubro de 2014. <http://www.f1technical.net/articles/4>.
- [2] s.d. "Desenho Com As Partes Básicas De Um Cilindro Motor Picture." GoPixPic. Acedido em 6 de outubro de 2014. http://www.gopixpic.com/399/desenho-com-as-partes-b%C3%A1sicas-de-um-cilindro-motor/http://oleoparacarros*.com*br/wp-content/uploads/2011/03/motor-parte*.png/.
- [3] Ribeiro, Daniel. 2010. Comportamento dos motores – Parte 2 – Tipos de Ciclo. 29 de setembro. Acedido em 5 de outubro de 2014. <http://www.motosblog.com.br/4417/comportamento-dos-motores-parte-2-tipos-de-ciclo/>.
- [4] Wikipedia. 2014. Motor de combustão interna – Motor alternativo. 1 de outubro. Acedido em 5 de outubro de 2014. http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna#Motor_alternativo.
- [5] Wikipedia. 2014. Motor de combustão interna. 1 de outubro. Acedido em 5 de outubro de 2014. http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna.
- [6] Wikipedia. 2014. Internal combustion engine. 29 de outubro. Acedido em 5 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine.
- [7] Youtube. 2010. How to work :4 Stroke Piston Engines. 6 de dezembro. Acedido em 6 de outubro de 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=IYWUWMmimjQ>.
- [8] Wikipedia. 2014. Fuel injection. junho 6. Acedido em 7 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection.
- [9] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1950s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1950s.html>.
- [10] Wikipedia. 2014. Gasoline direct injection. outubro 30. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline_direct_injection.
- [11] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1960s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1960s.html>.
- [12] Wikipedia. 2014. Cosworth DFV. 5 de outubro. Acedido em 6 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Cosworth_DFV.
- [13] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1970s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1970s.html>.
- [14] Joh, Anthony. 2009. "Renault RS01 Deutsches Museum.jpg." Wikipedia. 28 de julho. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Renault_RS01_Deutsches_Museum.jpg.
- [15] s.d. Turbocharger. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://www.formula1-dictionary.net/turbocharger.html>.
- [16] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1980s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1980s.html>.

- [17] Wikipedia. 2014. Formula One engines. outubro 15. Acedido em 8 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Formula_One_engines.
- [18] Colemanrock, Michael. 2009. Vintage 1990 F1 powerplant RA100E & RA109E. 30 de junho. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://hondaappeal.blogspot.pt/2009/06/vintage-1990-f1-powerplant-ra100e.html>.
- [19] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1990s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1990s.html>.
- [20] Collantine, Keith. 2007. "Ayrton Senna, McLaren Honda, Hockenheimring, 1990." f1fanatic. 2 de junho. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.f1fanatic.co.uk/2007/06/03/soapbox-the-blue-flag-debate/ayrton-senna-mclaren-honda-hockenheimring-1990-2/>.
- [21] Collantine, Keith. 2006. Damper D-Day. 23 de agosto. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://www.f1fanatic.co.uk/2006/08/23/damper-d-day/>.
- [22] s.d. Renault R26. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://www.f1technical.net/f1db/cars/899/renault-r26>.
- [23] Collantine, Keith. 2014. New engines increase race strategy risks – Taffin. 22 de janeiro. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://www.f1fanatic.co.uk/2014/01/22/new-engines-increase-race-strategy-risks-taffin/>.
- [24] Formula 1. n.d. Power unit / gearbox. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/5280.html.
- [25] Calmon, Fernando. 2013. Revolução tecnológica na Fórmula 1. 30 de agosto. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/17848/revolucao-tecnologica-na-formula-1>.
- [26] Calmon, Fernando. 2013. Revolução tecnológica na Fórmula 1. 30 de agosto. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/17848/revolucao-tecnologica-na-formula-1>.
- [27] Formula 1. s.d. Energy Recovery Systems (ERS). Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/8763.html.
- [28] Edmondson, Laurence. 2014. 2014's engines explained. 6 de janeiro. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://en.espnf1.com/f1/motorsport/story/141011.html>.
- [29] Formula 1. n.d. Power Unit and ERS. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations/8699/.
- [30] Edmondson, Laurence. 2014. 2014's engines explained. 6 de janeiro. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://en.espnf1.com/f1/motorsport/story/141011.html>.
- [31] s.d. Turbos. Acedido em 7 de outubro de 2014. <http://www.soturbo.pt/pt/produtos/produtos/scripts/core.htm?p=produtos&f=produtos&lang=pt&idprod=77>.
- [32] Youtube. 2011. Turbo lag explained. 20 de dezembro. Acedido em 9 de outubro de 2014. https://www.youtube.com/watch?v=c_IFh_6bpUo.

- [33] Formula 1. s.d. Transmission system. Acedido em 6 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations/8710/.
- [34] Wikipedia Commons. s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Clutchdisc.jpg>.
- [35] Wikipedia. 2014. Formula One car - Transmission. 2 de novembro. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Formula_One_car#Transmission.
- [36] s.d. Gearbox. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.formula1-dictionary.net/gearbox.html>.
- [37] Wikipedia. 2014. Aerodinâmica. 1 de outubro. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aerodin%C3%A2mica>.
- [38] Wikimedia Commons. 2009. "Ficheiros:Aeroforces - pt.svg." Wikipedia. 19 de setembro. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeroforces.svg?uselang=pt#mediaviewer/File:Aeroforces_-_pt.svg.
- [39] 2014. Empuxo. 20 de junho. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Empuxo>.
- [40] 2013. Força aerodinâmica. 29 de março. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_aerodin%C3%A2mica.
- [41] Aerodynamics. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/5281.html.
- [42] Understanding F1 racing. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/5281.html.
- [43] s.d. Wordpress. Acedido em 13 de outubro de 2014. <http://areadeescape.wordpress.com/2011/02/02/o-uso-de-asas/>.
- [44] 2001. "File:1978 Alfa Romeo Brabham BT46B Fan Car-Flickr-edvvc.jpg." Wikipedia. 7 de julho. Acedido em 13 de outubro de 2014. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1978_Alfa_Romeo_Brabham_BT46B_Fan_Car_-_Flickr_-_edvvc.jpg.
- [45] Getty/Cartier/Segretain, Pascal Le. 2011. "Gordon Murray signs on to advise Lotus." Autoblog. 30 de agosto. Acedido em 2014 de outubro de 2014. <http://www.autoblog.com/2011/08/30/gordon-murray-signs-on-to-advise-lotus/>.
- [46] Formula 1. 2007. An air of calm - Toyota's Mark Gillan on aerodynamics. 31 de outubro. Acedido em 13 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/news/features/2007/10/7057.html>.
- [47] 2012. "File:Monte Carlo Formula 1 track map.svg." Wikipedia. 21 de maio. Acedido em 13 de outubro de 2014. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Monte_Carlo_Formula_1_track_map.svg.
- [48] 2009. "File:Circuit Monza.svg." Wikipedia. 16 de março. Acedido em 13 de outubro de 2014. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circuit_Monza.svg.
- [49] 2014. Drag coefficient. 13 de outubro. Acedido em 13 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient.

- [50] 2014. Automobile drag coefficient. 1 de outubro. Acedido em 13 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficient.
- [51] Somerfield, Matthew. 2013. "2014 - Exhaust & Bodywork Regulation Changes." MattSomersF1. 6 de janeiro. Acedido em 13 de outubro de 2014. <http://somersf1.blogspot.pt/2013/01/2014-bodywork-regulation-changes.html>.
- [52] s.d. Brakes. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.formula1-dictionary.net/brakes.html>.
- [53] n.d. Freios a tambor: conheça o sistema a fundo. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://autos.culturamix.com/mecanica/freios-a-tambor-conheca-o-sistema-a-fundo>.
- [54] Circula Seguro. s.d. Descobrindo os travões. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.circulaseguro.pt/seguranca-activa/descobrindo-os-travoes>.
- [55] Nice, Karim. 2000. How drum brakes work. 18 de agosto. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/drum-brake1.htm>.
- [56] Nice, Karim. 2000. How disc brakes work. 21 de agosto. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/disc-brake2.htm>.
- [57] Wikipedia. 2014. Drum brake. 19 de outubro. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Drum_brake.
- [58] Kaizar.Com, Incorporated. n.d. Evolution - 1950s. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.atlasf1.com/evolution/1950s.html>.
- [59] Wikipedia. 2014. Connaught Engineering. 19 de julho. Acedido em 8 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Connaught_Engineering.
- [60] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.performance-car-guide.co.uk/images/Vented-Disc.jpg>.
- [61] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://images04.olx.pt/ui/7/90/58/1278926142_104748258_7-Gama-de-Discos-Desportivos-Perfurados-Discos-venti.jpg.
- [62] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.kentautodevelopments.com/images/made/rc/uploads/products/Brake_Disc_-_Solid_-_Grooved_1400_931_s_c1.jpg.
- [63] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.lmfvauxhall.co.uk/image.php?type=T&id=1178>.
- [64] Longhurst, Chris. 2014. The Brake Bible. 13 de abril. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.carbibles.com/brake_bible.html.
- [65] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://f1pointsdotcom.files.wordpress.com/2010/06/brake-glow.jpg>.
- [66] Formula 1. s.d. Brakes. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/5284.html.

- [67] Mendes, Fábio. s.d. Brake by Wire - O novo sistema de travagem da F1. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://chicane2013.blogspot.pt/2014/03/brake-by-wire-o-novo-sistema-de.html>.
- [68] Formula 1. s.d. Brake system. Acedido em 8 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/technical_regulations/8696/.
- [69] Wikipedia. 2014. Formula One tyre. 29 de outubro. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Formula_One_tyre.
- [70] Formula 1. s.d. Tyres. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_f1_racing/5283.html.
- [71] Formula 1. s.d. Tyres. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/sporting_regulations/8680/fia.html.
- [72] Wikipedia Commons. s.d. "Slick Tires." Acedido em 10 de outubro de 2014. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/F1_Slick_Tires.jpg.
- [73] s.d. "Grooved tyres." Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://www.f1wolf.com/wp-content/uploads/2008/08/grooved-tyres-2008.jpg>.
- [74] Formula 1. 2008. Away from the groove - Bridgestone on the return of slicks. 5 de maio. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/news/features/2008/5/7724.html>.
- [75] Formula 1. s.d. Tyres. Acedido em 11 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/rules_and_regulations/sporting_regulations/8680/.
- [76] Formula 1. 2008. Goodbye grooves - Bridgestone hail end of an era in Brazil. 27 de outubro. Acedido em 11 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/news/features/2008/10/8591.html>.
- [77] Wikipedia. 2014. Racing slick. outubro 5. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Racing_slick.
- [78] Formula 1. s.d. A pictorial history of F1® tyres. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/gallery/other/2013/769.html>.
- [79] s.d. Tyres. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/wi/gi/597x478/ooif/sutton/2013/dms1318jy198.jpg>.
- [80] F1, Blog. 2012. Ferrari F2012 - pull-rod suspensão dianteira. 29 de fevereiro. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://jamesformula1.blogspot.pt/2012/02/ferrari-f2012-pull-rod-suspensao.html>.
- [81] Harris, William. s.d. Como funcionam as suspensões dos carros. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://carros.hsw.uol.com.br/suspensoes-dos-carros.htm>.
- [82] Barata, Juliano. 2014. Pilotagem na chuva: por que os carros de tração dianteira e integral levam vantagem? 15 de abril. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.flatout.com.br/pilotagem-na-chuva-por-que-os-carros-de-tracao-dianteira-e-integral-levam-vantagem/>.
- [83] s.d. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.celtaclub.com.br/forum/index.php?showtopic=83637>.

- [84] s.d. Suspensão. Acedido em 8 de outubro de 2014. <http://3.bp.blogspot.com/-0zEGOhC3MI8/TuvD5LJetHI/AAAAAAAAAjc/rgUJnaJJ4tk/s1600/suspensao+mcpe.jpg>.
- [85] Cardoso, Fátima. 1991. Das pistas para as estradas. abril. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://super.abril.com.br/tecnologia/tecnologia-f1-industria-automobilistica-pistas-estradas-439821.shtml>.
- [86] Garrett, Filipe. 2014. A tecnologia da F1 no seu carro atual. 2 de maio. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/05/tecnologia-da-f1-no-seu-carro-atual.html>.
- [87] s.d. Sistema de Suspensão (mantendo o carro na linha) – parte 1 . Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://r19club.com/suspensao/sistema-de-suspensao-mantendo-o-carro-na-linha-parte-1/>.
- [88] Longhurst, Chris. 2014. The Suspension Bible. 13 de abril. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.carbibles.com/suspension_bible.html.
- [89] s.d. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://transitomaisgentil.com.br/blog/wp-content/uploads/2012/02/cambagem_convergencia_alinhamento_veiculo.jpg.
- [90] Raiciu, Tudor. 2009. How Multi-Link Suspension Works. 17 de junho. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://www.autoevolution.com/news/how-multi-link-suspension-works-7804.html#>.
- [91] Leme, José Antonio. 2014. Veja a evolução e os tipos de suspensões. 24 de setembro. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.estadao.com.br/jornal-do-carro/noticias/carros,veja-a-evolucao-e-os-tipos-de-suspensoes,21131,0.htm>.
- [92] s.d. Push-rod - pull-rod. Acedido em 7 de outubro de 2014. http://www.formula1-dictionary.net/pushrod_pullrod.html.
- [93] s.d. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2014/02/entenda-a-suspensao-pull-rod-e-push-rod-dos-carros-formula-1/>.
- [94] Formula 1. 2014. 2014 Ferrari - pull-rod front suspension retained. 13 de janeiro. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.formula1.com/news/technical/2014/0/1132.html>.
- [95] s.d. Esquema da suspensão. Acedido em 12 de outubro de 2014. https://c2.staticflickr.com/8/7189/6896769799_b35a5d7022_z.jpg.
- [96] Santos, Nuno. 2013. Push Rod and Pull Rod Suspension . 19 de janeiro. Acedido em 5 de outubro de 2014. <http://oporquedetudo.omundodaprogramacao.com/?p=547>.
- [97] s.d. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://fc09.deviantart.net/fs70/i/2013/067/9/f/pushrod_suspensions_by_volkadesign-d5xefvp.jpg.
- [98] s.d. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.rctech.net/forum/attachments/electric-road/253791d1186026603-looking-1-10-electric-formula-1-chassis.jpg>.

- [99] Santos, Hélio. 2013. "Projeto de um chassis tubular para um veículo de competição "Single Seater"". MS diss. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
file:///C:/Documents%20and%20Settings/Utilizador/Os%20meus%20documentos/Downloads/MIEM_-Tese_Helio_Santos_.pdf
- [100] s.d. Chassis explained. Acedido em 10 de outubro de 2014.
<http://www.formula1-dictionary.net/chassis.html>.
- [101] s.d. Modelo de chassis. Acedido em 12 de outubro de 2014.
<http://www.motolab.com.br/orcamento/133-category/chassi-modelo-2008-.jpg>.
- [102] s.d. Chassis. Acedido em 11 de outubro de 2014.
http://andrecerberus.files.wordpress.com/2012/05/chassi_b1.gif.
- [103] Espolet, Marc. 2010. Car chassis construction. 4 de fevereiro. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://petrolsmell.com/2010/02/04/car-chassis-construction/> .
- [104] Venâncio, Nicolas. 2013. "Projeto do chassis de uma viatura fórmula" MS diss. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
file:///C:/Documents%20and%20Settings/Utilizador/Os%20meus%20documentos/Downloads/MIEM-Tese_Nicolas_Venancio.pdf
- [105] s.d. Chassis. Acedido em 11 de outubro de 2014.
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Developed_ladder_chassis_with_diagonal_cross-bracing_and_lightening_holes_\(Autocar_Handbook,_13th_ed,_1935\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Developed_ladder_chassis_with_diagonal_cross-bracing_and_lightening_holes_(Autocar_Handbook,_13th_ed,_1935).jpg).
- [106] s.d. Fibra de carbono. Acedido em 11 de outubro de 2014.
<http://wpmedia.driving.ca/2013/11/carbon.jpg>.
- [107] s.d. Chassis. Acedido em 11 de outubro de 2014.
<http://www.rctech.net/forum/attachments/electric-road/695326d1295385326-usrcf1-formula-one-national-event-hpi-formula-10-chassis.jpg>.
- [108] Serio, Denis. s.d. Os sete itens que deixaram a Fórmula 1 mais segura. Acedido em 5 de outubro de 2014. <http://www.abril.com.br/esportes/formula1-seguranca-evolucao-carros-felipe-massa/>.
- [109] Williamson, Martin. s.d. Deaths in Formula One. Acedido em 7 de outubro de 2014. <http://en.espnf1.com/f1/motorsport/story/3838.html>.
- [110] Circula Seguro. s.d. A segurança da Fórmula 1 depois do Senna. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://www.circulaseguro.pt/seguranca-activa/seguranca-da-formula-1-depois-senna>.
- [111] Circula seguro. s.d. Descobrindo os travões. Acedido em 9 de outubro de 2014. <http://www.circulaseguro.pt/seguranca-activa/descobrindo-os-travoes>.
- [112] s.d. Acedido em 10 de outubro de 2014.
<http://forums.pelicanparts.com/porsche-911-technical-forum/491135-drilled-brake-disc-vs-stock-zimmerman-disc-2.html>.
- [113] Mr.MehesKaroly. s.d. Pérez elődei: két halott. Acedido em 12 de outubro de 2014. http://f1classic.blog.hu/2012/03/27/perez_elodei_ket_halott.

- [114] Mitchell, Justin. s.d. Características de segurança de carros de fórmula F1. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.ehow.com.br/caracteristicas-seguranca-carros-formula-f1-lista_65077/.
- [115] Lampert, Richard. 2007. A célula de sobrevivência do carro de Fórmula 1. 15 de junho. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://ricardolampert.wordpress.com/2007/06/15/a-celula-de-sobrevivencia-de-um-f-1/>.
- [116] 2009. "Robert Kubica." mobile9. 19 de outubro. Acedido em 11 de outubro de 2014. <http://www.mobile9.com/invboard/lofiversion/index.php/t65386.html>.
- [117] F1 Scarlet. s.d. Safety Measures in Formula 1. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.f1scarlet.com/safety_measuresinf1.html.
- [118] Formula 1. s.d. Cockpit Safety. Acedido em 8 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/safety/cockpit_and_crash_tests/7435.html.
- [119] s.d. Acedido em 11 de outubro de 2014. http://www.streetfire.net/photo/f1-cockpit-1980jpg_2017293.htm.
- [120] s.d. Safety Belts. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1-dictionary.net/safety_seat_belts.html.
- [121] Formula 1. s.d. HANS. Acedido em 9 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/safety/helmets_hans_clothing/7437.html.
- [122] Melo, Lauane de. 2014. Ayrton, Ayrton, Ayrton Senna do Brasil! 1 de maio. Acedido em 10 de outubro de 2014. <http://www.clickfozdoiguacu.com.br/foz-iguacu-noticias/ayrton-ayrton-ayrton-senna-do-brasil>.
- [123] Formula 1. s.d. The safety car. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/safety/the_safety_car_and_its_driver/7429.html.
- [124] Formula 1. s.d. Crash Tests. Acedido em 10 de outubro de 2014. http://www.formula1.com/inside_f1/safety/cockpit_and_crash_tests/9504.html.
- [125] Niza, Santiago. 2012. Ferrari con problemas para pasar el crash test. 12 de janeiro. Acedido em 12 de outubro de 2014. <http://www.formulaf1.es/16306/ferrari-con-problemas-para-pasar-el-crash-test/>.