

ESTUDO DINÂMICO DE UM VEÍCULO DE COMPETIÇÃO CITROËN C3 R5 E MONTAGEM DE UM VEÍCULO DE COMPETIÇÃO PEUGEOT 208 RALLY4

JOÃO BERNARDO DA ROCHA PIMENTEL PINTO DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA — ESPECIALIZAÇÃO EM PRODUÇÃO, CONCEÇÃO E
FABRICO**

Orientador: Professor Doutor José Manuel Ferreira Duarte

Coorientador: Professor Doutor José Luís Soares Esteves

JUNHO DE 2020

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA 2019/2020

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Tel. +351-22-508 1721

Fax +351-22-508 1440

✉ secretariado_demec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2019/2020 - Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A vocês família, a ti Bianca, por me fazerem lutar pelo sonho.

"If it doesn't challenge you, it doesn't change you"

Fred Devito

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã por todo o suporte dado durante o realizar do curso e por serem o porto de abrigo essencial para os momentos mais difíceis que enfrentei.

À minha namorada por ser o suporte do dia-a-dia, por estar sempre lá antes e depois de todas as dificuldades enfrentadas.

Ao Eng.º José Esteves e ao Eng.º José Ferreira Duarte pelo apoio incondicional disponibilizado, a qualquer momento, para a realização deste trabalho de dissertação e por me fazerem acreditar que é possível alcançar o sonho do desporto de competição automóvel com o curso de Engenharia Mecânica na FEUP.

Ao Eng.º Daniel Silva, da Sports&You, por todo o apoio, por ter sido o meu impulsionador e por ser o meu padrinho neste mundo do desporto automóvel.

Finalmente, a toda a família Sports&You, pelas inúmeras horas e momentos que todos vivemos juntos durante uma época de corridas.

A todos, obrigado.

RESUMO

No âmbito da unidade curricular de dissertação, do presente plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, da Universidade do porto (FEUP), foi realizado o trabalho que seguidamente se apresenta, com o objetivo de estudar o comportamento dinâmico de um veículo de competição de última geração, um Citroën C3 R5 bem como apresentar o projeto europeu de montagem dos novos Peugeot 208 Rally4, projeto esse cuja direção técnica será da minha responsabilidade, enquanto representante da Sports&You.

Assim, este estudo será feito com base em três grandes temáticas: estudo teórico e prático do Citroën C3 R5 e o projeto P21 (P21 Project) respeitante aos Peugeot. Com o estudo teórico pretende-se a aquisição de todo o conhecimento físico que será base para a compreensão dos resultados práticos que serão obtidos por recurso aos sistemas de aquisição de dados que estes veículos apresentam, bem como para a corroboração dos resultados matemáticos obtidos para os diversos cálculos que serão necessários de fazer.

Este trabalho começa então pelo estudo teórico de todos os parâmetros necessários de aplicar na prática como:

- Definição do centro de gravidade do veículo;
- Definição do centro de rolamento;
- Transferência de carga;
- Momentos de inércia;
- Suspensão;
- A física do pneu: *camber, caster, toe, slip angle*, pressão e temperatura;
- Definição do modelo matemático e dinâmico do veículo;

Na componente prática, faz-se uma análise da aplicação dos parâmetros calculados previamente, por recurso ao *SETUP* base do veículo, que é fornecido pelo fabricante, neste caso a Citroën Racing e, finalmente, por recurso à análise de dados, através do Software de leitura *WinTAX*, faz-se uma análise cuidada com o intuito de observar melhoramentos possíveis de serem feitos ao *SETUP* base no sentido de atingir a maior *performance*, nunca comprometendo a dinâmica e os requisitos exigidos pelo piloto.

Todos os dados que serão analisados no presente trabalho foram obtidos por testes feitos em estradas fechadas ao trânsito, sempre com o consentimento das autoridades locais, bem como das câmaras municipais a que as respetivas estradas de teste pertencem. Todas as simulações feitas, além do objetivo primordial de atingir o melhor *SETUP* possível, foram feitas para preparação do Campeonato Nacional de Ralis 2020, bem como do Campeonato dos Açores de Ralis 2020, com o piloto Diogo Gago, navegado pelo co-piloto Vitor Calado, da equipa Play Auto-Açoreana com todo o suporte técnico dado pela Sports&You.

Finalmente, a abordagem ao projeto P21, consiste na apresentação do novo conceito de carro que a Peugeot Motorsport desenvolveu, no papel determinante que a Sports&You apresentará para a construção destes veículos (já que a nível europeu só a Sports&You e outra equipa Hungara são responsáveis pela montagem de todos os carros a distribuir pela Peugeot Motorsport) e qual o meu papel enquanto responsável técnico pelo mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: competição automóvel, dinâmica, rali, engenharia mecânica, logística empresarial.

ABSTRACT

The following thesis (part of the present study plan of the Integrated Master in Mechanical Engineering from the University of Porto - FEUP), comprises the research work carried out with the primary goal of studying the dynamic behavior of a competition vehicle from the latest generation (a Citroën C3 R5). It also presents the european project for the assembly of the new Peugeot 208 Rally4, whose technical direction will be my responsibility, as the representative of Sports & You.

This study will be developed according to three main subjects: theoretical and practical study of the Citroën C3 R5 and the P21 project (P21 Project) regarding Peugeot cars. The theoretical study is intended to guarantee all necessary physical knowledge which will be the basis to understand the practical results that shall be obtained using the data acquisition systems of these vehicles, as well as to validate the mathematical results obtained for the various necessary calculations.

This work begins with the theoretical study of all the necessary parameters to be applied such as:

- *Definition of the vehicle's center of gravity;*
- *Roll center definition;*
- *Load transference;*
- *Moments of inertia;*
- *Suspension;*
- *The tire physics: camber, caster, toe, slip angle, pressure and working temperature;*
- *Definition of the mathematical and dynamic model of the vehicle;*

In the practical section of this thesis is presented an analysis of the application of the parameters previously calculated for the Citroën Racing (using the vehicle's base SETUP which is provided by the manufacturer). Using data analysis, through the software WinTAX, a careful study is applied to observe possible improvements to be made to the base SETUP in order to achieve the highest performance, never compromising the dynamics and requirements demanded by the pilot.

All data considered in the present work were obtained through tests carried out on roads closed to traffic, with the consent of the local authorities and the city councils to which the respective test roads belong. All carried out simulations, in addition to the primary objective of achieving the best possible SETUP, were carried out for the preparation of the Portuguese National Rally Championship 2020 as well as for the Azores Rallye 2020. With driver Diogo Gago, navigated by co-driver Vitor Calado from the Play Auto-Açoreana team, all the technical support was provided by Sports & You.

Finally, the approach to the P21 program consists on the presentation of the new car concept that Peugeot Motorsport has developed, as well as on the decisive role of Sports & You on the construction of these vehicles (considering that at European level only Sports & You and another Hungarian team are responsible for the assembly of all cars to be distributed by Peugeot Motorsport. This chapter also describes my role as technical manager of this project.

Keywords: Motorsport Engineering, Vehicle Dynamics, Mechanical Engineering, Logistics.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. CAMPEONATO DE PORTUGAL DE RALIS.....	2
1.3. OBJETIVO DO TRABALHO	2
2. SPORTS&YOU EVENTOS DESPORTIVOS	5
3. DINÂMICA AUTOMÓVEL	7
3.1. EM QUE CONSISTE	7
3.2. SUSPENSÃO.....	7
3.2.1. TIPOS DE SUSPENSÃO E GEOMETRIAS CONSTRUTIVAS	8
3.2.2. REIGER 570.....	10
3.3. MOLAS.....	16
3.4. O AMORTECEDOR E UM SISTEMA VIBRATÓRIO	17
3.5. ANTI-DIVE.....	20
3.6. ANTI-SQUAT.....	23
3.7. BARRA ESTABILIZADORA.....	23
3.8. TRANSFERÊNCIA DE CARGA.....	30
3.8.1. CENTRO DE GRAVIDADE.....	30
3.8.1.1. Localização geométrica do centro de gravidade.....	34
3.9. SLIP ANGLE, CAMBER, CASTER E TOE.....	35
3.9.2. FORÇA LATERAL, LONGITUDINAL, SLIP ANGLE E SLIP RATIO	38
3.9.2.1. Força lateral	38
3.9.2.2. Slip Angle.....	38
3.9.3. CONVERGÊNCIA.....	44
3.9.4. PRESSÃO E TEMPERATURA	45

4. DATA ANALYSIS	51
4.1. EM QUE CONSISTE	51
4.2. WINTAX 4.76 – INTERFACE	53
5. ESTUDO PRÁTICO	55
5.1. RALI ALÉM MAR ILHA LILÁS, 2019	55
5.2. SETUP	55
5.2.1 ANÁLISE DE DADOS	56
5.2.1.1. Condução.....	61
6. P21 PROJECT	67
6.1.1 FORMAÇÃO PSA MOTORSPORT	68
6.3. RECEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES	72
6.4. MONTAGEM DO VEÍCULO	75
6.5. ROLL-OUT	79
7. CONCLUSÕES	81
8. TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Citroën C3 R5 e Peugeot 208 Rally4. (03/2020)	3
Figura 2. Logotipo Sports&You. (Sports&You).....	6
Figura 3. Suspensão da frente direita do Citroën C3 R5. (03/2020)	8
Figura 4. Geometria dos diferentes tipos de suspensão automóvel. (Milliken&Milliken, 1995)	8
Figura 5. Representação da vantagem mecânica. (Milliken&Milliken, 1995).....	9
Figura 6. Sistema de acoplamento da suspensão. (Citroën Racing, 2018).....	10
Figura 7. Sistema IFP. (03/2020).....	11
Figura 8. Força vs Velocidade num amortecedor EXT.....	12
Figura 9. Histerese para os quatro testes realizados.	13
Figura 10. Modelo de um quarto de veículo. (Milliken&Milliken, 1995)	19
Figura 11. Anti-dive num veículo. (Milliken&Milliken, 1995).....	21
Figura 12. % de anti-dive automóvel.	22
Figura 13. 100% de anti-dive.....	22
Figura 14. Understeer Vs Oversteer. (04/2020)	24
Figura 15. Exemplo de análise de Oversteer (OS) ou Understeer (US), circuito Barcelo-Catalunya. ..	24
Figura 16. Sistema de amortecimento traseiro com barra estabilizadora. (Citroën Racing)	25
Figura 17. Sistema de amortecimento dianteiro com barra estabilizadora. (Citroën Racing).....	25
Figura 18. Braço de suspensão frontal e traseiro com ajustes de rigidez da barra estabilizadora. (Citroën Racing)	26
Figura 19. Variação de Theta para as diferentes posições de afinação. (Citroën Racing).....	26
Figura 20. Diferentes posições do braço de caster do C3 R5. (Citroën Racing)	31
Figura 21. Vista superior para o cálculo do centro de gravidade. (Couto, 2012)	31
Figura 22. Vista lateral para o cálculo do centro de gravidade. (Couto, 2012)	32
Figura 23. Leitura obtida pelas balanças usadas para efetuar a pesagem do C3 R5.....	32
Figura 24. Dimensões básicas do Citroën C3 R5. (Citroën Racing)	33
Figura 25. Localização do centro de gravidade do C3 R5, pela vista superior.....	34
Figura 26. Camber negativo e positivo, respetivamente. (04/2020).....	35
Figura 27. F1 de Lewis Hamilton, Winter test Barcelona 2020. (04/2020)	36
Figura 28. Problemas com excesso de camber. (Dunlop, 2007)	37

Figura 29. Círculo de tração, com representação das forças exercidas por curva e aceleração. (Smith, Tune to Win)	38
Figura 30. Deformação nos pneus, por slip angle, em corrida. (04/2020).....	39
Figura 31. Análise de dados, circuito Barcelona-Catalunya 2019.....	43
Figura 32. Toe out & in. (Smith, Tune to Win).....	44
Figura 33. Especialistas Pirelli a analisar pneus de F1. (04/2020).....	45
Figura 34. Pontos de medição de temperatura num pneu. (Dunlop, 2007).....	47
Figura 35. Rali do México 2020, Sebastien Ogier. (04/2020)	48
Figura 36. Comparação do bom funcionamento do pneu, face ao mau funcionamento. (Dunlop, 2007)	49
Figura 37. Pen Drive e cabo USB, Citroën C3 R5.....	51
Figura 38. Sistema de conexão da Pen Drive À centralina. (Citroën Racing)	52
Figura 39. Licença Magneti Marelli.....	52
Figura 40. Interface do software.....	53
Figura 41. Aspeto final da descarga de dados para análise.	53
Figura 42. Interface com os dados para análise do comportamento do motor durante uma volta de teste.	57
Figura 43. Comportamento do turbo durante volta de teste.	58
Figura 44. Shift Light, Citroën C3 R5. (Play Auto Açoreana)	59
Figura 45. Análise gráfica de troca de relação de caixa.	59
Figura 46. Shift points destacados pela mancha de pontos.	60
Figura 47. ALS ON Vs ALS OFF.	61
Figura 48. Análise gráfica da condução.....	62
Figura 49. Melhor tempo da primeira ronda (vermelho) Vs melhor tempo da segunda ronda (azul)....	64
Figura 50. Simulação de troço de rali.	66
Figura 51. Logotipo Peugeot Sport. (Peugeot Sport)	68
Figura 52. Arco de segurança Peugeot 208 Rally4. (PSA Motorsport)	69
Figura 53. Carrocerias antes de serem reforçadas.	70
Figura 54. Carroceria depois de ser reforçada.....	70
Figura 55. Guia de pintura. (PSA Motorsport).....	70
Figura 56. Resultado da estrutura após pintura.	71
Figura 57. Conferência de kits recebidos.....	72
Figura 58. Extrato do excel utilizado para a conferência.	72

Figura 59. Organização de todo o material por áreas de aplicação.	73
Figura 60. Organização do espaço da oficina por áreas de aplicação.	73
Figura 61. Tablier com marcações antes da sua forma final.	74
Figura 62. Tablier na sua forma final.	74
Figura 63. Exemplo de um charriot frontal no seu estado final.	74
Figura 64. Carroceria isolada de contactos.	75
Figura 65. Medições impostas pela PSA Motorsport.	76
Figura 66. Criação do molde respeitante às medidas impostas.	76
Figura 67. Aspeto final do sistema de extinção.	76
Figura 68. Comparativo entre os dois sistemas de montagem do sistema de extinção.	77
Figura 69. Interior após montagem do sistema elétrico e de extinção.	78
Figura 70. Exemplo de guia de montagem. (PSA Motorsport)	78
Figura 71. Descrição técnica de pneus de terra Pirelli. (Pirelli Tires)	89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características técnicas C3 R5 e 208 Rally4.....	2
Tabela 2. Clicks de cada um dos quatro testes realizados.....	13
Tabela 3. Força para $V=200$ mm/s.....	14
Tabela 4. Força para $V=600$ mm/s.....	15
Tabela 5. Força para $V=700$ mm/s.....	15
Tabela 6. Tipos de molas disponíveis para asfalto.....	16
Tabela 7. Tipos de molas disponíveis para terra.....	16
Tabela 8. Diâmetros de barras homologadas para o Citroën C3 R5, à data.....	27
Tabela 9. Momento torsor por unidade de ângulo das diferentes barras estabilizadoras.....	28
Tabela 10. Incremento percentual no módulo de rigidez torsional das diferentes barras.....	29
Tabela 11. Variação da rigidez torsional para o caso extremo de barras estabilizadoras disponíveis.....	29
Tabela 12. Evolução da rigidez torsional, percentualmente, para os vários diâmetros.....	30
Tabela 13. Distribuição de pesos Citroën C3 R5.....	33
Tabela 14. Setup inicial Diogo Gago.....	56
Tabela 15. . Quadro resumo de SETUP após a segunda paragem.....	63
Tabela 16. Características exigidas para o processo de pintura. (PSA Motorsport).....	71
Tabela 17. Características dos pneus de terra, Pirelli.....	Anexo 1
Tabela 18. Características dos pneus de asfalto, Pirelli.....	Anexo 2
Tabela 19. Quadro resumo dos pontos a verificar no Roll-Out.....	Anexo 3

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Handling – Termo derivado do Inglês, tipicamente utilizado para descrever o comportamento/controlo dinâmico ou manobrabilidade de um veículo.

FIA – Federation Internationale de l'Automobile.

LSB – *Low Speed Bump* – referente à afinação em compressão a baixas velocidades do amortecedor. Tipicamente associada a solicitações onde há maior sobrecarga no amortecedor.

HSB – *High Speed Bump* – referente à afinação em compressão a altas velocidades do amortecedor. Tipicamente associada a solicitações onde a sobrecarga no amortecedor é inferior à de LSB.

Rebound – Afinação feita para a recuperação hidráulica do amortecedor.

K – Constante de rigidez da mola.

Δl – Deslocamento sofrido segundo o eixo vertical Z.

ξ – Razão de amortecimento.

C – Coeficiente de amortecimento.

C_c – Coeficiente de amortecimento crítico.

ω_n – Frequência natural de vibração.

K_T – Rigidez do pneu.

M_t – Momento torsor.

Υ – Distribuição de travagem.

Θ – Ângulo de torção, em Radianos, pelo momento aplicado.

I_p – Momento polar de inércia.

G – Módulo de elasticidade transversal do material.

Φ – Ângulo de camber.

Pitch – Termo técnico Inglês que se refere à diferença em milímetros existente entre a altura de suspensão traseira e frontal.

Knock – Fenómeno característico pela falha na correta temporização de queima de combustível. Essa falha pode ser por atraso ou por adianto, promovendo, ou não, a detonação de combustível que, por sua vez, provocará uma vibração no motor detetável por sensores de *knock*.

Toe – Convergência da direção do veículo.

Dampers – Amortecedores.

Ramps – Rampa de diferencial utilizada.

Faces – número de faces do diferencial utilizadas.

Preload – Pré-carga imposta ao diferencial.

RCV spacers – espaçadores de roda para impor uma determinada largura de vias.

ARB – Anti Roll Bar.

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

No presente relatório de dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – MIEM – pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP – foi realizado um estudo sobre o comportamento dinâmico de um veículo de competição automóvel, em particular, da categoria RC2 segundo as normativas FIA – *Federation Internationale de l'Automobile* – representando, no momento de execução do presente trabalho, a categoria máxima possível de competir no panorama nacional do Campeonato de Portugal de Ralis – CPR.

Neste sentido, o estudo dinâmico do veículo de competição tido como referência (um Citroën C3 R5) é feito para perceber qual a necessidade das diferentes alterações habitualmente feitas a estes veículos, designadas correntemente por SETUP para os diferentes tipos de piso que enfrentarão ao longo do calendário do campeonato do ano corrente.

Assim, a perceção da influência dessas alterações no que respeita à suspensão, ao *handling* do veículo e à importância do papel do Engenheiro na afinação de um veículo de competição desta categoria, são os objetivos chave deste trabalho de investigação e desenvolvimento.

Finalmente, apresenta-se o projeto P21, que consiste no processo de montagem e de preparação, dos novos Peugeot 208 Rally4. Este projeto liderado a nível europeu pela Peugeot Motorsport, é distribuído por dois grandes responsáveis pela montagem de todos os veículos a serem fornecidos. A Sports&You e a TRT Racing. Neste sentido, o papel a assumir pela Sports&You perante a Peugeot Motorsport, prende-se com todo o processo de preparação das carrocerias e posterior montagem de todos os componentes determinantes para o correto funcionamento dos veículos segundo as normativas FIA. Todas estas etapas serão feitas segundo a minha responsabilidade técnica em que, questões como a qualidade da pintura, o processo de montagem de todos os componentes, a forma como muitos destes componentes devem ser corretamente montados e a realização dos primeiros testes dinâmicos aos veículos, têm de corresponder aos requisitos impostos pela Peugeot Motorsport. Muitos desses requisitos foram apresentados durante uma semana de formação que decorreu em Versailles, na sede da PSA Motorsport, no mês de Fevereiro de 2020.

1.2. CAMPEONATO DE PORTUGAL DE RALIS

No contexto nacional e no que aos ralis diz respeito, o Campeonato Portugal de Ralis – CPR – é a categoria rainha desta vertente da competição automóvel. Assente, em 2020, num conjunto total de 10 provas, onde 5 são em pisos de terra e as restantes 5 em pisos de asfalto, esta competição desenrola-se de Norte a Sul do país, incluindo uma prova em cada um dos Arquipélagos Portugueses – Madeira e Açores.

Para tal, a Sports&You, equipa liderada pelo conhecido campeão nacional de ralis José Pedro Fontes, com chefia técnica feita por parte do Senhor Abel Fernandes, são uma das muitas equipas que constituem todo o plantel nacional desta competição. Representante oficial das marcas Peugeot Sport e Citroën Racing na Península Ibérica, a Sports&You tem vindo a marcar o panorama nacional de ralis pela introdução, cada vez mais vencedora, do novo Citroën C3 R5 e, então, é de interesse máximo o estudo pormenorizado deste veículo no que à sua dinâmica diz respeito.

1.3. OBJETIVO DO TRABALHO

Os principais objetivos do trabalho são: o estudo dinâmico do Citroën C3 R5 e a apresentação de todo o processo de montagem dos novos Peugeot 208 Rally4.

Na Tabela 1, apresentam-se resumidamente as características técnicas dos veículos em estudo.

Tabela 1. Características técnicas C3 R5 e 208 Rally4.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
CITROËN		PEUGEOT	
Modelo	C3 R5	Modelo	208 Rally4
Ano	2018	Ano	2020
Motorização	1600cc		1199cc
	4 cilindros	Motorização	3 cilindros
	16 válvulas		12 válvulas
	Turbocomprimido		Turbocomprimido
Transmissão	5 velocidades		5 velocidades
	Sequencial - Sadev	Transmissão	Sequencial - Sadev
	4WD		2WD - fr
Peso	1230 Kg, s/tripulação	Peso	1080 Kg, s/tripulação
Comprimento	3996 mm	Comprimento	4052 mm
Largura	1820 mm	Largura	1738 mm



Figura 1. Citroën C3 R5 e Peugeot 208 Rally4. (03/2020)

Uma vez feito esse estudo dinâmico pretende-se, então, por recurso à análise de dados (*Data Analysis*) comprovar se as alterações feitas foram ou não eficazes e, para isso, fazendo sempre referência ao troço de teste/corrida feito, vão sobrepor-se canais matemáticos como o de leitura de velocidade ou ângulo de volante, por exemplo, que serão indicativos importantes a ter em conta para essa análise de custo/benefício que é feito pela alteração de SETUP do carro.

Apesar de em muitos casos ser evidente a melhoria que pode ter sido alcançada, é necessário ter em atenção aquando da análise de dados, que a cada passagem que o piloto vai fazendo nesse percurso de treino, o seu grau de conhecimento e de adaptação a esse mesmo circuito vai aumentando, pelo que é determinante ter a capacidade de distinguir o que é uma evolução por consequência da alteração de SETUP, ou o que é uma evolução por aumento do conhecimento e adaptação do traçado.

Por sua vez, o P21 Project, é a mais recente aposta da Peugeot Motorsport e, em particular, da Peugeot Rally Cup Ibérica, competição organizada na sua totalidade pela Sports&You, onde o uso de um veículo Peugeot 208 Rally4 é, agora, obrigatório, por ser o sucessor ao antigo Peugeot 208 R2. Face ao sucesso tido em edições anteriores, aposta-se, agora, neste novo veículo. Este projeto é pioneiro já que este veículo é totalmente novo, tendo sido apresentado no presente ano de 2020 e, por isso, o P21 Project é a vertente desportiva de competição automóvel do novo Peugeot 208.

Assim, numa primeira fase a Peugeot Motorsport é responsável pelo envio de um conjunto de peças, designadas por *Kits* sendo que cada carro terá a si associado um *Kit* (cada um constituído por, aproximadamente, 1000 peças necessárias para a construção de um veículo). Posteriormente, e uma vez recebidas todas as peças necessárias para completar corretamente um *kit*, iniciar-se-á o processo de montagem dos vários componentes, como será apresentado mais adiante. À parte de todas as peças necessárias de serem montadas, é necessário proceder-se à pintura das carrocerias já preparadas, previamente, com o sistema de segurança (*roll-cage*) de acordo com as exigências impostas pela FIA e pela Peugeot Motorsport.

2

SPORTS&YOU EVENTOS DESPORTIVOS

A Sports&You Eventos Desportivos, surgiu da sucessão da empresa Opção 04 (empresa responsável pela preparação dos Skoda Fabia TDi que participaram no campeonato nacional de ralis, entre outros), em meados do ano 2006. Com chefia técnica feita por parte de Abel Fernandes, cujo conhecimento técnico é elevado (antigo responsável técnico da conhecida equipa portuguesa Diabolic) a empresa tem como sócio e representante o piloto Português, José Pedro Fontes. Representante oficial das marcas Citroën Racing e Peugeot Sport em Portugal e Espanha, a Sports&You dedica-se fundamentalmente ao campeonato de Portugal de Ralis, ao campeonato de Espanha de Ralis de Asfalto, bem como ao Super Campeonato de Espanha de Ralis, o campeonato Europeu de carros de turismo (GTs), o campeonato dos Açores de ralis, o campeonato europeu de ralis (ERC) e, ainda, é responsável por dar assistência técnica a inúmeros pilotos privados que procuram os seus serviços.

A empresa é constituída por um total de onze colaboradores. Três responsáveis por toda a parte administrativa, de venda e aquisição de peças, bem como de organização de eventos, dois responsáveis pelo departamento técnico (de apoio e prestação de serviços em corrida) e seis mecânicos.

Do palmarés alcançado pela Sports&You destacam-se alguns resultados alcançados nas mais diversas categorias do desporto motorizado nacional e europeu.

- 2009, Campeã de Portugal de Turismos. José Pedro Fontes, BMW 320 SI
- 2012, Campeã de Portugal de todo-o-terreno. Miguel Barbosa, Mitsubishi Racing Lancer
- 2014, Campeã de Portugal de Ralis absoluto e por equipas. Pedro Meireles, Skoda Fabia S2000
- 2015, Equipa Oficial DS3 Vodafone Team
- 2015, Campeã Nacional de Ralis. José Pedro Fontes, Citroën DS3 R5
- 2016, Campeã Nacional de Ralis. José Pedro Fontes, Citroën DS3 R5
- 2016, Campeã GT Open Europa. António Coimbra/Luis Silva, Mercedes GT AMG GT3
- 2017, Campeã Nacional de Ralis. Carlos Vieira, Citroën DS3 R5
- 2017, Campeã GT Open europa. António Coimbra/Luis Silva, Mercedes GT AMG GT3
- 2019, Campeã de Espanha de Ralis. Pepe Lopez, Citroën C3 R5
- 2019, vencedora Rali Islas Canárias (ERC). Pepe Lopez Citroën C3 R5

Muito tem sido o crescimento da Sports&You no decorrer dos anos e a sua ligação à PSA Motorsport, bem como à Citroën Racing, tem sido cada vez mais vincada. Prova disso é o novo projeto P21 de construção dos novos Peugeot 208 Rally4, bem como a presença cada vez mais assídua do Citroën C3

R5 a correr quer em Portugal, quer em Espanha e onde a Sports&You tem um papel determinante para a possibilidade de concretização dessas vendas.

A aposta no campeonato de Espanha de ralis é, do mesmo modo, importante para a empresa sendo, atualmente, a responsável por todo o suporte técnico da equipa oficial de ralis da federação espanhola de automobilismo “Rallye Team Spain”, com a dupla Efrén Llarena e Sara Fernández.

Assim, a empresa tem como objetivo principal o fornecimento de conteúdos e apoio a todas as ações de Motorsport, sejam elas orientadas para profissionais como para amadores. Conta com uma área especificada de produtos, direcionados às empresas que queiram, por isso, proporcionar aos seus clientes e/ou colaboradores, experiências de condução associadas a este desporto de adrenalina elevada que é o desporto automóvel.

No meu caso, o contacto com a Sports&You começou já no meu 4º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, quando me candidatei a um estágio de Verão.

Nesse sentido, começando numa primeira fase por cumprir todo o plano de estágio de verão juntamente com toda a equipa mecânica da empresa, dediquei esse período a aprender todo o tipo de tarefas essenciais para que, agora, me seja confiada a responsabilidade de assumir um projeto como o P21 ou dar suporte técnico a pilotos que fazem campeonatos em Espanha, Portugal e algumas provas do campeonato da Europa de GTs, por exemplo.



Figura 2. Logotipo Sports&You. (Sports&You)

3

DINÂMICA AUTOMÓVEL

3.1. EM QUE CONSISTE

“Straight roads are for fast cars, turns are for fast drivers.” (Colin Mcrae).

“Turns are for fast drivers”, como disse Colin Mcrae, mas será que é suficiente um piloto rápido? Qual a importância e o papel de um bom desempenho dinâmico de um automóvel para a melhoria de performance de um piloto?

São fatores como a influência do sistema de amortecimento de um veículos, de questões tipicamente associadas à transferência de carga (como o anti-dive ou anti-squat), o tipo de pneu e a melhor forma de os utilizar, entre outros, que se pretendem analisar neste capítulo do trabalho.

3.2. SUSPENSÃO

Genericamente e tal como acontece num sistema vibratório convencional, a suspensão, seja ela de um veículo de competição automóvel ou de um veículo utilitário, é constituída por uma mola e um amortecedor que, por sua vez, estão acoplados a uma massa. Contudo e como no presente trabalho se vocaciona o estudo para o caso particular dos veículos de competição automóvel, o sistema de amortecimento destes é determinante no comportamento dinâmico que o veículo tem.

Importa igualmente frisar que, apesar de se poder caminhar para uma afinação considerada ideal, o estilo de condução próprio de cada piloto é que será determinante para aquela que será, então, a configuração final da afinação do amortecedor, desde o tipo de mola, à regulação do amortecedor quer de compressão ou expansão, à própria pré-carga inerente ao amortecedor sendo que, este último requisito, é o segredo de cada fabricante e, por esse motivo, é praticamente impossível de se ter acesso ao que um dado fornecedor faz no que respeita a essa afinação – convencionalmente chamada de Setting do amortecedor.

Assim, para o Citroën C3 R5, o fabricante escolhido pelo grupo PSA para equipar os veículos que vêm de fábrica e que cumprem a respetiva ficha de homologação, é a Reiger Suspension, fabricante Americano responsável pelo fabrico de amortecedores para três vertentes essenciais: UTV, Moto e Auto.

No caso do C3 R5, o amortecedor escolhido é o modelo 570 que se apresenta na Figura 3.



Figura 3. Suspensão da frente direita do Citroën C3 R5. (03/2020)

3.2.1. TIPOS DE SUSPENSÃO E GEOMETRIAS CONSTRUTIVAS

O Citroën C3 R5 é característico por ter como geometria construtiva do sistema de amortecimento, o sistema do tipo McPherson. Contudo, e como facilmente se compreende, vários outros tipos de sistemas construtivos são possíveis de serem utilizados. Assim, os diferentes tipos de geometrias de sistemas de amortecimento, são relacionados com o possível efeito de alavancamento que deles advêm e, como objetivo de um fabricante automóvel, pretende-se que a rigidez efetiva da mola seja igual à rigidez efetiva do amortecedor. Nesse sentido, dependendo do ponto de ancoragem da mola e do amortecedor, pode proporcionar-se esse efeito de alavancamento que, por sua vez, faz com que a rigidez efetiva da mola não seja igual à do amortecedor. Os diferentes tipos de geometrias construtivas são apresentados na Figura 4.

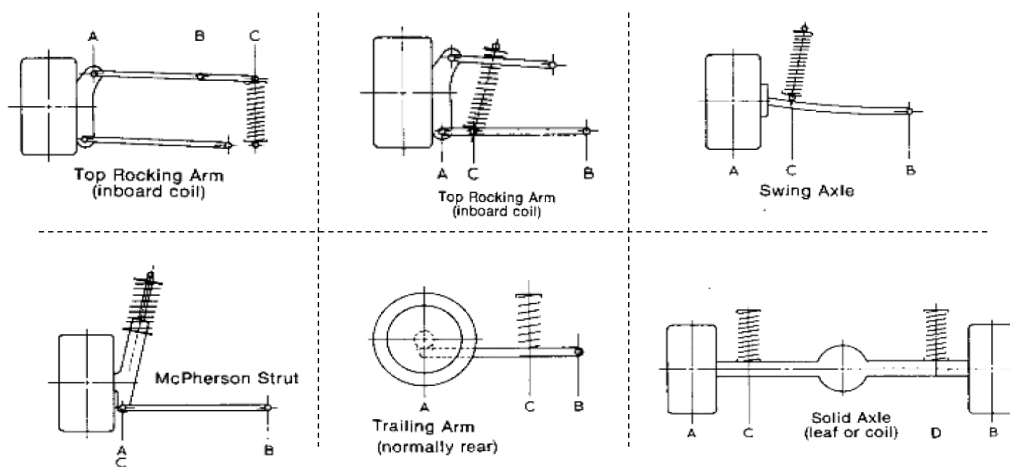


Figura 4. Geometria dos diferentes tipos de suspensão automóvel. (Milliken&Milliken, 1995)

Por observação da Figura 4, é possível perceber os diferentes tipos de geometrias construtivas de um sistema de amortecimento automóvel onde, do mesmo modo, se nota a variação da posição do ponto de ancoragem C com as diferentes soluções apresentadas na figura. Por isso, habitualmente, o grau de alavancamento num sistema de amortecimento – tipicamente designado por vantagem mecânica – pode ser definido pela equação seguinte.

$$\text{Vantagem mecânica} = \frac{AB}{CB} \quad (1)$$

Percebe-se, então, que para o sistema McPherson a vantagem mecânica será igual a 1, já que a distância AB é numericamente igual à distância CB em qualquer tipo de veículo que aplique este sistema, independentemente das suas dimensões. Faz-se igualmente referência, por ser um caso particular, à forma de cálculo da vantagem mecânica de um eixo rígido que é também ela unitária.

$$\text{solid axle: } \frac{AB}{CB + DB} = 1 \text{ (no leverage)} \quad (2)$$

Finalmente, a rigidez é dada por:

$$\text{Rigidez efetiva} = \frac{\text{Rigidez da mola}}{\text{vantagem mecânica}^2} \quad (3)$$

Esquemáticamente, tem-se que a vantagem mecânica é o que traduz a Figura 5.

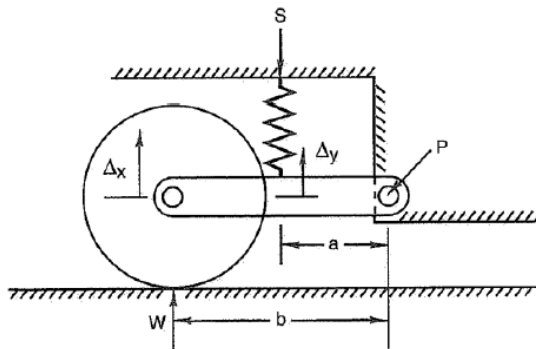


Figura 5. Representação da vantagem mecânica. (Milliken&Milliken, 1995)

Assim, a mola e a roda estão diretamente ligadas ao braço de suspensão que roda em torno do ponto P distando, respetivamente a e b desse ponto P. Ao exercer a função de amortecimento há um deslocamento vertical do braço de suspensão que faz uma rotação em torno do ponto P impondo, por consequência, uma variação Δx e Δy sendo que a razão entre estes dois fatores é, então, a vantagem mecânica. Por ser dependente da força da mola e do deslocamento vertical imposto pela irregularidade do piso, a vantagem mecânica vem elevada ao quadrado.

3.2.2. REIGER 570

Como se consegue compreender pelo capítulo anterior, o sistema adotado pelo Citroën C3 R5 é, então, o sistema *McPherson*, tal como descrito na Figura 4, onde o corpo do amortecedor tem como pontos de ancoragem no veículo o cubo de roda e o topo do amortecedor – tipicamente designado por *top mount* que se representa na Figura 6.

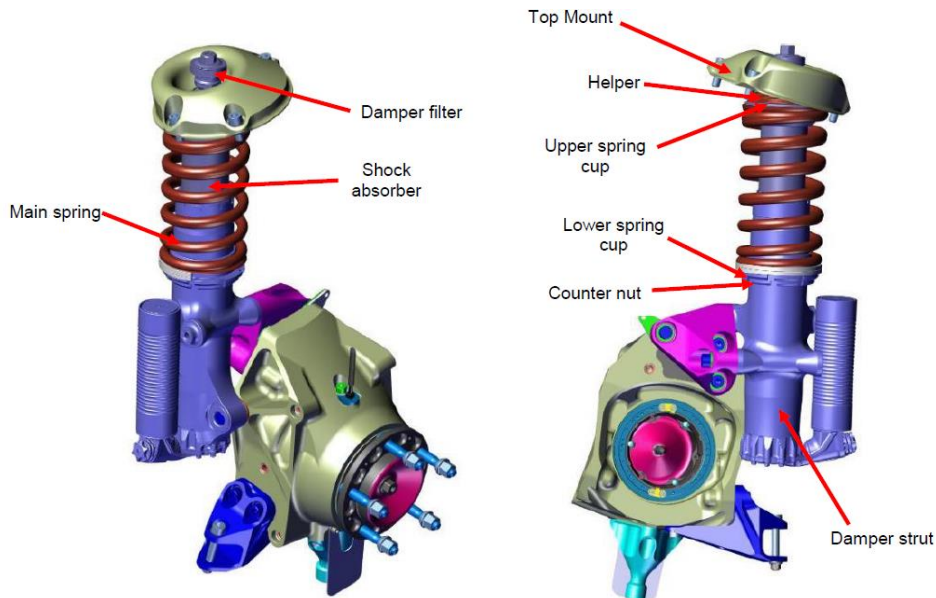


Figura 6. Sistema de acoplamento da suspensão. (Citroën Racing, 2018)

O veículo tira, então, proveito de um sistema de amortecimento ajustável em 5 vias, quatro delas facilmente alteráveis e uma que, tipicamente, apenas é ajustável pelo fabricante:

- Setting: Pré-carga imposta ao amortecedor, bem como afinações prévias das três vias ajustáveis do amortecedor;
- Molas: Responsáveis pelo retorno à posição zero do amortecedor. Como se sabe, um sistema vibratório é sempre constituído por um conjunto massa, mola, amortecedor, onde a mola é representativa do elemento de restituição elástica;
- LSB: “Low Speed Bump” - variável que altera o comportamento em compressão/descompressão do amortecedor nas zonas mais técnicas dos traçados onde, por isso, o veículo tem tendência a deslocar-se mais devagar;
- HSB: “High Speed Bump” - contrariamente ao “Low Speed”, esta variável é mais eficaz para o funcionamento do amortecedor em zonas rápidas do traçado onde, por isso, se exige mais do início de curso do amortecedor. Por outras palavras, em zonas onde o amortecedor trabalha sem estar sujeito a tanta carga por transferência de massas do veículo.
- Rebound: Responsável pelo ajuste de recuperação hidráulica do amortecedor.

Contudo, para melhor se compreender estes parâmetros, atente-se na Figura 7, representativa de um sistema de amortecimento de um motociclo de todo-o-terreno, onde se consegue evidenciar claramente o típico sistema de funcionamento de um amortecedor de competição automóvel IFP – iniciais de *Internal Float Piston* - que representa o funcionamento do circuito hidráulico de um amortecedor tal como o Reiger 570 que equipa o Citroën C3 R5.

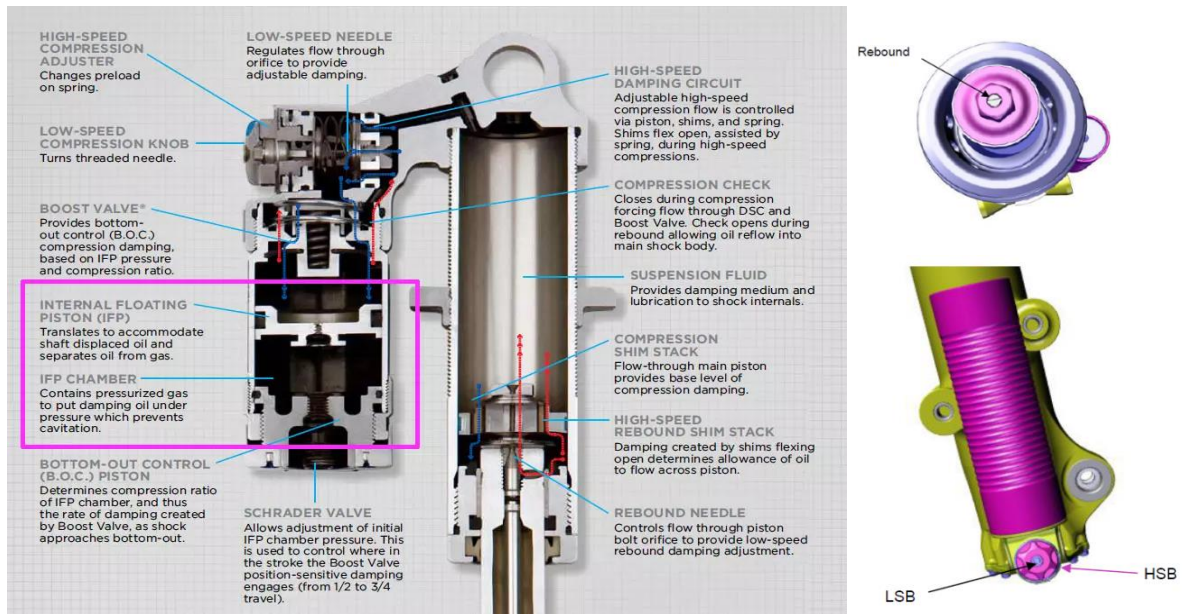


Figura 7. Sistema IFP. (03/2020)

O sistema IFP está, habitualmente, associado ao *bonbonne* do amortecedor, onde o óleo circula durante a compressão/descompressão. Ao comprimir, o amortecedor faz circular o óleo que tem no seu interior pelos diversos canais que constituem o *bonbonne*. Assim, este sistema separa, por norma, duas câmaras, uma onde há óleo e outra onde há Nitrogénio (Azoto) a alta pressão. Este sistema tira partido da presença do Nitrogénio, sob a forma de gás, para que se previna o efeito de cavitação. Assim, ao comprimir o óleo no *bonbonne*, durante uma típica situação de amortecimento, o Nitrogénio vai empurrar esse pistão móvel que circula dentro do *bonbonne* para a sua posição original através do circuito de recuperação – *Rebound* – mantendo o óleo acoplado como que de um sistema hermético se tratasse, através de um *O’ring* que, note-se, sofre um grande desgaste impedindo a formação de bolhas de ar que se poderiam misturar com o óleo.

Assim, paralelamente ao sistema de recuperação, há mais dois canais por onde o óleo pode circular durante esta recuperação no *bonbonne*. Um designado circuito de baixa velocidade – *Low speed* – e outro de alta velocidade – *High Speed* – sendo que, tipicamente, este circuito de alta velocidade é o último estágio antes da posição zero do amortecedor e, por esse motivo, está muitas vezes associado ao ajuste de início de curso de um amortecedor precisamente por estar mais perto do ponto zero do mesmo. Importa referir que estes canais podem ser mais ou menos restringidos, tal como o funcionamento característico de uma válvula. Ao ser ajustado o estrangulamento da válvula, está-se a alterar o caudal de óleo que circula no interior do amortecedor pelos canais a que pertence. Esta afinação é característica pelo efeito sonoro que gera ao ser ajustada essa válvula uma vez que a transição entre as diferentes posições de ajuste fazem um efeito sonoro de “click” e, por esse motivo, na gíria, quando se faz referência ao ajuste a fazer-se quer em *Low Speed*, *High Speed*, ou *Rebound*, diz-se o número de “clicks” que se pretende ajustar. Para efeitos de análise dos ajustes feitos aos amortecedores irá ser considerada a alteração por número de “clicks”.

Para esse fim, os gráficos que seguidamente se apresentam, obtidos por testes feitos em Maio de 2018 nas instalações da *KRS compétition*, onde por recurso a transdutores de curso de suspensão bem como a máquinas de teste de amortecedores (damper *dynamometer*) – que simulam um sistema vibratório para diferentes tipos de força, capazes de simular a carga que se pode ter num ambiente real de corrida – é possível observar, de forma clara, o comportamento de um amortecedor EXT, utilizado na altura deste teste no Hyundai i20 R5, para dois tipos de afinação distintos (curvas a vermelho e a amarelo).

No gráfico da Figura 8, relativo às 4 curvas de comportamento dinâmico de um amortecedor EXT, para efeitos de análise, destacam-se apenas as curvas amarela e vermelha, uma vez que as curvas a verde e azul são referentes a um amortecedor cujos componentes construtivos estão alterados face ao amortecedor padrão, pelo que a sua análise não é significativa para aquilo que se pretende obter da leitura gráfica. A Figura 9 representa a histerese associada ao teste feito.

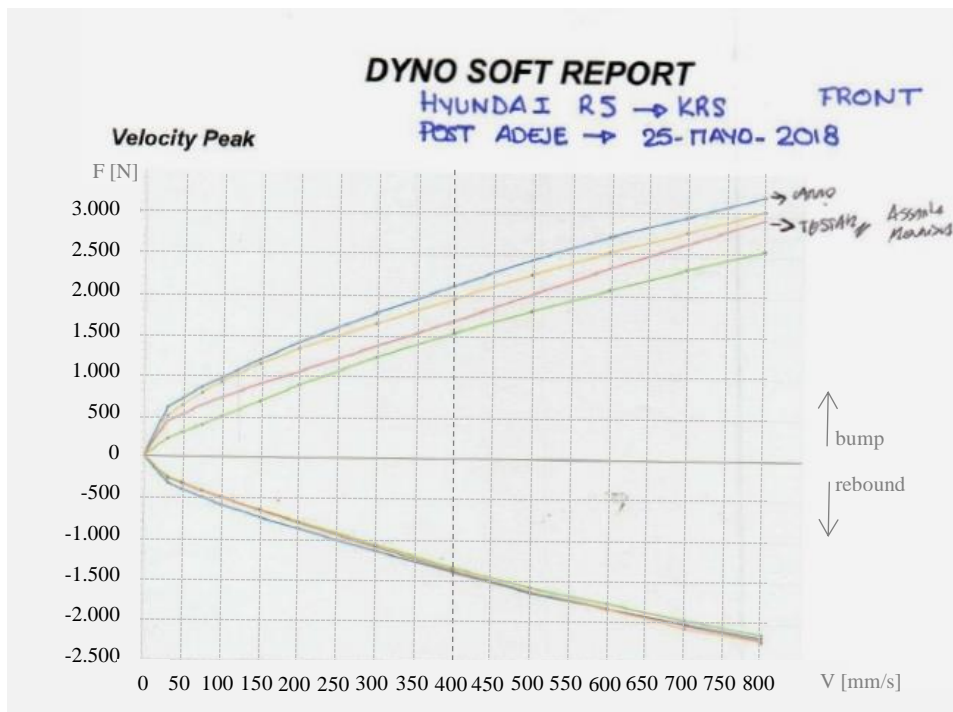


Figura 8. Força vs Velocidade num amortecedor EXT.

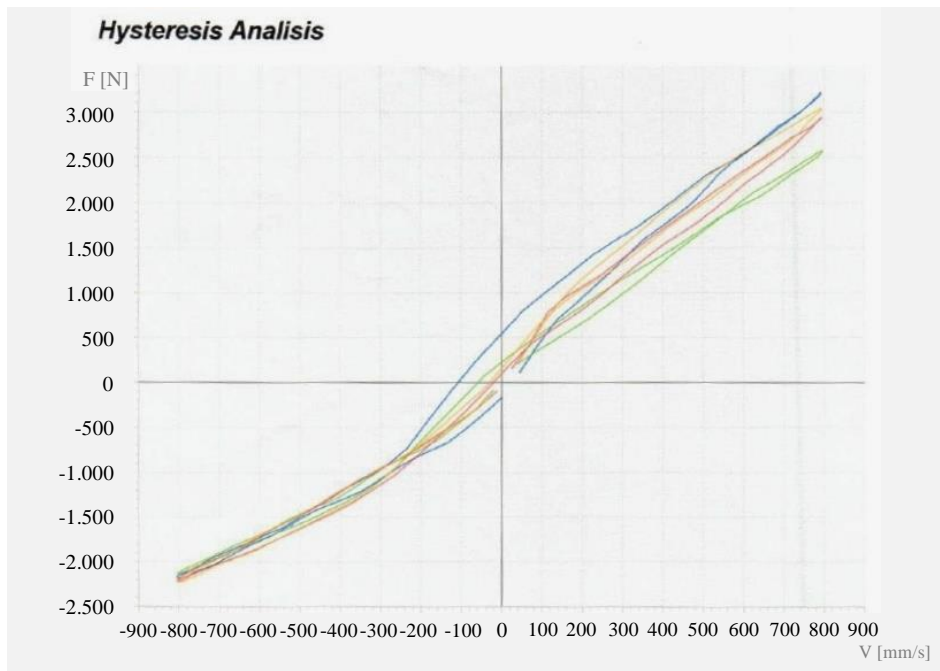


Figura 9. Histerese para os quatro testes realizados.

Importa, então, dar a conhecer o número de “clicks” de *High Speed*, *Low Speed* e *Rebound* que cada uma das curvas representa (ver Tabela 2). Contudo, para que melhor se perceba o porquê da análise feita a este amortecedor, é importante visualizar graficamente o comportamento que o amortecedor sofre no que respeita à relação possível de estabelecer entre o número de “clicks” e a força que o amortecedor faz para tentar contrariar esse efeito, mesmo sendo um amortecedor de um fabricante distinto do utilizado no Citroën. Assim, na Figura 8, na parte superior é possível analisar o efeito de *Bump* do amortecedor, isto é, o seu comportamento em compressão face a uma variação do seu curso. Em baixo, ao invés, pode analisar-se o efeito de *Rebound* que, por observação, facilmente se compreende ser semelhante nos quatro testes feitos. Finalmente, à esquerda do traço interrompido tem-se a zona de trabalho em *Low Speed* e à direita a de *High Speed*.

Tabela 2. Clicks de cada um dos quatro testes realizados.

	High Speed (HS)	Low Speed (LS)	Rebound (Reb)
	12	10	8
	12	10	8
	6	20	8
	19	4	8

Agora, uma vez conhecida a relação de *clicks* de afinação feita em cada um dos quatro testes, é possível analisar em detalhe as curvas a verde e a amarelo. Para tal, é de importância extrema dizer que neste amortecedor EXT do Hyundai i20 R5, bem como acontece no Reiger 570 do Citroën C3 R5, a posição mais fechada do amortecedor (ou seja, com o aperto máximo feito no afinador, no sentido dos ponteiros do relógio) corresponde ao *click* 0 a posição mais fechada e ao *click* 30, ao invés, a posição mais aberta do afinador que se pretende regular (de *Low Speed* ou *High Speed*). O *Rebound*, por sua vez, permite uma afinação com variação de apenas 16 *clicks*.

Por análise da Tabela 2, o amortecedor com afinação a amarelo, quando comparado com a afinação vermelha, deve apresentar um comportamento mais resistente para baixas velocidades (*Low Speed*), querendo isto dizer que, então, para um valor de velocidade considerado na gama de baixa velocidade, a força associada à curva amarela deve ser superior quando comparada com a mesma velocidade para a curva vermelha, tal como comprova a Figura 8. Ao invés, analisando o comportamento do amortecedor na gama de velocidade elevada (*High Speed*) e face à afinação que cada uma das curvas tem, como o amortecedor com a curva a amarelo tem 19 *clicks* face aos 6 *clicks* da curva vermelha, quer isto dizer que o amortecedor amarelo está menos restringido em alta velocidade do que o amortecedor vermelho. Por este motivo, a curva a vermelho deve apresentar a tendência de se aproximar da curva a amarelo, face à divergência existente na leitura feita a baixa velocidade, uma vez que para altas velocidades tem tendência de apresentar valores de força cada vez maiores.

Assim sendo, é possível compreender que a afinação mais preponderante sobre um amortecedor é o *Low Speed* já que é capaz de influenciar mais significativamente o comportamento que a curva vai assumir na gama da velocidade elevada (*High Speed*). Outra forma de corroborar esta conclusão é por recurso ao cálculo matemático. Assim, atente-se no seguinte raciocínio.

Considerando na gama do *Low Speed* a velocidade de 200 mm/s, vem aproximadamente:

Tabela 3. Força para V=200 mm/s

	Força [N]
	1000
	1450

Então:

$$x = \frac{1450 \times 100}{1000} = 145 \% \quad (4)$$

Ou seja, a variação de 16 *clicks* em *Low Speed*, representa neste caso numa variação de 45% do efeito de força sofrido pelo amortecedor.

Do mesmo modo, para uma velocidade de 600 mm/s, vem aproximadamente:

Tabela 4. Força para V=600 mm/s.

	Força [N]
	2400
	2500

Então:

$$x = \frac{2500 \times 100}{2400} = 104,16 \% \quad (5)$$

Ou ainda para v=700 mm/s, vem aproximadamente:

Tabela 5. Força para V=700 mm/s.

	Força [N]
	2650
	2710

$$x = \frac{2710 \times 100}{2650} = 102,26 \% \quad (6)$$

Assim, quer por observação gráfica, quer pela que é feita por cálculo, compreende-se que na zona de *High Speed* há, de facto, a tendência da curva vermelha se aproximar da amarela, para uma variação na afinação de *High Speed* de 13 *clicks*.

De facto, para uma velocidade de 600 mm/s verifica-se um aumento de força da curva amarela face à vermelha de cerca de 4,16% e, por sua vez, para uma velocidade superior 700 mm/s esse aumento é de 2,26% demonstrando-se, claramente, que as curvas têm a tendência de se aproximar.

CURIOSIDADE

A Citroën Racing prevê que o sistema de amortecimento, devido ao nível de desgaste notável que um amortecedor sofre, exija revisão ao fim de 1250 Km.

Muitas vezes quando se veem imagens de acidentes de Rally e quando, em particular, há a rotura de um amortecedor, é típico ver-se uma nuvem de fumo resultante dessa rotura. De facto, não se trata de fumo, mas sim da expulsão do Nitrogénio presente sob alta pressão dentro do *bonbonne* do amortecedor.

3.3. MOLAS

Responsáveis por estabelecer a ligação entre as massas suspensa e não suspensa, são definidas por uma constante de rigidez que será então responsável matematicamente por indicar a força gerada por unidade de deslocamento.

Nesse sentido, a força que tipicamente está associada a uma mola é dada pelo produto entre a sua rigidez – K - (ou taragem) e o deslocamento vertical sofrido - Δl .

$$F_K = K \times \Delta l \quad (7)$$

Como referido, então, na secção anterior, no caso particular do Citroën C3 R5, tem-se que a geometria construtiva do sistema de amortecimento – *McPherson* – permite que a rigidez efetiva da suspensão seja numericamente igual à rigidez da mola, tal como representado na Figura 4, o que, de facto torna mais fácil o entendimento do comportamento de amortecimento que o veículo terá.

Importa referir que na secção de aplicação prática dos temas que são abordados na componente de estudo teórico do trabalho, serão referidas as molas utilizadas para a análise que será feita, contudo, apresentam-se, seguidamente, todas as molas disponibilizadas e homologadas pela FIA, para o Citroën C3 R5.

Tipicamente, as molas são distinguidas pelo valor da sua constante de rigidez – *stiffness* – como representam as Tabelas 7 e 8.

Tabela 6. Tipos de molas disponíveis para asfalto.

TARMAC			
Front		Rear	
Reference	Stiffness [N/mm]	Reference	Stiffness [N/mm]
904481128B	60	904481178B	60
904481138B	55	904481188B	55
904481148B	50	904481198B	50
		904481208B	45

Tabela 7. Tipos de molas disponíveis para terra.

GRAVEL			
Front		Rear	
Reference	Stiffness [N/mm]	Reference	Stiffness [N/mm]
904481298B	30	904481368B	27,5
904481308B	27,5	904481378B	25
904481318B	25	904481388B	22,5
904481378B	22,5		

3.4. O AMORTECEDOR E UM SISTEMA VIBRATÓRIO

Como vem sido referido até este capítulo, um amortecedor é um mecanismo típico de um sistema vibratório convencional, responsável, por isso, por dissipar a energia cinética por conversão em energia térmica (por aquecimento do fluido viscoso que o caracteriza). Como foi igualmente visto, o amortecimento é estabelecido pelo forçar da passagem do óleo por um ou mais orifícios responsáveis pelo fenómeno de compressão/descompressão do amortecedor.

Assim sendo, é de interesse que o equilíbrio dinâmico que um veículo de competição apresenta seja o mais estável possível e, no extremo, que não haja qualquer tipo de movimento na carroçaria que prejudique a condução do piloto. Nesse sentido, interessa que a recuperação do amortecedor seja a mais rápida possível face à solicitação imposta. Para isso, surge então a necessidade de fazer referência a conceitos característicos de um sistema vibratório e, em particular, à resposta à solicitação degrau.

Para que, então, o sistema responda o mais rapidamente possível à solicitação imposta e com o mínimo de comportamento sinusoidal possível, é necessário que se imponha um sistema criticamente amortecido onde, por definição, a razão de amortecimento - ξ - assume o valor 1.

$$\xi = \frac{c}{c_c} \quad (8)$$

C é representativo do coeficiente de amortecimento e C_c representa o amortecimento crítico. Por observação, percebe-se, então, que sendo a razão de amortecimento unitária, tem-se que o amortecimento crítico é igual ao coeficiente de amortecimento. Assim, a resposta temporal de um sistema vibratório criticamente amortecido é dada pelo seguinte gráfico.

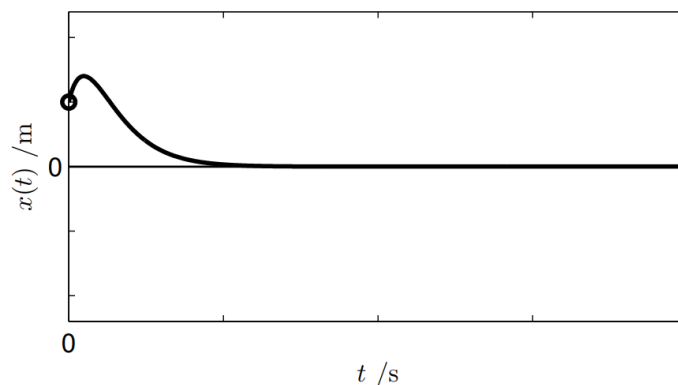


Gráfico 1. Resposta livre ou natural de um sistema criticamente amortecido. (Rodrigues, 2018)

De modo a corroborar a premissa anteriormente estabelecida, de que o objetivo primordial de um amortecedor de competição é ter a resposta para o ponto zero do mesmo, o mais rapidamente possível e que, para tal, é mandatório o recurso a um sistema criticamente amortecido, atente-se no Gráfico 2.

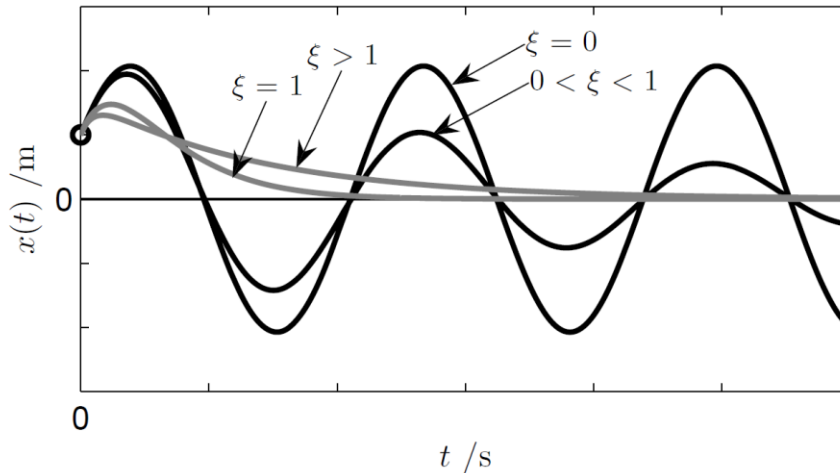


Gráfico 2. Resposta livre ou natural do sistema para diferentes razões de amortecimento. (Rodrigues, 2018)

Por observação, compreende-se, então, que a resposta livre ou natural de um sistema criticamente amortecido é aquela que mais rapidamente se aproxima do ponto zero do amortecedor, sendo por isso responsável por estabilizar a resposta a uma solicitação do tipo degrau mais rapidamente do que qualquer outro sistema.

Como visto, o coeficiente de amortecimento do amortecedor é, então, numericamente igual ao amortecimento crítico que é dado por:

$$C_c = 2 \times m \times w_n \quad (9)$$

Representado m a massa suspensa do Citroën C3 R5 (para o caso particular deste estudo) e w_n a sua frequência natural de vibração, que pode igualmente ser calculada:

$$w_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (10)$$

K é representativo da rigidez efetiva da mola (parâmetro fornecido pelo construtor) e m , uma vez mais, representativo da massa suspensa do veículo.

Uma vez que todas as variáveis conseguem ser determinadas, já que o coeficiente de amortecimento é numericamente igual ao amortecimento crítico do veículo, pode determinar-se a força exercida pelo amortecedor, dependente da velocidade do deslocamento vertical a que está sujeito durante uma situação de amortecimento perante uma irregularidade do circuito - $\Delta \dot{Z}$.

Esta variação vertical pode, do mesmo modo, ser determinada na prática por recurso a um transdutor de curso, por exemplo, comumente designado por extensómetro.

$$F_c = C \times \Delta \dot{Z} \quad (11)$$

Um modelo prático e semelhante ao que ocorre num veículo quando se destaca, apenas, um dos seus quatro cantos responsáveis pelo amortecimento, é o seguinte exemplo da Figura 10, relatado em *Milliken&Milliken, 1995*.

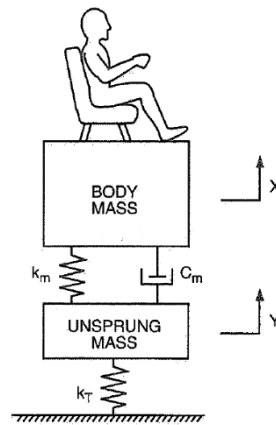


Figura 10. Modelo de um quarto de veículo. (Milliken&Milliken, 1995)

De facto, um dos requisitos a impor a uma suspensão automóvel é o controlo da vibração que sofrerá a massa não suspensa. De um modo geral, valores de transmissibilidade acima de 2.5 serão diretamente transmitidos à condução de forma negativa, prejudicando de forma considerável o *handling* do carro. Importa referir que a este modelo apresentado – que tem em conta a rigidez associada ao pneu, semelhante ao comportamento de uma mola, aproximado por K_T onde T é sinónimo de *Tire* – pode ser descrito por intermédio de um gráfico – Gráfico 3 – que relaciona a transmissibilidade associada à massa não suspensa com a frequência de vibração feita pelas oscilações do pavimento na suspensão automóvel.

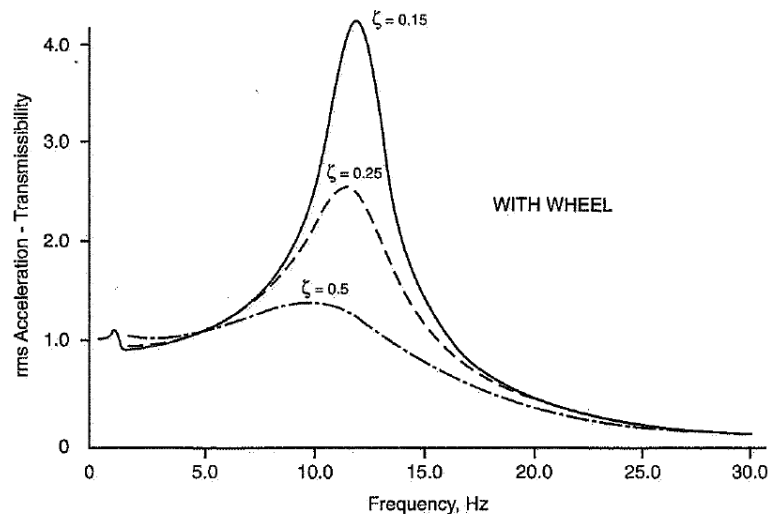


Gráfico 3. Transmissibilidade função da frequência de oscilação. (Milliken&Milliken, 1995)

Por observação da tendência que as curvas do Gráfico 3 seguem, é perceptível que com o aumento do valor de ξ , o valor da transmissibilidade – definida como sendo o rácio entre o movimento vertical da roda e a amplitude vertical da superfície de movimento do veículo - tenda a diminuir em grande escala pelo que, para um sistema criticamente amortecido, que como visto anteriormente é o desejável, a transmissibilidade associada a esse sistema será, igualmente, muito baixa representado, então, um bom principio associado a este tipo de sistemas tal como acontecerá no Citroën C3 R5, objeto de estudo.

O Gráfico 4, por sua vez, apresenta o efeito da transmissibilidade feita por circulação num piso em bom estado face a outro em condições opostas.

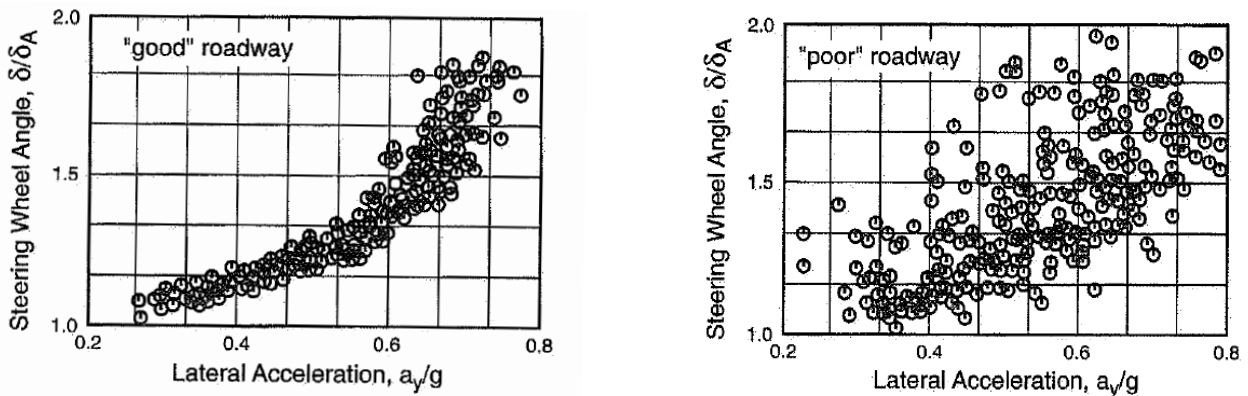


Gráfico 4. Efeito do trabalho do amortecedor, em curva, para bom e mau piso, respetivamente. (Milliken&Milliken, 1995)

Mais do que importantes para perceber a dinâmica automóvel e a panóplia de variedades que fazem deste estudo um dos mais complexos relacionados com o desporto automóvel, em particular, os gráficos anteriores são úteis para transmitir a perceção de que, de facto, um bom equilíbrio entre a leitura que é feita da estrada, por parte do amortecedor e o *feedback* que é transmitido ao volante do condutor é essencial para o melhoramento do *handling* do veículo. Em competição e nos ralis em particular, muitos são os fatores determinantes para um bom desenvolvimento de SETUP que é necessariamente diferente de prova para prova em grande parte devido às variações de piso que há de localidade para localidade e onde, intrinsecamente, há a variação desta leitura do perfil da estrada que tem vindo a ser referido.

3.5. ANTI-DIVE

“O efeito *anti-dive*, está relacionado com a travagem. Quando ocorre uma travagem, existe então uma transferência de carga para o eixo dianteiro. Ao ocorrer esta transferência, a suspensão dianteira suporta uma maior carga, o que faz com que haja maior efeito de compressão como consequência desse fenómeno.

O *anti-dive* caracteriza-se, então, como sendo a capacidade que o eixo dianteiro de um veículo possui para resistir a este aumento acentuado de carga, aquando de uma travagem. O cálculo deste efeito para diferentes geometrias de suspensão pode ser encontrado no *Miliken & Miliken, 1995* e é definido pela seguinte equação:” *Raposo, 2019*

$$\text{anti - dive} = \frac{Y \times L \times \tan \alpha}{h} \quad (12)$$

Onde:

- γ – Percentagem de travagem no eixo dianteiro;
- L – Distância entre-eixos;
- α – Ângulo formado entre o ponto de contacto do pneu com o solo e com a linha, virtual, que liga ao CIR;
- h – Altura do centro de gravidade;

Esquemáticamente, o efeito de anti-dive é descrito pela Figura 11.

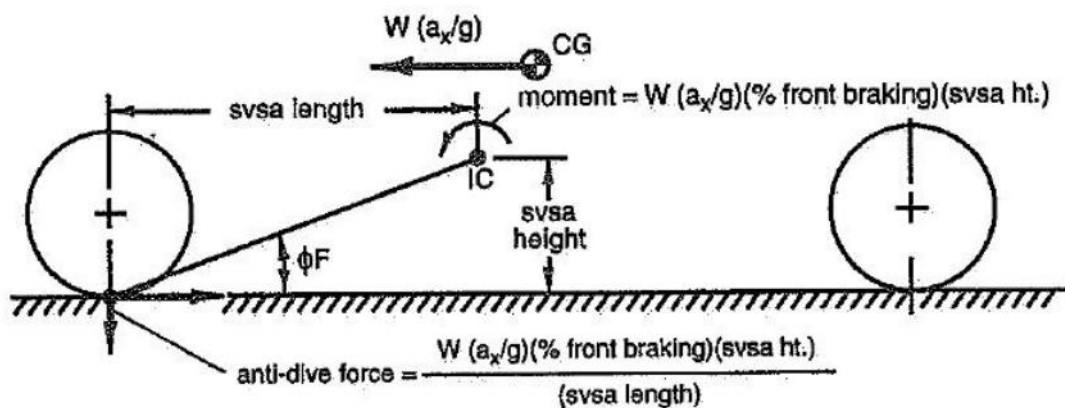


Figura 11. Anti-dive num veículo. (Milliken&Milliken, 1995)

Através da Equação 12, percebe-se que tanto a distância entre o centro instantâneo de rotação e o eixo frontal, como a altura do centro instantâneo de rotação, bem como a percentagem de travagem exercida pelo eixo frontal, são parâmetros dependentes, mas ao mesmo tempo constantes, se analisarmos um mesmo modelo de veículo.

Logo, o *anti-dive* é diretamente dependente do centro instantâneo de rotação do veículo (CIR). Este tem uma importância relevante já que se verifica que variando a localização do CIR, por consequência, há igualmente a variação do ângulo α , da equação, o que faz verificar que para valores mais elevados deste ângulo o valor percentual de *anti-dive* é também ele aumentado, ou vice-versa. De facto, há inclusivamente um ponto tipicamente chamado de 100% *anti-dive* que significa que, nestas condições, durante uma solicitação de travagem em que há o normal movimento de descida da frente do veículo (o efeito de *dive*), o trabalho sofrido pelo sistema de amortecimento do veículo é nulo, ou seja, neste caso a transferência de massa que existe da travagem solicitada, para o eixo dianteiro do veículo, é toda ela suportada pelos braços de suspensão do veículo. Assim, o conhecido efeito de *anti-dive* é variável com a geometria automóvel, principalmente com a geometria dos braços (*links*) de suspensão, já que estes é que serão os responsáveis por suportar toda a transferência de massa resultante de uma travagem.

Atente-se na seguinte Figura 12 representativa de um sistema de suspensão automóvel.

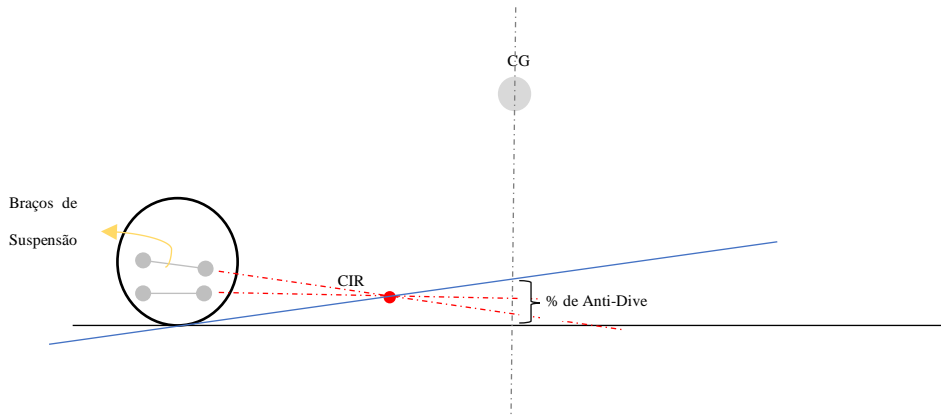


Figura 12. % de anti-dive automóvel.

Assim, a linha azul que passa pelo ponto de contacto do pneu com o solo e pelo CIR do veículo (resultante da intersecção das linhas a traço interrompido vermelho que passam pelos braços de suspensão), ao intercepar-se com a linha vertical que passa pelo Centro de Gravidade – CG – origina, então, uma medida percentual do valor de *anti-dive* que o veículo tem.

Por isso, o valor de 100% de *anti-dive* pode ser obtido como representado na Figura 13.

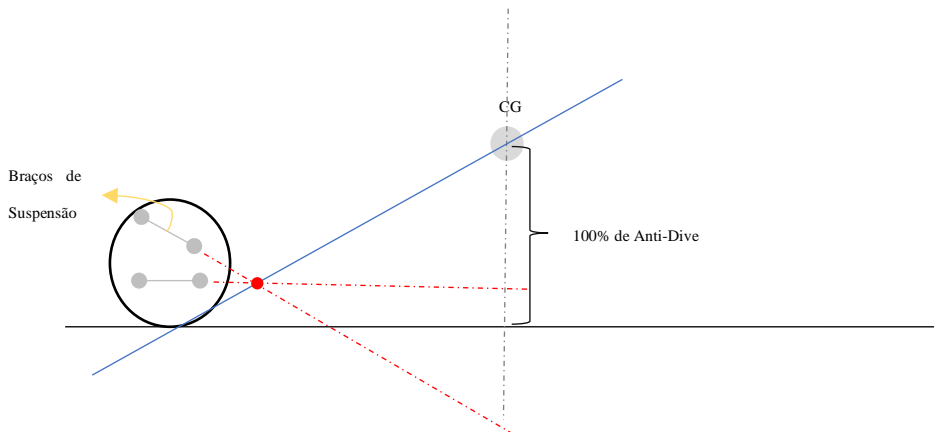


Figura 13. 100% de anti-dive.

Contudo, apesar deste parâmetro ser interessante de um ponto de vista da melhor compreensão da dinâmica automóvel, facilmente se compreende que é uma variável intrínseca a todos os veículos na globalidade e característica de cada um em particular.

Por outro lado, há meios disponíveis para se poder atenuar o efeito de *dive* que o automóvel tem como, por exemplo, o ajuste de recuperação do amortecedor (o *Rebound*) que irá, então, aumentar a inércia hidráulica durante o movimento de compressão/descompressão do amortecedor o que, em certo modo, ajuda a amenizar essa transferência de sobrecarga que se faz sobre o eixo dianteiro do automóvel, ou ainda, por exemplo, a variação de altura do veículo que influenciará a localização do seu centro de gravidade, do *dive* que ele tem e, por consequência, o efeito de *anti-dive* correspondente.

3.6. ANTI-SQUAT

Um raciocínio idêntico ao anteriormente referido, passa-se com a traseira do veículo. Assim, tal como quando se exerce força de travagem o carro tem a tendência normal de baixar a sua frente, facto que pode ser mais ou menos significativo dependendo da quantidade de *anti-dive*, tal como visto, também a traseira do veículo apresenta esta tendência aquando da aceleração.

Nesse sentido, o princípio de *anti-squat* é em tudo idêntico ao de *anti-dive*, mas respeitante ao movimento existente na traseira do veículo. Por análise geométrica dos braços de suspensão traseiros e pela linha que une o ponto de rolamento de um pneu traseiro, com o centro instantâneo de rotação associado aos braços dessa roda em análise, é possível determinar a altura a que está localizado o centro instantâneo de rotação quando projetado segundo a linha vertical que passa pelo centro de massa do veículo (tal como acontece com o *anti-dive*, já exposto). Assim, a altura da projeção face à altura do centro de massa do veículo é respeitante à percentagem de *anti-squat* que o veículo em análise terá.

Segundo *Carroll Smith*, em *Tune To Win*, sabe-se que há a tendência para gerar algum efeito anti-squat associado aos veículos de competição onde, por norma, o rácio potência/peso é mais elevado do que no caso de um veículo comum. Assim, entende-se que 20% de anti-squat será o limite inferior deste parâmetro para que os pneus traseiros não sejam prejudicados pelo efeito.

3.7. BARRA ESTABILIZADORA

Concebida de modo a evitar ou, pelo menos, reduzir o efeito de *roll* associado a um automóvel, melhorando então o *handling* que cada veículo tem dependendo do tipo de barra que usa, este sistema caracteriza-se por ligar por intermédio de uma barra o sistema de amortecimento de cada um dos lados do veículo.

Imaginando, então, uma situação em que um dado veículo está a efetuar uma curva há o inevitável rolamento da carroceria (*roll*) provocando inerentemente o levantamento da carroceria da parte interior da curva e o abaixamento da mesma da parte exterior da curva, pela transferência de massa que ocorre neste caso. Assim, pelo método de torção de veios, o efeito de transferência de massa que há da roda interior do veículo para a exterior poderá ser reduzido, havendo deste modo benefícios no que ao *handling* do veículo diz respeito.

Assim sendo, efeitos como *understeer* e *oversteer* (ou em Português, subviragem e sobreviragem, respetivamente), visíveis na Figura 14, são fenómenos típicos do *handling* e da afinação de *SETUP* de um veículo de competição automóvel e estão grandemente ligados à influência que as barras estabilizadoras têm para se conseguir melhorar o comportamento em curva do veículo. Por isso, numa situação quer de *oversteer* ou *understeer* que facilmente ocorre em simulação de corrida ou mesmo durante uma corrida, a mudança do tipo de barra estabilizadora ou do diferente tipo de posição que uma barra estabilizadora pode ter, são princípios possíveis de alterar para ajudar ao melhoramento desses fenómenos.

De facto, importa referir que um veículo de competição automóvel e, neste caso particular, o Citroën C3 R5, apresenta-se uma panóplia de ajustes possíveis de serem feitos para se amenizar os efeitos indesejáveis que um piloto está a sentir durante o ato de condução.

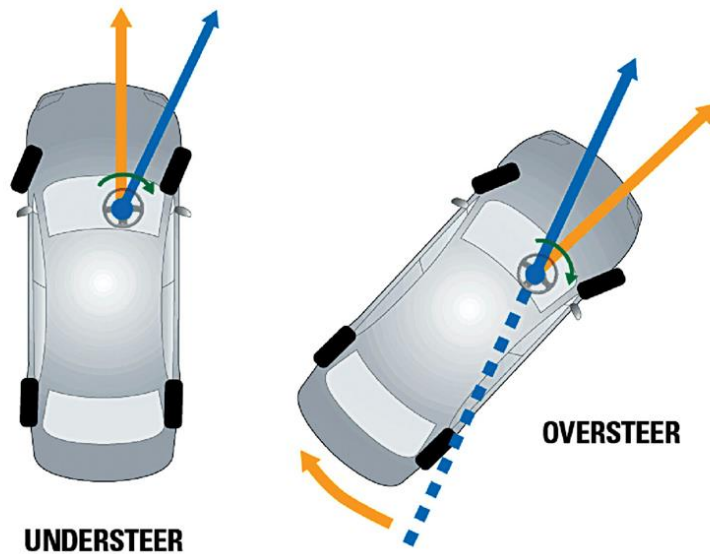


Figura 14. Understeer Vs Oversteer. (04/2020)

Por observação da Figura 14, compreende-se que perante uma situação de *understeer* em que o piloto se depara com falta de *grip* frontal (falta de aderência do pneu, que mais adiante será também discutido) um dos ajustes possíveis para contornar este efeito no sentido de o melhorar, passa por “amaciar” a frente do automóvel, por exemplo. Assim, este princípio de um modo muito genérico pode ser alcançado de três modos recorrendo apenas a mudanças nas barras estabilizadoras: ou reduzir a rigidez torsional da barra frontal e, para isso, utilizar uma barra mais macia, ou alterar a sua posição de funcionamento (*hard, medium, soft*), ou ainda aumentar a rigidez da barra traseira promovendo então o aumento da rigidez torsional e, por consequência, o aumento do efeito sobrevirador que o automóvel apresenta no momento de análise, de modo a contrariar o efeito sentido de *understeer*. Contudo, um aspeto determinante perante uma situação como esta, é perceber em que zona da curva se está perante o fenómeno de *understeer*. Se na entrada da curva, se no meio (*ápex* da curva) ou se no final (ilustrado na Figura 15). De facto, esta análise é determinante para o tipo de mudança de *SETUP* a fazer, tal como será abordado num capítulo mais adiante do presente relatório.

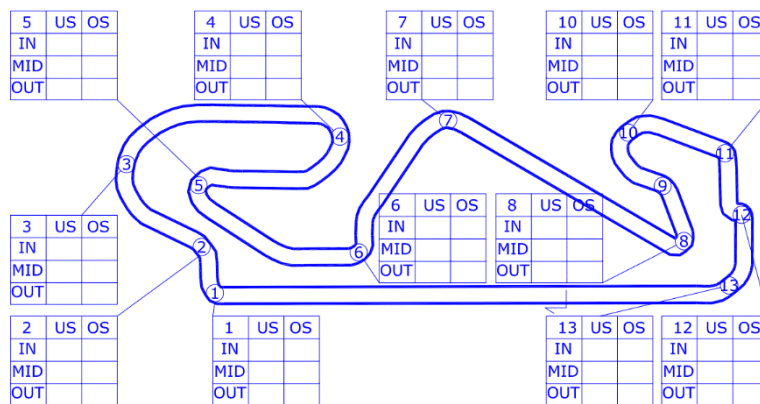


Figura 15. Exemplo de análise de Oversteer (OS) ou Understeer (US), circuito Barcelo-Catalunya.

Numa situação de *oversteer* o raciocínio contrário deve ser tido em conta. Assim, reduzir a rigidez torsional da barra traseira ou, por sua vez, aumentar a rigidez torsional da barra dianteira, podem ser soluções a adotar para se melhorarem estas características.

Contudo e como é o principal objetivo deste estudo, atente-se na geometria construtiva do sistema de amortecimento do Citroën C3 R5 apresentada na Figura 16 a geometria traseira e na Figura 17 a frontal.

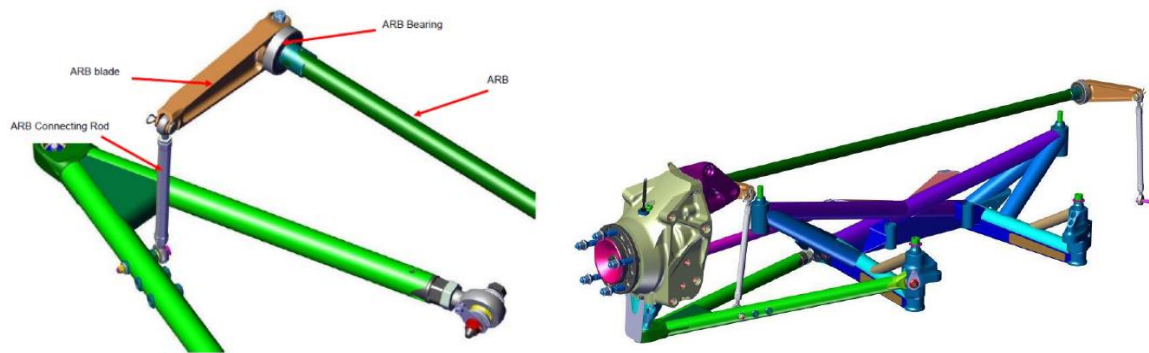


Figura 16. Sistema de amortecimento traseiro com barra estabilizadora. (Citroën Racing)

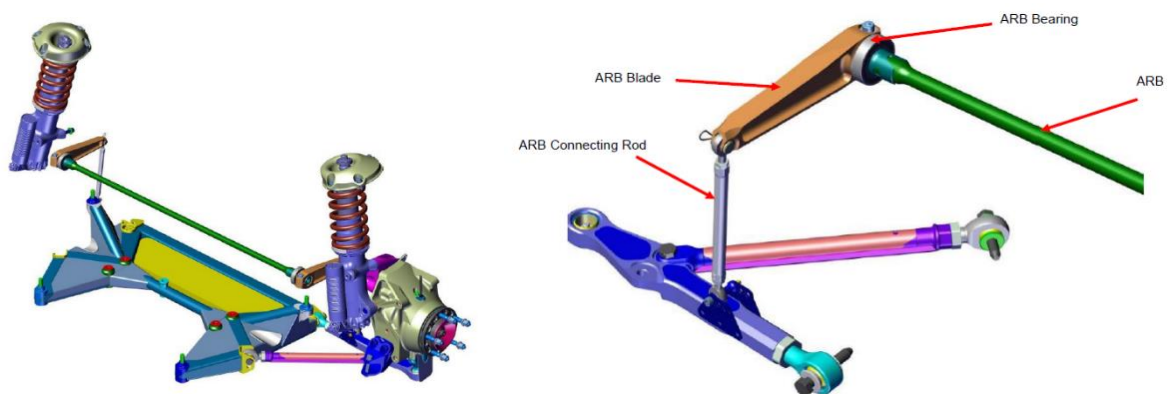


Figura 17. Sistema de amortecimento dianteiro com barra estabilizadora. (Citroën Racing)

Por observação das imagens anteriormente apresentadas nas Figuras 16 e 17, referentes ao sistema de amortecimento do Citroën C3 R5, facilmente se compreende que para além dos diferentes tipos de barra ARB – Antiroll Bar – (ou barras estabilizadoras, em Português, que serão enumeradas mais adiante), este veículo oferece quer no eixo frontal quer no traseiro a possibilidade de ajustar em três posições o tirante vertical que faz a ligação entre a barra estabilizadora e o braço de direção do veículo.

Nesse sentido a Citroën diz ainda que a posição mais exterior de ajuste corresponde ao maior efeito de rigidez feito pelo sistema de *antiroll* e a posição interior ao menor desse efeito ficando, claro está, a posição intermédia para um bom compromisso entre estes dois extremos, conseguindo-se deste modo aumentar ou diminuir a rigidez da barra estabilizadora de forma progressiva entre dois diâmetros de barras consecutivos possíveis de usar, como resume a Figura 18.

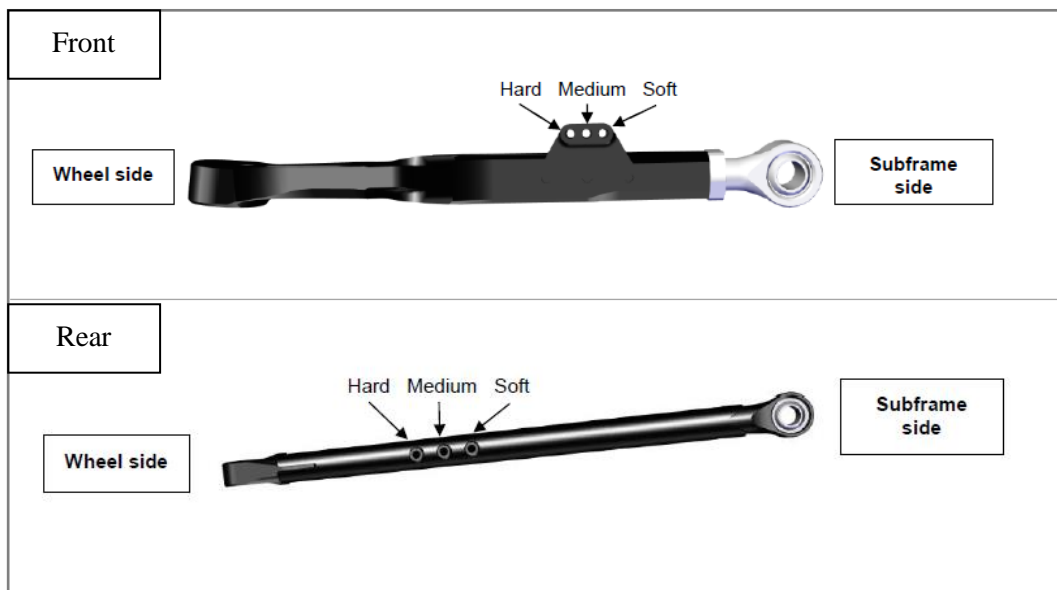


Figura 18. Braço de suspensão frontal e traseiro com ajustes de rigidez da barra estabilizadora. (Citroën Racing)

Assim, sabendo que a posição que o tirante vertical ocupa no braço será significado de uma maior ou menor força exercida pelo sistema de *antiroll* do C3, devido à alteração do ângulo que o tirante faz com a sua projeção vertical (ou seja, menor ângulo, corresponderá a um $\cos(\Theta)$ maior e, por sua vez, a componente vertical da força será igualmente maior, como pretende demonstrar a Figura 19) convém então tentar determinar qual a rigidez associada a cada uma das barras que a Citroën disponibiliza.

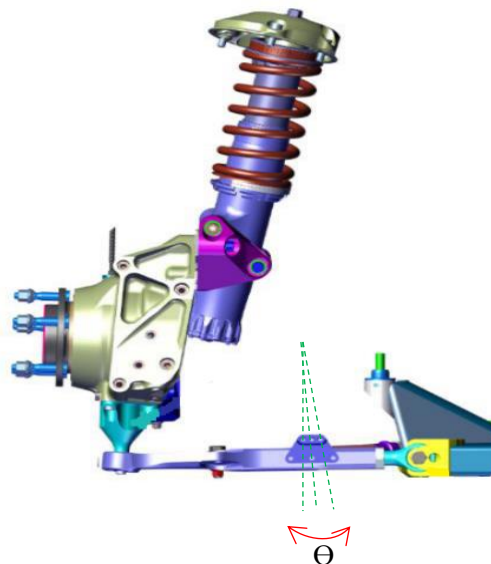


Figura 19. Variação de Theta para as diferentes posições de afinação. (Citroën Racing)

Por esse motivo, por recurso à teoria de torção de veios, neste caso aplicada às diferentes barras que o Citroën tem disponíveis para utilização, e admitindo o sistema como praticamente rígido, uma vez que quando comparado aos carros comuns, o carro de corrida é todo ele muito mais reforçado estruturalmente, é uma boa aproximação o cálculo da rigidez das diferentes barras pelo método referido. Contudo, apesar de ser difícil determinar qual o valor de momento torsor aplicado a cada extremidade da barra durante o funcionamento do veículo, bem como qual o ângulo de torção que a barra sofrerá durante qualquer situação de funcionamento, considerar-se-á, então, como referência a relação $\frac{Mt}{\theta}$ dada em Nm/°.

Atente-se, então, nos três diferentes tipos de barras (Tabela 8) que podem ser utilizadas no sistema de amortecimento frontal e traseiro do Citroën C3 R5, todas elas devidamente homologadas pela FIA.

Tabela 8. Diâmetros de barras homologadas para o Citroën C3 R5, à data.

Diâmetros das Barras Disponíveis [mm]	
Frente	
13.6	
15.6	
17.6	
Trás	
19	
21.6	
24.5	

Assim, sabendo quais as possibilidades de escolha, faz-se o seguinte cálculo pelo método de torção de veios:

$$\frac{Mt}{\theta} = G \times I_p \quad (13)$$

Onde:

- Mt: Representa o momento torsor aplicado à barra, dado em Nm;
- θ : Representa o ângulo de torção pelo momento aplicado, dado em Radianos que, para efeitos de cálculo, será convertido em Graus;
- G: Representa o módulo de elasticidade transversal do material, neste caso aço e considerado 75.8 GPa;
- I_p : Momento polar de inércia. Neste caso, aproximado ao caso de uma viga de secção circular e, por isso, dada por: $I_p = \frac{\pi \times D^4}{32}$;

Assim, vem que genericamente a equação pode ser transformada em:

$$\frac{Mt}{\theta} = 75.8 \times 10^9 \times \frac{\pi \times D^4}{32} \times \frac{\pi}{180} \quad (14)$$

Resultando, então, que $\frac{Mt}{\theta}$ é dado em Nm/°.

Por isso, calculando para as diferentes barras, apresenta-se o seguinte cálculo que representa todo o processo, idêntico, feito para cada barra em particular, neste caso para a barra da frente de 13.6mm de diâmetro.

$$\frac{Mt}{\theta} = 75.8 \times 10^9 \times \frac{\pi \times (13.6 \times 10^{-3})^4}{32} \times \frac{\pi}{180} \quad (15)$$

Então, vem por sua vez que:

$$\frac{Mt}{\theta} = 4.44 \frac{Nm}{^\circ} \quad (16)$$

Estabelecendo, assim, o mesmo raciocínio para os restantes diâmetros disponíveis de barras, surge o quadro resumo que se apresenta na Tabela 9.

Tabela 9. Momento torsor por unidade de ângulo das diferentes barras estabilizadoras.

Bar [mm]	Mt/θ [Nm/°]
Front	
13.6	4,44
15.6	7.12
17.6	12,46
Rear	
19	16,93
21.6	28.27
24	46,8

De facto, uma vez que se torna pouco intuitivo reconhecer o que é, afinal, Nm/°, é mais fácil perceber qual o incremento percentual que há, ao fazer-se variar a utilização de uma barra com um dado diâmetro para outra com um diâmetro maior ou menor. É esse raciocínio que se pretende demonstrar em seguida na Tabela 10.

Tabela 10. Incremento percentual no módulo de rigidez torsional das diferentes barras.

Bar [mm]	Mt/Θ [Nm/°]	Inc. %
Front		
13.6	4,44	-
15.6	7,12	60,36%
17.6	12,46	75,00%
Rear		
19	16,93	-
21.6	28,27	66,70%
24	46,8	65,50%

Deste modo, como a tabela o demonstra, compreende-se que apesar do diâmetro das barras variar de forma não constante, em termos percentuais o aumento ou a diminuição (dependendo de que barra para que barra se muda) é feito de um modo proporcional e equilibrado permitindo-se, assim, que ao variar o tipo de barra estabilizadora utilizada, a variação da rigidez torsional imposta é alterada de modo idêntico percentualmente.

Esta análise da variação do módulo de rigidez torsional feito por recurso ao rácio entre o momento torsor por unidade de ângulo, pode ainda ser realizado de modo a tentar perceber se o equilíbrio entre a frente do veículo e a traseira é, ou não, mantido e tido em consideração (Tabela 11). Para isso, faça-se então o seguinte raciocínio:

Tabela 11. Variação da rigidez torsional para o caso extremo de barras estabilizadoras disponíveis.

Bar [mm]	Mt/Θ [Nm/°]	Inc. %
Front		
13.6	4,44	-
17.6	12,46	180,63%
Rear		
19	16,93	-
24	46,8	176,43%

Do mesmo modo, um raciocínio oportuno de ser feito é a limitação do tipo de barra no que à percentagem diz respeito, para que se perceba de uma forma mais evidente em que posição de rigidez torsional cada uma das barras se situa. Nesse sentido, o quadro seguinte (Tabela 12) é criado atendendo a que a barra de maior diâmetro (quer da frente quer da traseira) corresponde àquela que, efetivamente, tem maior rigidez torsional.

Atente-se:

Tabela 12. Evolução da rigidez torsional, percentualmente, para os vários diâmetros.

Bar [mm]	Mt/Θ [Nm/º]	Inc. %
Front		
13.6	4,44	35,63%
15.6	7.12	57,14%
17.6	12,46	100,00%
Rear		
19	16,93	36,18%
21.6	28.27	60,41%
24	46,8	100,00%

3.8. TRANSFERÊNCIA DE CARGA

“The loads at each wheel are extremely importante in determining a car’s maximum steady-state cornering capability. Some insight into how the wheel loads are developed can be valuable in setting up a vehicle for maximum performance.”

Miliken & Miliken

Talvez um dos, senão dos mais, significativos aspetos de que a análise e melhoramento de SETUP de um veículo de competição automóvel depende, prende-se com a sua transferência de carga e com o efeito positivo ou negativo que acarreta sobre a prestação do mesmo, sobretudo quanto comportamento do veículo e ao seu controlo.

3.8.1. CENTRO DE GRAVIDADE

O centro de massa é determinante para qualquer análise que envolva o cálculo matemático do comportamento dinâmico do veículo, já que a aceleração gravítica é constante em qualquer ponto do automóvel. Contudo, e como facilmente se compreende, apesar de determinante, a localização exata deste ponto vai sofrendo alterações por diversos motivos, como a alteração do SETUP (em que a variação de altura da mola, por exemplo, acarreta a variação da localização deste ponto), o facto de se ter, neste caso, o Citroën C3 R5 com preparação para asfalto ou para terra (*Tarmac* e *Gravel*, respetivamente), uma vez que o ponto de ancoragem do braço de *caster* varia, caso se utilize uma preparação, ou outra, como pretende demonstrar a Figura 20.

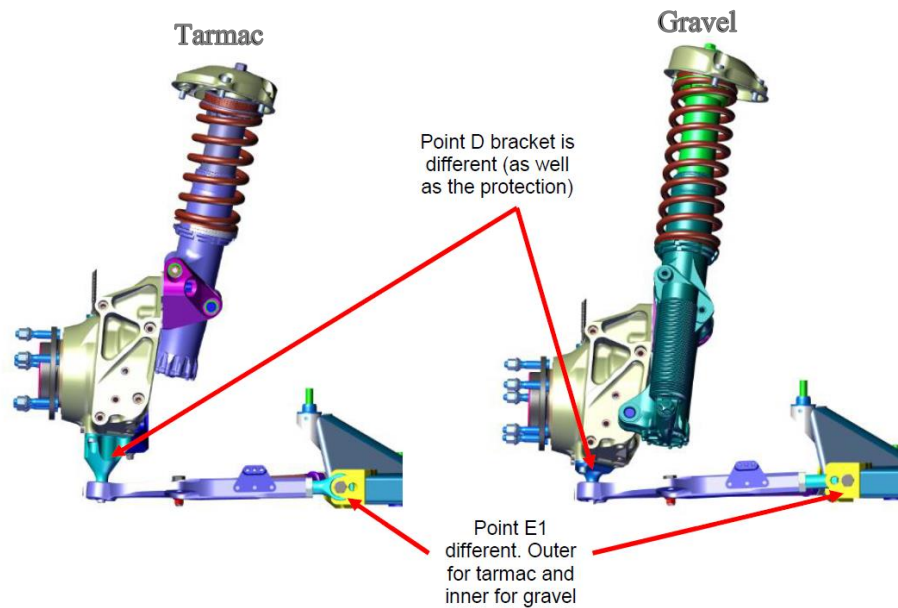


Figura 20. Diferentes posições do braço de caster do C3 R5. (Citroën Racing)

Assim sendo, para efeitos de cálculo, assume-se a posição do centro de gravidade como sendo constante ao utilizar-se um SETUP de terra e constante, mas diferente da anterior, para o caso do SETUP de asfalto, sendo esta a única diferença que se assume que existe na posição deste ponto.

Partindo do princípio de que o piso onde foram feitas as medições está nivelado e que, do mesmo modo, também o nível de combustível do depósito está conforme o indicado pela Citroën Racing, ou seja, 1L para não danificar as bombas de gasolina do veículo, procedeu-se à medição trigonométrica do centro de massa do veículo, tal como pretende demonstrar a representação da Figura 21 e 22.

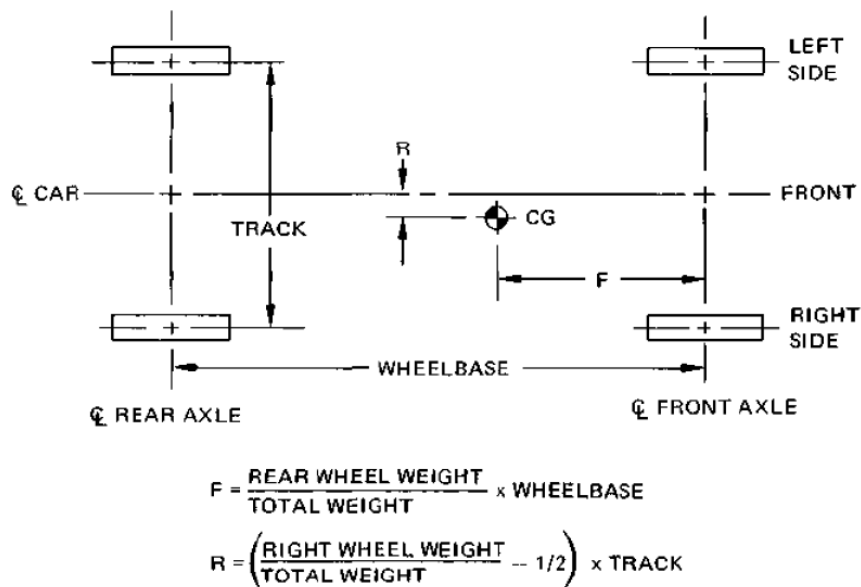


Figura 21. Vista superior para o cálculo do centro de gravidade. (Couto, 2012)

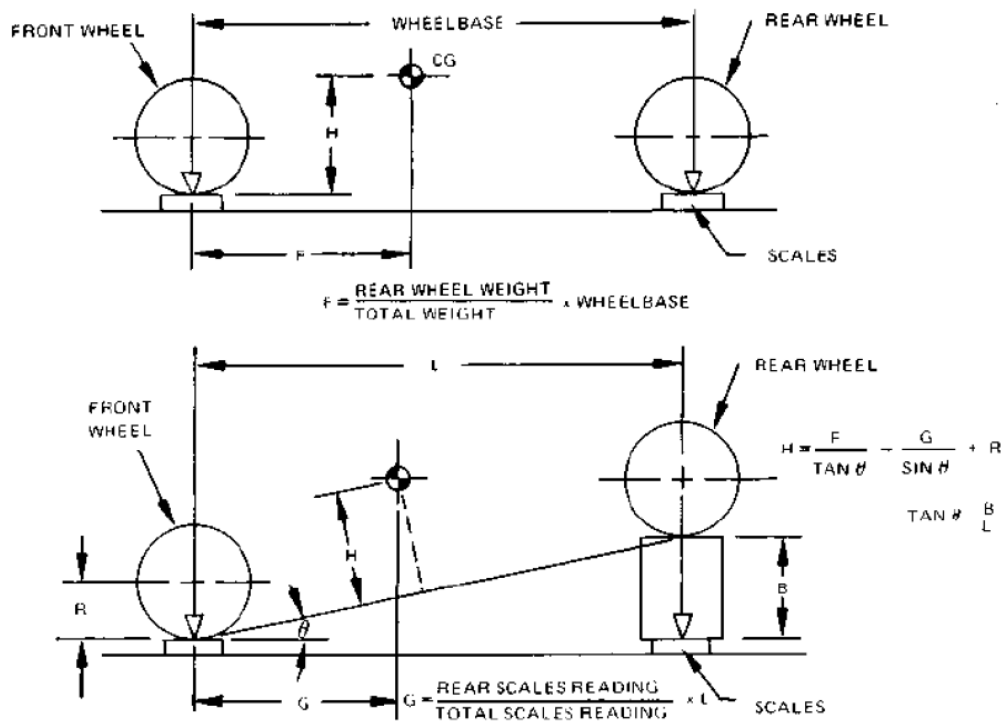


Figura 22. Vista lateral para o cálculo do centro de gravidade. (Couto, 2012)

Nesse sentido, numa primeira fase, mediu-se o peso do veículo, calculado individualmente em cada roda, como representa a leitura obtida e apresentada na Figura 23.



Figura 23. Leitura obtida pelas balanças usadas para efetuar a pesagem do C3 R5.

Pôde, com isto, criar-se a Tabela 13.

Tabela 13. Distribuição de pesos Citroën C3 R5.

Distribuição de peso C3 R5 [Kg]	
Frente	
Esquerda	Direita
347,5	361,5
Traseira	
Esquerda	Direita
262	264,5
Peso Total	
1235	

Assim e uma vez que já se tem conhecimento dos valores em Quilograma que cada uma das rodas do veículo apresenta, pode notar-se pela análise feita à tabela anterior que, de facto, esse valores não são iguais, ou seja, o peso lido em ambas as rodas da frente não é igual, tal como o peso lido em ambas as rodas de trás. A justificação para tal situação pode ser dada, por exemplo, pelo facto de no lado direito do Citroën C3 R5 se localizar todo o sistema de extinção automático, por exemplo, que, por consequência, acrescenta peso à sua lateral direita quando comparada com a lateral esquerda. Outro motivo que contribui para esta distinção é o facto de o reservatório de óleo do diferencial traseiro (*Peal*) se encontrar igualmente na lateral direita traseira do veículo. Todas estas pequenas contribuições levam a que, de facto, haja uma diferença de pesos quando se compara, individualmente, cada uma das rodas quer frontais quer traseiras e que façam crer que, por este motivo, o centro de massa do veículo possa estar mais deslocado para a sua direita.

Por recurso ao manual de usuário do Citroën C3 R5 é possível ter-se o conhecimento de todas as suas dimensões relevantes, tal como se pode observar pela Figura 24.


	Min	Basic dimensions (mm)	
		Homologation form A - 5773	Max
			
Overall length	3956,0	3996	4036,0
Overall width	1801,8	1820	1820
Front width of the bodywork	1801,8	1820	1820
Rear width of the bodywork	1801,8	1820	1820
Wheelbase	2517,6	2543	2568,4
Front overhang	797,9	806	814,1
Rear overhang	640,5	647	653,5
	C	3315,5	3349
	B	3158,1	3190
Rear wing X position	538,6	544	549,4
Rear wing Z position	757,7	765,4	765,4

Figura 24. Dimensões básicas do Citroën C3 R5. (Citroën Racing)

Deste modo e uma vez que, agora, são conhecidas todas as dimensões essenciais bem como a distribuição de pesos do C3 R5, é possível proceder-se de forma correta à determinação geométrica do centro de gravidade do veículo em duas dimensões, por recurso quer às dimensões presentes na Figura 24, bem como ao processo de determinação presente nas Figuras 21 e 22.

Para tal, atente-se no seguinte cálculo numérico.

3.8.1.1. Localização geométrica do centro de gravidade

Tendo por base as imagens apresentadas no subcapítulo antecessor e em particular a Figura 21, pode dizer-se que:

$$F = \frac{(262 + 264.5)}{1235} \times 2543 = 1084.12 \text{ [mm]} \quad (17)$$

Do mesmo modo:

$$R = \left(\frac{(361.5 + 264.5)}{1235} - 0.5 \right) \times 1600 = 11.01 \text{ [mm]} \quad (18)$$

De facto, por observação da figura onde constam todas as dimensões essenciais do C3 R5 (Figura 24), não se faz referência ao valor de 1600 mm para o valor de *track*. Contudo, tendo a medida do pneu usado num SETUP de terra, tipicamente com medidas 205/65 R15 (205mm de largura, 65mm de altura de pneu e R15 a dimensão da jante), por consulta de manuais fornecidos pela Pirelli como se pode consultar na Figura 71 na página 3 dos anexos, é então possível entender que o valor da largura correspondente aos pneus K4, K6 e K8, comumente utilizados, é de 220 mm. Assim, assumindo então que a largura de vias do veículo pode ser tirada pelo exterior do guarda-lamas traseiro do veículo (designada por *rear width of the bodywork*) menos o valor da largura do pneu (por se considerar metade da largura de cada um dos lados) chega-se então ao valor de 1600 mm para o *track* referido na Figura 21.

Finalmente, é possível dizer que uma primeira aproximação à localização do centro de gravidade do Citroën C3 R5 é:

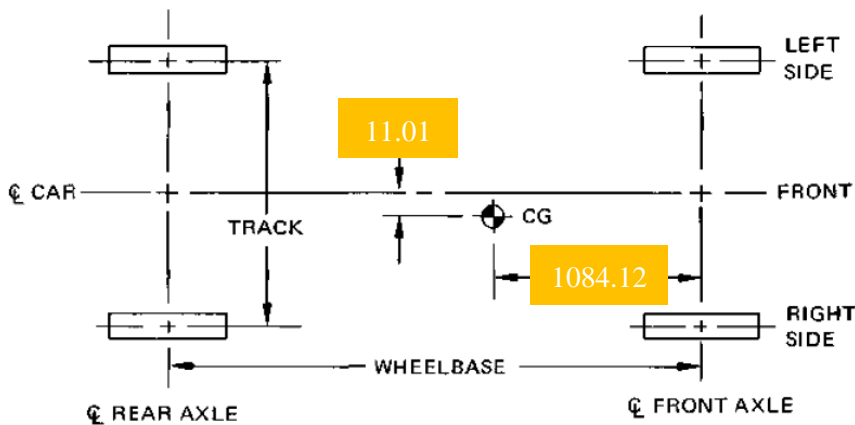


Figura 25. Localização do centro de gravidade do C3 R5, pela vista superior.

Assim e para poder concluir-se de forma correta a localização tridimensional do centro de gravidade do veículo, basta fazer o levantamento da traseira a uma dada altura e efetuar a leitura do valor lido pelas balanças de trás.

Contudo, apesar de aparentemente ser uma medição simples, este processo exige o recurso a um elevador hidráulico de tal modo que não se comprometa a medição de peso lida nas rodas dianteiras, tal como aconteceria se se recorresse, por exemplo, a um simples macaco hidráulico para se proceder ao levantamento da traseira do veículo. Consequentemente, com o valor da diferença de alturas entre a frente e a traseira (agora levantada, por recurso a um elevador hidráulico), é possível saber-se o ângulo Θ (*Theta*) referido na Figura 22.

Apesar de ser simples de realizar este processo de determinação 3D do centro de gravidade, fruto das contingências mundiais do ano de realização deste documento, pelo COVID-19, não foi possível concluir a determinação exata do centro de gravidade.

Contudo, a sua localização será segundo a linha vertical do ponto representado a duas dimensões na Figura 26.

3.9. SLIP ANGLE, CAMBER, CASTER E TOE

De facto, todos os parâmetros abordados até agora, apresentam-se como determinantes para a análise e desenvolvimento de um SETUP acertado quer para o veículo que é objeto de estudo, quer para o piloto que será responsável por conduzi-lo. Contudo, em nada menos importante que tudo aquilo que foi falado até agora, surgem os pneus.

Responsáveis por estabelecer o contacto entre o veículo e o piso em que circula, têm de ter a capacidade de transmitir todas as forças necessárias para o correto movimento deste sobre a superfície e, então, também eles podem ser ajustados no sentido de otimizar a sua utilização.

Assim sendo, neste capítulo, questões como *slip angle*, *camber*, *caster* e *toe* serão temáticas abordadas e, daqui em diante, analisadas cuidadosamente para o caso particular do Citroën C3 R5.

3.9.1. Camber

Referente ao ângulo existente entre a vertical e a linha vertical imaginária que passa pelo centro do pneu (quando visto de frente) e que acompanha a sua possível inclinação, o *Camber* pode assumir um valor positivo, negativo ou nulo, tal como pretende demonstrar a Figura 26.

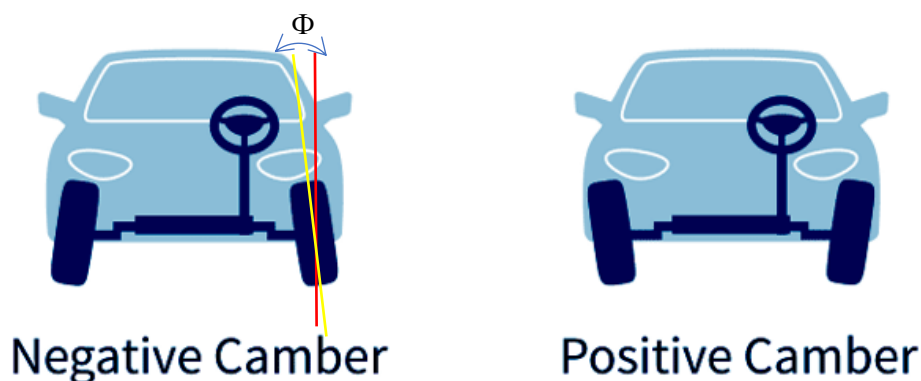


Figura 26. Camber negativo e positivo, respetivamente. (04/2020)

Assim, no caso particular de um veículo de competição automóvel, tipicamente usam-se ângulos de *Camber* negativos (que podem apresentar valores diferentes às quatro rodas, como acontece num automóvel de competição de circuitos, por exemplo) por questões relacionadas com a eficiência de aderência quando se solicita de forma mais acentuada o pneu; ou seja, quando há a transferência de carga durante o desenrolar de uma curva, por exemplo, em que as rodas do exterior da curva são as mais sobrecarregadas, o facto de se ter um ângulo negativo, permite que o pneu tenha maior superfície de contacto com o solo quando sobrecarregado, do que o que teria caso tivesse um ângulo de *camber* nulo ou, inclusivamente, positivo.

Contudo e como é costume em tudo o que à Engenharia diz respeito, estes valores de ângulo de *Camber* devem ser corretamente estudados e determinados, de preferência de caso para caso (de tipo de carro para tipo de carro e de tipo de pista para tipo de pista, no caso dos circuitos) de modo a que o desgaste do pneu e os seus valores de *slip angle* sejam os melhores possíveis.

Atente-se, então, na Figura 27, referente ao *Winter Test* da *F1* em 2020, onde é possível observar o desgaste dos pneus do Fórmula 1 de Lewis Hamilton.

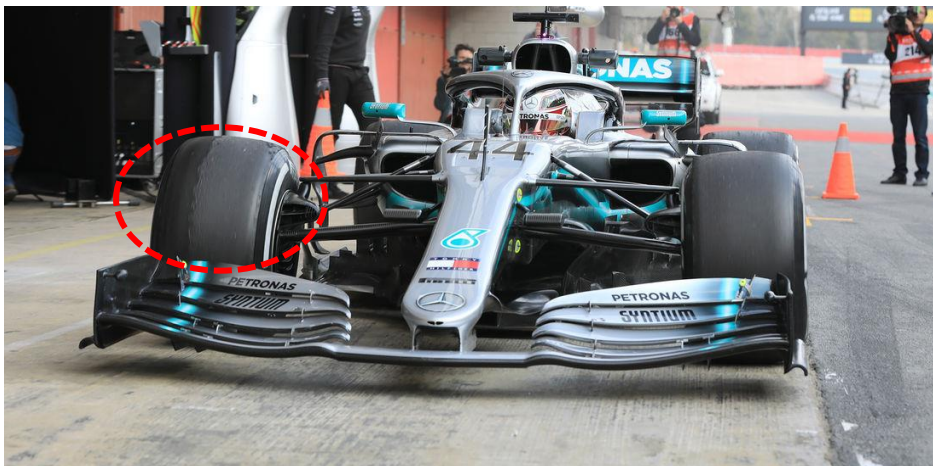


Figura 27. *F1* de Lewis Hamilton, *Winter test* Barcelona 2020. (04/2020)

Por observação, percebe-se que o pneu frontal do lado direito do veículo apresenta um desgaste não uniforme quando comparado com o pneu do lado esquerdo do mesmo veículo. Este tipo de situação é típico do caso em que há uma diferença do ângulo de *Camber* das rodas, que apesar de ser negativo como facilmente se observa, tem um valor diferente, pelo menos nas rodas frontais (que são as possíveis de serem observadas). Esta imagem é retirada do teste de Inverno (*Winter test*) feito por todas as equipas do plantel de Fórmula 1, como preparação para a época de 2020. Por esse motivo, analisando o circuito de forma cuidada (ver Figura 15) percebe-se que este tem 10 curvas para a direita, face ao total de 17 curvas que apresenta. Assim, ao efetuar as curvas para a direita, o Fórmula exerce a maioria da sua força, quer de tração, quer de transferência de carga (que neste caso será incomparável ao caso do Citroën) nas rodas do lado esquerdo e, por esse mesmo motivo, as rodas do lado interior da curva e, em particular, a roda da frente direita, apresenta um nível de desgaste muito inferior à roda da frente esquerda, que apresenta, por consequência, uma faixa não utilizada do pneu.

Esta situação, apesar de excessiva, pode ocorrer facilmente, mesmo quando o *SETUP* ideal para este circuito em particular é definido.

Contudo, apesar de ser interessante compreender que o *Camber* é um fator determinante na *performance* que o veículo terá, num rali não se apresenta tão relevante como num circuito dado o estilo de condução e de piso próprios deste tipo de modalidade quando comparada com qualquer prova de circuitos. Esta divergência é ainda mais significativa quando se trata de um rali de piso de terra.

O Gráfico 5 pretende traduzir o que foi referido anteriormente sobre esta temática por representação de duas curvas, uma para os pneus traseiros e outra para os dianteiros, que relacionam o ângulo de *camber* com o coeficiente de atrito.

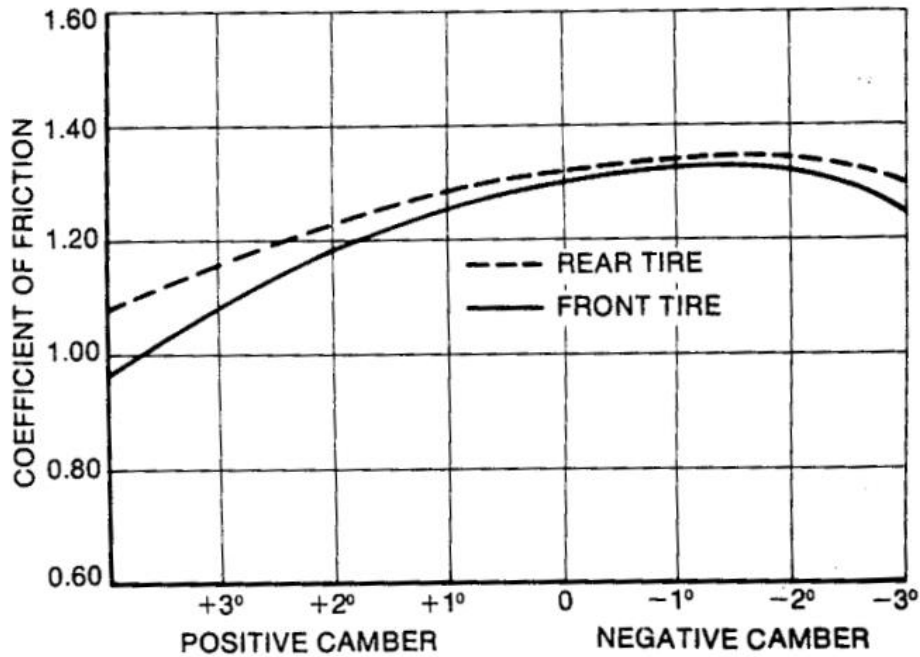


Gráfico 5. Ângulo de *camber* Vs coeficiente de atrito. (Milliken&Milliken, 1995)

Apesar de ser importante alterar os valores de *camber*, importa referir que em excesso poderemos estar a comprometer a vida útil do pneu, bem como a quantidade de superfície disponível para funcionar como área de contacto com o solo, tal como resume a Figura 28.

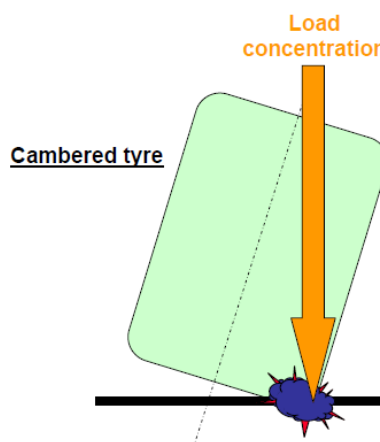


Figura 28. Problemas com excesso de *camber*. (Dunlop, 2007)

3.9.2. FORÇA LATERAL, LONGITUDINAL, SLIP ANGLE E SLIP RATIO

“Any discussion of vehicle Dynamics must begin with an examination of the operating characteristics of the pneumatic tire – more specifically, the racing tire.”

Tune To Win, Carroll Smith

3.9.2.1. Força lateral

Responsáveis pela capacidade que um veículo apresenta em corresponder de forma precisa aos comandos do piloto, mais do que a capacidade de motorização, dos sistemas de diferenciais ou sistema de suspensão, os pneus e, em particular, os de competição, são os responsáveis por fazerem o veículo conseguir acelerar, travar e curvar.

Nesse sentido, as forças geradas nos pneus durante uma corrida podem ser combinações quer de forças de aceleração ou travagem (conhecidas por força longitudinal) com as forças laterais exercidas no pneu por estar a curvar, por exemplo, como é visível na Figura 29.

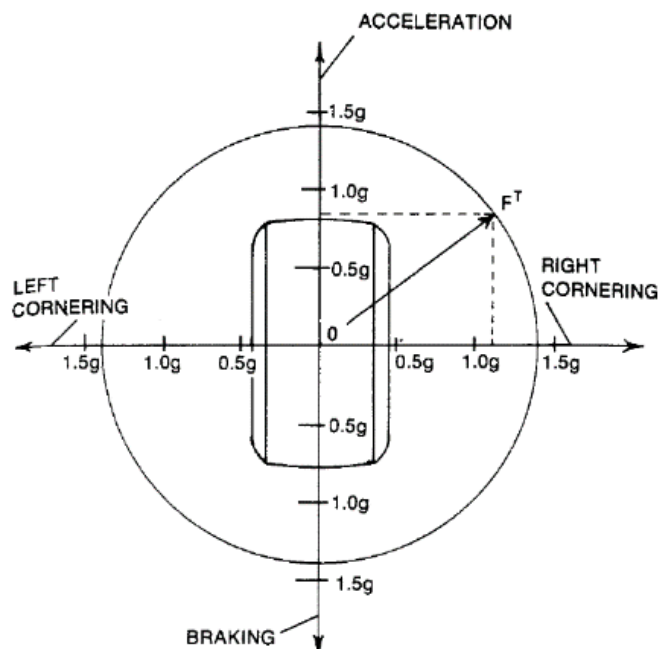


Figura 29. Círculo de tração, com representação das forças exercidas por curva e aceleração. (Smith, Tune to Win)

3.9.2.2. Slip Angle

Assim denominado, o *slip angle* (ou escorregamento lateral) caracteriza-se geometricamente, por ser o ângulo existente entre a direção que é imposta pelo volante e aquela que efetivamente o pneu assume. Quando tal fenómeno ocorre, o piso do pneu que está em contacto com o solo e, por isso, sujeito a atrito, tem tendência a deformar quer na zona de contacto com o solo, quer nas suas paredes laterais.

Como consequência desta deformação típica, gera-se um ângulo entre a direção pretendida que se impõe ao pneu pelo volante do automóvel (desprezando efeitos elásticos possíveis de ocorrerem no pneu) e a direção real que este está a assumir, tal como pretende traduzir a seguinte representação da Figura 30.



Figura 30. Deformação nos pneus, por slip angle, em corrida. (04/2020)

Este tipo de solicitação feita aos pneus é habitualmente testada pelos produtores mundialmente conhecidos. Assim, os pneus são sujeitos a um teste de rolamento numa máquina que os faz rolar sobre um tapete e que exerce forças laterais para estudar o seu comportamento, como pretende demonstrar o Gráfico 6 seguinte apresentado no Miliken & Miliken sobre um teste feito ao pneu Goodyear Eagle GT-S 215/60 R15.

Apesar de se estar perante uma análise referente a um fabricante diferente de pneus, do que o escolhido para equipar o Citroën C3 R5, a análise feita ao pneu Goodyear é pertinente porque representa uma aproximação real do fenómeno de slip angle típico de um pneu e da sua variação com o incremento da força lateral a que, normalmente, um pneu está sujeito.

Por observação gráfica, compreende-se que tipicamente o pneu trabalha em três fases distintas: Linear elástica, transitória e de fricção, onde o rácio entre a força lateral exercida sobre o pneu com o *slip angle* dá uma medida da rigidez em curva do mesmo (denominada *cornering stiffness*).

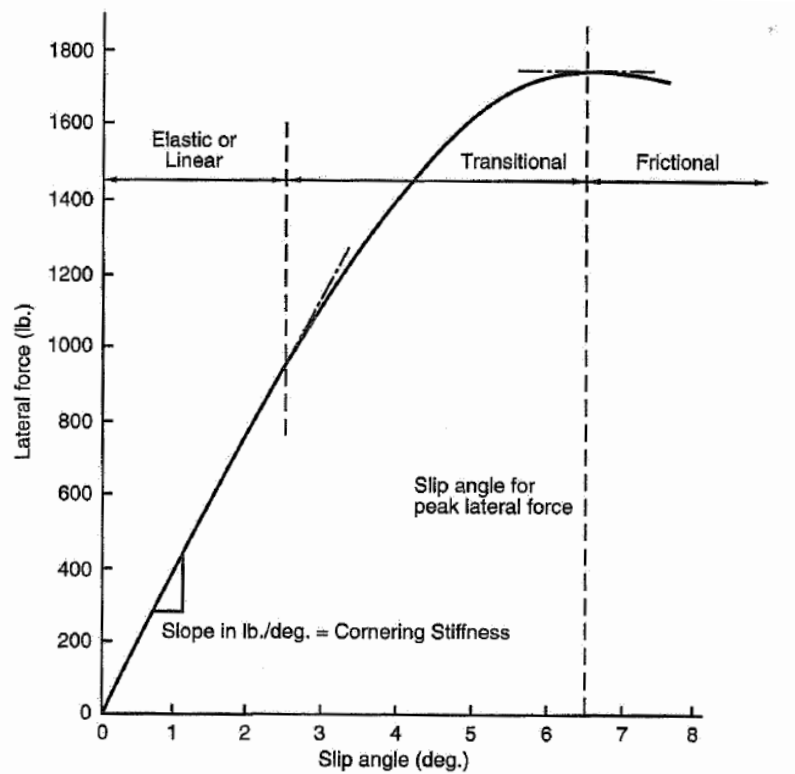


Gráfico 6. Slip angle Vs força lateral. (Milliken&Milliken, 1995)

Assim, a cornering stiffness comporta-se segundo uma reta de proporcionalidade direta. Por sua vez, a fase transitória apresenta um comportamento em que aumentando a força lateral exercida sobre o pneu, aumenta igualmente o *slip angle* de uma forma não proporcional e, finalmente, a zona de fricção em que é notável que com o aumento do *slip angle* há uma diminuição da força lateral exercida sobre o pneu.

Contudo, como se compreende pelo tipo de análise feita, a massa do veículo é determinante para os valores característicos de *cornering stiffness* e, nesse sentido, importa frisar que os testes feitos pelo gráfico apresentado anteriormente são referentes a um veículo com 816 Kg (cerca de 1800 lb).

O Miliken & Miliken diz, ainda, que tipicamente em condições de piso seco, os pneus de competição automóvel operam segundo slip angles entre 3° e 7°, sendo que em piso molhado os valores apresentados no Gráfico 6 são inferiores e a fase de fricção do pneu decresce mais rapidamente do que na situação de piso seco.

Sabendo que o coeficiente de força lateral dado por $\frac{F_y}{F_z}$ representa o quociente entre a força lateral (F_y) e a carga vertical aplicada ao pneu (F_z). Assim, ao incrementar-se a carga aplicada ao pneu para um mesmo valor de *slip angle*, menor será, por consequência, o coeficiente de força lateral. Nesse sentido surge o Gráfico 7 apresentado por Miliken & Miliken, representativo da variação do coeficiente de fricção com diferentes valores de *slip angle*, para diferentes cargas verticais (sinónimo da variação de massa que se tem em cada tipo de veículo).

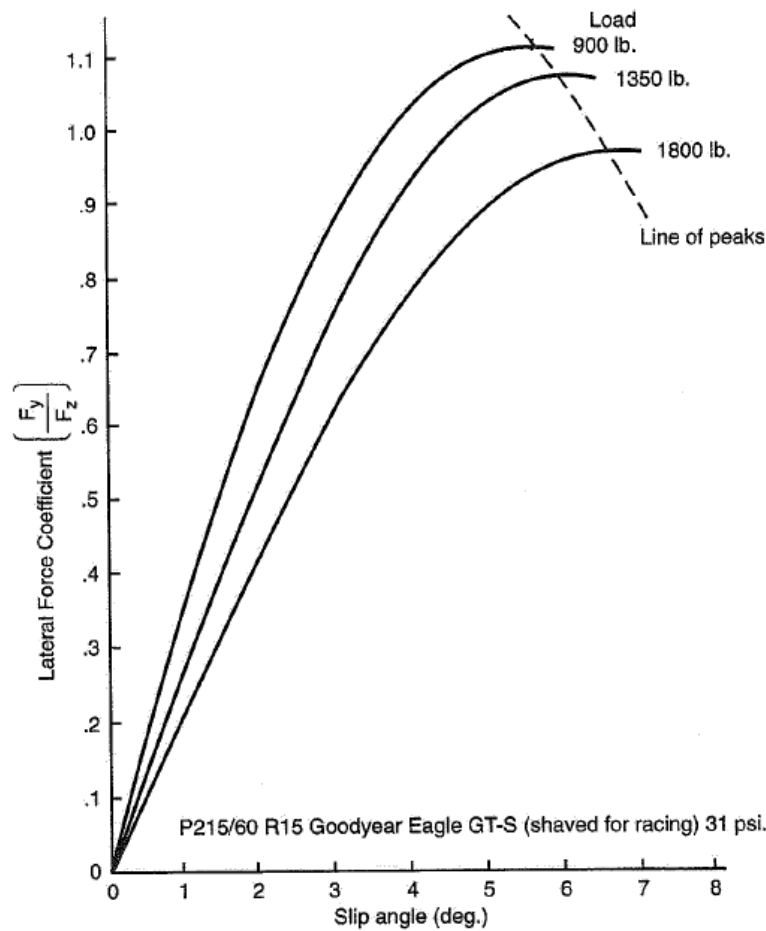


Gráfico 7. Coeficiente de força lateral Vs slip angle, para diferentes massas. (Milliken&Milliken, 1995)

Finalmente, tal como se referiu no início desta temática, também é possível de ser feita a análise da variação do comportamento do pneu numa situação de travagem ou de aceleração, função do *slip ratio* de travagem e de aceleração, respetivamente. Assim, o *slip ratio* é então representativo do mesmo tipo de situação já estudada para o *slip angle*, mas que, agora, é possível de ocorrer em travagem ou aceleração.

É possível observar que durante a aceleração (Gráfico 8) ou travagem (Gráfico 9), as forças geradas são lineares até que atingem um valor máximo (1.00 de força normalizada) e, em seguida, decrescem, sendo notável a descida mais acentuada no caso do gráfico representativo do sistema de aceleração – Gráfico 8. Por isso, no caso da aceleração há uma estagnação na curva devida à situação de derrapagem e, ao invés, no caso da travagem, deixa de existir força aplicada ao pneu quando este bloqueia.

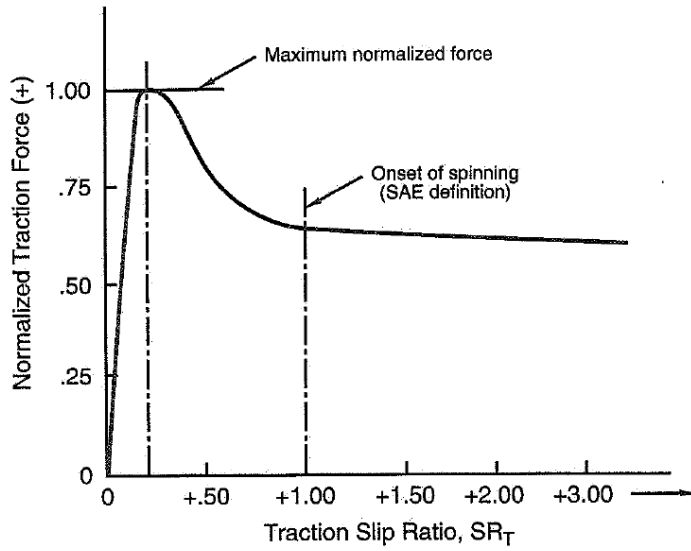


Gráfico 9. Comportamento em tração (aceleração). (Milliken&Milliken, 1995)

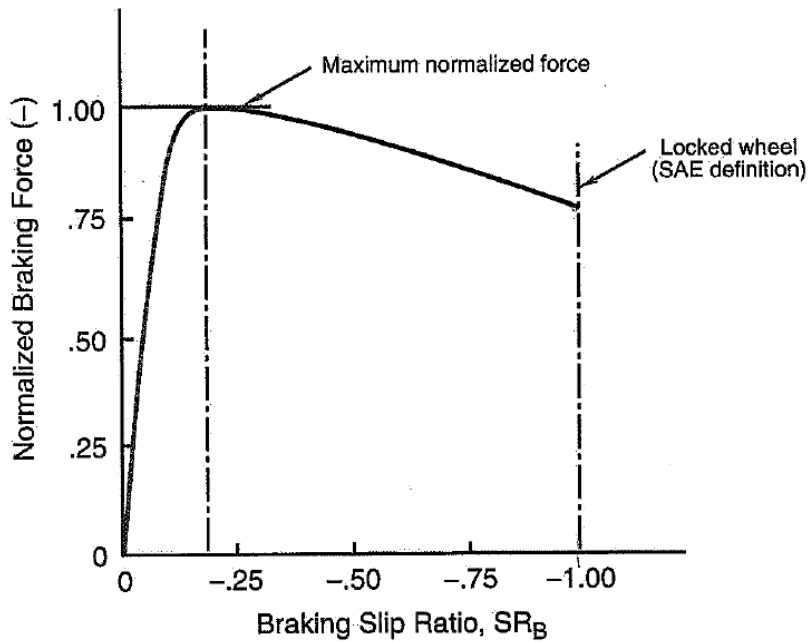


Gráfico 9. Comportamento em travagem. (Milliken&Milliken, 1995)

Nesse sentido é, agora, oportuno fazer um destaque a muitas das técnicas associadas à análise gráfica de dados do comportamento de condução do piloto durante um treino ou durante uma corrida. Assim, sabe-se que a travagem considerada ideal é aquela que apresenta uma curva, em tudo, idêntica à que se apresenta no Gráfico 9. Por isso, pretende-se que o piloto aplique pressão máxima de travagem (dada tipicamente em bar) e que depois faça o levantar progressivo do pedal de travão, ao abordar uma curva (de preferência, com o volante reto). Com isto conseguem-se duas situações. A primeira e talvez mais importante, que se prende com a transferência de massas para o eixo dianteiro do veículo que, por isso, ajudará a inserir o veículo mais facilmente em curva já que, como visto anteriormente, ao transferir massas e aumentar o *pitch* do carro, permite-se que a traseira rode mais facilmente ajudando a colocar melhor o carro na trajetória pretendida. Por outro lado, pretende-se que o pneu trabalhe sobre as condições ideais e, por isso, semelhantes à apresentada no Gráfico 9 até se atingir o valor de força de travagem normalizada máximo, ou pelo menos, próximo desse valor.

A Figura 31 destaca a análise feita a um Mercedes AMG GT3 durante uma sessão de testes feita em 2019, por mim, em representação da Sports&You, no circuito de Barcelona Catalunya, representando as curvas a roxo da zona destacada pela seta vermelha as travagens feitas numa secção do circuito. O destaque pretende, então, evidenciar a forma da curva de travagem tal como foi discutido, nunca esquecendo que numa análise feita a um carro de rali, a semelhança da curva é em tudo idêntica como será visto adiante.

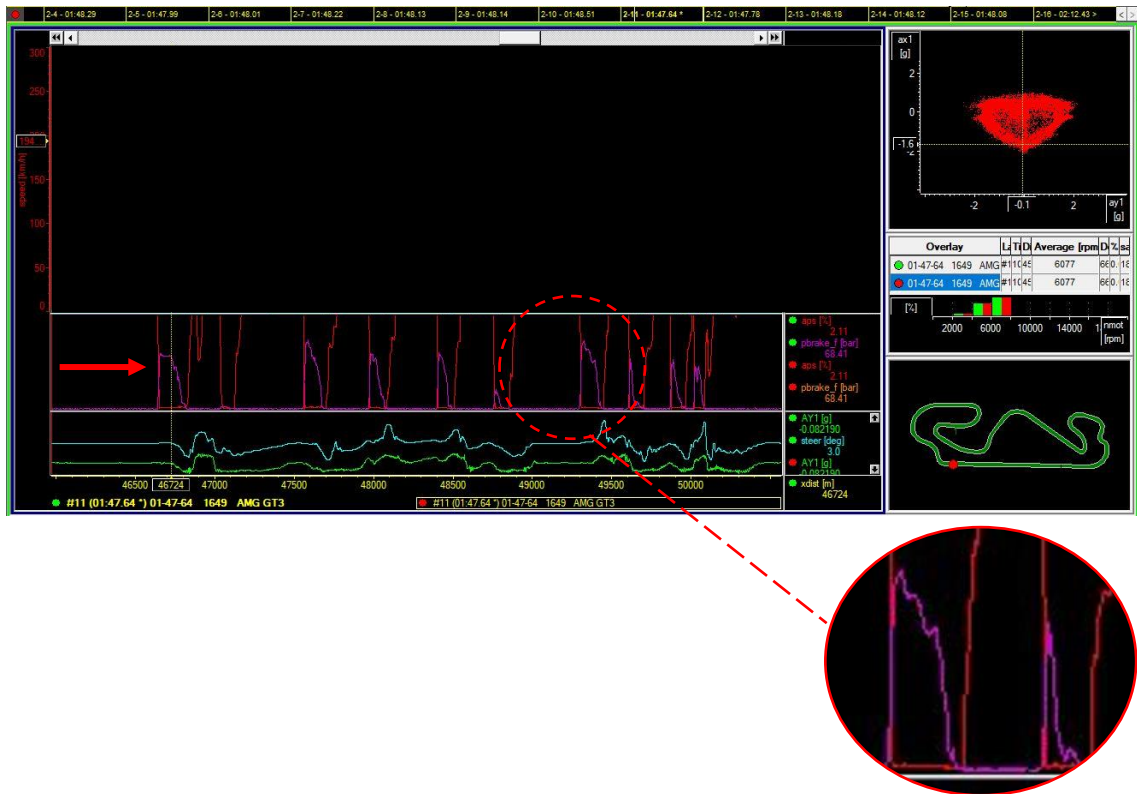


Figura 31. Análise de dados, circuito Barcelona-Catalunya 2019.

3.9.3. CONVERGÊNCIA

A convergência, ou *toe* em Inglês, para além de um parâmetro que influencia o comportamento dinâmico do veículo, é uma variável inerente ao bom funcionamento de um pneu. Caracteriza-se, então, por representar o ângulo convergente ou divergente que uma roda tem, relativamente à linha reta imaginária que passa pelo centro do cubo da roda, tal como pretende demonstrar a Figura 32.

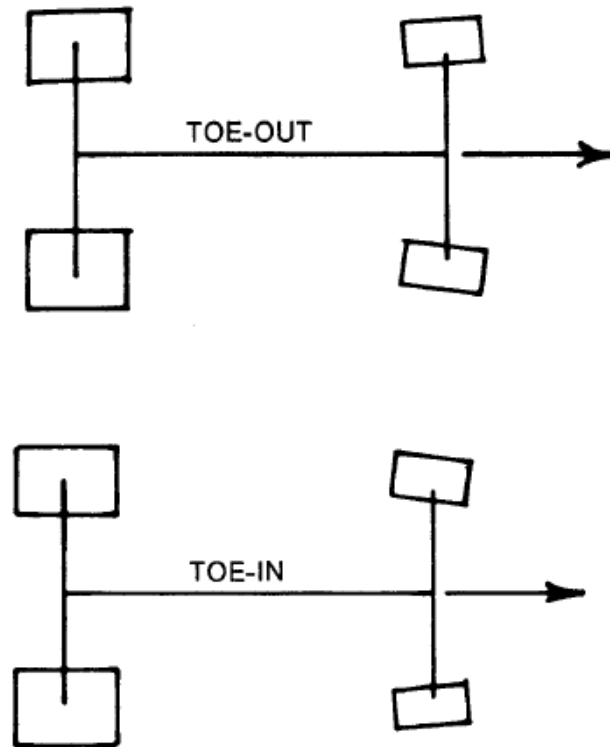


Figura 32. Toe out & in. (Smith, Tune to Win)

De forma semelhante ao que ocorria com o *camber*, também o *toe* pode ser benéfico se estabelecido corretamente ou prejudicial no caso inverso. De um modo excessivo, pode, por isso, conduzir ao excesso de força de atrito que se faz segundo o interior ou exterior do pneu que, por consequência, conduzirá ao sobreaquecimento do pneu e a um possível furo ou rebentamento do mesmo, por promover diferenças de temperatura muito significativas na superfície do pneu de ponto para ponto alvos de análise.

Ao invés, se feito corretamente, o *toe* pode ser útil para o inserir do carro em curva, por exemplo, por facilitar esse processo face às forças que se geram no pneu durante este movimento. Assim, em circuitos, o *toe out* ajuda à estabilidade do veículo numa abordagem (de inserção) a uma curva, por exemplo.

A Mercedes AMG Petronas F1 Team, por exemplo, surpreendeu ao aparecer no Winter Test de 2020 com o sistema DAS – *Dual Axis Steering* – que, resumidamente, é um sistema que permite a variação do *toe* do fórmula em andamento. Assim, ao puxarem o volante para si, os pilotos estão a promover *toe in* e ao empurrar, a favorecer o *toe out*. Além de todos os benefícios que pode representar para a performance de condução, este sistema é útil para melhorar a vida útil do pneu, já que o arrefecimento dos mesmos é feito de um modo mais homogêneo do que quando se compara o mesmo veículo com a afinação de *toe* fixa, por exemplo.

3.9.4. PRESSÃO E TEMPERATURA

Não menos importante, a pressão e temperatura a que um pneu trabalha, são variáveis determinantes para a boa prestação que terá no desenrolar de uma corrida. Nesse sentido, tipicamente, aponta-se que um pneu deve trabalhar em condições de piso seco (no caso dos pneus de rali) entre os 70°C e os 110°C para uma temperatura ambiente média de 22,5°C (correspondente ao pneu RA5) como pretende demonstrar a Tabela 18 em anexo resultante de informações fornecidas pela *Pirelli Tyres*, representante escolhido pela *Sports&You* para todas as rondas do campeonato dos Açores de Ralis de 2020.

Do mesmo modo, por análise da tabela, é possível observar a grande variedade de pneus existentes, possíveis de serem utilizados para diferentes temperaturas ambiente e condições de piso. Qual será, então, a melhor escolha e porque existe uma variedade tão grande no que aos pneus diz respeito?

De facto, a resposta exata à pergunta feita não é fácil de ser dada. Prova disso é a cada vez mais visível presença de representantes de marcas de pneus como a Pirelli e Michelin, por exemplo, nas assistências de equipas em provas de qualquer tipo de campeonato de desporto motorizado, já que essa escolha é difícil e, por isso, tecnicamente estudada por especialistas e muitos Engenheiros de materiais (como representa a Figura 33).



Figura 33. Especialistas Pirelli a analisar pneus de F1. (04/2020)

Contudo, o princípio inerente ao funcionamento de um pneu de competição automóvel, em particular, é já estudado e conhecido há muitas décadas.

Para tal, a curva seguidamente apresentada pelo Gráfico 10, visível em *Puhn 1976*, por exemplo, diz que, então, para o correto funcionamento de um pneu e de modo a otimizar o nível de *grip* tido (ou seja, a aderência do pneu ao piso), se deve ter uma variação de pressão entre os 25 Psi e os 38 Psi, sensivelmente, ou seja 1.72 bar e 2.62 bar. Pelo gráfico, é possível observar essas curvas para três níveis de composto de pneu diferente: duro (A), intermédio (B) e macio (C).

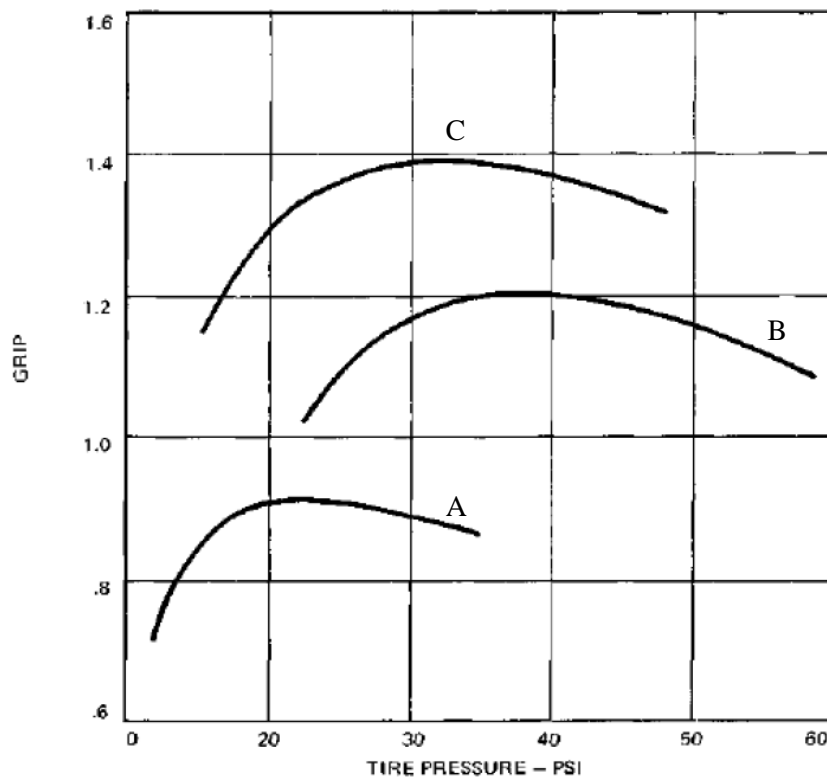


Gráfico 10. Aderência Vs pressão do pneu. (Puhn, 1976)

Atendendo, agora, à Tabela 18 (ver anexos) facilmente se compreende que a afirmação feita por Puhn em 1976 é ainda validada nos tempos que correm, já que pelo relatório técnico fornecido pela Pirelli relativamente aos pneus a utilizar nos pisos de asfalto se compreende que num caso extremo de temperatura ambiente (temperatura média ambiente de 22.5°C) o pneu RA5, de composto duro precisamente por ter de resistir à mais alta temperatura, deve trabalhar num espectro de pressões que varia entre 1.6 bar para pressão a frio (*cold start*, ou seja, a pressão com que o pneu deve arrancar da assistência) e 2.3 bar para pressão a quente (a verificar, normalmente, pelo Co-Piloto no final de um troço de rali, por exemplo).

Por sua vez, o Gráfico 11 idealizado por Puhn 1976, faz ainda uma leitura da variação da aderência dos pneus com a sua temperatura de funcionamento.

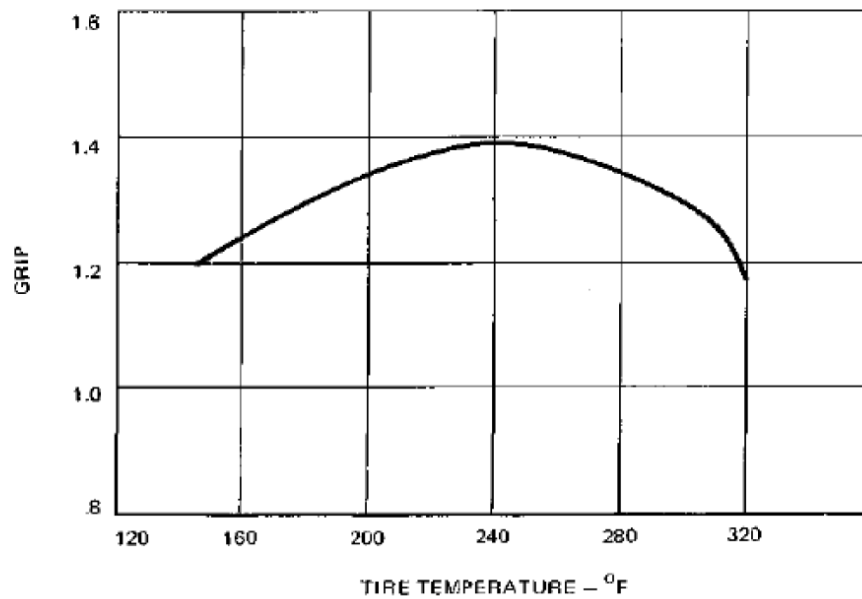


Gráfico 11. Aderência Vs temperatura ambiente. (Puhn, 1976)

Sabendo que, então, a aderência máxima se atinge aos cerca de 240 °F, ou seja, 115°C, sensivelmente, compreende-se que as considerações feitas por *Puhn* são ainda próximas das que atualmente são feitas. De facto, importa destacar que a Tabela 18 (ver anexos) é referente a pneus de rali e, por isso, estes irão rolar segundo um piso de asfalto de estrada comum, como aquelas em que circulamos todos os dias, diferente do tipo de piso estudado por *Puhn* que é referente a uma pista de competição automóvel.

A pressão e temperatura são, de facto, aspetos determinantes para o melhor aproveitamento das qualidades e características do pneu e, nesse sentido, a Pirelli Tyres aconselha a que para uma variação superior a 20°C da leitura feita à temperatura do pneu em três zonas (ver Figura 34), ou para uma diferença superior a 25°C entre a temperatura lida nos pneus do eixo frontal e traseiro, se proceda à mudança do tipo de pneu ou do próprio SETUP do veículo, uma vez que se corre o risco de danificar o pneu nestas condições.

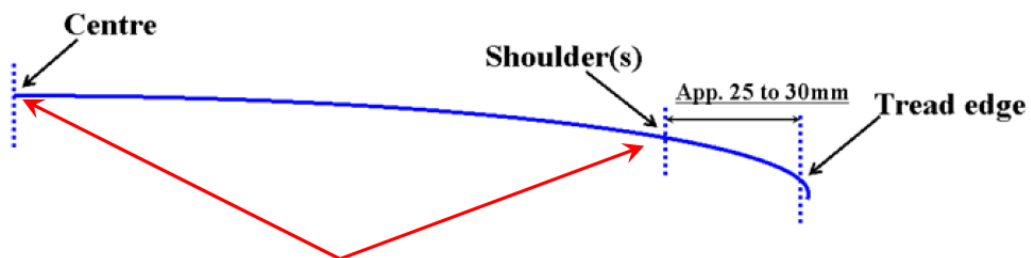


Figura 34. Pontos de medição de temperatura num pneu. (Dunlop, 2007)

Sabe-se ainda que, tipicamente, um pneu de chuva trabalha a temperaturas próximas dos 50°C e, por esse motivo, é mais relevante a leitura de pressões no final de uma sessão, num pneu de chuva, do que a leitura das temperaturas do pneu.

Assim, num pneu *slick* (aplicável a piso seco) deve proceder-se primeiro, no final de uma sessão de treino, teste ou corrida, à leitura dos valores de temperatura nos três pontos já referidos. Num pneu de chuva, tal como visto, primeiro deve proceder-se à leitura das pressões finais. Por isso, a análise destes parâmetros é uma mais valia para melhoria de um SETUP de um veículo de competição, uma vez que se se verificar uma leitura de temperaturas muito elevada no interior ou no exterior de um pneu, por exemplo, se pode estar a incorrer num excesso de *camber* ou mesmo num excesso de convergência, como já foi abordado em subcapítulos anteriores.

No que diz respeito aos pneus de pisos de terra, também é essencial a sua correta escolha, quer para as condições climatéricas que se fazem sentir, quer para as condições de aderências que se pretendem obter. Para isso, surgem os pneus *Reinforced*, que são uma variante dos pneus K4 e K6 de terra, que apresentam o flanco lateral reforçado face aos Pirelli K4 e K6 normais, para que possam ser utilizados em superfícies muito desgastadas e duras (como os típicos troços do Rali do México visíveis na Figura 35). Estas características dos pneus podem ser verificadas na Tabela 18 (ver anexos, página 3).



Figura 35. Rali do México 2020, Sebastien Ogier. (04/2020)

Assim, a afinação das características inerentes ao correto funcionamento dos pneus é essencial para que estes trabalhem da forma mais homogénea possível. Nesse sentido, a análise a realizar quando estes saem de um veículo de competição depois de terem feito uma sessão de testes ou, inclusivamente, uma corrida, é essencial para o aperfeiçoar da prestação que se pretende que o conjunto piloto/carro tenham durante o desenrolar de uma prova.

A Figura 36 é ilustrativa de uma comparação feita ao mesmo pneu em que, na imagem mais à esquerda se destaca o seu bom uso, enquanto que na central há a clara saliência de uma zona desgastada por excesso de *toe* e, finalmente, na imagem mais à direita surge o texturizado típico que indica que o pneu trabalhou segundo temperaturas muito superiores do que aquelas para que foi projetado.

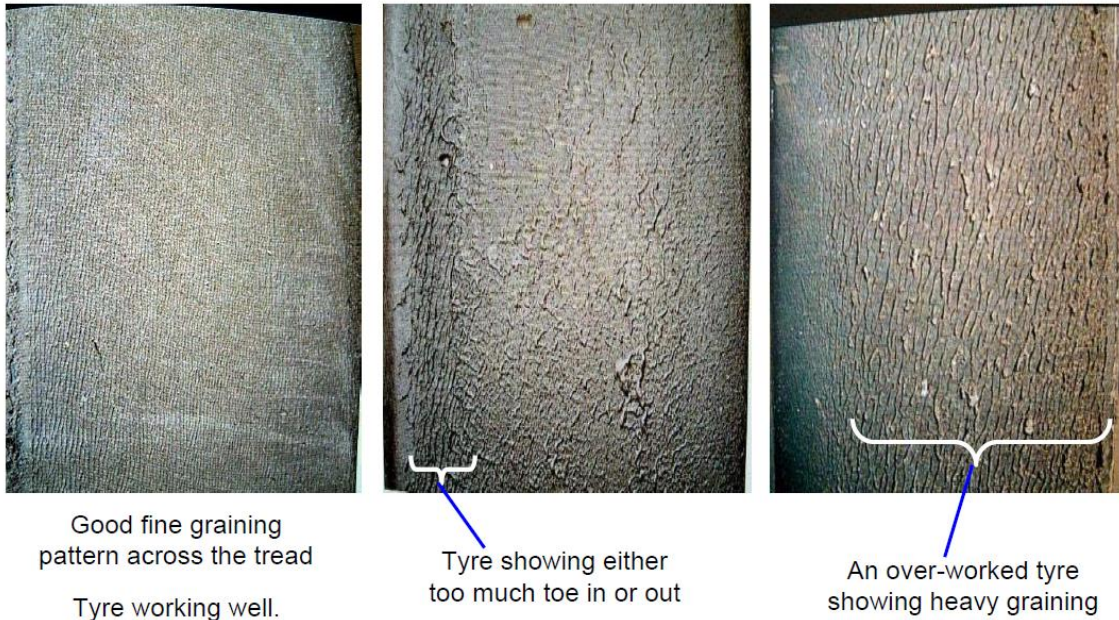


Figura 36. Comparação do bom funcionamento do pneu, face ao mau funcionamento. (Dunlop, 2007)

4

DATA ANALYSIS

4.1. EM QUE CONSISTE

Data analysis, ou análise de dados em Português, muitas vezes, erradamente, chamada telemetria – Telemetria consiste num contacto em direto com o veículo, situação que na grande maioria das vezes não é feita – é o processo de leitura feito, no caso particular do Citroën C3 R5, por intermédio do *Software* patenteado pelo fabricante *Magneti Marelli*, Wintax, que é a interface a utilizar nos mais recentes veículos do grupo *PSA Motorsport*, no que aos veículos de rali diz respeito. Nesse sentido, o software permite analisar questões como pressão de óleo, temperatura do motor, knock do motor, passagens de caixa, performance de condução do piloto, entre muitas outras.

Pretende-se com o presente capítulo dar um pequeno conhecimento do funcionamento do software, começando por apresentar o esquema digital utilizado e princípios básicos e essenciais como, por exemplo, o processo necessário de ser feito para se conseguir recolher dados de um veículo de competição como o Citroën C3 R5.

Assim sendo, qualquer veículo de ralis da marca alvo de estudo é fornecido com uma *Pen Drive* (para memorização de todos os dados que serão objeto de análise) e um cabo *USB* com o terminal adaptado a essa *Pen Drive*, como pretende demonstrar a Figura 38.



Figura 37. Pen Drive e cabo USB, Citroën C3 R5.

Deste modo, como facilmente se compreende, sendo a centralina (visível na Figura 38) a responsável pela informação eletrónica que gere todos os comandos do veículo, será também ela responsável pela passagem de informação, em tempo real durante o período em que o automóvel está a trabalhar, para a *Pen Drive* já apresentada na Figura 37.

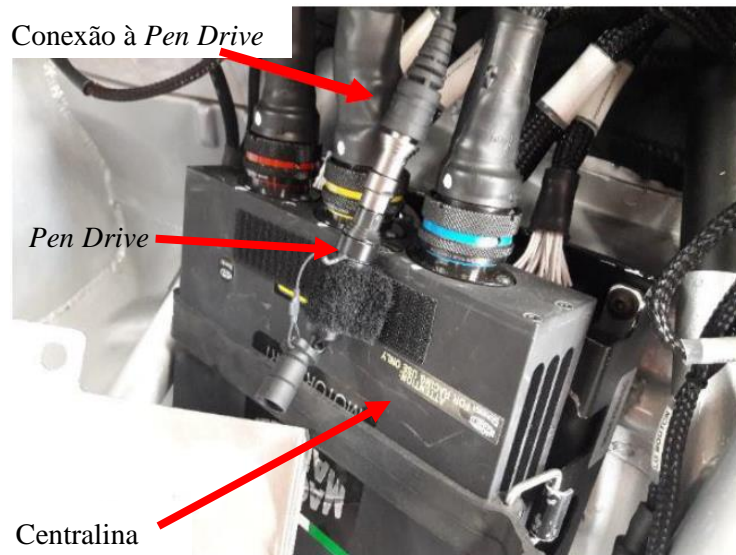


Figura 38. Sistema de conexão da Pen Drive À centralina. (Citroën Racing)

No que ao modo de funcionamento do Software diz respeito, qualquer utilizador tem de ser portador de uma licença da *Magneti Marelli*, para que se possa autenticar durante a utilização do programa. Tipicamente, esta licença é fornecida fisicamente por uma *Pen Drive* como a da Figura 39, que o utilizador deve ter conectada ao computador durante o processo de análise de dados.



Figura 39. Licença Magneti Marelli.

4.2. WINTAX 4.76 – INTERFACE

A interface gráfica do *Wintax 4.76*, *software* utilizado para a análise de dados do Citroën C3 R5 é bastante intuitiva de utilizar. Neste capítulo pretende-se dar a conhecer alguns aspetos importantes para a descarga dos dados armazenados na *Pen Drive* para que possam ser posteriormente analisados.

No painel superior do *software*, o utilizador deve clicar em *Acquisition* e depois em *flash card download wizard* para dar início ao processo de aquisição de dados onde, após o clique, surgirá um conjunto de passos a seguir como a identificação do nome do Piloto, o nome do evento, o número da volta, entre outros, por forma a que se consiga armazenar do modo mais organizado possível todos os dados que, sucessivamente, vão sendo adicionados ao computador de trabalho (ver Figura 40 e 41). Estes passos podem não ser cumpridos, contudo, a organização da informação permitirá, no futuro, uma mais fácil consulta, caso seja necessário.

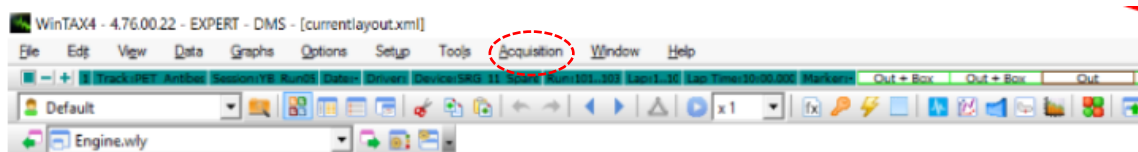


Figura 40. Interface do software.

Depois de completar todos os passos aconselhados pelo programa, o utilizador pode finalmente ir ao diretório onde está guardada toda a informação e proceder à análise dos dados recolhidos como será abordado no capítulo prático do presente relatório.

Abs	Track Run	Lap	Track Lap	Lap Time	Lap Distance	Fuel Consumption	Fuel Level
1	1	1	1	0:06.150	0	0.000000	0.000000
2	2	1	1	0:12.006	0	0.000000	0.000000
3	3	1	1	0:08.350	0	0.000000	0.000000
4	4	1	1	0:05.570	0	0.000000	0.000000
5	5	1	1	0:02.680	0	0.000000	0.000000
6	6	1	1	0:02.535	0	0.000000	0.000000
7	7	1	1	0:02.725	0	0.000000	0.000000
8	8	1	1	0:03.450	0	0.000000	0.000000
9	9	1	1	0:02.680	0	0.000000	0.000000
10	10	1	1	0:08.490	0	0.000000	0.000000
11	11	1	1	0:02.690	0	0.000000	0.000000
12	12	1	1	0:07.630	0	0.000000	0.000000
13	13	1	1	0:02.580	0	0.000000	0.000000
14	14	1	1	0:02.545	0	0.000000	0.000000
15	15	1	1	0:02.680	0	0.000000	0.000000
16	16	1	1	0:02.680	0	0.000000	0.000000
17	17	1	1	0:04.370	0	0.000000	0.000000

Figura 41. Aspeto final da descarga de dados para análise.

5

ESTUDO PRÁTICO

5.1. RALI ALÉM MAR ILHA LILÁS, 2019

Para efeitos de estudo prático procedeu-se a uma análise pormenorizada daquele que é o trabalho de preparação para um rali. Este estudo que agora se apresenta tem por base aquilo a que comumente se chama PET (Pre Event Test) do Rali Além Mar Ilhas Lilás, realizado em Setembro de 2019.

Tal como todos os testes feitos em datas anteriores a ralis, são realizados em troços de estrada fechados à circulação de pessoas e que não constam do itinerário do rali a realizar-se. Por isso, a análise seguidamente apresentada é referente a um troço de asfalto, na ilha Terceira, nos Açores, com cerca de 3.5 km e os dados obtidos pela análise de dados do veículo são referentes ao piloto Diogo Gago, em preparação para o rali já referido. Importa frisar que este tipo de simulações feita em testes, tipicamente, um dia antes do início do rali, são úteis para uma pequena adaptação ao tipo de piso que se enfrentará durante o rali, bem como proceder à melhoria de pequenos pormenores que se podem apresentar como determinantes para o sucesso do evento.

5.2. SETUP

O SETUP utilizado para a realização deste teste, parte de uma preparação base idealizada pela PSA Motorsport. Não só por se tratar, à data, do segundo contacto do piloto com o Citroën C3 R5, mas também porque deve ser segundo essa base que todos os pilotos devem trabalhar no sentido de se atingir a preparação do veículo que considerem ideal.

A lista com todos os parâmetros essenciais para a afinação do veículo apresenta-se seguidamente sob a forma de tabela, contudo, há pequenos ajustes que são feitos e que não são referidos na folha de SETUP base fornecida pela PSA Motorsport, tal como a pressão de pneus bem como o tipo de pneu a utilizar num determinado piso. Como visto num capítulo anterior, essa informação é corretamente fornecida pelo representante de pneus escolhido.

Depois de feito o reconhecimento ao traçado de teste, o piloto parte então para a primeira ronda de voltas e de análise do comportamento do veículo. Assim, no final de um primeiro conjunto de 6 voltas (tendo como base de preparação aquilo a que na Tabela 14 se intitula por START) o piloto queixa-se de falta de aderência na frente do veículo. É aqui que tipicamente se parte para a análise de dados onde se pretende por intermédio destes, perceber se o comportamento de condução que o piloto está a ter é o adequado para que, posteriormente, se possa proceder a alterações no SETUP do veículo.

Tabela 14. Setup inicial Diogo Gago

Driver D. Gago - START			
		Front	Rear
Ride Height		232 [mm]	299 [mm]
Toe		-1 [mm]	0 [mm]
Camber		-1°40'	-1°20'
Springs		60	60
ARB		17,6 Soft	24,5 Medium
Dampers		-	-
Clicks	LS	10	10
	HS	10	10
	REB	24	30
RCV spacers		3 [mm]	3 [mm]
Differential	Ramp's	40/60	35/90
	Faces	6+6	6+6
	Preload	60 Nm	60 Nm
Tyre - Pirelli			
Front	Rear	Spare	
RA5 USED	RA5 USED	RA5 USED	
Engine Map			
Fuel	-	Pedal Map	-
Driver/Engineer Notes			
"pouca frente em zonas rápidas"			

5.2.1 ANÁLISE DE DADOS

Numa primeira fase e esquecendo, para já, o estilo de condução que o piloto está a adotar para abordar o traçado, é essencial assegurar que o veículo está em bom estado de funcionamento. Esse sim, é um dos papéis determinantes da análise de dados. A análise da pressão de óleo do motor, das suas temperaturas, dos níveis de *knock* que o motor tem, de pressões de turbo, entre muitos outros fatores visíveis na Figura 42, são determinantes para o sucesso de um rali já que, como se sabe, se algo falhar mecanicamente, a probabilidade de insucesso é grande.

Esses parâmetros são então analisados num separador criado pelo utilizador, com os respetivos canais matemáticos associados aos sensores do veículo, que permitem analisar esse tipo de valores.



Figura 42. Interface com os dados para análise do comportamento do motor durante uma volta de teste.

Interessa salientar que, de facto, apesar de aparentemente complexo, à medida que se fazem mais testes e mais ralis, a sensibilidade para a deteção de possíveis erros/problemas que possam surgir ou estar para surgir (se, por exemplo, as curvas apresentarem comportamentos diferentes dos visíveis na figura superior) vai sendo cada vez maior. É, então, possível observar que se está perante um comportamento típico do motor em situação de corrida, com valores de temperaturas de óleo, água, bem como de pressões, todas elas comuns e bastante aceitáveis.

Outro dos parâmetros essenciais a controlar e uma vez que de um veículo turbocomprimido se trata, é o funcionamento de tudo a que ao turbo diz respeito, como demonstra a Figura 43.



Figura 43. Comportamento do turbo durante volta de teste.

Nesse sentido, os valores importantes estão relacionados com o canal *nTurbo* – referente ao sensor de rotação do mesmo – e do comportamento que este tem durante uma aceleração crescente do motor em que, por isso, as RPMs vão sendo cada vez mais altas e, por consequência, o valor lido por P2 – sensor de pressão de ar presente na conduta de admissão – deve aproximar-se dos valores calculados pelo canal *P2Target*. Essas linhas dos gráficos são destacadas na imagem superior para que mais facilmente sejam identificadas, pela seta a vermelho.

Da zona salientada pela seta vermelha, destaca-se a azul turquesa, a curva respeitante aos valores de *P2Target* e, por sua vez, a verde, os valores de P2. Apesar de em desaceleração estas curvas apresentarem uma tendência de afastamento (uma vez que *P2Target* é referente a valores teóricos e, por isso, ideias do funcionamento do motor) é notável a clara aproximação que as curvas têm durante uma situação de aceleração, corroborando-se deste modo, a premissa de que, de facto, tudo está em níveis aceitáveis e operacionais, no Citroën C3 R5, durante esta simulação de corrida feita pelo piloto Diogo Gago.

Outro modo interessante de se ver esta temática, é a apresentada pela nuvem de pontos presente no canto inferior esquerdo da imagem supra onde, por observação, se percebe que o comportamento da mancha referente ao *NTurbo* é muito consistente, não sendo apresentada nenhuma concentração de pontos destacada para além daquela que é visível na imagem.

Outro dos aspetos determinantes para a longevidade operacional do veículo, está relacionada com a caixa de velocidades. Uma vez que de uma caixa sequencial se trata e como de cada vez que se troca a relação de caixa não se utiliza embraiagem, é essencial que o regime de motor utilizado durante as trocas de mudanças seja o correto para que não se corra o risco de partir engrenagens, comprometendo fortemente o desenrolar do rali.

De facto, o Citroën C3 R5, bem como a grande maioria dos veículos de ralis mais desenvolvidos da atualidade, apresentam no *cockpit* aquilo a que comumente se chama de *shift lights*, que são de facto, determinantes para que o uso de uma caixa sequencial seja feito de forma correta. No caso particular do Citroën C3 R5, essa luz destaca-se no computador de bordo do veículo, pela cor verde, durante o seu funcionamento (visível na Figura 44 pela seta destacada).



Figura 44. Shift Light, Citroën C3 R5. (Play Auto Açoreana)

Deste modo, graficamente, o que se passa é o que a análise de dados da Figura 45 nos apresenta.

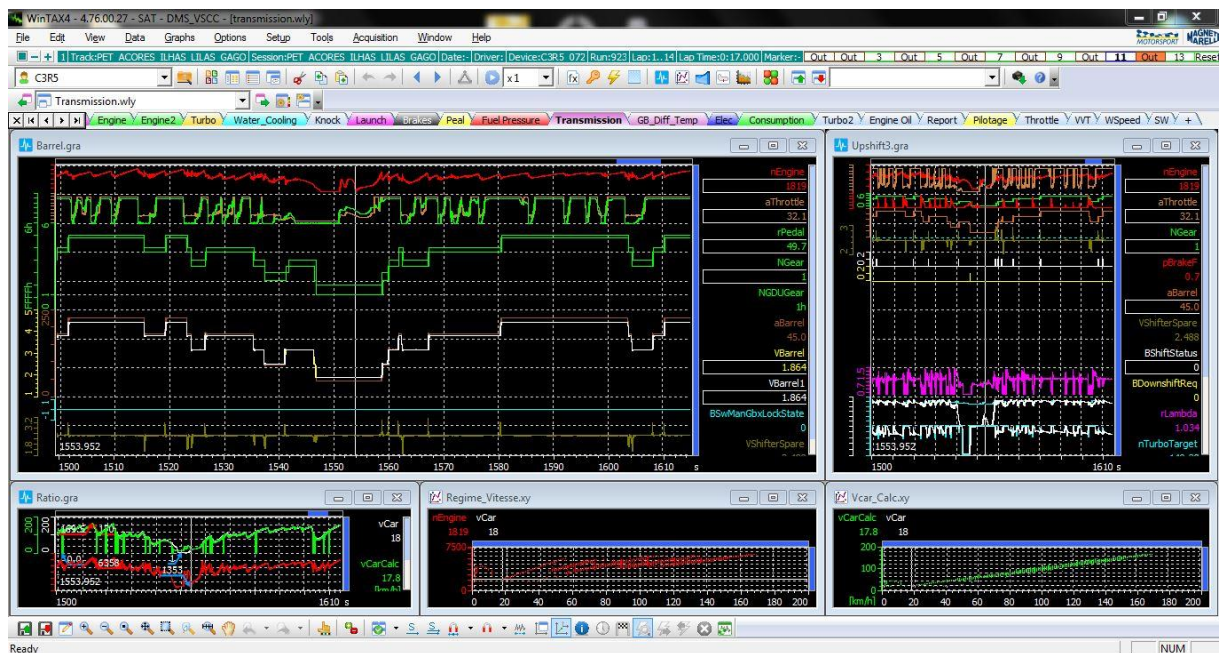


Figura 45. Análise gráfica de troca de relação de caixa.

De facto, por observação, a compreensão gráfica daquilo que na realidade ocorre durante a troca de relação de engrenagens na caixa de velocidades, é bem mais complexa do que aparenta. Aqui, apenas a experiência do terreno é capaz de nos fazer ver rapidamente se o piloto está a utilizar o motor num regime correto para a troca de velocidades que faz no decorrer do percurso.

Contudo, há canais matemáticos que o Software nos permite gerar que, por exemplo, delimitam a zona considerada ideal para cada troca de relação (de primeira para segunda, de segunda para terceira e assim sucessivamente) e apresentam esses dados sob a forma de uma nuvem de pontos. Assim, quando nessa nuvem há uma zona destacada de todos os outros pontos, estamos perante casos em que o piloto estará, por algum motivo, a utilizar de forma incorreta o regime motor do veículo, como representa a Figura 46.

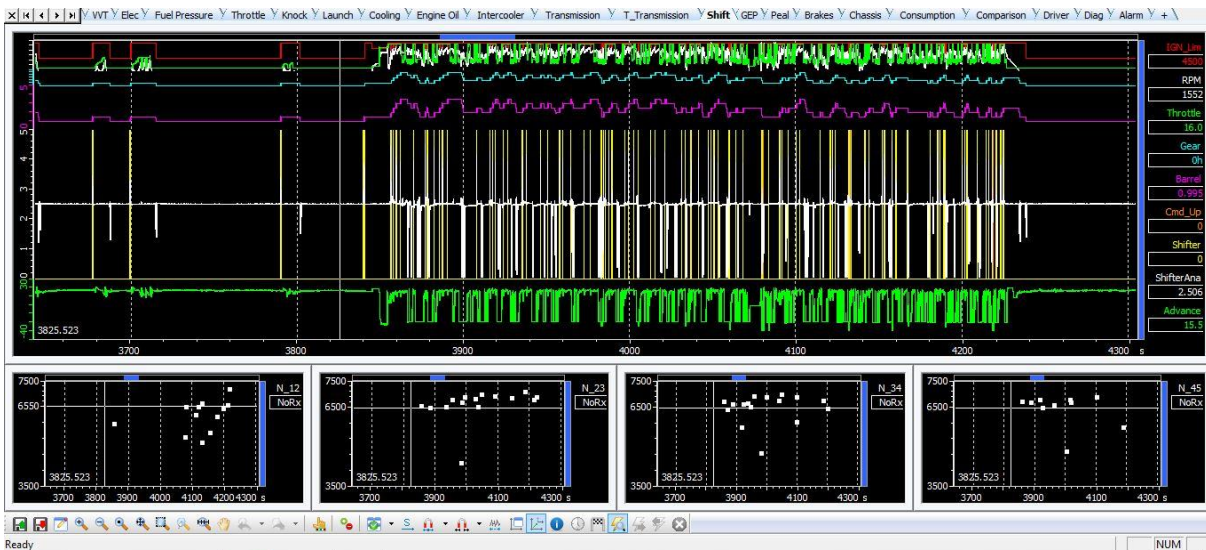


Figura 46. Shift points destacados pela mancha de pontos.

De igual modo, é importante atender sempre a mais parâmetros de funcionamento do motor quando solicitado sob condições de funcionamento específicas como acontece num rali. Importa destacar que, tipicamente, estes veículos apresentam dois modos operatórios. O modo *Road* e o modo *Stage* (destacados na Figura 47) sendo que, tipicamente, o modo *Road* é utilizado para percursos de ligação já que com este modo operatório, o motor trabalha a um regime que impõe consumos mais baixos, não utilizando o *ALS* típico destes motores turbocomprimidos (*ALS* – Anti-Lag System). Ao invés, com o modo *Stage*, o *ALS* do veículo entra em funcionamento fazendo aumentar consideravelmente os consumos do mesmo. Assim, em modo *Road*, tipicamente rondam-se os 25 L/100km e em modo *Stage* os 65 L/100km. Estas alterações são feitas eletronicamente por mudança associadas ao mapeamento que opera na centralina do veículo.

Assim, como facilmente se observa pela Figura 47, a zona de *ALS* em funcionamento é claramente destacada pela forma que as curvas do gráfico assumem, quando comparada quando este está desativado.

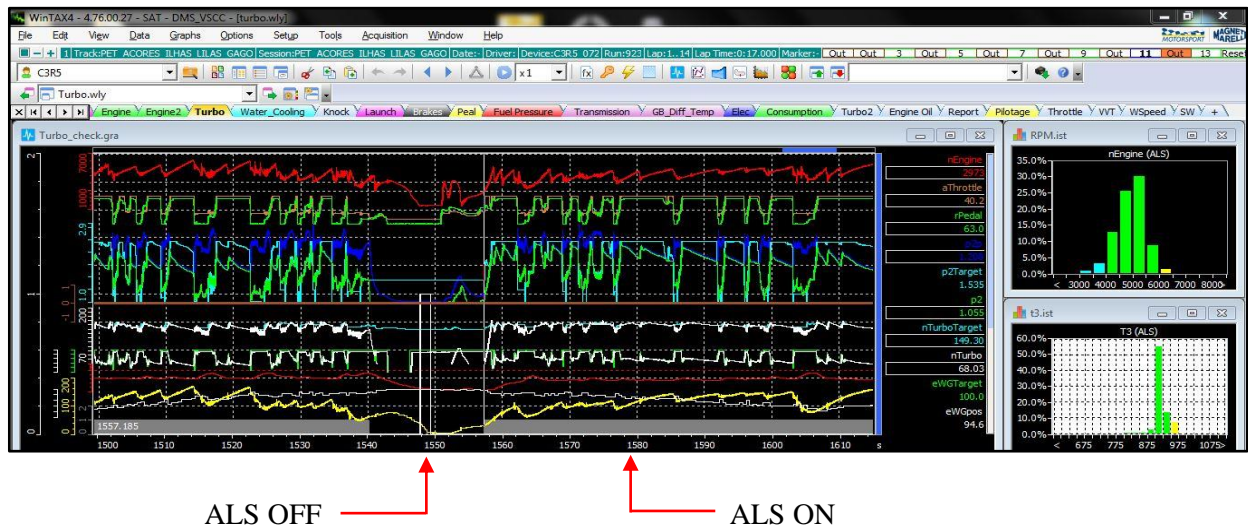


Figura 47. ALS ON Vs ALS OFF.

5.2.1.1. Condução

Outra das temáticas importantes associada à análise de dados prende-se com a tradução daquilo que é adquirido pelos dados gráficos quanto à condução do piloto. De facto, esse assunto é tão decisivo e determinante para o melhoramento/aperfeiçoamento da condução que um piloto tem que é cada vez mais comum nas camadas mais jovens (e não só) de pilotos que ingressam no mundo da competição automóvel uma presença muito forte quer de *Data Engineers*, quer de *Driver Coach*. Assim, por recurso à análise de dados no que à forma de condução do piloto diz respeito, estes especialistas são capazes, quer por conhecimento teórico, quer por conhecimento prático, já que muitos deles são pilotos que já não correm, de perceber onde um piloto está a errar ou onde um piloto pode melhorar a sua forma de conduzir e abordar uma dada curva ou setor de um troço. De facto, é notável que este trabalho é muito mais aperfeiçoado quando esta análise de dados é feita a um veículo da categoria GT, ou mesmo um fórmula, por exemplo, uma vez que estes irão rolar numa pista em que o estado do traçado e o conhecimento que o piloto terá do mesmo vai evoluindo à medida que este vai fazendo mais e mais voltas. Assim, em ambiente de rali, a abordagem a uma curva apesar de poder caminhar para a perfeição, é muitas das vezes feita no improvisado já que o estado do traçado muda à medida que os vários pilotos que compõe a lista de inscritos da competição, vão passando nesse mesmo local. Esta observação é ainda mais validada quando de um rali de terra se fala.

Contudo, também nos ralis há vários aspetos que podem ser melhorados ou corrigidos pela análise de dados que é feita ao estilo de condução de um piloto, tal como a forma como o piloto está a travar ao abordar uma curva, a forma como é incisivo com o volante evitando ou provocando a transferência de massas, entre muitos outros aspetos.

Por isso, pretende-se agora dar a entender o caminho tomado durante o teste feito pelo Diogo Gago no sentido de corresponder à melhoria do SETUP base que o Citroën C3 R5 apresentava e corroborar a premissa de que, de facto, se caminhou num bom sentido com as alterações que foram feitas. Importa salientar que apesar de notável a melhoria de tempo que o piloto consegue fazer à medida que vai decorrendo o teste, o conhecimento que o mesmo tem do circuito, é também ele maior. Nesse sentido, o à vontade que transmite durante a condução e a sua capacidade para ser cada vez mais rápido na abordagem que faz ao traçado é, igualmente, cada vez maior. Assim, como na maioria dos testes feitos

de preparação para um evento, é importante ter em conta este fator. Mais quilómetros serão sinónimo de mais conhecimento do traçado e da consequente melhoria do tempo (já que o troço de teste é só um e as condições do piso serão progressivamente alteradas pelo próprio piloto) e, nesse sentido, é sempre importante que quem está a analisar graficamente a prestação do piloto seja capaz de perceber o que é de facto uma melhoria por variações da dinâmica do veículo (por alteração de SETUP, por exemplo) ou o que é uma melhoria por estar a aumentar o conhecimento do traçado.

Começando pelo SETUP base fornecido pela Citroën, depois de rodar cerca de 16 Km no troço de teste, o piloto queixava-se de falta de aderência na frente do veículo, sobretudo, na abordagem que fazia às curvas rápidas. Assim, atente-se então à Figura 48 referente à recolha de dados feita do melhor tempo efetuado até então pelo piloto, no sentido ascendente do percurso.



Figura 48. Análise gráfica da condução.

Desde logo é notável a boa tendência que o piloto apresenta para a condução. Não só por ser confiante na decisão de utilizar o acelerador (uma vez que pouca hesitação tem e as que apresenta são visíveis por serem zonas encadeadas do troço), mas também pela forma como aborda as curvas com o uso do pedal do travão. É, neste aspeto, visível a sua clara tendência para aproximar forma como trava, com o formato da curva ideal de aderência que os pneus apresentam, tal como já foi discutido numa secção anterior do trabalho.

Assim, uma vez que poucas notas há a fazer quanto ao seu modo de condução, é necessário fazer-se uma alteração de SETUP no sentido de se verificar a melhoria do aspeto que o piloto diz sentir na abordagem às curvas rápidas do troço.

Se o piloto se queixa de pouco *grip* na frente, desde logo, há duas alterações possíveis de serem feitas. Ou aumentar a dureza da traseira do veículo para promover o *oversteer*, ao invés do *understeer* que se queixa, ou então, diminuir a dureza da frente por forma a melhorar a incisão do veículo em curva.

Assim e como se está perante uma alteração a fazer-se principalmente nas zonas rápidas do traçado, não é de todo aconselhável alterar-se a posição da barra traseira, ou mesmo o tipo de molas utilizadas, bem como o *pitch* do veículo, uma vez que se poderia comprometer, conseqüentemente, o comportamento do veículo nas zonas mais lentas. Principalmente à saída de curvas lentas onde se pretende boa capacidade de aderência para que se consiga impor o mais rapidamente possível velocidade no veículo.

Uma vez que a barra estabilizadora utilizada, já se encontra na posição Soft (macia), procurou aumentar-se a rigidez da suspensão traseira de forma progressiva. Para isso, fecharam-se 4 clicks no amortecedor, no seu comportamento em *High Speed* e 2 clicks em *Low Speed* e *Rebound*. Com isto, espera-se que a tendência que o veículo apresentava de *understeer* seja melhorada sendo a nova configuração de SETUP a apresentada na Tabela 15.

Tabela 15. . Quadro resumo de SETUP após a segunda paragem.

DRIVER: D.Gago		START	CHANGE 1	
Ride Height	Front	232 [mm]		
	Rear	299 [mm]		
Toe	Front	-1 [mm]		
	Rear	0 [mm]		
Camber	Front	-1°40'		
	Rear	-1°20'		
Springs	Front	60		
	Rear	60		
ARB	Front	17,6 Soft		
	Rear	24,5 Medium		
Dampers	Front	-		
	Rear	-		
Clicks	Front	LS	10	
		HS	10	
		REB	24	
	Rear	LS	10	8
		HS	10	6
		REB	30	28
RCV spacers	Front	3 [mm]		
	Rear	3 [mm]		

Graficamente, a análise de dados permite concluir que o piloto é capaz de melhorar 0.922 [s] face à análise feita no final das primeiras passagens. Esse facto é comprovado quando se cria no Software a sobreposição de dados e onde, como facilmente se observa pela linha azul, o piloto chega mais rápido ao final do troço quando comparado com a linha vermelha. Apesar disso, é relevante destacar o facto de que se conseguiu corrigir o defeito sentido pelo piloto de *understeer*, uma vez que com as alterações feitas, se promove e muito o efeito contrário – *oversteer* – nas zonas rápidas do traçado, sem comprometer de forma significativa as zonas mais lentas. O facto de se fazer alterações de SETUP para promover o efeito de *oversteer* pode, muitas vezes, não ser o mais indicado já que se muda de forma radical o comportamento do veículo. Contudo e como de um teste se tratava, essa mudança foi feita no sentido de se estudar a melhor forma de corresponder aos requisitos do piloto.

Tirando partido do efeito de sobreposição de gráficos (entre a primeira passagem e a última) no sentido do troço em que o piloto é sempre mais consistente (que, neste caso, é o sentido ascendente) pôde comprovar-se a diferença temporal feita pela utilização dos dois SETUP testados.

Essa diferença entre finais atingidos pela análise gráfica azul e a análise gráfica vermelha (ver Figura 49) é, então, de 0.922 [s].

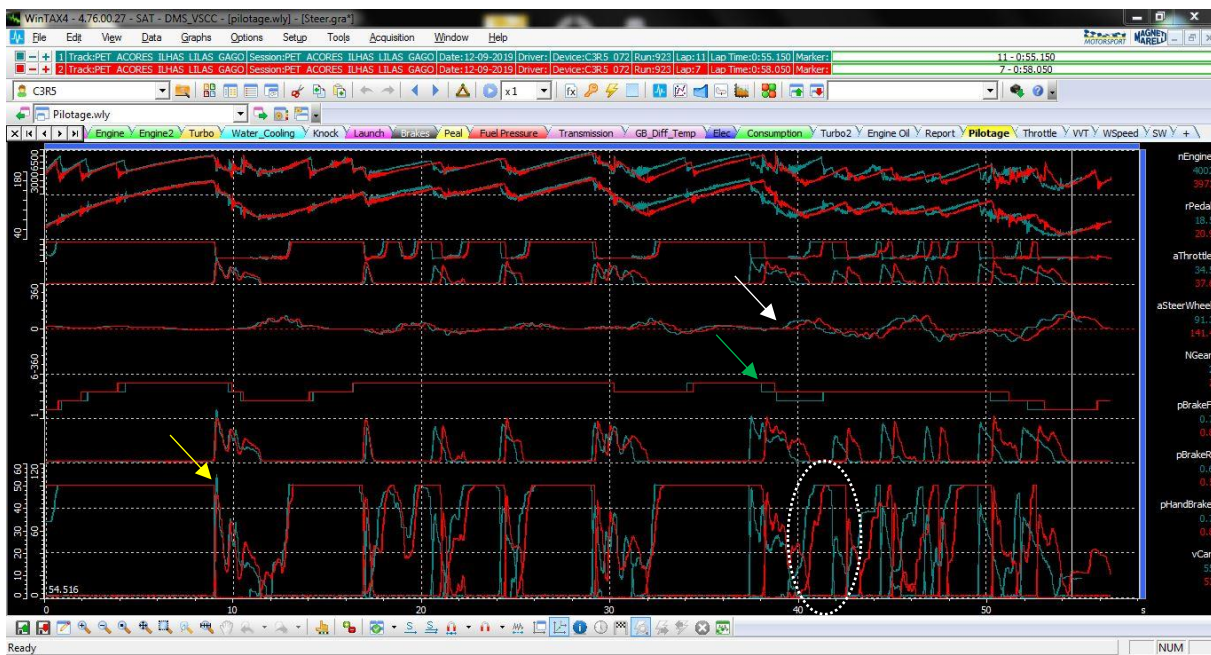


Figura 49. Melhor tempo da primeira ronda (vermelho) Vs melhor tempo da segunda ronda (azul).

Por outro lado, é possível concluir que o piloto é, de facto, mais rápido na segunda seção de teste quando se analisa a sucessão de travagens e acelerações que vai fazendo durante o percurso. Assim, é possível notar a tendência para o surgimento prematuro da linha azul quando comparada com a linha vermelha, essencialmente a partir da primeira travagem¹ que faz no troço. Esse facto é determinante já que indica que o piloto está a ter um comportamento em aceleração (utilizando o pedal do acelerador) mais rápido do que o que acontecia na primeira sessão de teste. Do mesmo modo, o destaque feito na imagem supra, pretende salientar a diferença que agora (pela curva a azul) o piloto faz ao utilizar a caixa de

¹ Assinalado na Figura 49 pela seta amarela.

velocidades². O facto de entrar na zona encadeada do troço³, com o veículo mais “preso” por ter engrenado uma mudança mais baixa, faz com que o piloto consiga impor mais velocidade no início e no final da primeira curva dessa secção⁴ (ou pelo menos, torna o carro mais responsivo aos seus comandos) já que, com essa relação de engrenagens utilizada pela caixa de velocidades, o regime do motor utilizado é mais alto do que o que acontece na curva a vermelho. Com isto, o piloto é capaz de ter um controlo mais preciso do veículo (uma vez que o Citroën C3 R5 não tem tendência de se comportar tão livremente) conseguindo, por consequência, melhorar em cerca de um segundo o melhor tempo feito durante a primeira sessão de treinos.

Depois de rodar durante mais uma ronda de 6 voltas ao troço com a versão de *SETUP* escolhida, o piloto começou a queixar-se de *oversteer* à saída de curvas lentas. De facto, a tendência que o piloto diz sentir do Citroën C3 R5, neste momento, é correta e possível de ocorrer.

Não só pelo facto de se ter promovido essa tendência para melhorar o comportamento em curvas mais rápidas (uma vez que para tal se optou por endurecer a traseira), mas também porque há outro fenómeno importante e que agora começa a ser influente. O facto de estar a rodar desde o início da sessão com pneus RA5 usados, faz com que no final de 18 voltas realizadas ao troço a capacidade de aderência que o pneu apresenta ser muito reduzida. Este facto aliado ao cada vez maior conhecimento do traçado, faz com que o piloto tenha a tendência de ser cada vez mais rápido na abordagem às curvas e às travagens que faz com o veículo. Assim, sem a aderência correta do pneu, fenómenos de *oversteer* ou mesmo *understeer*, podem ocorrer facilmente.

Finalmente, optou-se por escolher a versão original de *SETUP* para o rali, uma vez que o tipo de traçado dos diferentes troços a enfrentar durante o fim de semana é diferente do que aquele que foi base para o teste realizado. Este, é um aspeto determinante e essencial a reter de um teste de ralis. Mais do que chegar a um *SETUP* ideal, é essencial perceber em que sentido trabalhar por forma a adaptar o veículo ao que o piloto pretende, uma vez que muitas vezes se pode ter a tendência errada de se afinar o veículo para o troço de teste que, na realidade, não é semelhante aos que os pilotos enfrentarão durante um rali. Do mesmo modo é importante frisar, uma vez mais, que muitas afinações podem ser feitas para se atingir o mesmo objetivo. No caso particular dos ralis (uma vez que, tipicamente, a assistência mais duradoura é de 30 minutos) importa perceber qual é a forma mais rápida e eficaz de se atingir esse resultado, até para que, por exemplo, os próprios pilotos sejam capazes de adaptar o veículo a seu gosto, entre troços de qualificação.

² Assinalado na Figura 49 pela seta verde.

³ Assinalado na Figura 49 pela seta branca.

⁴ Destacado pela circunferência a traço interrompido na Figura 49.

A Figura 50 é referente à simulação feita em modo *stage*, em ambos os sentidos.



Figura 50. Simulação de troço de rali.

Neste caso particular, o percurso feito no sentido ascendente e descendente é realizado com o *SETUP* construído para o rali. Aqui e como habitualmente é comum, esta simulação é feita antes do final do teste já que depois das alterações que foram sendo feitas desde o início do mesmo, o piloto será capaz de compreender se, de facto, o *SETUP* construído para o rali é, ou não, o melhor compromisso a assumir. Além disso, uma vez que se testa o veículo nos dois sentidos de forma consecutiva, a capacidade de compreensão do *SETUP* escolhido para o rali aumenta, o que é de facto uma mais valia para perceber se se está perante o melhor compromisso a assumir para o rali.

6

P21 PROJECT

6.1. EM QUE CONSISTE

A mais recente aposta do departamento de competição automóvel da Peugeot, passa pela aplicação do novo Peugeot 208, apresentado em 2019, à modalidade de Ralis. Nesse sentido, como sucessor do antigo Peugeot 208 R2 (assim designado segundo as normativas FIA) o novo Peugeot 208 R4 apresenta-se, face ao anterior, com um motor turbocomprimido, de 208 cavalos, com um peso de 1080 Kg e um motor de 1.2 Litros.

O projeto P21, assim intitulado pelo grupo PSA Motorsport, consiste no processo de conversão deste veículo citadino num automóvel de competição para a vertente de ralis. Nesse sentido, transformações a nível de reforço estrutural, alteração de interiores, tipo de suspensões e motorização usada são alterados quando se compara o Peugeot 208 Rally4 ao Peugeot 208 que facilmente se vê em circulação no quotidiano.

O organograma (Ilustração 1) é representativo de todos os processos até à obtenção do produto final.

Apresentam-se, então, seguidamente, todos os aspetos relevantes de serem salientados no que às alterações que são feitas e a todo o processo de logística necessário para a construção dos veículos que é feito pela Sports&You, diz respeito.

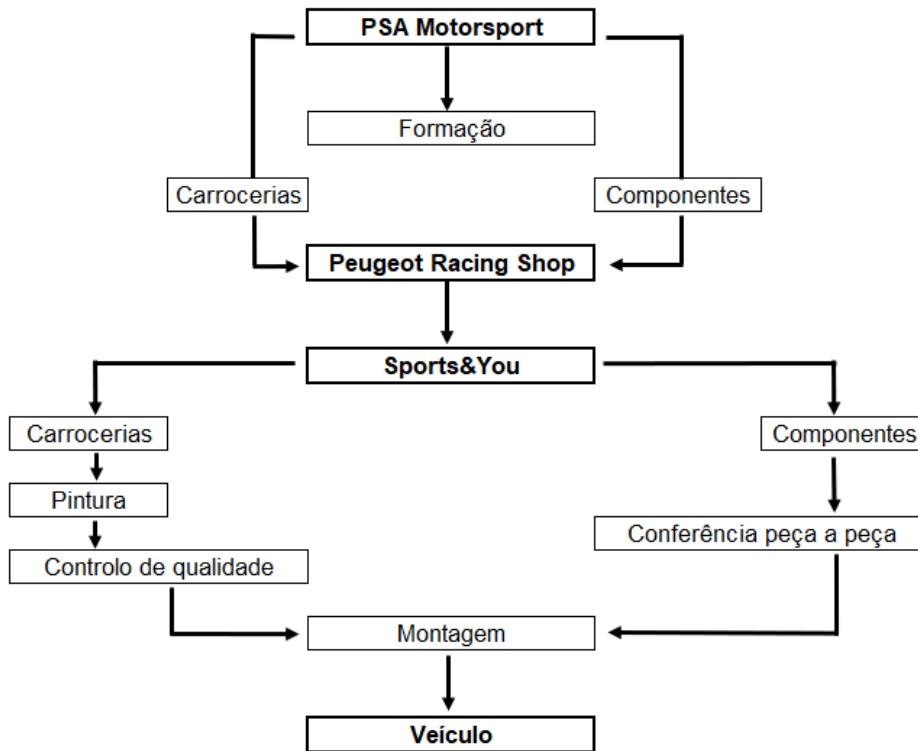


Ilustração 1. Organograma do processo construtivo do P21 project.

6.1.1 FORMAÇÃO PSA MOTORSPORT



Figura 51. Logotipo Peugeot Sport. (Peugeot Sport)

Um dos requisitos essenciais para o desenvolvimento do P21 Project, era uma a duas semanas de formação na sede da PSA Motorsport em Versailles, na França. Lá, durante o início do mês de Março, foi possível assistir a muitos dos processos de conceção de peças que tipicamente equipam os veículos da marca Francesa (tanto da Citroën Racing, como da Peugeot Sport). Exemplo disso foi a visita ao centro de desenvolvimento de fibras onde foi possível ver, entre muitas outras peças, a estrutura (coque) que origina o LMP1 que correu em Le Mans pela marca.

Assim, durante essa semana de formação em França, foi possível juntamente com toda a equipa técnica da PSA Motorsport construir os dois primeiros protótipos do Peugeot 208 Rally4. Essa experiência foi determinante para a perceção das dificuldades que poderiam ser enfrentadas em Portugal aquando da montagem dos veículos.

Por outro lado, importa referir que mais do que uma ação formativa, foi uma ação construtiva no sentido em que a própria PSA Motorsport aproveitou a experiência de muitos anos na área quer da Sports&You, quer da TRT Racing (equipas responsáveis pelo P21 Project), para o desenvolvimento e melhoria de muitos processos de construção dos novos Peugeot 208 Rally4.

6.2. CHASSIS

Tendo como base a estrutura do novo Peugeot 208, dois construtores mundiais são responsáveis por aumentar a rigidez estrutural e a segurança da estrutura cidadina, tornando-a numa estrutura de competição. Essas alterações passam não só por adicionar cordões de soldadura em pontos essenciais como são as torres dos amortecedores (zonas sujeitas a esforços de flexão/torção durante o movimento dinâmico do veículo), bem como à adição de componentes essenciais que respeitam normativas FIA. Entre eles, a adição do arco de segurança (Roll-cage, ilustrada na Figura 52) e o depósito de combustível, por exemplo, como muitos outros apoios e suportes essenciais de serem adicionados por soldadura para que a construção do veículo seja concretizável – ver Figura 54.

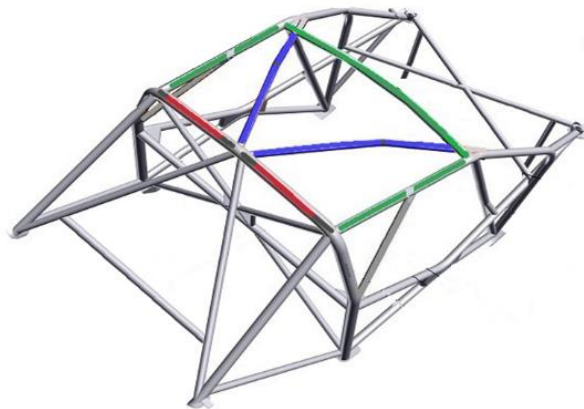


Figura 52. Arco de segurança Peugeot 208 Rally4. (PSA Motorsport)

Assim sendo, partindo da base da carroceria cidadina (Figura 53), obtém-se a carroceria devidamente preparada para o fim a que se destina (Figura 54).



Figura 53. Carrocerias antes de serem reforçadas.



Figura 54. Carroceria depois de ser reforçada.

Posteriormente, segue-se para a fase de pintura, onde por intermédio de um caderno de encargos fornecido pela PSA Motorsport (Figura 55), é necessário cumprir diversos requisitos quanto ao tipo de tinta a utilizar, o seu modo de aplicação, bem como a sua qualidade de resistência à corrosão.

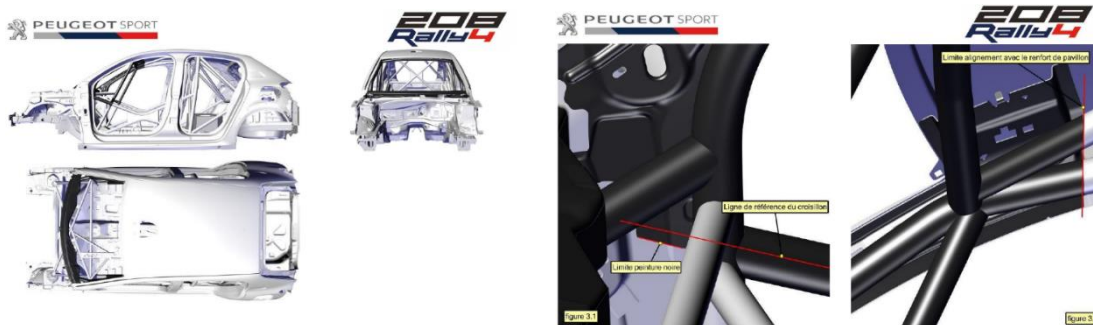


Figura 55. Guia de pintura. (PSA Motorsport)

Todas essas informações, além de possíveis de terem sido observadas aquando da semana de formação em França, são descritas conforme pode ser visto seguidamente.

Tabela 16. Características exigidas para o processo de pintura. (PSA Motorsport)

B15 5050 Revêtements de Peintures	
Normes	Exigences
D241312 - Gravillonnage	C
D251075 - Adherence	A
D251298 - Durete	>180
D251342 - Emboutissage	> 5 mm
D271327 - Immertion	0 ou 1/A ou B
D271433 - Tachage Acide	<1
D275377 - Tachage PDT Chimique	0
D275437 - Tachage Ethanol	>2 min
D275438 - Autoclave	A ou B

Findo todo o processo de conferência de linhas de isolamento necessárias de serem feitas com o tipo de silicone indicado, de todas as zonas assinaladas para não pintar, o resultado obtido é o seguinte apresentado na Figura 56.



Figura 56. Resultado da estrutura após pintura.

6.3. RECEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES

Tal como já referido anteriormente, a montagem dos Peugeot 208 Rally4 passa por um conjunto de processos dos quais se destaca a conferência, peça a peça (Figura 57), de tudo aquilo que o departamento de logística da PSA Motorsport envia para a Sports&You. Nesse sentido, faz-se essa análise das várias peças que compõe o kit de modo a verificar se aquilo que a PSA diz que enviou foi, realmente, enviado. Do mesmo modo, aquando da conferência, faz-se uma primeira divisão dos materiais recebidos, por caixas numeradas, para que o controlo do material seja, então, mais preciso e fácil de encontrar no período seguinte que diz respeito à organização de espaço na oficina.



Figura 57. Conferência de kits recebidos.

Essa divisão por caixas é, então, assinalada num documento Excel como representado na figura 58 (onde consta a grande maioria dos componentes que constituem o kit) que permite que, futuramente, durante o processo de montagem dos veículos, em caso de dificuldade em encontrar alguma peça, os técnicos responsáveis pela montagem possam, em conjunto comigo, saber mais facilmente onde está o material desejado.

	A	B	C	D	E	F	G
1			P21R2-04	n New 208R2 Terre Assemblée			
2							
3	Nomenclature	Eclatement	Référence	Désignation	Qté	received	caixa
4	P21R2-04	.1	P21R2-MOT.01	n Ensemble Moteur			
5	P21R2-04	..2	904660178A	n KIT ENGINE P21 R2	1,000		
6	P21R2-04	.1	P21R2-A130.02	n Ensemble Culasse			
7	P21R2-04	..2	563896	TRESSE DE MASSE LONG 220	2,000	4	18
8	P21R2-04	..2	6958-58	RONDELLE A DENT STANDAR 8,3X14,3-0,8	2,000		
9	P21R2-04	..2	1611567380	MUL ECROU A EMBASE 6X100-6-10	1,000		
10	P21R2-04	..2	6958-58	RONDELLE A DENT STANDAR 8,3X14,3-0,8	2,000	4	18
11	P21R2-04	..2	0307-13	VIS M6	1,000	2	18
12	P21R2-04	.1	P21R2-A150.02	n Ensemble Graissage Moteur			
13	P21R2-04	..2	904667708A	n ECHANGEUR AIR HUILE MOTEUR REPRIS	1,000	2	18
14	P21R2-04	..2	16456	JOINT DIAM 22,7X30-2	2,000	4	18
15	P21R2-04	..2	ST04100092	RACCORD DROIT DASH 10 M/M M22X150	2,000	4	18
16	P21R2-04	..2	692254	MUL VIS TH RDL DIAM 6X100-20	2,000	4	18

Figura 58. Extrato do excel utilizado para a conferência.

Nesse sentido, depois de ser separado todo o material, é possível passar-se a uma fase de seleção mais detalhada das diferentes peças, por categorias. Esta etapa é determinante, uma vez que, apesar de um kit poder vir completo (com as cerca de 1000 referências que o compõe), quando as diferentes peças são enviadas pela PSA Motorsport, estas não vêm, muitas vezes, separadas por área de aplicação (isto é, componentes para travões, suspensão, etc...). Então, a fase seguinte da organização do material, passa por preparar todo o espaço da oficina por setores, para que a divisão possa ser feita por tipo de aplicação, como pretendem demonstrar as Figuras 59 e 60.



Figura 59. Organização de todo o material por áreas de aplicação.

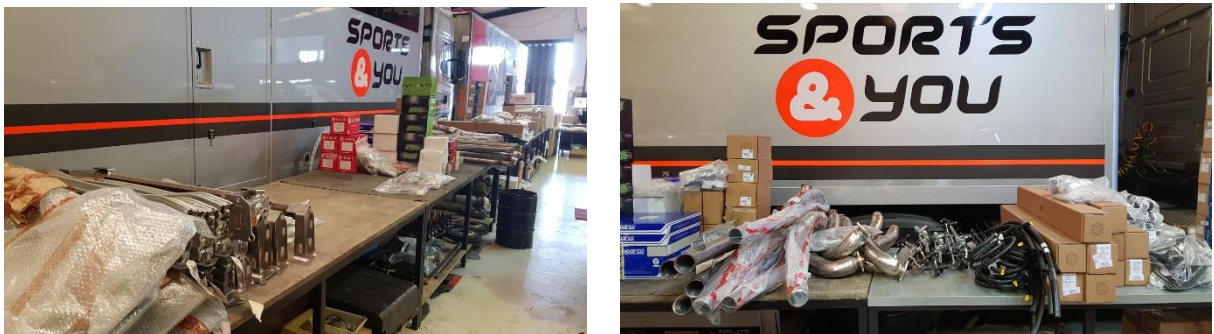


Figura 60. Organização do espaço da oficina por áreas de aplicação.

Apesar de muitas peças serem de aplicação direta, como é o caso dos vidros das portas, alguns casquilhos, tampas plásticas, entre outras, a grande maioria das peças a serem montadas exigem um trabalho manual prévio, muito significativo.

Um dos exemplos desse tipo de trabalho necessário, é o que acontece com o tablier dos veículos como pretende demonstrar a seguinte sequência de imagens das Figuras 61 e 62, onde é possível observar a tracejado branco todas as zonas de material a remover e, na imagem seguinte, o produto final obtido após esses cortes.



Figura 62. Tablier com marcações antes da sua forma final.



Figura 61. Tablier na sua forma final.

Outro exemplo de montagem necessária antes de se aplicar no veículo é o que acontece com o charriot frontal, como demonstra a Figura 63, onde se apresenta este elemento já com todos os constituintes necessários de serem acoplados.



Figura 63. Exemplo de um charriot frontal no seu estado final.

6.4. MONTAGEM DO VEÍCULO

O aspeto mais determinante é, de facto, a montagem. Não só porque de uma linha de produção se trata (dada a previsão da quantidade de carrocerias a serem vendidas num espectro temporal de três anos), mas também porque a forma (relativamente às peças a colocar primeiro) como se monta, será determinante para o sucesso e correto *work-flow* do P21 project. É, do mesmo modo notável, que os pormenores também são aspetos determinantes para a qualidade final do produto e, por isso, é essencial isolar todas as zonas de possível contacto com a estrutura durante o processo de montagem, uma vez que de um processo totalmente manual se trata.

Apesar de ter sido determinante a semana de formação em França, também lá, muitos detalhes da montagem foram melhorados, já que se trata de um projeto totalmente novo em que muitas peças mudam face ao modelo antigo e, por este motivo, há técnicas novas a adotar para que tudo se processe da melhor forma.

Apesar de muitos guias de montagem estarem já completos, muitos outros estão ainda em fase de desenvolvimento e, por isso, a PSA Motorsport mantém um contacto direto com os seus representantes (neste caso comigo enquanto representante da Sports&You) para acompanhar todo o processo de montagem e discutir possíveis melhorias a serem feitas para facilitar o processo de montagem.

Começa-se, então, por isolar a carroceria como é possível observar na Figura 64, de modo a evitar possíveis marcas que comprometeriam a qualidade final do produto (neste caso, o Peugeot 208 Rally4).



Figura 64. Carroceria isolada de contactos.

Este tipo de proteção feita à carroçaria, permite maior facilidade no trabalho já que as zonas típicas de contacto com a estrutura (que pode acontecer durante o processo de montagem) estão isoladas. Assim, no final, o aspeto e a qualidade final da carroçaria permanecerá da melhor forma.

Na fase seguinte, é importante marcarem-se todas as furações que possam não estar previamente feitas e que se mostrem determinantes para a construção. É o caso do suporte de extintor automático, por exemplo, que exige a sua fixação segundo medidas determinadas pela PSA Motorsport para a colocação do suporte.

Nesse sentido, decidiu-se criar um molde para que o tempo de processamento das furações a fazer seja bastante mais reduzido, tal como demonstra a seguinte sequência de imagens das Figuras 65, 66 e 67, uma vez que assim se evita a etapa da medição.



Figura 65. Medições impostas pela PSA Motorsport.



Figura 66. Criação do molde respeitante às medidas impostas.

O resultado é o seguinte.

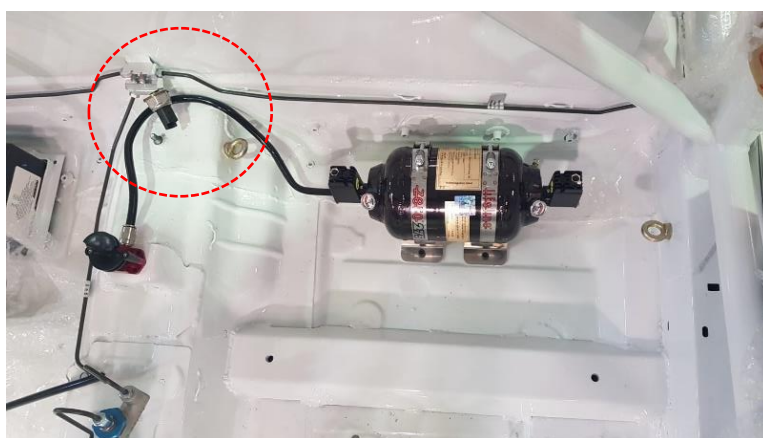


Figura 67. Aspeto final do sistema de extinção.

Esta forma de montagem do extintor automático (visível na Figura 69) não é igual à proposta pela PSA Motorsport. Contudo, entendeu-se durante o processo de montagem que deslocando 1cm para o lado exterior da carroceria o sistema de fixação do extintor, a forma como a curva visível na imagem anterior é feita, é mais simples e fácil de conceber (na Figura 68 é visível à esquerda a nova solução e à direita a proposta pela PSA Motorsport). Do mesmo modo, evita-se que ao passar o tubo pela frente do suporte do cinto de segurança, haja o contacto permanente entre o arnês do cinto e o próprio tubo do sistema de extinção, tornando a montagem mais segura.

Nesse sentido, a nova proposta de disposição do sistema de extinção automático foi aceite por França no sentido de facilitar o processo de montagem (uma vez que a curvatura que a tubagem tem é feita de modo totalmente manual) e torná-lo num resultado mais seguro.

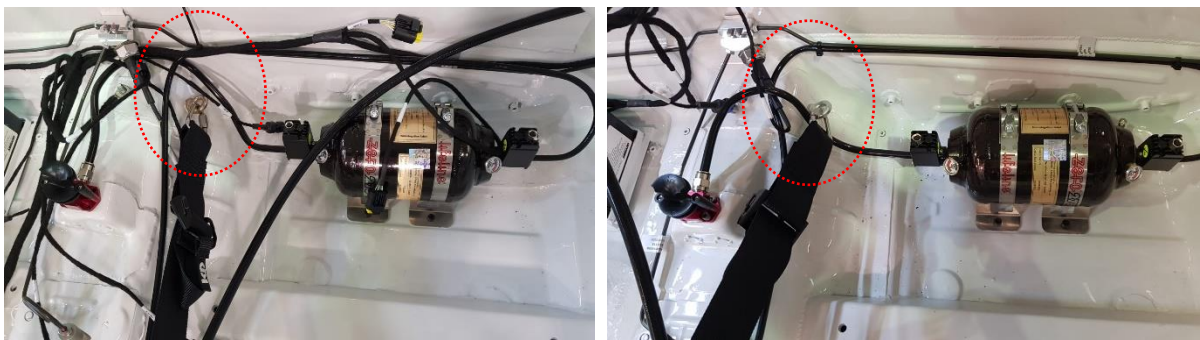


Figura 68. Comparativo entre os dois sistemas de montagem do sistema de extinção.

A fase posterior, prende-se com toda a instalação de linha de travagem uma vez que é essencial de ser montada antes de se começar a construir a montagem do interior do veículo (baquets, cintos, pedaleira, entre outros).

Assim, e uma vez que o conjunto de tubagens a aplicar nas carrocerias foi já separada previamente aquando da organização dos kits recebidos, por área de aplicação, é só seguir a disposição proposta pela PSA Motorsport. Neste tipo de operação de montagem, apesar de se ter acesso aos guias disponibilizados pela PSA Motorsport, a experiência vasta na construção de veículos de competição que os técnicos da Sports&You têm, é determinante para o agilizar de todo o processo de montagem. Por esse motivo, montagens comuns a todo o tipo de veículos como é o caso do sistema de travagem, ou mesmo do próprio sistema de extinção automático, são rapidamente concretizados.

Seguidamente é igualmente possível aplicar toda a cablagem elétrica e o aspeto final será semelhante ao que se apresenta na Figura 69.

6.5. ROLL-OUT

O último passo do processo de construção dos novos Peugeot 208 Rally4 é o roll-out do veículo, ou seja, a primeira vez que este irá circular depois de toda a montagem previamente feita. Como se trata de um processo de montagem de raiz em que, por isso, todos os componentes do veículo são montados pela primeira vez na carroceria interessa que os primeiros quilómetros do veículo sejam feitos com cautela e bastante atenção. Não só é preciso atender a possíveis fugas que possam existir nas diversas linhas de fluídos do veículo, mas também é necessário ter em conta se todos os apertos feitos posteriormente no veículo se mantêm conforme e, neste aspeto, a Peugeot Motorsport durante a semana formativa em França, forneceu um conjunto de dados que me permitiram criar o guia para o primeiro teste feito ao veículo (ver anexos, Tabela 19).

Do mesmo modo, percebe-se que como muitas das verificações feitas ao veículo serão tidas depois deste já ter rolado, muitos dos apertos a verificar (como apertos de apoios do motor, do eixo traseiro, do charriot frontal, entre outros) são feitos com estes componentes quentes. Por esse motivo, o aperto a dar/verificar nessas condições será diferente daquele que foi feito durante o processo de montagem. Esse guia com os apertos a verificar é também conhecido e essencial para o sucesso da construção do Peugeot 208 Rally4.

Em suma, o Roll-Out do veículo é feito em três grandes etapas. A primeira consiste em fazer apenas uma volta ao circuito escolhido para se realizar o teste, em modo Road, onde no final dessa volta se verificará possíveis fugas, apertos, níveis de óleo e água e temperaturas atingida. Seguidamente, o segundo teste consiste em realizar entre 10 a 20 km em modo Road, mas agora com movimentos mais bruscos (zig-zag), com travagens mais fortes, de modo a que se solicite dinamicamente o veículo e, por isso, componentes como os amortecedores e travões, por exemplo, serão mais solicitados. Do mesmo modo, no final destes cerca de 15 km, faz-se uma verificação visual da maioria dos componentes do veículo e, por fim, dos apertos dos componentes principais. Finalmente, o último passo do teste ao veículo passa por circular durante cerca de 10 km em modo Stage para que aspetos como o ALS, a velocidade atingida e o próprio movimento de transferências de carga que serão gerados, sujeitem o veículo a uma condição de funcionamento dinâmica ainda não testada.

Importa referir que, de facto, além dos aspetos já discutidos e apresentados num capítulo anterior, a análise de dados por recurso à aquisição feita pela centralina do veículo permite verificar (numa fase posterior) por intermédio do Software Wintax, se o comportamento do veículo é, também ele, o esperado (para além daquilo que foi possível verificar durante o teste físico feito). Assim, os dados recolhidos vão permitir observar todas as variações de pressões, de temperaturas, de fluxos de massa de ar, entre outros, que o veículo teve durante o teste realizado no roll-out.

7

CONCLUSÕES

Para a realização deste projeto final de curso foi necessário adquirir e aprofundar uma vasta gama de temáticas relacionadas à dinâmica de veículos aplicável ao desporto de competição automóvel, muitas delas relacionadas diretamente com conteúdos abordados em algumas unidades curriculares que constituem o curso do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na FEUP e, tantas outras, novidade. Assim, o processo construtivo desta dissertação apresentou-se de dificuldade elevada uma vez que apesar de ser facilmente compreensível muito do conteúdo encontrado na bibliografia que serviu de base para a realização deste projeto, a capacidade de relacionar toda essa teoria com modelos físicos próximos da realidade em que se baseia a Engenharia Mecânica, bem como o acesso a muita da informação apresentada (uma vez que de competição automóvel se trata), foram das principais barreiras a ultrapassar durante estes últimos quatro meses. Adicionalmente, a situação vivida no presente ano de realização do documento, a nível mundial, dificultou ainda mais o acesso à investigação prática que se pretendia já que as restrições impostas pelo COVID-19 foram muitas e obrigaram a readaptar toda a linha cronológica inicialmente idealizada para a realização deste documento escrito.

Quanto ao estudo dinâmico, tendo sempre por base o reportório de trabalhos já efetuados na área, quer na FEUP, quer noutras faculdades, foi possível adquirir um nível de conhecimento elevado em áreas muito específicas da preparação de veículos de competição e que são determinantes para o bom conhecimento físico da realidade que se associa a esta temática. Assim, este estudo permitiu que agora, a capacidade de analisar e corrigir uma situação de corrida, como o understeer, perceber questões como o slip angle, a influência do pitch no funcionamento dinâmico do veículo (do Citroën C3 R5 em particular e de todos os outros na globalidade), do funcionamento dos amortecedores de competição, ou do próprio sistema de torção de veios associado às barras estabilizadoras, seja muito maior, de tal modo que numa situação de corrida em que a resposta a um problema tem de ser dada no segundo para que o veículo possa ser corretamente alterado durante um pit-stop, por exemplo, possa ser feita com mais certezas da minha parte.

Paralelamente e uma vez que a experiência que tenho vindo a adquirir na Sports&You o permitiu, a capacidade de organização de um espaço, de coordenação de técnicos para desenvolver um projeto que exige tempo, disciplina e organização, são, agora, muito superiores já que foi possível aplicar conhecimentos teóricos adquiridos em algumas unidades curriculares do curso, na prática, pela primeira vez. Por este motivo à parte de todo o conhecimento prático que o estudo dinâmico do Citroën C3 R5 possibilitou, o P21 project – projeto europeu de montagem dos novos Peugeot 208 Rally 4, com responsabilidade técnica assegurada por mim - está a ser uma experiência de crescimento pessoal e profissional uma vez que pelo facto do suporte técnico ser da minha responsabilidade, a capacidade de auxílio ao processo de montagem, bem como da resolução de alguns problemas técnicos que vão surgindo durante o processo, são aspetos que tenho vindo a evoluir à medida que o conhecimento e a experiência de contacto com o veículo vai, também, aumentando.

8

TRABALHOS FUTUROS

Dada a situação atual do país e do mundo pelo Covid-19, à data de realização deste trabalho de dissertação, e uma vez que muitas das expectativas iniciais para a realização do trabalho não se conseguiram cumprir, para trabalhos futuros seria relevante, em primeiro lugar, proceder-se à determinação exata, tridimensional, do centro de gravidade do Citroën C3 R5 já que o levantamento da cota vertical deste ponto ficou por concluir.

Por outro lado, de forma a corroborar todas as indicações feitas na análise teórica sobre a dinâmica automóvel feita ao Citroën, seria pertinente fazer-se um teste, tal como o feito em 2019 para a preparação do Rali Além Mar, no sentido de se poder modificar os principais parâmetros ajustáveis enunciados neste trabalho de dissertação. Assim, no terreno, e por recurso à análise de dados, seria-se capaz de perceber se, de facto, as alterações de questões como o camber, caster, toe, influenciam ou não a forma como o piloto encara a abordagem a uma determinada zona do traçado, se essas alterações aliadas a modificações da geometria de suspensão do Citroën por alteração do seu pitch, do tipo de barra estabilizadora, ou mesmo da posição em que a barra está aplicada, fazem aumentar a confiança e melhorar a prestação que o piloto tem no que à condução diz respeito.

Finalmente, uma vez que também foi feita uma análise cuidada ao P21 project, seria interessante fazer-se uma análise por intermédio de aquisição de dados do veículo, da influência da alteração de parâmetros dinâmicos do mesmo (tal como seria feito no Citroën C3 R5) e comparar qual a diferença que de facto se verificaria, em termos de prestação com o mesmo piloto a fazer o teste a ambos os veículos, por se utilizar um veículo de categoria superior como é o Citroën face a um veículo da categoria inferior, como é o caso do Peugeot 208 Rally4. Esta análise comparativa iria evidenciar que, de facto, a panóplia de ajustes que um veículo permite alterar (como no caso do Citroën) face a outro (o Peugeot), aliado ao maior rendimento mecânico já que o Citroën é de cilindrada, geometria e tecnologia superior, são mais valias inerentes à condição de se poder utilizar um veículo de categoria rainha no que ao desporto de competição automóvel diz respeito, pelo menos em Portugal.

REFERÊNCIAS

- Auto Motor Sport*. (13 de 04 de 2020). Obtido de Auto Motor und Sport: <https://www.auto-motor-und-sport.de/formel-1/technik-frontfluegel-mercedes-red-bull-ferrari-2019/>
- Beckman, B. (2008). *The Physics of Racing*.
- Couto, A. (2013). *Projeto da Suspensão. Estudo do Equilíbrio Dinâmico de uma viatura Fórmula*. Porto: FEUP.
- Dunlop. (2002). *Note Technik. Camber*.
- Fenske, J. (05 de 04 de 2020). *Engineering Explained*. Obtido de [www.youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=qAbHbGgFWJs](http://www.youtube.com/watch?v=qAbHbGgFWJs)
- Gizmodo*. (17 de 04 de 2020). Obtido de Gizmodo Au: <https://www.gizmodo.com.au/2019/11/inside-pirellis-massive-formula-one-tire-operation/>
- Gomes, C. R. (2015). *Apontamentos de Mecânica das Estruturas I. Capítulo 5. Torção em peças lineares*. Porto: FEUP.
- Knox, B. (2011). *A practical guide to race car data analysis*.
- Krumm, M. (2011). *Driving on the Edge. The Art and Science of Race Driving*. Icon Publishing Limited.
- Milliken, W. F. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers.
- Motor24*. (17 de 04 de 2020). Obtido de <https://www.motor24.pt/desporto/wrc-rali-do-mexico-ogier-no-comando-das-operacoes/859003/>
- Racing, C. (2019). *User Guide Citroën C3 R5*. France.
- Raposo, F. (2019). *Análise e desenvolvimento de um protótipo de um veículo para desporto motorizado*. Porto: ISEP.
- Rodrigues, J. D. (2018). *Apontamentos de Vibrações de Sistemas Mecânicos*. Porto: FEUP.
- Smith, C. (1978). *Tune to Win*. EUA: Aero Publishers.
- Soares, A. (2012). *Modelação de um software para o estudo dinâmico de um automóvel*. FEUP.

ANEXOS

Tabela 17. Características dos pneus de terra, Pirelli.

Pneus Terra												
COMPOUND		AIR TEMPERATURE (°C)								PRESSURE (bar)		
TYPE		Working Temperature (°C)	-5	0	5	10	15	20	25	30	COLD PS START	HOT PS END
Super Soft	K8	20° - 50°									1.8	2.0 - 2.4
Soft	K6	20° - 60°									1.8	2.0 - 2.4
Soft	KM6	20° - 60°									2.0	2.0 - 2.4
Medium	K4	70° - 110°									1.8	2.0 - 2.4


Tabela 18. Características dos pneus de asfalto, Pirelli.

Pneus Asfalto												
COMPOUND		AIR TEMPERATURE (°C)								PRESSURE (bar)		
TYPE		Working Temperature (°C)	-5	0	5	10	15	20	25	30	COLD PS START	HOT PS END
Super Soft	RA9	20° - 60°									1.8	2.0 - 2.2
Soft	RA7+	30° - 70°									1.7	2.0 - 2.2
Medium	RA7	50° - 90°									1.6	2.0 - 2.3
Hard	RA5	70° - 110°									1.6	2.0 - 2.3

Tabela 19. Quadro resumo dos pontos a verificar no Roll-Out.

Roll-Out Peugeot 208 Rally4			nº
Run	Verificar	Controlar após run	✓
1	Road Mode (1 volta) = 4 Km		
	Linha reta (volante reto, ângulos de volante certos)	Líquidos e níveis	
	Ruídos	Travões (visual check)	
	Vibrações	Pressões de pneus	
	Comandos pedidos (volante, caixa de velocidades, pedais)	Apertos (referência das marcas feitas)	
2	Road Mode (ritmo mais elevado) = 20 Km		
	Controlar comportamento geral Acamar travões e arrefecimento dos mesmo Testar dinâmica (zig-zag) Testar caixa	Retirar proteções da frente	
		Check geral	
		Verificar fugas	
		Pneus (ver se pressão aumenta p/ targets)	
		Verificar apertos no motor (referência das marcas feitas)	
		Controlo de apertos de suportes de motor	
		Transmissões (frente e trás)	
		Folgas Braços	
		Apertos dos Pivots	
		Check dos amortecedores (apertos)	
		Check dos travões (fugas)	
		Check caixa de velocidades (fugas, apertos)	
3	Stage Mode = 15 Km		
	Controlar dinâmica Controlar caixa e motor (temperaturas, pressões) Controlar o sistema de arrefecimento (ventoinhas)	Check dos valores atingidos	
		Check de folgas	
		Verificação de níveis	
		Controlo da linha de escape	
		Controlar pressões (atinge o target)	
		Pré-carga de Diffs a quente	
		Verificar se ventoinhas disparam	

K



SIZE	VERSION	ø mm D	SECTION WIDTH mm C	TREAD WIDTH mm Cb	ROLLING CIRCUMFERENCE	RIM	CONDITION		
							WET	DAMP	DRY
165/70R15	K6	610	171	150	1915	5.5	6	6	4
175/70R15	K4-K6	625	191	165	1965	6	6	6	4
185/70R15	K4-K6-K8	635	199	165	1995	6	8	6	6
195/70R15	K4-K6	650	203	180	2045	6.5	6	6	2/4
205/65R15	K4-K6-K8	650	220	180	2045	7	6/8	6	4/6
205/65R15*	K4 - K6	645	225	185	2030	7	6	6	4/6

Figura 71. Descrição técnica de pneus de terra Pirelli. (Pirelli Tires)