CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ RAMON A. B. ZAURA

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE DADOS DE UM CARRO DE COMPETIÇÃO NACIONAL COM BASE NA DINÂMICA VEICULAR

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ RAMON A. B. ZAURA

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE DADOS DE UM CARRO DE COMPETIÇÃO NACIONAL COM BASE NA DINÂMICA VEICULAR

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Professor Orientador: Eng. Mestre Carlos Alberto Breda

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ RAMON A. B. ZAURA

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE DADOS DE UM CARRO DE COMPETIÇÃO NACIONAL COM BASE NA DINÂMICA VEICULAR

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial de avaliação para obtenção do título de Engenheiro Mecânico pelo Centro Universitário Assis Gurgacz, sob orientação do professor Engenheiro Mestre Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA

CARLOS A. BREDA

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz

Mastre Engenheiro Mecânic

ELISEU A ZANELLA JUNIOR

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz

Mestre Engenheiro Mecânico

SERGIO HENRIQUE RODRIGUES MOTA

Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz

Mestre Engenheiro Mecânico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tem iluminado meu caminho no decorrer da vida e da graduação, assim como também na elaboração desse trabalho.

Aos meus pais, Maximo Luiz Zaura e Tania Maria Bremm Zaura, assim como meu irmão Raul Gustavo Bremm Zaura, que sempre me apoiaram durante a graduação, e incentivaram nos momentos difíceis, assim também como minha namorada Camila Schefler Marques pelo apoio.

Ao meu orientador Prof. Carlos Alberto Breda, pelo apoio, paciência, orientação e momentos de aprendizagem durante a graduação e a realização deste trabalho.

A PorscheGT3 Cup Challenge do Brasil, por oferecer o material e apoio necessário para realização do trabalho. Também a equipe L3 Motorsport do Campeonato Brasileiro de Turismo, por ceder um espaço para a realização do mesmo.

E a todos, que de forma direta ou indiretamente fizeram parte do andamento da realização do trabalho de conclusão de curso. E como forma de homenagem, agradeço ao Lucas Delazari Burin (em memória) pela amizade.

RESUMO

No automobilismo em geral, o quesito mais importante é o tempo, viabilizando a alta performance de um carro de competição. A análise de dados é um dos principais fatores que ajudam no aumento da performance e no entender do carro, assim também com a simulação desses dados obtidos. O trabalho teve como objetivo aprimorar o conhecimento sobre a análise de dados em um veículo de competição, como também a simulação desses dados, que foram obtidos em pista em um dia de competição. Os dados foram analisados com base na dinâmica veicular, pois assim foi possível ter uma análise mais clara dos dados e entender os acontecimentos do carro em pista. Através dos dados foi também possível utilizar a simulação que nos fornece outra visão e também nos fornece ferramentas para modificar e melhorar a performance do carro, podendo comparar com os dados reais. Concluiu-se, portanto, que a análise de dados é fundamental para o desenvolvimento do carro em pista e que estão em crescimento outras alternativas para o aumento de performance, como o uso de um software de simulação, o uso de uma simulação virtual, assim como a redução de custos.

Palavras-chaves: Automobilismo, performance, análise de dados, dinâmica veicular, simulação, custos.

ABSTRACT

In automobilism in general, the most important issue is the time, making possible the high performance of a competition car. Data analysis is one of the main factors that help increase the performance and can help understand the car, as well as the simulation of these data obtained. The objective of this work was to improve the knowledge about the data analysis in a competition vehicle, as well as the simulation of this data, which was obtained on the track on a day of competition. The data were analyzed based on vehicle dynamics, as it was possible to have a clearer analysis of the data and understand the events of the car on the track. Through the data it was also possible to use the simulation that gives us another vision and also provides us with tools to modify and improve the performance of the car, being able to compare with the actual data. It was concluded, therefore, that the data analysis is fundamental for the development of the car on the track and that other alternatives are being developed for the increase of performance, such as the use of a simulation software, the use of a virtual simulation, as well such as cost reduction.

Key-words: Automobilism, performance, data analysis, vehicle dynamics, simulation, costs.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Configuração inicial	61
Tabela 2 – Configuração final	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do pneu e alguns fatores	15
Figura 2 – Movimentos do veículo	16
Figura 3 – Ângulo de cambagem conforme a força lateral	18
Figura 4 – Gráfico de força x deslocamento da mola	19
Figura 5 – Gráfico força x velocidade amortecedor	19
Figura 6 – Representação do princípio de Ackerman	21
Figura 7 – Representação gráfica ângulo de esterçamento x velocidade	22
Figura 8 – Configuração geral do sistema	24
Figura 9 – Gráfico de distância	26
Figura 10 – Gráfico de tempo	27
Figura 11 – Gráfico X-Y	28
Figura 12 – Histograma	29
Figura 13 – Exemplo de problema	30
Figura 14 – Exemplo de tempo de volta	31
Figura 15 – Aceleração	32
Figura 16 – Frenagem	33
Figura 17 – Slip ratio	34
Figura 18 – Gráfico de troca de marcha	35
Figura 19 – Análise de curvas	36
Figura 20 – Carro.	38
Figura 21 – ECU	39
Figura 22 – Data Logger	39
Figura 23 – Dash	40
Figura 24 – Sensor GPS	41
Figura 25 – Pista de Cascavel – PR	42
Figura 26 – Sensor de velocidade	43
Figura 27 – Gráfico de velocidade	43
Figura 28 – Sensor Volante	44
Figura 29 – Gráfico de posição do volante	44
Figura 30 – Sensor Aceleração Lateral	45
Figura 31 – Gráfico Aceleração Lateral	45

Figura 32 – Sensor de pressão do freio	46
Figura 33 – Gráfico de pressão dos freios	46
Figura 34 – Sistema completo	46
Figura 35 – Dados gerais	48
Figura 36 – Software ChassisSim	49
Figura 37 – Elevação da pista de Cascavel	50
Figura 38 - Automobilista	52
Figura 39 – Z1 Analyzer	52
Figura 40 – Comparação de voltas	53
Figura 41 – Comparação aproximada das voltas	54
Figura 42 – Comparação pelo GPS e Aceleração lateral	54
Figura 43 – Monster File	56
Figura 44 – Tabela variação no tempo de volta	56
Figura 45 – Carro em teste no simulador virtual	57
Figura 46 – Análise em tempo real	58
Figura 47 – Tabela parâmetro simulador virtual	59
Figura 48 – Software em processo de simulação	60
Figura 49 – Tempo de volta com configuração inicial	61
Figura 50 – Barras estabilizadoras	62
Figura 51 – Link da barra estabilizadora dianteira	63
Figura 52 - Link da barra estabilizadora traseira	64
Figura 53 – Tempo de volta com configuração final	64
Figura 54 – Aspectos de imformação sobre a pista	65
Figura 55 – Tempo de volta inicial na simulação virtual	66
Figura 56 – Setup realizado	67
Figura 57 – Tempo de volta final na simulação virtual	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.2 Objetivo Geral	12
1.1.3 Objetivos Específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 PROBLEMATIZAÇÃO	13
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 DINÂMICA VEICULAR	14
2.1.1 Pneus	14
2.1.2 Massa	15
2.1.3 Aerodinâmica	17
2.1.4 Geometria da Suspensão	18
2.1.5 Direção	20
2.2 DINÂMICA VEICULAR COMO UM TODO	23
2.3 ANÁLISE DE DADOS	23
2.3.1 GPS	24
2.3.2 Maneiras de visualização dos dados	25
2.3.3 Leitura e Interpretação dos Dados	29
2.4 SIMULAÇÃO	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 DADOS DO CARRO E CATEGORIA	38
3.2 COLETA DE DADOS DO VEÍCULO	38
3.2.1 Data Logger	39
3.2.2 Sensores	40
3.2.3 Representação do sistema completo	46
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	47
3.4 SIMULAÇÃO DO VEÍCULO	49
3.4.1 Simulação através de software de multi-corpos	
3.4.2 Simulação através do simulador virtual.	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53

4.1 ANÁLISE DOS DADOS	53
4.2 SIMULAÇÃO	55
4.2.1 Simulação através de software de multi-corpos	55
4.2.2 Simulação através do simulador virtual	57
4.5 COMPARAÇÃO	60
5 CONCLUSÃO	68
6 TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	71
Anexo A – Dados Pré - Simulação	72
Anexo B – Dados Pós - Simulação	73

1 INTRODUÇÃO

No automobilismo, cada corrida é diferente da outra, seja ela até mesmo na mesma pista. O veículo apresenta respostas diferentes a cada etapa, a dinâmica veicular estuda essas respostas e pode mostrar um melhor método para interpreta-las.

Segundo Milliken e Milliken (1995, p.3), "the objective in racing is the achievement of a vehicle configuration, which one can traverse a given course in a minimum time (or at the highest average speed)". Com isso o autor diz que o objetivo em uma corrida é a realização de uma configuração veicular, a qual o veículo pode atravessar um percurso em menos tempo possível (ou na maior velocidade possível).

Inasmuch as the performance of a vehicle – the motions accomplished in accelerating, braking, cornering and ride – is a response to forces imposed, much of the study of vehicle dynamics must envolve the study of how and why the forces are produced. (GILLESPIE, 1992, p.5)

O autor explica que na medida em que a performance do veículo – os movimentos compreendidos na aceleração, freios, curvas e pilotagem – é a resposta para as forças impostas, muito sobre o estudo de dinâmica veicular está envolvido como e porque essas forças são produzidas.

E a análise dessas forças, chamada de análise de dados faz com que possamos entender melhor o funcionamento do carro em qualquer percurso.

Data acquisition has revolutionised motorsport. Indeed, I would assert that it's the most significant thing to happen to motorsport since the introduction of aerodynamic downforce. Data provides an important sanity check that can aid and be cross-referenced with driver feedback. (NOWLAN, 2010, p.176)

Conforme o texto acima o autor afirma que a aquisição de dados revolucionou o automobilismo. Na verdade, ele afirma que é a coisa mais importante que aconteceu ao automobilismo desde a introdução da força aerodinâmica de *downforce*. Os dados fornecem uma verificação de sanidade importante que pode auxiliar e ser referenciada com *feedback* positivo do piloto.

O trabalho visa fazer um estudo sobre um carro de competição, abordando os principais parâmetros da dinâmica veicular. Além disso realizar uma simulação

através de um software de multicorpos para futura comparação com os dados reais adquiridos em pista.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo Geral

Realizar uma análise de dados de um carro de competição nacional, com base nos conceitos de dinâmica veicular, considerando dados reais e simulados, aplicado ao circuito de Cascavel – PR.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Coletar os dados através do carro de competição
- Realizar a análise dos dados levando em conta a dinâmica veicular
- Demonstrar os dados obtidos
- Realizar uma simulação no software de multicorpos
- Comparar dados reais com os dados simulados

1.2 JUSTIFICATIVA

No mundo do automobilismo, as equipes sempre procuram ter um carro perfeito. Sendo assim, tentam otimizar sua performance em pista, coletando dados referentes à diversos parâmetros, os quais vamos observar ao longo do trabalho.

A análise e estudo desses dados, com base na dinâmica veicular, pode deixar um carro de competição cada vez mais perto da "performance perfeita".

Racecar simulation is an emerging technology within motorsport. As it is one of the newer technologies in the sport it is also one of the least understood and has been shrouded in skepticism and ignorance (NOWLAN, 2010, p.188)

O autor, no texto acima, diz que a simulação de um carro de corrida ainda é uma tecnologia emergente dentro do *motorsport*. E por ser umas das mais novas tecnologias no esporte é uma das menos compreendidas e tem sido encoberta por ceticismo e ignorância.

Ou seja, é algo totalmente novo no ramo do automobilismo, porém é algo que poderá ajudar um carro de competição chegar à sua máxima performance.

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

A análise de dados de um carro de competição é viável? Quanto desses dados estão ligados à dinâmica veicular? Qual a função da simulação de um carro em pista?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho se limita a uma explicação de como funciona a dinâmica veicular nos veículos de competição nacional da categoria de acesso à Stock Car, como também a coleta e análise de dados referente a esses veículos em pista, e posteriormente uma simulação em um *software* de multi-corpos do mesmo veículo em pista, comparando dados reais e simulados afim de mostrar sua importância para o mundo do automobilismo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DINÂMICA VEICULAR

A dinâmica veicular abrange vários fatores de um veículo, desde seu peso, medidas e também a resposta que o veículo produz ao estar em pista.

2.1.1 Pneus

Os pneus são as únicas coisas em um carro, seja ele de competição ou não, que estão conectados com a superfície.

"Through these tenuous interfaces are transmitted all of the accelerations and thrusts that propel the car, decelerate it and change its direction. Through them also are reacted all of the driver's control actions and from them comes most of the sensory information which allows the driver to maintain-or to regain-control at high force levels" SMITH (1978, p 13)

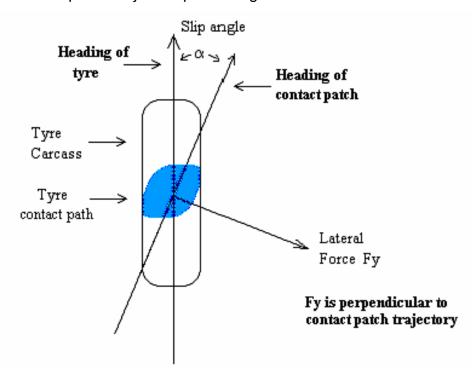
O autor diz que, através dessas interfaces tênues, são transmitidas todas as acelerações e impulsos do carro, desacelerá-lo e mudar sua direção. Através deles também são reagidas todas as ações de controle do motorista e deles vêm a maior parte da informação sensorial que permite ao motorista manter ou recuperar o controle do veículo em elevados níveis de força.

Isso faz com que o pneu seja algo muito complexo, pois existem diversos fatores ligados ao pneu e como ele vai reagir a cada corrida. E qualquer variação em um desses fatores pode impactar diretamente com o desempenho do veículo em pista. Dentre os fatores que compõe o pneu estão:

- Carga vertical
- Coeficiente de atrito
- Ângulo de escorregamento
- Cambagem
- Temperatura dos pneus

- Pressão dos pneus
- Diâmetro
- Composição e construção
- Reação ao torque
- Modelo

Figura 1 – Representação do pneu e alguns fatores.



Fonte: Nowlan (2010).

2.1.2 Massa

A massa do veículo, no caso de competição, é um dos fatores da dinâmica veicular mais estudados, pois está diretamente relacionado com a aceleração do veículo.

Segundo Smith (1978, p 27) "All acceleration is governed by Newton's second Law of Motion: "Force is equal to mass times acceleration." Transposing we find that the rate of acceleration of a body is equal to the force acting on the body divided by the mass of the body, and it becomes evident that, for a given amount of force, less mass will result in a higher rate of acceleration".

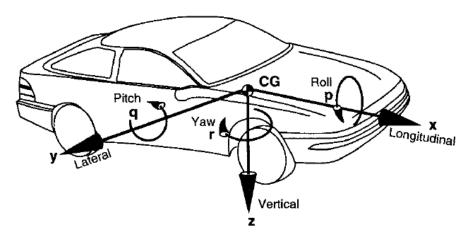
No trecho acima o autor diz que, toda aceleração é governada pela segunda lei de Newton, força é igual a massa vezes a aceleração. Dessa maneira a aceleração de um corpo será sua força dividido pela massa. Assim fica evidente que para um total de força, uma menor massa resultará em um maior número de aceleração.

Em um carro de competição nós temos dois tipos de massa, a massa suspensa e a massa não suspensa.

Under braking, the entire vehicle slows down as a unit, thus it can be represented as one lumped mass located as its center of gravity (CG) with appropriate mass and inertia properties. For acceleration, braking and most turning analyses, one mass is sufficient. For ride analysis, it is often necessary to treat the wheels as separate lumped mass. In that case the sprung mass is the body and unsprung mass is the wheels. (GILLESPIE, 1992, p 7)

Conforme o trecho acima, o autor diz que sob a frenagem, o veículo inteiro desacelera como uma unidade, assim pode ser representado como uma massa aglomerada situada no seu centro de gravidade (CG) com propriedades apropriadas da massa e da inércia. Para as análises de aceleração, de travagem e de curvas, uma massa é suficiente. Para a análise do percurso (corrida), é muitas vezes necessário tratar as rodas como massas agrupadas separadas. Nesse caso, a massa suspensa é o corpo e as massas não suspensas são as rodas.

Figura 2 – Movimentos do veículo.



Fonte: Gillespie (1992).

As massas são analisadas separadamente porque podem sofrer variações durante o percurso em pista, a massa suspensa pode variar conforme os movimentos do veículo, que podem ser longitudinais, laterais e verticais, como na figura acima.

Para reduzir essas variações as equipes sempre trabalham afim de reduzir o peso do veículo e também reduzir a transferência de massa. Com isso há estudos aprofundados para que se tenha uma boa configuração do veículo e do seu comportamento em pista conforme a massa. São estudados fatores como: centro de rolagem, forças, *dive* (mergulho) *e squat* ("agachamento").

2.1.3 Aerodinâmica

A aerodinâmica também é um dos fatores abordados na dinâmica veicular, e faz grande parte nos estudos para uma melhor performance do veículo em pista. Aerodynamic forces interact with the vehicle causing drag, downforce, lateral forces, moment in roll, pitch, yaw and noise. These impact fuel economy, handling and NVH (GILLESPIE, 1992, p 79).

O autor explica que as forças da aerodinâmica interagem com o veículo causando arrasto, *downforce*, força lateral, momento de rolagem, variação lateral, deslizamento e barulho. Esses que impactam na economia de combustível, dirigibilidade e vibrações.

O fluido, no caso o ar, é um dos principais fatores que compõe a aerodinâmica de um carro de competição, existem outros fatores, como: pressão, escoamento laminar ou turbulento, viscosidade, entre outros.

Em um carro de competição, no caso um carro de Turismo (categoria da Stock Car), a aerodinâmica está presente nos aerofólios, solo do carro, e na área frontal. No caso dos aerofólios, são os mais estudados, há diversos tipos e modelos, sempre buscando a maior performance. E segundo Marchesin (2016) "a aerodinâmica de veículos de competição não pode ser estudada com os elementos separados. O fluxo de ar em cada uma das partes do veículo é dependente das demias".

2.1.4 Geometria da Suspensão

A suspensão é algo que conecta o chassi à roda, suporta o peso nas diversas condições de uso, mantendo sua altura e os pneus em contato com a pista, fazendo o carro ser guiável. Em um veículo de competição, procura-se ter uma suspensão com maior rigidez, pois o centro de gravidade é baixo, assim a altura do veículo é muito baixa, fazendo com que tenha contato com a pista (MARCHESIN, 2015, p 177).

A suspensão é composta por alguns elementos, eles são: mola, amortecedor, buchas, batentes, barra estabilizadora, que são elementos de força e também braços e juntas que são elementos de ligação.

Existem vários tipos de suspensão, que são utilizados conforme a solicitação de cada veículo, seja ele de passeio ou de competição. Dentre os tipos estão: McPherson, Duplo A, eixo de torção, Multlink, feixe de mola e entre outros.

Na suspensão também é trabalhado a cambagem, convergência e divergência, as quais fazem parte do alinhamento estático do veículo. Segundo Gillespie (1992) " the inclination of a wheel outward from the body is known as the camber angle". Ele afirma que a inclinação da roda para fora (ou para dentro) do corpo do veículo é conhecido como ângulo de cambagem. A cambagem pode produzir força lateral no veículo, fazendo com que tenha-se uma melhor performance de curvas.

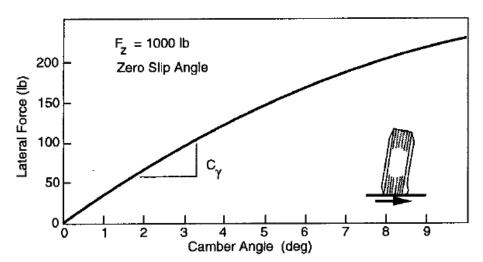


Figura 3 – Ângulo de cambagem conforme a força lateral.

Fonte: Gillespie (1992).

No caso dos amortecedores e molas, em carros de competição, é possível ter gráficos força x deslocamento. O que faz com que tenhamos um melhor entendimento da suspensão do carro.

1147 975 δF K=-Force 802 δ×, Force (N) 630 δх 457 285 113 1.000 1.750 2.500 3.250 4.750 4.000 5.500 Disp (mm) 1.000 2.000 disp 3.000 4.000 5.000 5.500 112,700 Force 294.000 445.900 617.400 901.600 1147.000

Figura 4 – Gráfico de força x deslocamento da mola.

Fonte: Nowlan (2010).

Para amortecedores temos outro gráfico, força x velocidade.

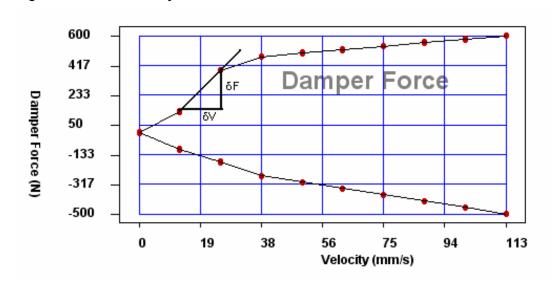


Figura 5 – Gráfico força x velocidade amortecedor

Fonte: Nowlan (2010).

2.1.5 Direção

Todo veículo possui um sistema de direção, controlado ele pelo piloto, ou remotamente.

All intentional turns are initiated and, to some extent, controlled by deliberate turning of the front wheels. Therefore, the response to the driver's steering motion must be precise, linear and consistent. (SMITH, 1978, p 60). O autor expressa que todas as voltas intencionais são iniciadas para certa medida, controlado por giro deliberado das rodas dianteiras. Portanto, a resposta ao movimento de direção do motorista deve ser preciso, linear e consistente.

The function of the steering system is to steer the front wheels in response to driver command inputs in order to provide overall directional control of the vehicle. However, the actual sterr angle achieved are modified by the geometry of the suspension system.(GILLESPIE, 1992, p 275)

Segundo o autor, a função da direção é direcionar as rodas dianteiras em resposta ao piloto, de modo a proporcionar um controle total direcional do veículo. No entanto, o ângulo de direção atual conseguido é modificado pela geometria do sistema de suspensão.

Todos tipos de direção usam o princípio de Ackerman, segundo Smith (1978, p 60) "All that this means is that the extended axes of the steering arms meet at the center of the rear axle and, when the vehicle is following a curved path, the inside front wheel will be steered to greater degree than the outside front, so that both can follow their individual radio without skidding".

O autor diz que tudo isto significa que os eixos estendidos dos braços de direção se encontram no centro do eixo traseiro e, quando o veículo está seguindo um percurso de curva, a roda dianteira interior será orientada em maior grau do que a frente exterior, de modo que ambos podem seguir seu raio individual sem derrapar.

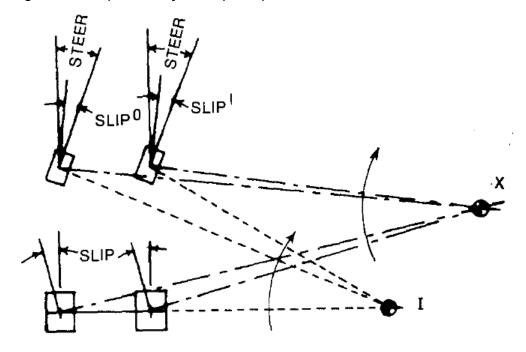


Figura 6 – Representação do princípio de Ackerman

Fonte: Smith (1978).

Quando é utilizado o mecanismo de pinhão-cremalheira, um carro de competição esterça entre 12º e 15º, durante a análise é analisado os graus dados ao volante para os graus na roda.

A direção afeta a dirigibilidade do veículo, onde você tem os chamados gradientes de sobesterçamento, são eles: *neutralsteer*, *understeer* e *oversteer*.

Neutral Steer means that on a constant-radius turn, no change in sterr angle will be required as the speed varied. Specifically, the steer angle required to make the turn will be equivalent to the Ackerman Angle (GILLESPIE, 1992, p 203). O autor explica que o esterçamento neutro significa que em uma curva de raio constante, nenhuma mudança no ângulo do volante será necessária conforme a velocidade varia. Especificamente, o ângulo de esterçamento necessário para fazer a volta será equivalente ao ângulo de Ackerman.

Understeer means that on a constant radius turn, the steer angle will have to increase with speed. Thus it increase linearly with the lateral acceleration and with the square of the speed. The lateral acceleration causes the front wheels to slip sideways. (GILLESPIE, 1992, p 203).

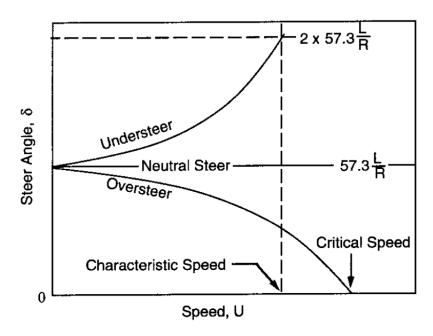
O autor diz que *understeer* significa que em uma curva de raio constante, o ângulo do esterçamento terá que aumentar com a velocidade. Assim, ele aumenta

linearmente com a aceleração lateral e com o quadrado da velocidade. A aceleração lateral faz com que as rodas dianteiras deslizem lateralmente.

Oversteer means that on a constant radius turn, the steer angle will have to decrease as the speed (and the lateral acceleration) is increased. In this case, the lateral acceleration causes slip angle on the rear wheels. The increase in lateral acceleration that follows causes the rear to drift out even further and the process continues unless the steer angle is reduced to maintain the radius of turn. (GILLESPIE, 1992, p 203)

Nesse trecho o autor diz que *oversteer* significa que em uma curva de raio constante, o ângulo de direção terá que diminuir à medida que a velocidade (e a aceleração lateral) é aumentada. Neste caso, a aceleração lateral provoca ângulo de deslizamento nas rodas traseiras. O aumento da aceleração lateral que se segue faz com que a traseira se desloque ainda mais e o processo continua a menos que o ângulo de direção seja reduzido para manter o raio da volta.

Figura 7 – Representação gráfica ângulo de esterçamento x velocidade



Fonte: Gillespie (1992).

2.2 DINÂMICA VEICULAR COMO UM TODO

Na maioria das vezes a dinâmica veicular é abordada separadamente, ou seja, você trabalha com os fatores, como os citados anteriormente. Porém temos que analisá-la como um todo, pois o veículo é uma "peça" única. E dentro de uma pista de competição, esses fatores, agora juntos, devem ser cruciais para uma boa performance em pista.

From the lap time point of view, the priorities in order of their importance to the winning of races are: vehicle balance and driveability, the ability to accelerate off the corners, the generation of cornering force, the generation of usable braking force, aerodynamic drag and the development of usable engine power. SMITH (1978, p 161)

Segundo o autor, do ponto de vista do tempo de volta, as prioridades em ordem da sua importância para a vitória de corridas são: equilíbrio do veículo e dirigibilidade, a capacidade de acelerar nas curvas, a geração de força de curvas, a geração de força de travagem utilizável, arrasto aerodinâmico e o desenvolvimento do uso da potência do motor. Ou seja, são todos fatores relacionados a dinâmica veicular.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados é tudo aquilo que o veículo apresentou em pista e com esses dados ela é utilizada para sempre chegar ao ponto máximo da performance do veículo, fazer o setup do veículo para que atinja os seus limites dentro da pista.

Segundo Segers (2008, p. 4) "Data acquisition is an invaluable tool for establishing racecar and driver performance. The technology that was once only applied by high-end racing teams with considerable financial resources has found its way over the last decade to all racing disciplines. Today systems are available that give even the club racer an enormous amount of data logging capabilities".

Conforme o autor, o trecho acima diz que a aquisição de dados é uma ferramenta inestimável para estabelecer o desempenho do carro de corrida e condutor. A tecnologia que uma vez foi aplicada por equipes de corrida com consideráveis recursos financeiros tem encontrado o seu caminho ao longo da última

década para todas as disciplinas de corrida. Hoje estão disponíveis sistemas que dão ao piloto da equipe uma enorme quantidade de recursos de registro de dados.

A análise de dados requer alguns componentes, existem diversas configurações, mas os componentes tem sempre algo em comum, como na figura abaixo.

Physical parameter

Sensor

Data logging unit

Electronic signal proportional to physical parameter

Electronic signal communication link (serial, parallel, CAN)

Figura 8 - Configuração geral do sistema

Fonte: Segers (2008)

O sistema é simples, composto por: parâmetros físicos, como por exemplo pressão, temperatura, velocidade, forças; sensores, que transformam as medições anteriores em sinais elétricos; unidade de *data logging*, a qual recebe os sinais elétricos e os guarda; e por final a saída (notebooks), que são conectados à unidade de *data logging* e transforma os sinais elétricos em parâmetros que serão analisados pelos softwares de análise de dados. Independente de qual software será utilizado os dados sempre tem a mesma característica.

2.3.1 GPS

Um dos fatores que melhoram a análise de dados é o GPS (sistema de posicionamento global).

The accuracy of track maps can be improved greatly by adding global positioning system (GPS) measurements to the data logging system. GPS integration has two major advantages. The quality of track maps is much better than when only inertial sensor signals are used to calculate the map. The second advantage of using GPS is the higher speed accuracy, which is typically within 0,1% - 0,2%. This is far better than that obtained with a magnetic pickup sensor measuring wheel speed. (SEGERS, 2008, p 7)

Segundo o autor, no trecho acima, as precisões dos mapas das pistas melhoraram com o uso do GPS juntamente com o sistema de *data logging*. A integração do GPS tem duas maiores vantagens, a primeira é que a qualidade da pista, no software, é melhor em relação ao uso do sensor. E a segunda vantagem é que a precisão da velocidade é muito melhor em relação ao sensor utilizado na roda.

2.3.2 Maneiras de visualização dos dados

Segundo Segers (2008, p. 9) "Most data analysis software packages provide different ways of presenting data graphically. The most important are time and distance plots, X-Y graphs, and histograms." Ou seja, conforme o autor disse no trecho, a maioria dos *softwares* de análises de dados têm sua maneira de apresentar os dados graficamente. Os mais importantes são traços de tempo e distância, gráficos X-Y e histogramas.

a) Distância e tempo

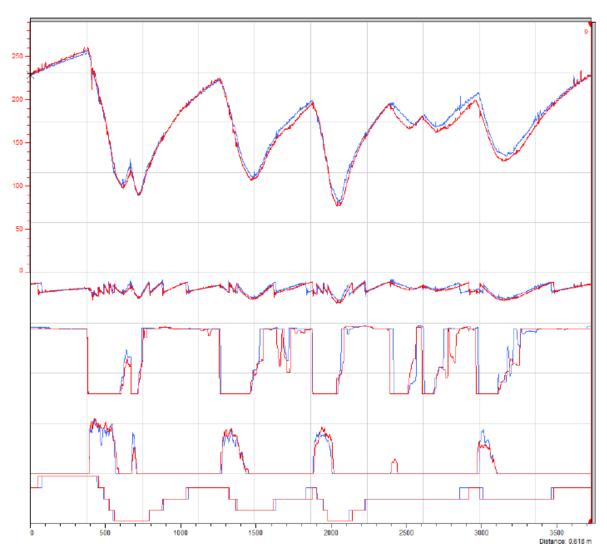
Os gráficos de distância e tempo são os mais utilizados.

The distance graph indicates where all event occurred, whereas the time graph shows when all event occurred. Graphs are plotted against distance because a certain track location remains reasonably constant over different laps and correlating an event to a certain place on the racetrack is desired. Time plots are used to determine the duration of an event or the rate of change of a signal. (SEGERS 2008, p. 9)

Como na citação acima, o autor diz que o gráfico de distância indica onde o evento em pista ocorreu enquanto que o tempo indica quando o evento ocorreu. Os gráficos são traçados contra a distância porque em um determinado local da pista permanece razoavelmente constante ao longo das voltas diferentes. Os gráficos de

tempo são usados para determinar a duração de um evento ou a taxa de mudança de um sinal

Figura 9 – Gráfico de distância



Fonte: Segers (2008)

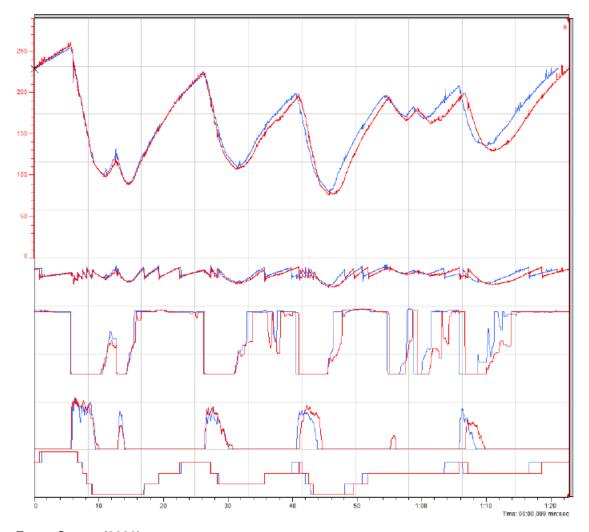


Figura 10 - Gráfico de tempo

Fonte: Segers (2008)

Além dos chamados canais serem mostrados como nas figuras acima, nós podemos observar eles juntos.

b) Gráfico X-Y

Gráficos X-Y são gráficos que plotam pontos ou linhas de um canal em relação a qualquer outro canal. Segundo Segers (2008, p. 10) "When the relationship between two signals is investigated, plotting them in an X-Y graph can be useful".

Dessa maneira, ele diz que quando se tem a relação entre dois canais, os gráficos de X-Y podem ser utilizados

(a) □ ×

| (a) □ | ×

| (b) □ | ×

| (a) □ | ×

| (b) □ | ×

| (a) □ | ×

| (b) □ | ×

| (c) □ | ×

| (c) □ | ×

| (d) □ | ×

| (e) □

Figura 11 – Gráfico X-Y

Fonte: Segers (2008)

Como na figura acima, podemos ver um exemplo de gráfico X-Y, comparando a pressão de óleo conforme a rotação do motor.

c) Histogramas

Os histogramas ajudam a observar os dados em diversas frequências de tempo.

Segundo Segers (2008, p. 10) "Histograms represent the distribution or a set of data points into several ranges. Popular histograms used for racecar data analysis are RPM, throttle position, and shock velocity".

Segundo o trecho acima, o autor diz que além de ser em diversas frequências, os histogramas são mais utilizados na análise de RPM, posição do acelerador e a velocidade de choque.

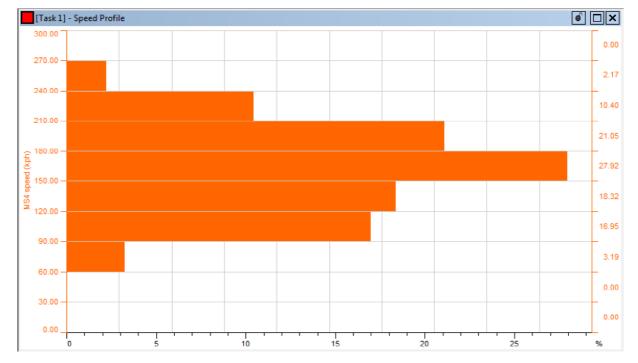


Figura 12 - Histograma

Fonte: Segers (2008)

Conforme a figura, podemos observar um histograma de velocidade e sua porcentagem durante um percurso.

2.3.3 Leitura e Interpretação dos Dados

A principal função da análise de dados é a leitura e interpretação dos dados obtidos em pista.

Conforme Segers (2008, p. 19) "Much of the workload for the data acquisition engineer consists of comparative analysis. Comparing data from different laps or runs with previously collected data reveals the effect of setup changes or driver performance."

Segundo o autor, muito do trabalho do engenheiro de análise de dados consiste na comparação de dados. Comparando dados de diferentes voltas com as anteriores, o que revela o efeito da mudança no setup ou na performance do piloto.

a) Dados Vitais

Os dados vitais são os primeiros dados a serem analisados, como: pressão de óleo e água, temperaturas de água, óleo e cambio e voltagens. São os primeiros fatores que podem acarretar a quebra de um carro em pista. Por isso não é feita uma análise de performance se o carro apresentar algum defeito.

Pressão de água baixa

0.00

1.40

3.20

5.00

6.40

8.20

10.00

11.40

13.20

Time: 09:17,800 min.sec

Figura 13 – Exemplo de problema

Fonte: Porsche (2014)

A figura 13 representa um problema de pressão de água, no qual está abaixo da linha de referência e pode acarretar algum problema.

b) Tempo

O tempo é o fator principal para o piloto, é onde existe as comparações de voltas e de piloto para piloto.

Lap times are determined by the analysis software measuring the time it takes for the car to pass the lap beacon. This beacon represents the location on the track where a lap ends and the next one begins. It can be an infrared pulse logged by the data system or a manually entered beacon point in the data. (SEGERS, 2008, p. 21)

Conforme a citação acima, o autor diz que o tempo de volta é determinado pelo *software* de análises quando o carro passa por um certo local. Esse que indica o final de uma volta e o começo de outra, muitas vezes é só a linha de chegada e outras vezes são alguns pontos estratégicos.

[Task 1] - Laps & Sections Time Report Outing: 01:20,423 Comment: BD: BT: ASA: Comment: BD: BT: ASA: Channel: Elapsed Lap Time (s) Report Type: Soft Split Report (Auto) Sector 2 Sector 3 Sector 4 Sector 1 Lap number Lap time (min:sec) diff diff diff diff 58 (Out Lap) 02:25,004 81.80 34.00 11.81 17.36 01:31,239 38.04 11.02 59 25.43 16.71 60 01:36,024 21.88 42.36 14.81 16.94 61 01:22,201 22.30 32.06 11.00 16.81 62 01:20,423 21.61 31.15 10.83 16.80 63 21.54 31.18 10.90 16.82 01:20,472 02:08,627 35.55 64 (In Lap) 25.29 14.43 53.31 Fastest Rolling Lap 31.15 10.83 16.80 01:20,354 21.54 Theoretical Fastest Lap 01:20,270 21.54 31.15 10.83 16.71

Figura 14 – Exemplo de tempo de volta

Fonte: Porsche (2014)

Na figura acima, pode-se ver que a pista foi dividida em quatro setores, para os cálculos de tempo de volta. E também que temos dois diferentes tempos, o *rolling lap* e o *theorical fastest lap*.

O primeiro é uma soma de todos os melhores trechos/setores e já o segundo ele muda a posição da linha de chegada e soma os melhores setores.

Assim podemos realizar comparações das voltas, segundo Segers (2008, p. 23) "When something is changed on the car, comparing a run to previous ones indicates the difference of that change. By overlaying two traces as a function of distance, the performance of the vehicle and the driver can be compared at the same point on the track".

O autor diz que quando alguma coisa é mudada no carro, comparar uma volta com outra anterior indica a diferença da mudança. E se analisar os dois gráficos das voltas juntos, pode-se ver a performance do veículo e do piloto no mesmo ponto da pista.

c) Aceleração

A maioria das pistas de competição têm entre 70 e 80% de retas, ou seja, o carro está em sua maioria sempre em máxima aceleração.

A racecar often spends much more time on a straight at maximum acceleration than anywhere else. However, every straightaway starts with exiting the preceding corner, and maximizing the speed at which the car comes out of this corner can minimize the time until the next braking zone. (SEGERS, 2008, p. 40)

Na citação acima o autor explica que toda reta em um pista de corrida, começa depois do carro sair de uma curva, o qual maximiza a velocidade até que chegue a próxima zona de frenagem.

Ou seja, depende de como o carro sai da curva para que se tenha uma boa performance de reta.

100 Thattle [%] 196,8 1096,8 100,0 1100 Aliviou o acelerador

Figura 15 - Aceleração

Fonte: Porsche (2014)

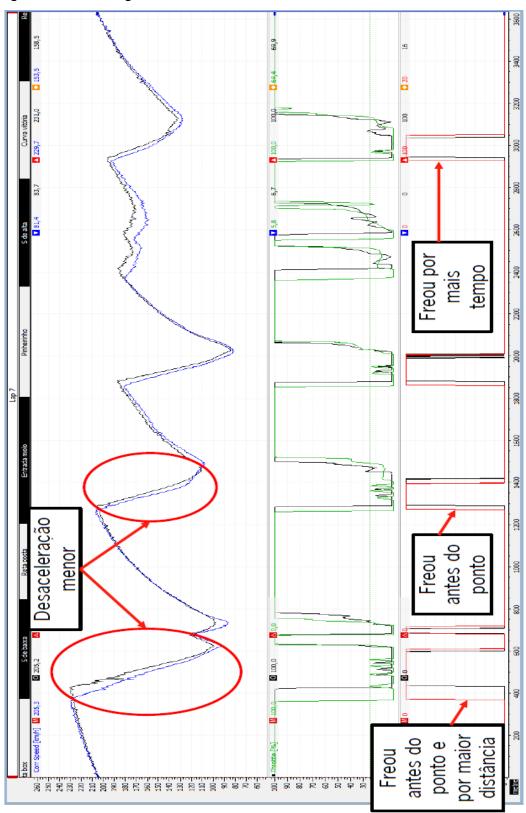
d) Frenagem

Para se ter uma boa performance é necessário um bom freio, e utilizado no tempo certo pode gerar uma boa diminuição no tempo de volta. Fatores como início e fim da frenagem, pressão de freio e travamento de rodas são bastante analisados.

An analysis of braking speed is achieved using the longitudinal acceleration channel to measure the time takes to get maximum brake force (SEGERS, 2008, p 45)

Ou seja, a análise da velocidade de frenagem é com base na aceleração longitudinal, para que podemos medir o tempo levado para chegar na máxima força de frenagem.

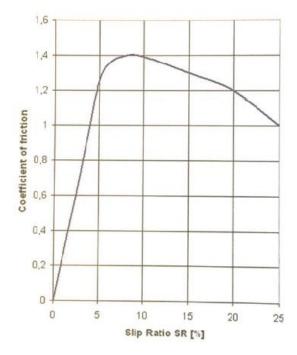
Figura 16 – Frenagem



Fonte: Porsche (2014)

Dentro da frenagem temos o chamado *slip ratio*, que é a razão de escorregamento do carro em curva, onde a relação entre a velocidade da roda e a do carro. O pneu atinge a sua maior aderência, e consequentemente a maior força longitudinal, em uma dada porcentagem de escorregamento.

Figura 17 – Slip ratio



Fonte: Segers (2008)

Buscando a maior eficiência possível, durante a frenagem o *slip ratio* deve ser próximo a zero.

e) Troca de marchas

Outro fator muito utilizado nas análises são as trocas de marchas, pois podemos ver quais marchas são utilizadas em cada trecho, qual a rotação ideal para a troca e outros pontos.

Data logging is very useful in evaluating the shifting techniques of the driver and can help with selecting the most efficient gear ratios for any given racetracks. (SEGERS, 2008, p. 51)

O autor do trecho acima diz que a análise de dados é muito útil em avaliar as técnicas do piloto para a troca de marchas e pode ajudar a selecionar as relações de engrenagens para cada pista.

Na figura podemos ver os gráficos de troca de marcha, um em relação as trocas e outro as trocas em relação a rotação do motor.

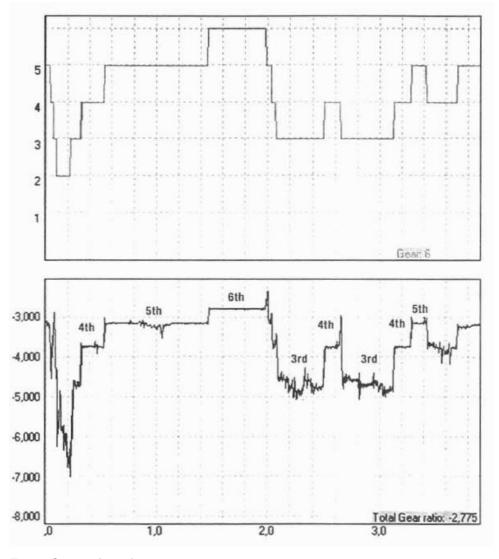


Figura 18 – Gráfico de troca de marcha

Fonte: Segers (2008)

f) Curvas

Na análise de dados, as curvas de uma pista têm três fases, a primeira é a freada até o ponto da curva, segundo o ponto de tangência e a saída da curva. Também se houve subesterço ou sobre-esterço.

The straight-line braking phase forms an integral part of the cornering sequence because the point where the driver hits the brakes determines the location of the turn-in point and entry speed. The corner's apex is the period that is followed by a short neutral throttle period where the driver tries to carry the speed through the corner. The corner exit begins when the driver goes hard on the throttle and exits the corner to the straight. (SEGERS, 2008, p.59)

Na citação acima, o autor explica as três fases, a fase de frenagem em linha reta é parte integrante da sequência de curva porque o ponto onde o motorista aciona os freios determina a localização do ponto de entrada e da velocidade de entrada. O ponto de tangência da curva é o período que é seguido por um curto período de aceleração neutra, onde o piloto tenta levar a velocidade pelo canto. A saída da curva começa quando o piloto aciona totalmente o acelerador e sai do canto para a reta.

Na figura abaixo pode-se ver como é feito a análise dos gráficos das curvas da pista e também onde são mostrada as três fases.

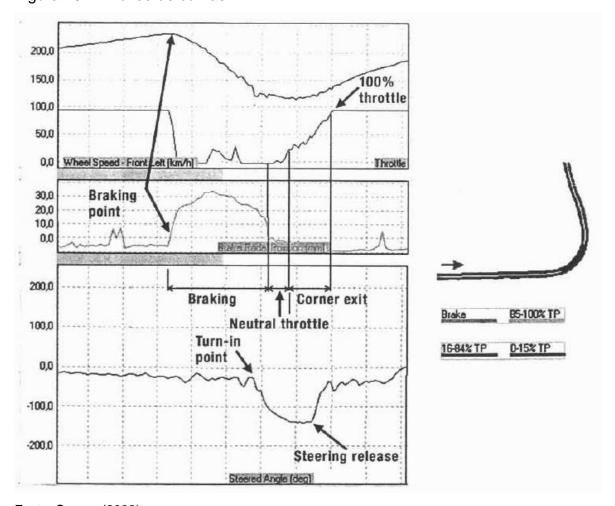


Figura 19 - Análise de curvas

Fonte: Segers (2008)

2.4 SIMULAÇÃO

A simulação é uma ferramenta de alto valor para os carros de competição, além de reduzir custos, pode melhorar e muita a performance do carro em pista.

However, with reduced budgets now coming into play, lack of track test time and the governing organizations banning most testing, this technology is now coming to the fore and it is a skill that the modern race engineer needs to master. (NOWLAN, 2010, p. 188)

O autor diz que, com orçamentos reduzidos agora entrando em jogo, a falta de tempo de teste em pista e as organizações governamentais que banem a maioria dos testes, esta tecnologia está a surgir e é uma habilidade que o engenheiro da raça moderna precisa dominar.

Regardless of the simulation you choose it is critical that you measure the car up properly so that you can put together a valid vehicle model. If I can be perfectly blunt about this, putting a vehicle model together should be one of the first things a race team does. (NOWLAN, 2010, p. 190)

Conforme o autor, independentemente da simulação que você escolher, é fundamental que você meça o carro adequadamente para que você possa montar um modelo do veículo no *sotfware* de multicorpos. Se eu puder ser perfeitamente contundente com isso, colocar um modelo de veículo em conjunto deve ser uma das primeiras coisas que uma equipe de corrida faz.

O engenheiro consegue colocar todos os fatores de dinâmica veicular, análise de dados juntos no *sotfware* de multicorpos e com isso fazer um simulação do carro em pista através do própio *software*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DADOS DO CARRO E CATEGORIA

Por ser a principal categoria de acesso à Stock Car, o carro do Campeonato Brasileiro de Turismo tem características muito próximas às da principal série do automobilismo nacional.

Figura 20 - Carro.



Fonte: Autor (2017)

3.2 COLETA DE DADOS DO VEÍCULO

Os dados do veículo foram coletados durante a 3ª etapa do campeonato Brasileiro de Turismo, realizado em Cascavel – PR no Autódromo Internacional Zilmar Beux. Usando o software AIM Race Studio 2®. O sistema é alimentado pela ECU (*Engine Control Unit*) Magneti Marelli®, modelo SRA-EDL8, a qual faz parte do regulamento desportivo da categoria para verificação dos fornecedores.

Figura 21 – ECU



Fonte: Magneti Marelli (2017)

3.2.1 Data Logger

Foi utilizado o *Data Logger* (caixa de aquisição) AIM® EVO3/Pista, que tem uma memória interna de 8Mb, saída para oito canais e dois conectores para o *Dash* (painel). O *Data Logger* é utilizado para armazenagem dos dados obtidos através das voltas realizadas na pista. Já o *Dash* é utilizado para visualização dos parâmetros do carro, assim como o RPM, combustível, voltas e entre outros.

Figura 22 – Data Logger



Fonte: AIM (2017)

Figura 23 – Dash



3.2.2 Sensores

Segundo o regulamento técnico do Campeonato Brasileiro de Turismo de 2017, os sensores permitidos são:

- GPS
- Velocidade;
- RPM;
- Temperatura de água e óleo;
- Pressão de combustível e óleo;
- Sensor de posição do volante e do acelerador;
- Sensor de tempo de volta;
- Bateria;
- Aceleração lateral e linear;
- Freio.

Os únicos obrigatórios são os sensores de velocidade de roda e os de dados do motor, que são fornecidos pelo fornecedor de motor.

Os sensores usados no carro, além dos obrigatórios, fazem com que se tenha muito mais informação sobre o que aconteceu em pista e o comportamento do carro. Os sensores utilizado pela equipe em questão foram: GPS, velocidade, sensor de posição do volante, aceleração lateral e pressão de freio.

a) GPS

O uso do sensor GPS, faz com que ao adquirir os dados, você tenha o mapa da pista que está sendo utilizada, assim como também ele auxilia a ter um velocidade mais precisa do carro em relação a pista.

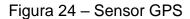
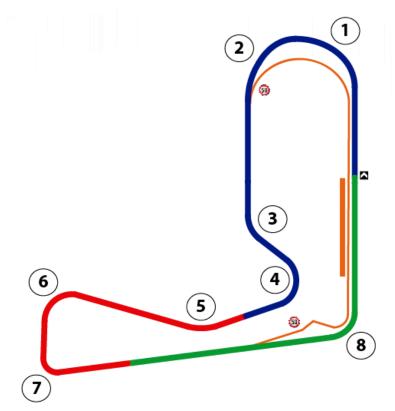




Figura 25 – Pista de Cascavel – PR



Fonte: Chronon (2017)

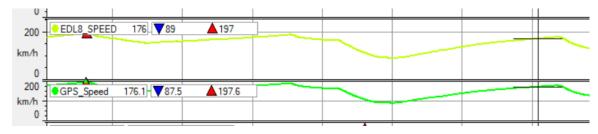
b) Velocidade

O sensor de velocidade é chamado de sensor na roda, pois o mesmo mede a velocidade na roda do carro. Tem categorias que possuem um sensor em cada roda para melhor análise. Auxilia junto com o GPS a informar a verdadeira velocidade em tal ponto do percurso.

Figura 26 – Sensor de velocidade



Figura 27 – Gráfico de velocidade



Fonte: Autor (2017)

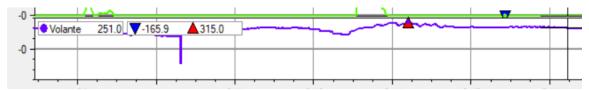
c) Volante

O sensor de posição de volante tem como base a informação de ângulo do volante, em graus. Quando o volante está reto, e rodas também, a informação é de ângulo 0º. O sensor é utilizado para fazer uma análise do piloto, se ele está usando o total esterçamento do carro e se também verificar alguma possível falha na direção.

Figura 28 – Sensor Volante



Figura 29 – Gráfico de posição do volante



Fonte: Autor (2017)

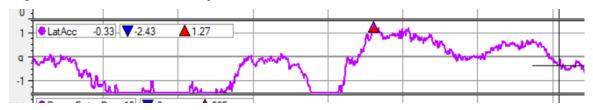
d) Aceleração Lateral.

A aceleração lateral em um carro de competição pode indicar vários fatores, dentre eles podemos ter uma noção do deslizamento do pneu em relação as curvas do traçado. Também se a inclinação da roda para fora (ou para dentro) do corpo do veículo (cambagem), está trabalhando a favor da performance da pista. Também é possível pela indicação na análise de dados se o carro sofreu alguma variação durante o percurso.

Figura 30 – Sensor Aceleração Lateral



Figura 31 – Gráfico Aceleração Lateral



Fonte: Autor (2017)

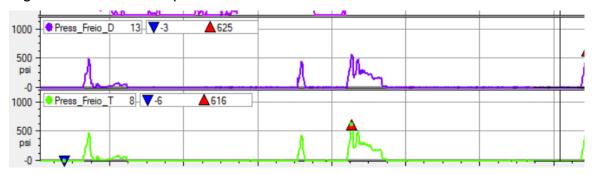
e) Pressão de Freio.

O sistema de freio é um dos itens mais importantes em um carro, ainda mais em um que atinge altas velocidades em um curto período de tempo. O sensor de pressão de freio auxilia a observar o funcionamento do mesmo, além de saber como o piloto faz uso do freio e se teve alguma perda de pressão durante uma corrida ou treino.

Figura 32 - Sensor de pressão do freio



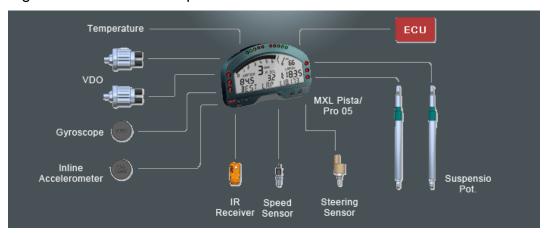
Figura 33 – Gráfico de pressão dos freios



Fonte: Autor (2017)

3.2.3 Representação do sistema completo

Figura 34 – Sistema completo



Fonte: AIM (2017)

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para análise dos dados foi utilizado o software AIM Race Studio Analysis®, software homologado pela CBA para uso no Campeonato Brasileiro de Turismo. Após coletado, os dados devem ser analisados, observando se algo está muito discrepante e também observar bem os relatos do piloto, que informam o desempenho do carro.

E conforme os dados é possível sabe se é necessário alguma mudança em algum aspecto do carro, como cambagem, acerto de asa, convergência, e entre outros. Na figura abaixo é possível observar todos os dados obtidos, assim como suas características gráficas, além das funções disponíveis no software de análise.

Figura 35 – Dados gerais 0.35.110 dist -1466.4 [m] 1 lap 4 [01.09.687] lap 4 [01.09.687] lap 4 [01.09.687] lap 4 [01.09.687] 0:05 0:10 -0:15 0:50 -0:25 0:30 0:35 0.40 -0:45 -0:20 -0:55 🖊 Measures Graph 2 5337 🔻 3874 176.1- 87.5 1 - 78 Lucas Peres_00709062017_001 ** 176 🔻 89 0.33 📜 Lap Manager | File Data View Map Modify Options GPS Race Studio Window 1:05 1000 - Press_Freio_D EDL8 SPEED FEDL8 RPM Press Freio T LatAcc Test Database 200 6000 200 km/h km/h mg. . Psi 5 000 🏲 RS2Analysis 2.56.00 - [Measures Graph] 78 Lucas Peres_00709062017_001 Sort Channels 1 - 78 Lucas Peres_00709062017_001 2/4-5 01.09.687 64.9 34 13.9 5337 176 765

Datalogger_Tem [°C]
Battery [V]
EDUS_RPM [Fpm]
EDUS_RPS [%]
EDUS_ECT [°C]
EDUS_OILT [°C]
EDUS_OILT [°C]
EDUS_FUELP [bar]

EDL8_LAMBDA [A/F]
EDL8_SPEED [km/h]

EDL8_MAP [mbar]

EDL8_BATTV [V]

GPS_Slope [deg]
GPS_Heading [deg]

ED18_AIR_T [°C]
GPS_Speed [km/h]
GPS_Nsat [#]
GPS_LatAcc [g]
GPS_LatAcc [g]

Volante [deg]
LatAcc [g]
Calculated_Gea [#]

Press_Freio_D [psi] Press_Freio_T [psi]

Speed_1 [km/h]

Fonte: Autor (2017)

Measures Laps Per Lap' Color

3.4 SIMULAÇÃO DO VEÍCULO

3.4.1 Simulação através de software de multi-corpos.

Para realizar a simulação do carro, foi utilizado o *software* ChassisSim®, chamado como um *software* de *lap time simulation*, que trabalha com um modelo do carro, que é esboçado no próprio *software*, afim de chegar o mais próximo possível do real. No software temos várias opções de simulação de um veículo em pista, ele deve ser instalado em um computador com acesso aos dados obtidos, a versão utilizada é uma versão na qual algumas funções estão desabilitadas pois se trata de um *software* pago.

O software utilizado permite fazer as mudanças necessárias no carro, sem que ele precise novamente ir à pista. Também é possível fazer alterações na pista, como os ângulos e elevações em seu trajeto, pois os dados obtidos pelo GPS trazem a pista como sendo totalmente plana.

Um dos métodos mais utilizados para realizar a medição é o uso do Google Earth, como no exemplo abaixo.

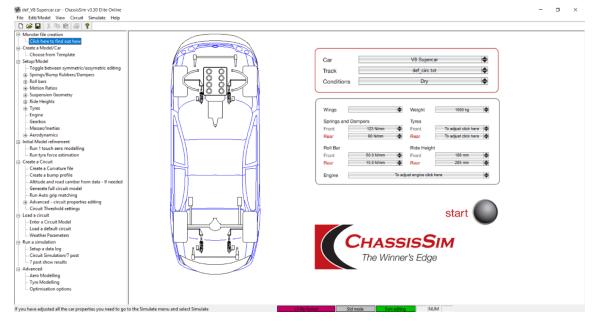


Figura 36 - Software ChassisSim®

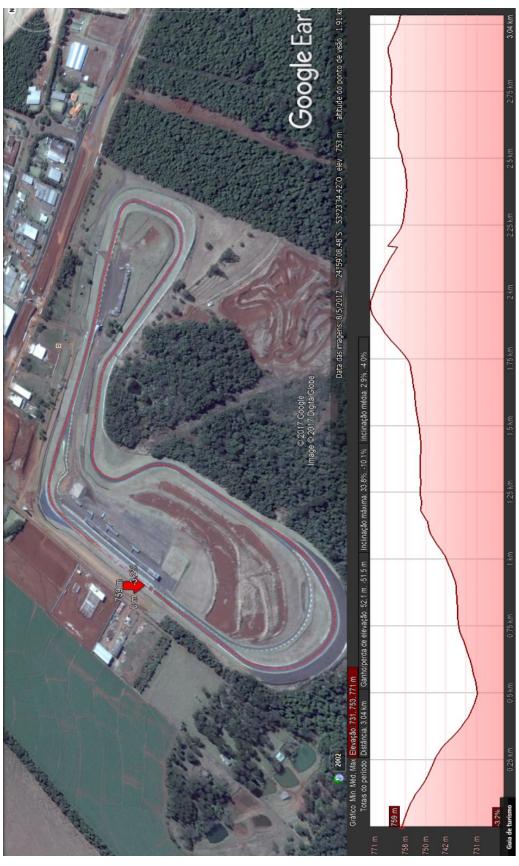


Figura 37 – Elevação da pista de Cascavel

Fonte: Google Earth (2017)

3.4.2 Simulação através do simulador virtual.

Segundo Segers (2014, p.423) "Most simulations do not include a driver model and assume that the car is being driven at the grip limit all times", ou seja, a maioria das simulações realizadas em pista não incluem um modelo de piloto, e assumem que o carro está sempre no limite da pista. Isso faz com que o carro atinja um resultado que na teoria seria o mais rápido, porém o mesmo resultado não pode ser controlado pelo piloto.

The way a driver perceives the car by force feedback in the steering wheel, visual cues, perception of yaw rate through the back and bottom of his body, vibrations, sounds, and so on plays a big part of the equation that defines the max performance. (SEGERS, 2014, p.423).

O autor quer dizer que, a maneira como um piloto percebe o carro através de feedback de força no volante, sugestões visuais, percepção de velocidade de guinada através da parte de trás e parte inferior de seu corpo, vibrações, sons e assim por diante desempenha uma grande parte da equação que define o desempenho máximo do carro em pista.

Por isso também foi utilizado um simulador virtual (Automobilista), que simula a pista e o carro em determinadas situações, nele é possível realizar o chamado *setup* do carro, colocando as configurações desejadas e guiar o carro virtualmente.

O programa, juntamente com um *software* de análises em tempo real (Z1 Analyzer®), ajuda na observação dos dados, e no comportamento do carro. Mesmo que virtualmente, é um método que mais se assemelha à uma condição real.

Figura 38 - Automobilista®

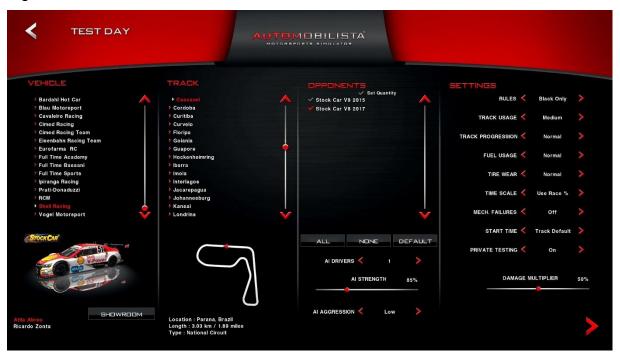
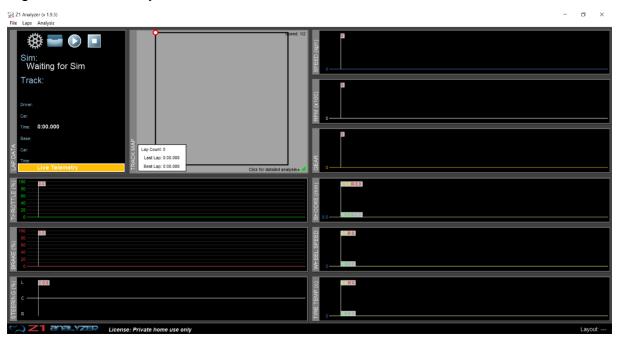


Figura 39 – Z1 Analyzer®



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS DADOS

Com a coleta dos dados, e sua análise, podemos observar que o carro apresenta variações. Ao comparar as suas voltas com outro carro do mesmo tipo, foi possível observar que maioria do tempo de volta perdida está na curva 1 do traçado, chamado de "baçião".



Figura 40 – Comparação de voltas

Fonte: Autor (2017)

Na figura abaixo podemos observar mais detalhadamente a variação de uma volta para outra, do mesmo carro. Os gráficos em vermelho, representa um volta mais rápida, com uma variação de 00:00,770 para a volta em azul.

O destaque está na variação de velocidade de uma volta para outra, durante a curva do "baçião", podemos observar uma diferença de 7 a 10 km/h. O que representa um carregamento de velocidade durante a curva e uma saída mais rápida.

Figura 41 – Comparação aproximada das voltas

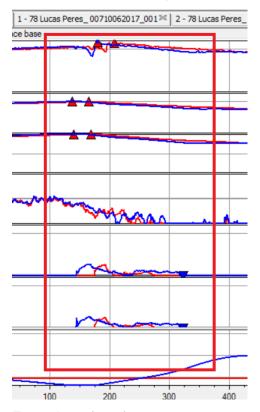
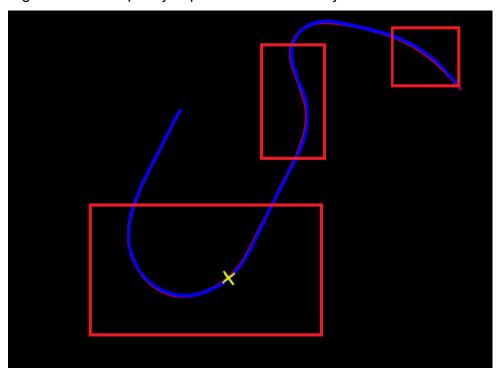


Figura 42 – Comparação pelo GPS e Aceleração lateral



A figura acima representa o traçado feito pelo GPS e a aceleração lateral, que indica o traçado percorrido, nela podemos analisar que o carro representado pelo gráfico em vermelho aproveita mais a curva e consegue uma saída mais fechada, podendo assim aproveitar mais as curvas seguintes, com indicadas na figura.

Por ser classificado com uma pista de alta velocidade, o traçado de Cascavel é mais suscetível a erros do que um traçado menos "agressivo". Por isso foi necessário fazer também uma análise juntamente com os pilotos para saber quais possíveis mudanças no setup seriam necessárias fazer para melhorar o tempo de volta.

4.2 SIMULAÇÃO

4.2.1 Simulação através de software de multi-corpos.

Como dito anteriormente, o *software* trabalha com um modelo do carro, esse modelo deve ser validado juntamente com os dados obtidos. Depois dos dados coletados e analisados foi possível ver como o carro trabalha em uma pista, usando a dinâmica veicular e todos seus conceitos. Os dados junto com o GPS, criam um arquivo chamado "*monster file*", chamado dessa maneira pois é um emaranhado de números que não aparentam nexo algum. E dependendo dos dados, precisamos adicionar colunas com o número zero para o *software* fazer a leitura.

Figura 43 – Monster File

MONSTER FILE TCC2 - Bloco de notas										
Arquivo	Editar Forn	natar Exibi	r Ajuda							
0	6624,2	-0,034	-0,037	66,871	68,14	0	0	0,313	100	245,72
0,68	6623	-0,026	-0,009	66,811	68,14	0	0	0,306	100	245,7
1,37	6625,7	-0,016	0,02	66,762	67,95	0	0	0,298	100	245,72
2,05	6628,4	-0,006	0,042	66,714	67,76	0	0	0,321	100	245,74
2,73	6631,1	0,003	0,051	66,665	67,774	0	0	0,328	100	245,76
3,41	6633,8	0,013	0,042	66,616	67,787	0	0	0,306	100	245,78
4,1	6636,5	0,022	0,017	66,567	67,937	0	0	0,382	100	245,8
4,78	6639,2	0,027	-0,015	66,616	68,086	0	0	0,39	100	245,78
5,46	6641,9	0,032	-0,042	66,665	68,181	0	0	0,294	100	245,76
6,15	6644,6	0,037	-0,053	66,714	68,275	0	0	0,283	100	245,74
6,83	6647,3	0,041	-0,041	66,762	68,275	0	0	0,283	100	245,72
7,51	6650	0,046	-0,01	66,811	68,275	0	0	0,283	100	245,7
8,19	6648,3	0,047	0,027	66,876	68,248	0	0	0,267	100	245,72
8,88	6646,6	0,047	0,052	66,941	68,221	0	0	0,244	100	245,74
9,56	6644,9	0,048	0,055	67,007	68,221	0	0	0,252	100	245,76
10,24	6643,2	0,048	0,046	67,072	68,221	0	0	0,267	100	245,78

Porém o *monster file* representa todos os fatores dos dados obtidos, e assim cria um gráfico de curva representando o traçado da pista, assim podemos simular o carro em cima desse gráfico que representa a pista.

Conforme a tabela abaixo podemos observar os parâmetros que podem ser mudados nos carros, e também qual a variação no tempo de volta que a mudança desses parâmetros em 1% podem chegar.

Figura 44 – Tabela variação no tempo de volta

Table 15.7 Parameter study from lap time simulation				
Parameter	Absolute change	Δ Lap time		
General grip (lateral and longitudinal)	1%	0.382 s		
Total vehicle weight	13 kg	0.173 s		
Engine power	5 HP	0.062 s		
Center of gravity height	3.5 mm	0.055 s		
Front weight percentage	6.5 kg	0.035 s		
Air density	0.01225 kg/m ³	0.035 s		
Drag coefficient C _D A	0.02	0.035 s		
Cross weight percentage	3.2 kg	0.023 s		
Downforce coefficient C _L A	0.028	0.017 s		
Aerobalance	1%	0.005 s		

Fonte: Segers (2014)

4.2.2 Simulação através do simulador virtual

A simulação virtual é uma forma que as equipes usam para desenvolver o piloto, o carro e também o engenheiro. Foi realizado alguns testes no simulador, afim de mostrar como os parâmetros da dinâmica veicular, ao serem modificados, interferem em um tempo de volta.

Com o uso do software de telemetria (Z1 Analyzer®) foi possível observar como o carro se comporta em tempo real, e também observar alguns parâmetros como: temperatura de pneus, pressão de pneus, combustível, tempo de volta, e também temperatura dos freios.

A figura a seguir mostra os diversos parâmetros de aquisição de dados que podem ser analisados durante uma simulação virtual.



Figura 45 – Carro em teste no simulador virtual

Figura 46 – Análise em tempo real



Figura 47 – Tabela parâmetro simulador virtual

Category	Parameter		
General	ACCESSOR (1-1/42) (1-1/42)		
Gerlerai	Vehicle speed		
	Running lap time		
5	Lap distance		
Driver Activity	Braking force		
	Clutch engagement		
	Gear		
	Throttle position		
	Steering wheel angle		
Inertial Signals	Lateral acceleration		
	Longitudinal acceleration		
	Vertical acceleration		
	Yaw rate		
	Yaw angle		
Chassis and Suspension	Suspension movement		
	Ride height		
	Pitch angle (at vehicle's center of gravity)		
	Pitch rate		
	Roll angle (at vehicle's center of gravity)		
	Roll rate		
	Longitudinal velocity		
	Lateral velocity		
	Vertical velocity		
	Steering wheel torque		
Tires	Tire surface temperature inside/middle/outside		
	Tire pressure		
	Separate wheel speeds		
GPS Variables	Latitude		
Or 5 Valiables	Longitude		
	Altitude		
Engine Parameters and Vital Signals	Fuel level		
	Fuel pressure		
	Engine manifold pressure		
	Engine oil level		
	Engine oil pressure		
	Engine oil temperature		
	Engine RPM		
	Shift light indication		
	Battery voltage		
	Water level		
	Water temperature		

Fonte: Segers (2014)

4.5 COMPARAÇÃO

Foi feita a comparação entre os dados reais, obtidos em pista, e os dados obtidos através dos simuladores. Como foi visto anteriormente, os dados do *software* de multi-corpos, ou *lap time simulation* são com base nos dados reais da pista, ou seja, não podemos criá-los do "zero". Os testes mostraram que o software ajuda na mudança de vários aspectos do carro, com base na dinâmica veicular, porém a mudança dos mesmos podem melhorar ou piorar a performance do carro em pista.

Simulation File Edit/Model View Circuit Simulate Help Simulation Options 0K Corner No to start from 1 Toggle between symmetric/assymetric editing A

— Springs/Bump Rubbers/Dampers Export Data Start Simulation Driver Options Activate 7 post rig Motion Ratios View Results Adv Options Click here if simulating an Oval Suspension Geometry
 Ride Heights
 Tyres
 Engine Click Here to terminate calculation. Gearbox Masses/Inertias - Aerodynamics Initial Model refinement -- Run 1 touch aero modelling Run tyre force estimation reate a Circuit Create a Curvature file Create a bump profile Zircul file size 750
Zircul file 2008
Zir Altitude and road camber from data - If neede Generate full circuit model ... Generate full circuit model
... Run Auto grip matching
... Advanced - circuit propert
... Circuit Threshold settings
Load a circuit
... Enter a Circuit Model - Load a default circuit Weather Parameters Run a simulation ... Setup a data log ... Circuit Simulation/7 post ... 7 post show results start Tyre Modelling Optimisation options The Winner's Edge

Figura 48 – Software em processo de simulação

File Edit/Model View Circuit Simulate Simulation Options OK Corner No to start from 1 ☐ Optimise — Toggle between symmetric/assyn — Springs/Bump Rubbers/Dampers — Roll bars — Motion Ratios Cancel NOTE: If optimising, turn data logger off Start Simulation Export Data Driver Options Activate 7 post rig View Results Adv Options Click here if simulating an Oval - Suspension Geometry Click Here to terminate calculation. Ride Heights En Hide Heights
 Tyres
 Engine
 Gearbox
 Masses/Inertias
 Aerodynamics
Initial Model refinement Simulation Results

Corner 8

Turn in done lapt is 41.642
Apex done lapt is 41.8395
turn exit done lapt is 42.41
straight done lapt is 42.512
Final V 109.418461, expec -- Run 1 touch aero modelling - Run tyre force estimation Create a Circuit cate a Circui - Create a Curvature file - Create a bump profile - Altitude and road camber from data - Generate full circuit model Corner 10
Turn in done lapt is 55,607499
Apex done lapt is 56,044999
turn exit done lapt is 58,819999
straight done lapt is 56,604999
Final V 193,068930, expected v
uscount is 194
File rc_data.dat is done Circuit Threshold settings oad a circuit

Enter a Circuit Model

Load a default circuit

Weather Parameters Setup a data log Circuit Simulation/7 post 7 post show results Advanced
Aero Modelling
Tyre Modelling
Optimisation options The Winner's Edge

Figura 49 – Tempo de volta com configuração inicial

O *software* chegou em um tempo de volta de 1:06,605s, como podemos ver no Anexo A. Conforme o regulamento do campeonato Brasileiro de Turismo, foi priorizado os parâmetros que são permitidos configurar para definir uma configuração para o carro. Foi configurado altura dianteira e traseira do carro, assim como as barras de torção dianteira e traseiras.

O tempo real do carro em pista foi de 1:07,715s, o software de simulação já nos mostra uma diferença de 0:01,110s. Porém vale lembra que a o gráfico realizado pelo *monster file* é um gráfico plano.

Tabela 1 - Configuração inicial

PARÂMETROS	UNIDADE DE MEDIDA
Altura dianteira	50mm
Altura traseira	60mm
Tensão barra dianteira	134.4N/mm
Tensão barra traseira	156.9N/mm

Com base na dinâmica veicular, a altura do carro em relação ao solo, interfere no chamado *rake*, que seria a inclinação do carro em relação a pista para o ganho de força aerodinâmica.

As tensões nas barras estabilizadora, tanto dianteira, como traseira, afetam a rolagem do carro durante as curvas, em outras palavras, podendo interferir em: força vertical, deslocamento lateral e convergência.

"In roll the bar is twisted as one wheel moves down and the other up from some initial position. Twisting of the bar adds load to one wheel and removes it equally from the other. Anti-roll bars change the distribution of the lateral load transfer between the front and rear tracks, and also reduce the body roll angle and add to one-wheel bump rate of the suspension" MILLIKEN (1995, p.281)

Segundo o autor, as barras estabilizadoras são na forma de torção, quando o carro está em rolagem, a barra é torcida quando uma roda se move para baixo e a outra para cima de alguma posição inicial. A torção da barra adiciona carga a uma roda e remove-a igualmente da outra. As barras estabilizadoras em um carro de competição alteram a distribuição da transferência de carga lateral entre as faixas dianteira e traseira, e também reduzem o ângulo de rolagem do corpo do carro.

Figura 50 – Barras estabilizadoras



Barra estabilizadora traseira

Fonte: CBA (2017)

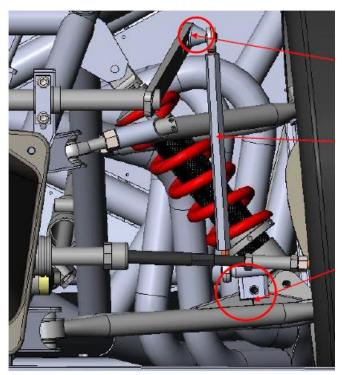
Com base nos dados obtidos pela simulação, foi considerado mudar a altura dianteira e traseira, assim como fazer uma alteração nas barras estabilizadoras.

Tabela 2 – Configuração final

PARÂMETROS	UNIDADE DE MEDIDA
Altura dianteira	20mm
Altura traseira	30mm
Tensão barra dianteira	120N/mm
Tensão barra traseira	160N/mm

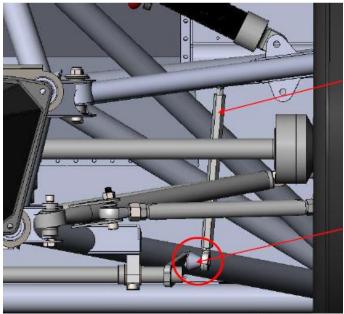
Fonte: Autor (2017)

Figura 51 – Link da barra estabilizadora dianteira



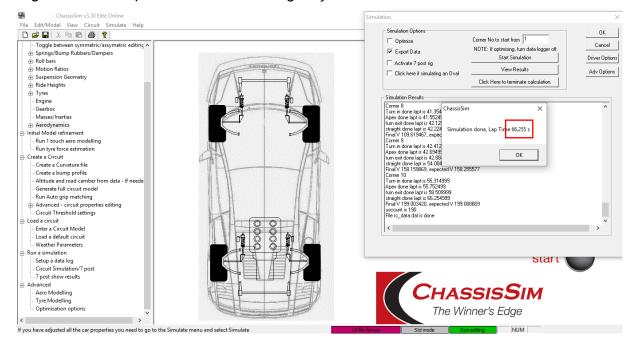
Fonte: CBA (2017)

Figura 52 - Link da barra estabilizadora traseira



Fonte: CBA (2017)

Figura 53 – Tempo de volta com configuração final



Fonte: Autor (2017)

Com as mudanças realizadas no carro, foi possível ver uma melhora no tempo de volta. O tempo caiu para 1:06,255s, mantendo uma diferença de 0:00,350s.

Conforme os estudos da dinâmica veicular, ao mudar a altura do carro, afetou a aerodinâmica do mesmo, além de mudar a altura do centro de rolagem da

suspensão. Fazendo com que o carro pudesse carregar ainda mais velocidade durante as curvas. Como podemos ver no Anexo B

Já a mudança na barra estabilizadora também trabalhou para melhorar a suspensão do carro durante as curvas. A mudança deixou o carro mais "duro", fazendo com que o mesmo pudesse responder mais durante as curvas e apontar mais rápido para a saída da curva e entrada da reta.

O uso do *software* de simulação foi determinante para a definição do *setup* do carro, para que o mesmo atingisse a máxima performance. Segundo Segers (2014, p.395) "Sometimes, with an advanced lap time simulation can determinate 99% of the *setup of the car*". O autor diz que, as vezes, com um avançado software de simulação, podemos chegar a quase 99% da configuração do carro. Além disso, é possível observar que ao fazer um modificação individual, muitas vezes algum outro parâmetro também é influenciado.

Também foi possível observar a complexidade do software para chegar próximo às condições reais da pista. Na maioria das vezes os dados do GPS não representam o traçado como ele é realmente, por isso existe uma dificuldade para alcançar o real traçado da pista, com suas elevações e ângulos.

Circuit Information × ▼ Model Bumps C:\ChassisSimTechnologies\ChassisSim Damp SF Front: 1 C:\ChassisSimTechnologies\ChassisSim_ Damp SF Rear: 1 Bump Profile Import Grip Scale File | C:\ChassisSimTechnologies\Chas Use Grip scale factors Import Alt/Camb File C:\ChassisSimTechnologies\Chas Use Altitude/Camber Normal Curv File Use Normal Curvature Specify Gear Ratios for each corner Load Gear Ratio File Specify Gear ratios by distance Load Gear ratio distance file Specify Max braking by distance Load Max brake distance file default.txt Start Vehicle speed (km/h): 0 Click here to enable open loop/Drag Strip/Hill Climb mode Click here for ax grip factors Import Ax Grip Scale File Load Master Circuit File | Generate Master Circuit File from loaded circuit files Cancel

Figura 54 – Aspectos de imformação sobre a pista

Na figura podemos observar os campos que são possíveis preencher para ter um traçado mais próximo do real, como: dados de amortecedor, dados de troca de marcha a cada curva, velocidade de subida, altitude e entre outros.

Já o simulador virtual, permite começar uma nova volta a cada instante, e também fazer a mudanças necessárias no carro. Os testes foram feitos observando as influências da dinâmica veicular, a cada volta foi mudado o "setup" do carro para observar as mudanças que o mesmo provocaria no teste em pista.

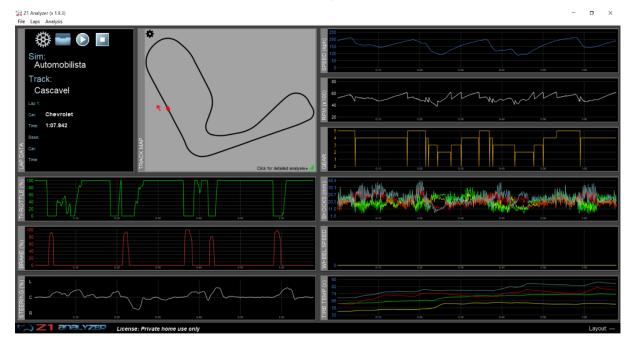


Figura 55 – Tempo de volta inicial na simulação virtual

Fonte: Autor (2017)

É possível observar que o tempo total da volta foi de 1:07,842. Com isso no setup realizado, foi alterado, também, as barras estabilizadoras, demonstrado na imagem abaixo.

Figura 56 – Setup realizado



Figura 57 – Tempo de volta final na simulação virtual



Fonte: Autor (2017)

Com as mudanças realizadas foi possível observar uma volta de 1:07,376, com uma diferença de 0:00,466 décimos. Foi utilizado o modelo da Stock Car, que representa o mais próximo do carro do Brasileiro de Turismo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a chamada engenharia de pista, assim como também estudar a influência da coleta e análise de dados, juntamente com a simulação em um *software* de multi-corpos, mais conhecido como *lap time simulation*. As conclusões estão de acordo com a forma de execução do devido trabalho, sendo uma referência dos resultados obtidos.

Com a coleta e análises dos dados foi possível observar como os sensores trabalham junto com a dinâmica veicular, e também qual são as funções do engenheiro em pista. A análise de dados além de ser um ferramenta valiosa, é um dos parâmetros utilizados para se definir uma estratégia de corrida, por isso o engenheiro necessita ser flexível com as possíveis circunstâncias durante a corrida, para realizar a análise se saber qual o melhor caminho a seguir.

Com o uso da simulação com o software de lap time simulation foi possível observar o quão vasto são os parâmetros da dinâmica veicular que se pode mudar em um carro de competição, além de que podem direcionar ainda mais o engenheiro para a definição de um configuração para o carro.

Outro objetivo, com o uso da simulação virtual, foi atingido, além de ser uma ferramenta que tem bastante potencial é um ferramenta de treinamento específico. Com a simulação virtual foi possível criar os dados do "zero", podendo realizar diversas análises em tempo real e observar o comportamento do carro a cada configuração testada.

Conclui-se ainda que foi possível observar o quanto a engenharia de pista é essencial em uma competição. E também o quanto o uso da simulação pode beneficiar uma equipe e também o piloto.

6 TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho abre caminho para novas análises e pesquisas na área do automobilismo, ressaltando a importância dos estudos nessa área que é muito abrangente.

Um dos diversos pontos a serem estudados seria um estudo direto nos sensores, assim como funcionaria a telemetria, para entendimento do funcionamento dos mesmos e como eles interagem em categorias como a F1.

Outro ponto seria modelar as pistas conforme parâmetros mais exatos, como o uso de dados, para que não seja representada totalmente plana. Além disso seria possível um estudo mais direto a simulação, por exemplo, trabalhar o *lap time simulation* com a simulação virtual.

REFERÊNCIAS

AIM **EVO3 Pista Pinout**. Cernusco. Italy. 2017. Disponível em:http://www.aim-sportline.com/> Acesso em: 26/09/2017.

AIM **MxI Pista Pinout**. Cernusco. Italy. 2017.Disponível em:http://www.aim-sportline.com/ Acesso em: 26/09/2017.

AIM **MxI Dash User Guide**. Cernusco. Italy. 2017.Disponível em:http://www.aim-sportline.com/> Acesso em: 26/09/2017.

AMIR NASR ENGINEERING. Guia de pré-instalação e configuração do sistema delta stock car brasil. São Paulo PI Research. Guia de instalação.. 2015

CBA **Regulamento Técnico 2017 Campeonato Brasileiro de Turismo**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: http://www.cba.org.br/site/regulamentos_modalidades Acesso em 18/10/2017

CBA **Regulamento Desportivo 2017 Campeonato Brasileiro de Turismo**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: http://www.cba.org.br/site/regulamentos_modalidades Acesso em 18/10/2017

GILLESPIE. T. **Fundamentals of vehicle dynamics**. Warrendale .. PA Society of automotive engineers Inc.. 1992.

JL Racing Product **Ficha Técnica G12 – 2017** Rio de Janeiro 2017. Disponível em: < http://www.jlind.com.br/downloads> Acesso em: 17/10/2017.

_____ Ficha Técnica G12 Provisória – 2016 Rio de Janeiro 2016. Disponível em: < http://www.jlind.com.br/downloads> Acesso em: 17/10/2017.

MAGNETI MARELLI MOTORSPORT. **Engine Control Unit – SRA-EDL8/16**. Corbetta (Milano) Italy. 2013. Disponível em:http://www.magnetimarelli.com/> Acesso em: 26/06/2017.

MARCHESIN. F. Curso Dinâmica Veicular Aplicada a Veículos de Competição. São Paulo SAE BRASIL Inc. 2009.

MILLIKEN. W; MILLIKEN D. Race car vehicle dynamics. Warrendale .. PA Society of automotive engineers Inc. 1995.

NOWLAN. D. The Dynamics of the Race Car. Sydney. Australia. 2010.

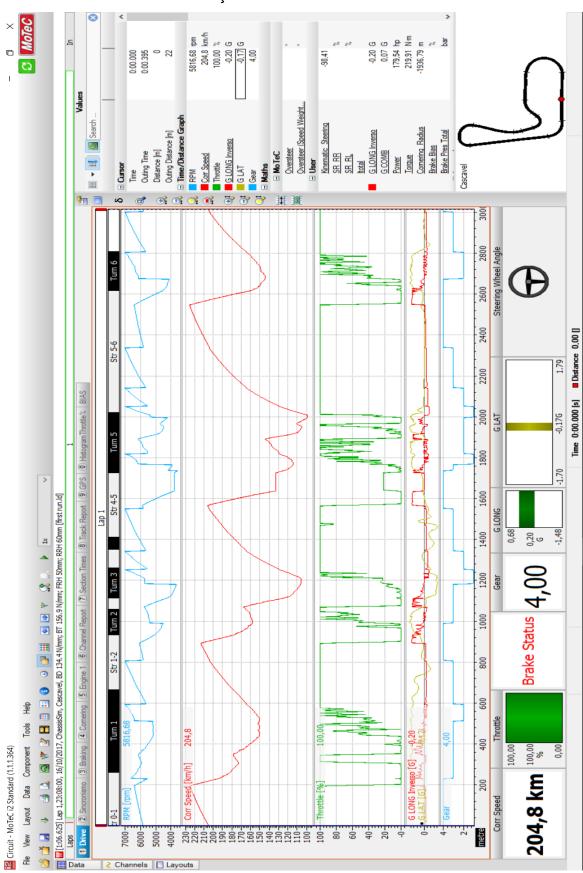
SEGERS. J. **Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition**. Warrendale Society of automotive engineers Inc. 2008.

_____ Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition. Warrendale. PA Society of automotive engineers Inc. 2014.

SMITH. C. **Tune to Win**. The art and science of race car development and tuning. Fallbrook. CA. Aero Publishers 1978.

ANEXOS

Anexo A - Dados Pré - Simulação



Anexo B - Dados Pós - Simulação

