

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FABIANA TAIS KAMINSKI**

**FRENAGEM MAGNÉTICA: SEGURANÇA E MELHOR DESEMPENHO  
AUTOMOBILÍSTICO**

**PONTA GROSSA**

**2022**

**FABIANA TAIS KAMINSKI**

**FRENAGEM MAGNÉTICA: SEGURANÇA E MELHOR DESEMPENHO  
AUTOMOBILÍSTICO**

**MAGNETIC BRAKING: SAFETY AND IMPROVED AUTOMOBILE  
PERFORMANCE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo

**PONTA GROSSA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FABIANA TAIS KAMINSKI**

**FRENAGEM MAGNÉTICA: SEGURANÇA E MELHOR DESEMPENHO  
AUTOMOBILÍSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia  
Química apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21 de Junho de 2022

---

Matheus Pereira Postigo  
Doutor em Química Analítica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Wagner Eduardo Richter  
Doutor em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcos André Bechlin  
Doutor em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2022**

## RESUMO

O automobilismo é uma paixão mundial de mais de um século. No Brasil, conquistou milhares de fãs e apaixonados após a inauguração do Circuito da Gávea, composto por 12 km de inúmeras curvas muito fechadas, sendo que os carros já alcançavam 300 km/h em retas. A evolução da tecnologia permitiu a criação de veículos diversos e provas cada vez mais rápidas, sempre buscando aliar segurança e desempenho de maneira equilibrada. Contudo, os acidentes são uma realidade e por mais que elementos de segurança avançados existam, a vida do piloto está sempre em risco, como por exemplo o acidente que tirou a vida de Ayrton Senna em 1994. Curvas representam a região de maior perigo em um autódromo, pois a aceleração lateral a que o carro é submetido pode provocar um escape tangencial. Este, mesmo que não cause um acidente, ainda representa a perda de valiosos milissegundos ao piloto, pois uma vez derrapando, uma parte da energia do motor está sendo perdida nos pneus. Em uma curva, a soma das forças nos três planos atuam sobre o comportamento do carro e em casos de chuva, a situação é agravada pela falta de aderência causada pela água. Nas corridas automobilísticas, todo piloto mais experiente sabe que quaisquer erros cometidos nas curvas serão refletidos no tempo final da corrida. Este trabalho propõe a investigação de um método controlado de aumento de aderência em curvas a ser adicionado aos veículos, tanto como forma de melhorar sua segurança quanto para aumentar seu desempenho, reduzindo a necessidade de frear na entrada das curvas. Este será composto por um sistema de ímãs acoplados ao veículo e pelo revestimento asfáltico com características magnéticas.

**Palavras-chave:** Automobilismo. Aderência. Magnetismo. Asfalto. Frenagem.

## **ABSTRACT**

Motorsport has been a worldwide passion for over a century. In Brazil, it won thousands of fans and lovers after the inauguration of Gávea Circuit, comprising 12 km of innumerable very tight turns, and the cars reached 300 km/h in straights. The evolution of technology allowed the creation of different vehicles and increasingly faster tests, always seeking to combine safety and performance in a balanced way. However, accidents are a reality and even though advanced safety elements exist, the pilot's life is always at risk, such as the accident that took Ayrton Senna's life in 1994. Turns represent the region of greatest danger in a race track, as the lateral acceleration to which the car is subjected can cause a tangential escape. This, even if it doesn't cause an accident, still represents the loss of valuable milliseconds to the pilot, because once the car skids, a part of the engine's energy is being lost in the tires. In a turn, the sum of the forces in the three planes act on the car's behavior and in cases of rain, the situation is aggravated by the lack of grip caused by water. In auto racing, every more experienced driver knows that any mistakes made in turns will be reflected in the final time of the race. This work proposes the investigation of a controlled method of increasing grip on curves to be added to vehicles, both as a way to improve their safety as to increase their performance, reducing the need for braking when entering turns. This will consist of a magnets system coupled to the vehicle and an asphalt coating with magnetic characteristics.

Keywords: Motorsport. Grip. Magnetism. Asphalt. Braking.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Honda F1 1967, ainda sem asas.....	14
Figura 2 - Célula de sobrevivência .....	15
Figura 3 - Curva Tamburello atualmente.....	15
Figura 4 - Força atuante sobre um carro em uma curva sob um plano horizontal .....	16
Figura 5 - Traçado ideal de uma curva em uma corrida .....	17
Figura 6 - Curva sobrelevada no antigo Circuito de Monza, Itália .....	18
Figura 7 - Forças atuantes na curva sobrelevada .....	19
Figura 8 - Freio a disco .....	19
Figura 9 - Sistema de freio ABS .....	20
Figura 10 - Freio de Fórmula 1. ....	21
Figura 11- Comportamento de pólos magnéticos .....	24
Figura 12 - Representação de um eletroímã .....	24
Figura 13 - Estrutura da magnetita: sistema cristalino isomérico .....	25
Figura 14 - Cristais de magnetita na natureza .....	26
Figura 15 - Composições asfálticas contendo 0, 2.5, 5, 7.5 e 10% de piche, respectivamente .....	30
Figura 16 - Composições asfálticas de 6 a 10, respectivamente. ....	31
Figura 17 - Composições asfálticas de 11 a 15, respectivamente. ....	32
Figura 18 - Ângulos máximos de inclinação com as composições asfálticas de 11 a 14, respectivamente. ....	33
Figura 19 - Composição 15, com ângulo de inclinação de 90° .....	33
Figura 20 - Ímãs acoplados na parte inferior do carro de Fórmula 1.....	34
Figura 21 - Vista lateral do carro – ímãs com distância de cerca de 2 mm da base de rolagem .....	34
Figura 22 - Teste de inclinação da pista de asfalto comum. A partir de 50° o carro perde aderência ao asfalto de maneira significativa.....	35
Figura 23 - Teste de inclinação da pista magnética.....	35
Figura 24 - Pista magnética com ângulo de 90° .....	36
Figura 25 - Proposição de sistema de freio magnético empregando eletroímas. ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de atrito de rolamento .....	17
Tabela 2 - Tabela 2: Proporções testadas para determinar a quantidade de piche .....	29
Tabela 3 - Definição da quantidade ideal de piche sem pó de brita .....	31
Tabela 4 - Diferentes proporções de magnetita.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Anti-lock Braking System
g	Gramas
mm	Milímetro
N	Newtons
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná



## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_6H_{14}$	Hexano
$CS_2$	Bissulfeto de carbono
$FeCl_2$	Cloreto ferroso
$FeO$	Óxido de ferro (II)
$Fe_2O_3$	Óxido de ferro (III)
$Fe(OH)_2$	Hidróxido de ferro (II)
$Fe(OH)_3$	Hidróxido de ferro (III)
$Fe^{2+}$	Ferro (II)
$Fe^{3+}$	Ferro (III)
$Fe_3O_4$	Magnetita
$NH_4OH$	Hidróxido de amônio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Acidentes no automobilismo esportivo .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Física nas Curvas .....</b>	<b>16</b>
4.2.1	Curva em um Plano Horizontal.....	16
4.2.2	Curva Sobrelevada.....	18
<b>4.3</b>	<b>Frenagem .....</b>	<b>19</b>
4.3.1	Freio a Disco .....	19
4.3.2	Freio ABS .....	20
4.3.3	Freios em Carros de Fórmula 1 .....	20
<b>4.4</b>	<b>Pavimento .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5</b>	<b>Asfalto .....</b>	<b>21</b>
4.5.1	Materias Betuminosos .....	22
4.5.2	Materiais Pétreos.....	22
4.5.3	Concreto Asfáltico .....	22
<b>4.6</b>	<b>Magnetismo.....</b>	<b>23</b>
4.6.1	Imãs Permanentes .....	23
4.6.2	Eletroímãs .....	24
<b>4.7</b>	<b>Magnetita.....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Preparo dos materiais.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Piche.....</b>	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Magnetita.....</b>	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Preparo das pistas de pequena escala.....</b>	<b>28</b>
<b>5.5</b>	<b>Preparo do asfalto .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Recriação do asfalto comum e definição da quantidade de piche ..</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Utilização da magnetita em asfalto comum .....</b>	<b>32</b>

<b>6.3</b>	<b>Testes utilizando asfalto comum e magnético .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 1950 dava-se início às corridas de Fórmula 1, e com esse início, começava também uma era de paixão, habilidade, dedicação, tecnologia, mas também, de muita coragem. Os riscos que hoje ainda existem em 2022, mesmo após contínuas melhorias visando a segurança dos pilotos, na década de 50 eram maiores ainda.

Segundo o jornal esportivo americano, F1 Insider, as análises de acidentes aumentaram a segurança nas pistas de corrida: em 1970, Jochen Rindt sofreu um acidente fatal devido ao não uso do cinto de segurança, que na época não era obrigatório, e dois anos depois o mesmo foi inserido como obrigatoriedade. Em 1994, Ayrton Senna morreu em um acidente envolvendo a colisão entre seu carro e uma parede de concreto. Ainda durante a temporada, as pistas foram desativadas para a instalação de chicanes, caixas de brita e desvios artificiais a fim de diminuir a velocidade de passagem.

Em julho de 2018 a Revista Super Interessante realizou uma matéria sobre quais são os trechos mais perigosos da Fórmula 1, e os cinco locais apresentados tem algo em comum: são curvas. Nas curvas de alta velocidade, entra em ação a força G tangencial, ou seja, a aceleração lateral a que o carro é submetido pode provocar um escape, que pode alterar perigosamente a direção da velocidade do corpo, causando acidentes ou em casos menos graves, fazendo com que o piloto perca valiosos milissegundos.

A criação de um sistema que aumente a aderência do veículo em curvas, portanto, é altamente desejável para melhor segurança e maior desempenho, permitindo menos frenagens em curvas e evitando derrapagens laterais. Finalmente, destaca-se que mesmo inicialmente voltado ao automobilismo esportivo, este sistema pode ser futuramente estendido a veículos de passeio, como inúmeras tecnologias anteriormente o fizeram.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Apresentar um método controlado de aumento de aderência em curvas a ser adicionado em veículos, tanto como forma de melhorar a sua segurança, quanto para aumentar o seu desempenho automobilístico por meio da frenagem magnética.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar a utilização da magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) na composição asfáltica;
- Caracterizar em escalabancada um asfalto com propriedades magnéticas;
- Verificar a funcionalidade e aplicação do asfalto magnético por meio de testes utilizando modelos de escala reduzida;
- Propor um sistema de frenagem magnética.

### **3 JUSTIFICATIVA**

A evolução da tecnologia do meio automobilístico, no último século, permitiu a criação de veículos de prova cada vez mais velozes e tecnológicos. Contudo, os acidentes, por vezes até fatais, ainda são uma realidade e por mais que elementos de segurança avançados sejam constantemente desenvolvidos, as corridas sempre apresentam um risco para o piloto.

A criação de um método seguro de frenagem e aderência em curvas perigosas, além de proporcionar uma maior segurança, pode oferecer também melhores tempos de corrida.

Além disso, a utilização de métodos de inovação e tecnologia automobilística é extremamente importante no contexto atual, visto que muitas inovações tecnológicas começaram nos autódromos e evoluíram também para as ruas.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Acidentes no automobilismo esportivo

Entre os anos 60 e 70, acidentes – muitas vezes fatais – eram muito comuns nas corridas automobilísticas, e então, os próprios pilotos enxergaram a necessidade de pedir por mais segurança, tanto para eles, quanto para espectadores e equipes de apoio. Hoje, a partir da evolução da tecnologia podemos enxergar os traços que essas tragédias deixaram nas pistas: a segurança.

Segundo a Rádio Poliesportiva (2020), no ano de 1970, em Monza, na Itália, o piloto Jochen Rindt sofreu um acidente fatal pois pilotava um carro sem asas (Figura 1) com o intuito de ganhar mais velocidade nas retas, e ainda, fazia uso de um cinto de segurança adaptado, que o estrangulou no impacto. Como resultado deste acidente, as asas passaram a ser componentes obrigatórios dos carros, e os cintos de segurança não poderiam mais sofrer alterações.

**Figura 1 - Honda F1 1967, ainda sem asas**



**Fonte: AUTORACING, 2010.**

Em 1977, na África do Sul, dois fiscais atravessaram a pista para socorrer o piloto que havia sofrido um acidente, e um dos fiscais, Jansen Van Vuuren, foi atingido pelo carro do piloto Tom Pryce que estava a 280 km/h, os dois morrendo na hora. Devido ao acidente, as regras para fiscais de prova foram atualizadas e os mesmos ficaram proibidos de cruzar as pistas (RÁDIO POLIESOPORTIVA, 2020).

Também de acordo com a Rádio Poliesportiva (2020), em 1980 o piloto Gilles Villeneuve foi arremessado para fora do carro após uma sequência de capotamentos, provocando a sua morte. Posteriormente, a chamada célula de sobrevivência (Figura 2) foi criada, mantendo o piloto dentro de um cockpit seguro.

**Figura 2 - Célula de sobrevivência**



Fonte: GLOBOESPORTE, 2020.

A história da Fórmula 1 pode dividir-se em duas etapas: antes e após 1994. Isso porque em 1º de maio de 1994 o esporte perdia um de seus maiores nomes: Ayrton Senna. O piloto teve problemas com o carro e com a pista durante o Grande Prêmio de San Marino, no circuito de Imola. Seu carro era muito instável e teve um problema na barra de direção durante o circuito, que contava com muitas ondulações e recapeamentos, e então, em uma curva, sem área de escape e sem barreiras o piloto perdeu o controle e chocou-se diretamente com um muro em alta velocidade, falecendo em virtude de um ferimento craniano grave (RÁDIO POLIESOPORTIVA, 2020).

A Figura 3 mostra a Curva Tamburello, local onde foi o acidente de Ayrton Senna.

**Figura 3 - Curva Tamburello atualmente.**



Fonte: Side Special Store.

Após a morte de Senna e outros pilotos da categoria, a segurança foi reforçada nos anos seguintes. Áreas de escape grandes e pavimentadas foram introduzidas e barreiras de pneus foram inseridas para melhor proteção dos pilotos. Encostos do lado do cockpit surgiram para proteger a cabeça do piloto. No volante,



luzes amarelas, vermelhas, azuis e a informação Safety Car auxiliam e mantêm a comunicação entre competidor e equipe de apoio, para que a velocidade seja reduzida conforme a instrução e acidentes sejam evitados (MOTOR SPORT, 2015).

É notório que ao longo da história a tecnologia e pesquisas que são utilizadas nas pistas de corridas, podem facilmente evoluir também para carros comuns, principalmente tratando-se de segurança. Por isso, a importância de inovações que possam trazer esta seguridade tanto para os circuitos, quanto para as ruas.

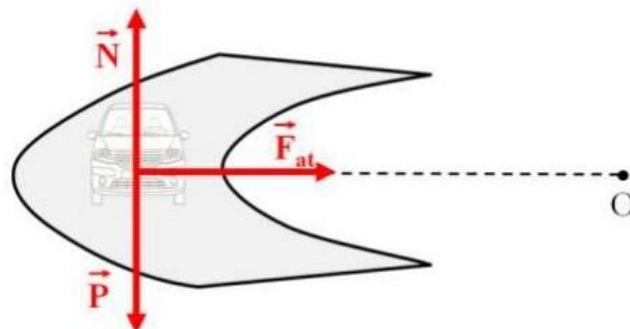
## 4.2 Física nas Curvas

As curvas estão presentes nos autódromos do mundo inteiro e são consideradas como sendo os trechos mais difíceis das corridas. Algumas delas são consideradas como as mais difíceis do mundo e alguns dos motivos são: baixa aderência do carro ao solo, curvas extensas que promovem uma pressão muito grande ao piloto ou até mesmo a mudança de direção (SUPER INTERESSANTE, 2018).

### 4.2.1 Curva em um Plano Horizontal

Em um plano horizontal, temos algumas forças atuantes sobre o carro: força normal, força peso e a força de atrito, como mostra a Figura 4.

**Figura 4 - Força atuante sobre um carro em uma curva sob um plano horizontal**



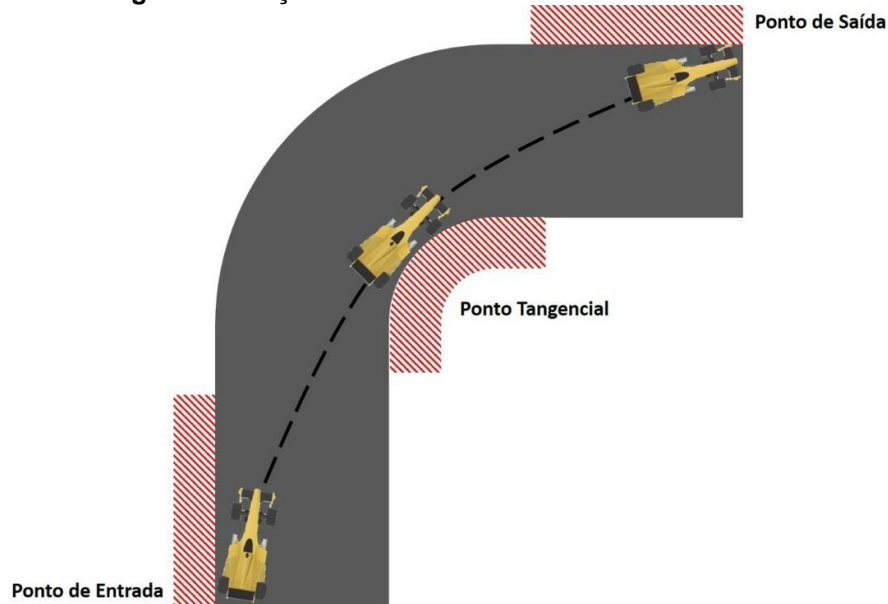
Fonte: CHAGAS, 2014.

Segundo Chagas, existem dois parâmetros que podemos utilizar para determinar a velocidade máxima de um carro sobre uma pista com uma curva em um plano horizontal: geometria da pista, analisando o raio de curvatura da mesma e o coeficiente de atrito entre os pneus e o solo.

O raio da curva é uma medida diretamente proporcional à velocidade do carro, ou seja, quanto maior o raio, o carro poderá atingir uma velocidade maior, isso explica o primeiro parâmetro. Os pilotos comumente procuram tangenciar a entrada

e saída da curva pelo lado externo da pista, e a parte central da mesma pelo lado interno, conforme mostra a Figura 5, pois eles utilizam a trajetória de maior raio possível, para que possam desenvolver maior velocidade e consigam evitar a derrapagem (CHAGAS, 2014).

**Figura 5 - Traçado ideal de uma curva em uma corrida**



**Fonte: Adaptado de CHAGAS, 2014.**

O coeficiente de atrito entre os pneus e o solo é o segundo parâmetro, e é influenciado por fatores externos, como o estado de conservação dos mesmos, temperatura e presença de água (CHAGAS, 2014).

O coeficiente de atrito depende diretamente da banda de rodagem, que pode variar de acordo com o composto utilizado e a situação da pista de corrida. Um pneu totalmente liso é utilizado em corridas de pista seca. Já em uma pista molhada, o desenho da banda de rodagem permite que a água escoe e o pneu tenha uma boa aderência com o piso (LEAL, L. C. M.; ROSA, E.; NICOLAZZI, L. C., 2012).

Segundo Grante: “O coeficiente de resistência de rolamento é a força que deve ser fornecida para manter o movimento de rotação da roda, e é proporcional à carga normal que age sobre a roda”.

Esta proporcionalidade pode ser calculada da Equação 1.

$$Q_r = fG \quad \text{Equação 1}$$

Em que,  $Q_r$  é a resistência ao rolamento (N),  $f$  é o coeficiente de atrito ao rolamento e  $G$  é a força normal da roda sobre o solo (N).

**Tabela 1 - Coeficientes de atrito de rolamento**

Tipo de piso	Valor de “ f ”
--------------	----------------

Asfalto liso	0,010
Asfalto rugoso	0,011
Cimento rugoso	0,014
Paralelepípedo	0,020
Pedras irregulares	0,032
Pedra britada compacta	0,045
Pedra britada solta	0,080
Terra batida	0,060
Areia solta	0,100 a 0,300
Gramma	0,045 a 0,100
Barro	0,100 a 0,400
Neve profunda	0,075 a 0,300

Fonte: Adaptado de Leal, L. C. M.; Rosa, E.; Nicolazzi, L. C., 2012.

A tabela 1 apresenta os coeficientes de atrito ( $f$ ) para os diferentes tipos de piso geralmente estudados.

#### 4.2.2 Curva Sobrelevada

Em partes específicas da pista, onde existe perigo de derrapagem lateral, curvas sobrelevadas são projetadas para maior segurança do piloto. Estas são similares as pistas de corrida de bicicleta e permitem que a curva seja realizada sem depender exclusivamente do atrito (CHAGAS, 2014).

A Figura 6 mostra uma curva sobrelevada no antigo Circuito de Monza, na Itália.

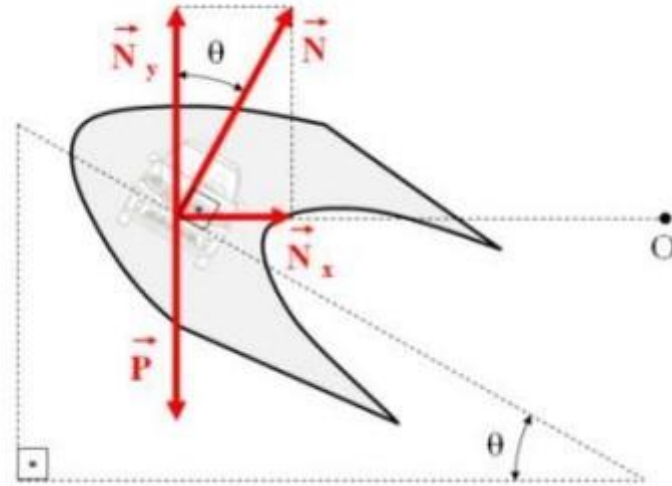
**Figura 6 - Curva sobrelevada no antigo Circuito de Monza, Itália**



Fonte: CHAGAS, 2014.

Na Figura 7 podemos observar as forças atuantes sobre o veículo na curva sobrelevada, sendo o ponto O o centro da trajetória.

**Figura 7 - Forças atuantes na curva sobrelevada**



Fonte: CHAGAS, 2014.

### 4.3 Frenagem

Segundo Santos (2014), os principais mecanismos de freios utilizados na indústria automotiva são os freios a disco, freios a tambor e o ABS. Já para carros de passeio e motocicletas de baixa cilindrada usa-se a combinação de freio a disco e freio a tambor, sendo o primeiro utilizado no eixo dianteiro, e o segundo utilizado no eixo traseiro.

#### 4.3.1 Freio a Disco

O freio a disco (Figura 8) possui dois sistemas de atuação: hidráulico, utilizado em veículos de passeio, ou pneumático, comumente utilizado em veículos pesados como ônibus e caminhões (INFANTININI, 2008).

Os freios a disco geralmente ficam localizados no eixo dianteiro, ou localizado em todos os eixos, aumentando consideravelmente a eficiência de frenagem (INFANTININI, 2008).

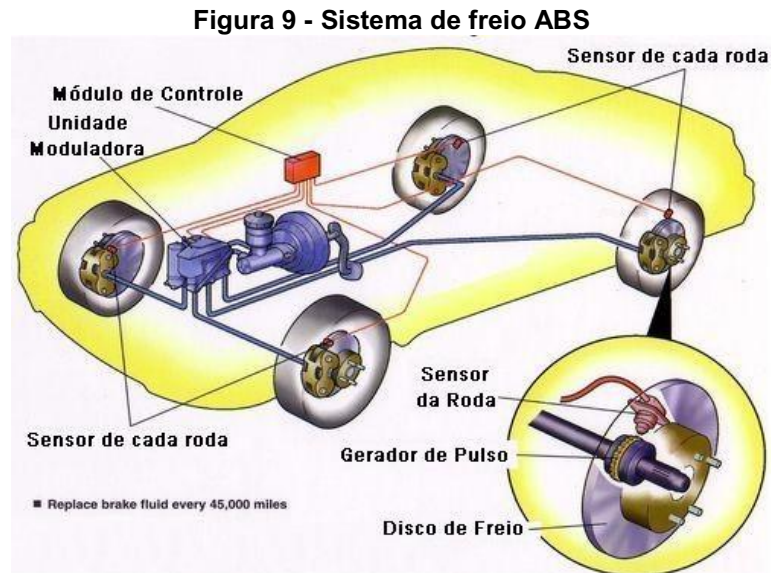
**Figura 8 - Freio a disco**



Fonte: Santos, 2014.

### 4.3.2 Freio ABS

Segundo Santos (2014), o freio ABS (Figura 9) originou-se na Fórmula 1, pois é eficiente para desvios de obstáculos, porém não é mais permitido. É um sistema que evita o bloqueio das rodas quando o pedal de freio é acionado, e altera o atrito, passando de estático, com máxima aderência, para cinético.



Fonte: CANAL DA PEÇA, 2019.

### 4.3.3 Freios em Carros de Fórmula 1

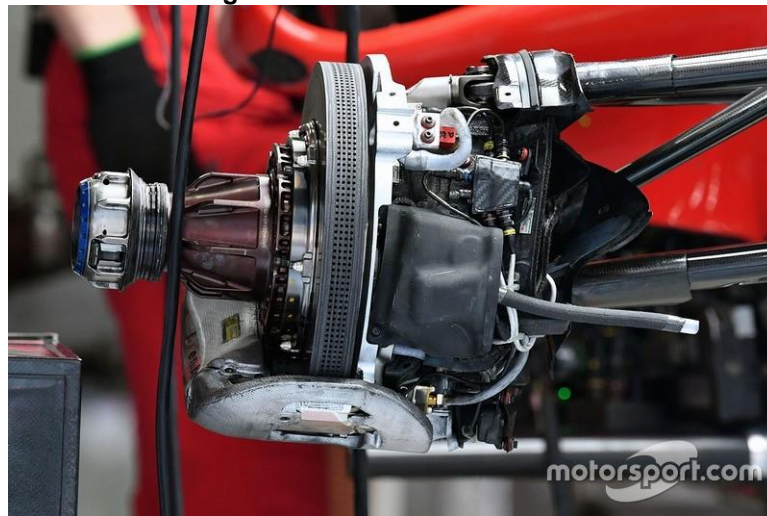
Os freios de carros de Fórmula 1, possuem um sistema que opera por meio de um único pedal e possui alimentação para dois sistemas hidráulicos, um para as rodas dianteiras (que possuem 60% da capacidade de frenagem por ficar com o maior peso na desaceleração) e outro para as rodas traseiras (CANAL DA PEÇA, 2019).

Segundo Canal da Peça, os freios são do tipo a disco, composto de fibra de carbono - que possui menor peso e operam em temperaturas mais elevadas do que os discos de aço, com discos rotativos entre duas pastilhas de freio pela ação de uma pinça hidráulica. A quantidade de frenagem pode ser controlada do cockpit, permitindo que o piloto consiga estabilizar o veículo.

Dentre suas características exigidas por norma, o disco de freio deve ter medidas máximas de 278 mm de diâmetro e 32 mm de espessura. Cada disco pode conter no máximo 1 pinça de freio, 6 pistões atuantes e 2 pastilhas de freio e o seu peso é, em média, 1,5 kg (CANAL DA PEÇA, 2019).

A Figura 10, apresenta um sistema de freios de carro de Fórmula 1.

**Figura 10 - Freio de Fórmula 1.**



**Fonte: MOTOR SPORT.**

Qualquer que seja o sistema de freios em um dado veículo, ele sempre irá apresentar uma limitação: sua capacidade de desacelerar o veículo apenas no sentido do movimento intencional. Até o momento, não há relatos de um sistema de freio que atue lateralmente sobre um veículo, evitando assim o escape em uma curva quando a força de atrito natural não é suficiente.

Tal sistema, em adição aos freios convencionais, aumentaria não apenas a segurança e dirigibilidade de qualquer veículo, mas também poderia proporcionar significativo aumento no desempenho do automobilismo de competição, permitindo maiores velocidades em curvas, menor desgaste dos freios, menos trocas de marchas e conseqüentemente um maior aproveitamento do combustível.

#### **4.4 Pavimento**

Pavimento é uma estrutura formada por múltiplas camadas capazes de suportar a ação danosa do tráfego e do meio ambiente. O desempenho de um pavimento é condicionado por um completo conjunto de fatores, dentre eles as propriedades físicas e mecânicas das camadas que o constitui (SPECHT, 2004, p. 26).

O pavimento é construído após terraplanagem e destinado, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a: a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (NBR-7202/82, 1992).

#### **4.5 Asfalto**

#### 4.5.1 Materias Betuminosos

Os materiais betuminosos são divididos em dois grandes grupos: asfaltos e alcatrões e por definição são misturas de hidrocarbonetos solúveis em bissulfeto de carbono ( $CS_2$ ) com propriedades de aglutinação. O asfalto é utilizado há cerca de 3.500 anos a.C. como material de construção e embalsamento. Ele pode ser encontrado de duas formas: asfalto natural (AN) ou asfalto de petróleo (AP) (SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO,. I., 2015, p. xv).

De acordo com SALOMÃO et al. (2015), as principais diferenças entre os tipos de asfalto são:

- Asfalto natural (AN): arenitos, xistos e calcários asfálticos são exemplos de asfaltos que ocorrem de maneira natural por consequência do surgimento do petróleo na superfície da terra. Devido as ações naturais o material torna-se muito duro , forma grandes jazidas ou aparece sob forma de rochas.
- Asfalto de petróleo (AP): obtido por operações unitárias industriais, por meio de destilação em torres de fracionamento com arraste de vapor. Tem como resíduo no fundo da torre o cimento asfáltico de petróleo (CAP).

Os materiais como carvão, linhito e xisto são classificados como alcatrões e não ocorrem na natureza, mas sim por meio da destilação de matéria orgânica na ausência de ar (SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO,. I., 2015, p. xv).

#### 4.5.2 Materiais Pétreos

Os materiais pétreos usados em pavimentação também são conhecidos como agregados. Podem ser encontrados na natureza como o pedregulho, ou por meio de transformações químicas e físicas, como a escória e argila expandida. O agregado é ainda dividido em 3 classes: de acordo com a sua natureza, quanto ao seu tamanho e quando a sua graduação (SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO,. I., 2015, p. 116).

A escolha do agregado ideal depende muito de quais características o pavimento necessita e quais cargas ele deve suportar. Alguns pontos devem ser levados em conta, como: granulometria, forma, absorção/drenagem de água, resistência ao choque e desgaste, durabilidade, adesividade, etc (SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO,. I., 2015).

#### 4.5.3 Concreto Asfáltico

Uma mistura do tipo concreto asfáltico geralmente têm na sua constituição o agregado miúdo, material de enchimento e o cimento asfáltico. O agregado, como já

apresentado anteriormente, suporta e transmite as cargas aplicadas na superfície do pavimento, o cimento asfáltico é o elemento que faz a união das partículas do agregado e mantém as mesmas em sua posição adequada (SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO, . I., 2015, p. 139).

Segundo SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO, . I., (2015), o concreto asfáltico é utilizado na construção de pavimentos flexíveis com diversas finalidades, com camadas específicas: camada de revestimento, camada de ligação, camada de nivelamento e camada de base. Essa divisão se dá para que se possa empregar misturas mais econômicas, variando ora o agregado, ora a quantidade de finos.

#### **4.6 Magnetismo**

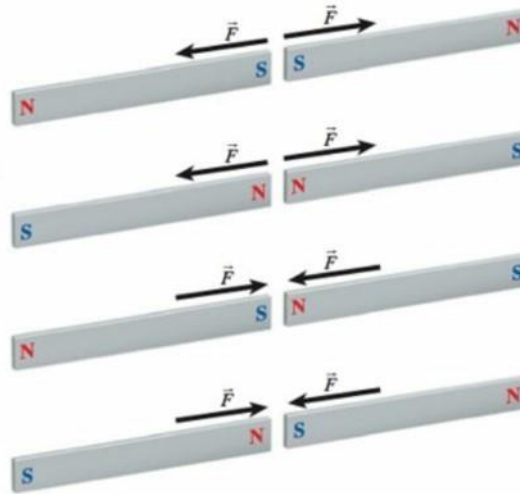
Evidências encontradas em documentos chineses sugerem que o magnetismo foi observado em 2000 a.C. Os gregos antigos observaram fenômenos elétricos e magnéticos possivelmente por volta de 700 a.C (elétrico vem de *elektron*, palavra grega para “âmbar”; magnético vem de Magnésia, o nome da região da Grécia onde a magnetita foi descoberta). Eles conheciam as forças magnéticas graças a observações que indicavam que a magnetita ( $Fe_3O_4$ ), minério que ocorre de modo natural, é atraída pelo ferro (SERWAY, Raymond. A.; JR., John.W. J., 2017, p. 01).

##### **4.6.1 Imãs Permanentes**

Na Grécia Antiga, foram encontrados diversos tipos de minerais naturais em formas de óxido de ferro capazes de atração e repulsão, bem como de alinhamento aos pólos norte e sul da Terra. Esses são chamados de imãs permanentes. A extremidade do imã que aponta para o sul, é chamada norte magnético, e a que aponta para o norte é chamada de pólosul magnético (WOLFGANG, 2012, p. 189). A Figura 11 mostra o comportamento desses imãs entre si. Quando aproximamos pólo sul de pólo sul, ou pólo norte de pólo norte, os mesmos se repelem. Ao aproximarmos pólos diferentes, eles se atraem (WOLFGANG, 2012, p. 189).



**Figura 11- Comportamento de pólos magnéticos**



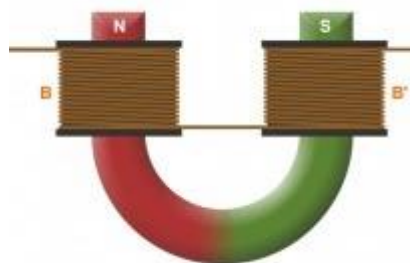
Fonte: WOLFGANG, 2012.

#### 4.6.2 Eletroímãs

Partindo do princípio que toda partícula, quando carregada e em movimento, gera um campo magnético próprio, os eletroímãs ou solenoides (bobinas condutoras) podem possuir de dezenas a milhares de espiras são utilizados em processos ou projetos maiores, como indústrias, pesquisas para produzir um campo magnético em grande volume (WOLFGANG, 2021, p. 273).

Um eletroímã (Figura 12) faz uso de corrente elétrica com o objetivo de gerar um campo magnético. A sua intensidade depende do número de voltas do fio espiralado em torno do material (necessariamente ferromagnético – núcleo de ferro, níquel, cobalto) e da intensidade da corrente elétrica. A grande diferença entre um imã permanente e um eletroímã é que neste conseguimos controlar a intensidade do campo gerado, podendo inclusive desligá-lo (HyperPhysics, 2021).

**Figura 12 - Representação de um eletroímã**



Fonte: HyperPhysics, 2021.

#### 4.7 Magnetita

O nome magnetita é explicado pela região na qual este mineral era encontrado, a Magnésia, na Grécia, e a definição de Magnésia é: “lugar das pedras

mágicas”. O motivo é simplesmente porque as rochas atraíam-se “magicamente”. A magnetita é o mineral mais magnético existente e por muitos anos foi utilizado para a construção de bússolas (HENRIQUES, 2012, p. 20).

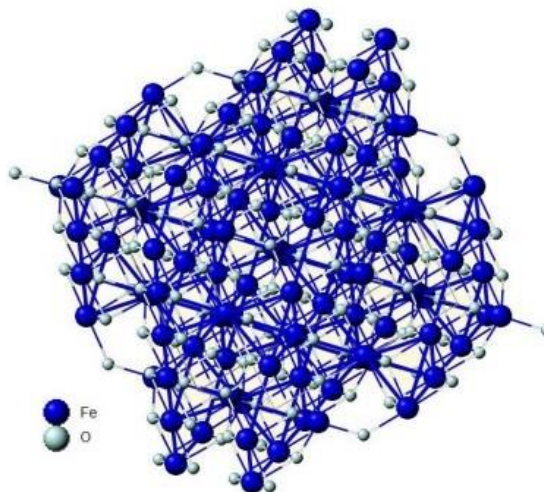
A sua fórmula química é ( $Fe_3O_4$ ), sendo formado pelos óxidos de ferro II e III em uma organização específica, levando a uma composição com aproximadamente 69% de  $Fe_2O_3$  e 31% de  $FeO$ . É o mineral mais valioso entre os minérios de ferro e é encontrada em pequenos grãos, em rochas ígneas e metamórficas (HENRIQUES, 2012, p. 20).

Algumas das características físicas, químicas e cristalográficas são: sistema cristalino isomérico na forma octaédrica, coloração preta, quebradiça e fortemente magnética, brilho metálico, classe dos óxidos e composição de ferro (72,40 %) e oxigênio (27,60 %) (HENRIQUES, 2012, p. 20).

Além disso, a magnetita pode ser utilizada com agente adsorvedor para remover íons metálicos da reação, realizando um processo simples de separação com ímãs, de fácil manuseio e sem a necessidade de equipamentos sofisticados. E ainda, é um processo sustentável pois esse mineral pode ser reutilizado (HOLLAND, 2014, p. 38).

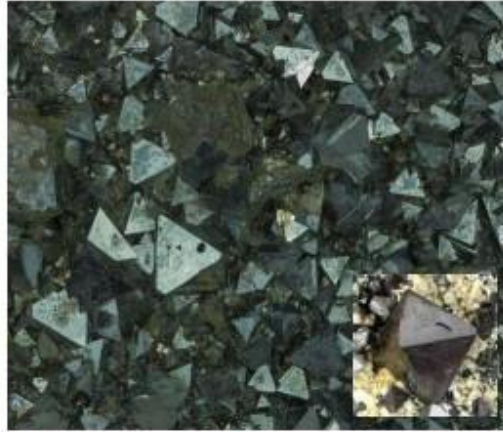
As Figuras 13 e 14 mostram a estrutura do mineral e como o mesmo é encontrado na natureza, respectivamente:

**Figura 13 - Estrutura da magnetita: sistema cristalino isomérico**



Fonte: HENRIQUES, 2012.

**Figura 14 - Cristais de magnetita na natureza**



**Fonte: HOLLAND, 2014.**

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos propostos foram realizados no Laboratório de Química Analítica (C003) do Câmpus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

### 5.1 Preparo dos materiais

Para realização dos ensaios foram utilizados brita (material coletado no Campus da UTFPR) pó de brita (material coletado no Campus da UTFPR), piche (doação de professores do curso) e magnetita produzida em laboratório.

Foi coletada uma amostra significativa de uma mistura heterogênea entre brita e pó de brita, esse material foi separado por peneiramento, processo de análise granulométrica. Para a brita, foi utilizada uma peneira com abertura de 2 mm e para o pó, uma com abertura 0,1 mm.

### 5.2 Piche

O piche, por ser um derivado de petróleo de alta viscosidade, sólido ou semissólido à temperatura ambiente, foi aquecido em estufa (320-SE Circulação Mecânica), a temperatura de 100°C, por 25 minutos, para que pudesse ser facilmente manuseado duante a realização dos ensaios. Segundo a norma NBR 13923 a temperatura de amolecimento do piche varia entre 90 e 125°C.

### 5.3 Magnetita

A magnetita foi sintetizada a partir da corrosão do ferro metálico (palha de aço) em excesso e ácido clorídrico puro por 3 horas para produzir o cloreto ferroso ( $\text{FeCl}_2$ ) evitando assim a acidificação excessiva do produto. Parte da solução de  $\text{Fe}^{2+}$  foi submetida a oxidação posterior com peróxido de hidrogênio sob agitação e aquecimento por 6 horas seguida de 12 horas de descanso para eliminação do excesso de peróxido.

As soluções de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  foram misturadas na proporção volumétrica 1:2 a fim de gerar uma solução resultante com concentração de  $\text{Fe}^{3+}$  cerca do dobro da concentração de  $\text{Fe}^{2+}$ . Com a adição de uma base, precipitam-se o  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  que sofrem desidratação espontânea pra formar e a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Utilizou-se para a precipitação o hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) em leve excesso, para garantir tanto que o meio permaneça alcalino, já que a magnetita se decompõe em meio ácido, quanto para que seja possível evaporar a base e secar o precipitado.

A secagem foi feita em estufa a 65 °C para evitar interação da magnetita com o ar e sua oxidação a hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

#### 5.4 Preparo das pistas de pequena escala

Para a preparação do corpo de prova, ou seja, a pista em escala bancada utilizada nos experimentos foi utilizada uma base de madeira com bordas impressas em 3D, resultando em uma camada de asfalto de 12 cm x 6 cm com 0,35 cm de espessura, para que fosse possível realizar a maior quantidade de testes possível com menor custo material. Ao final dos testes, já com a composição definida, construiu-se pistas de tamanho 48 x 18 cm com 0,35 cm de espessura para a apresentação dos resultados finais.

#### 5.5 Preparo do asfalto

Para pesagem dos materiais utilizados, foi utilizada uma balança analítica com precisão de 0,1 mg para a pesar a brita, o pó de brita e a magnetita. Para a pesagem do piche, utilizou-se uma balança digital (SF-400) com precisão de 1 g. Após pesagem, os materiais foram armazenados em recipientes de alumínio. Em seguida, misturou-se a brita e o pó de brita com o auxílio de um bastão de vidro e, posteriormente o piche foi adicionado à mistura. Também com o auxílio do bastão de vidro, os materiais foram misturados e depositados na pista de madeira.

Para encontrar a massa total de asfalto a ser produzido, utilizamos as medidas da pista de madeira (12cm x 6cm x 0,35cm) para calcular seu volume, a partir da equação 2:

$$V = c \times h \times l \quad \text{Equação 2}$$

$$V = 28,8 \text{ cm}^3$$

Encontrou-se a densidade dos materiais utilizados da mistura, sendo: brita (1,4 g/cm<sup>3</sup>) e piche (1,18 g/cm<sup>3</sup>), e então, encontramos a massa utilizando a Equação 3:

$$m = V \times d \quad \text{Equação 3}$$

$$m = 63g$$

O preparo dos materiais foi realizado em diferentes etapas, com massa total de 60g, retirando 3g do cálculo original para facilitar os próximos valores. Na primeira etapa, utilizou-se apenas a brita, o pó de brita e o piche, com o objetivo de fazer uma releitura do asfalto comum, e determinar a quantidade de piche ideal utilizado na mistura. Na Tabela 2, temos as quantidades utilizadas na mistura:

**Tabela 2 - Tabela 2: Proporções testadas para determinar a quantidade de piche**

<b>Amostra</b>	<b>Piche (%)</b>	<b>Brita (%)</b>	<b>Pó de brita</b>
<b>01</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>20</b>
<b>02</b>	<b>2,5</b>	<b>80</b>	<b>17,5</b>
<b>03</b>	<b>5</b>	<b>80</b>	<b>15</b>
<b>04</b>	<b>7,5</b>	<b>80</b>	<b>12,5</b>
<b>05</b>	<b>10</b>	<b>80</b>	<b>10</b>

**Fonte: Autoria própria (2022).**

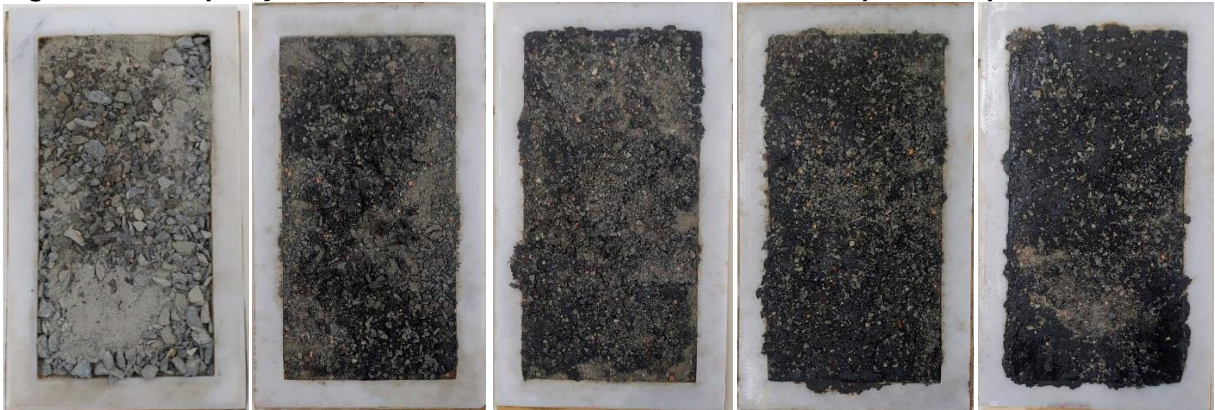
O material foi então espalhado na superfície da pista em escala de bancada com o auxílio de um rolo compactador liso de madeira, com a finalidade de compactar os materiais para aumentar sua durabilidade, impedir a penetração de água ou corpos estranhos e fazer com que, por meio da fricção e compressão a mistura se tornasse mais homogênea, para evitar áreas nas quais todos os materiais não estejam em contato uns com os outros.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Recriação do asfalto comum e definição da quantidade de piche

Segundo Sá (2018), a quantidade ideal em uma mistura testada em laboratório é de 62% de brita, 33% de pó de pedra e 5% de ligante asfáltico. Deste modo foram testadas cinco porcentagens diferentes com o intuito de otimizar as condições e comparar os valores encontrados, com este valor de referência. Na Figura 15, apresenta-se os valores utilizados para encontrar a mistura ideal.

**Figura 15 - Composições asfálticas contendo 0, 2.5, 5, 7.5 e 10% de piche, respectivamente**



Fonte: Autoria própria (2022).

Segundo Sá (2018), o desempenho das misturas asfálticas a quente é significativamente influenciado por propriedades da combinação dos agregados. Dentre as propriedades, as que mais influenciam são a forma (angularidade), textura (rugosidade) e a granulometria. Essas características serão levadas em conta nas discussões de resultados.

Na primeira etapa, as composições asfálticas encontradas não foram satisfatórias. O pó de brita fez com que a mistura ficasse com aspecto quebradiço, dificultando o preparo, além disso, o composto perdeu a aderência com a pista de madeira e ainda, apresentou uma textura diferente do esperado para uma mistura asfáltica, deixando-o com partes de material sem misturar adequadamente. Por este motivo, foi retirado e as etapas seguintes foram realizadas utilizando apenas piche e brita.

Na segunda etapa, o asfalto foi confeccionado utilizando brita e piche com a adição de de uma mistura de 50% de querosene (Guanabara) e 50% hexano ( $C_6H_{14}$ ) a fim de facilitar a mistura. Primeiro, pesou-se a brita, em seguida foi feita a adição da mistura entre querosene e hexano, e, por último a adição do piche aquecido a 100 °C. A adição do querosene com hexano se deu devido à viscosidade do piche ser muito

alta e da necessidade do mesmo ser manuseado rapidamente assim que retirado da estufa, ou seja, o eles atuam como um auxiliares do manuseio do piche.

Em uma mistura asfáltica real, não se faz necessária a utilização de facilitadores de mistura, visto que esse processo ocorre de maneira controlada mecanicamente, com equipamentos projetados para essa finalidade.

A quantidade adicionada de querosene e hexano não foram consideradas nas porcentagens de materiais presentes no protocolo, pois assim que a mistura asfáltica ficou pronta, a mesma foi submetida a diversos ciclos de aquecimento na estufa a uma temperatura de 60 °C, com o objetivo de evaporar esses materiais. Como consequência, a mistura asfáltica leva por volta de 3 dias até estar completamente seca e aderida à pista, pronta para ser testada.

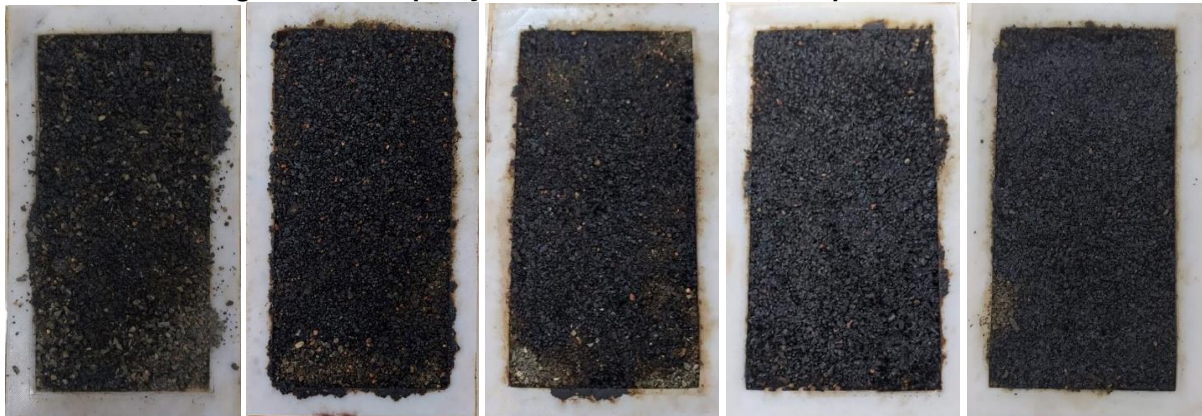
Nesta etapa o objetivo foi novamente a definição da quantidade ideal de piche a ser utilizada na mistura. Deste modo a quantidade dos materiais variou em cada amostra, como apresentado na Tabela 3 e na Figura 16.

**Tabela 3 - Definição da quantidade ideal de piche sem pó de brita**

<b>Amostra</b>	<b>Piche (%)</b>	<b>Brita (%)</b>
<b>06</b>	<b>3</b>	<b>97</b>
<b>07</b>	<b>6</b>	<b>94</b>
<b>08</b>	<b>9</b>	<b>91</b>
<b>09</b>	<b>12</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>15</b>	<b>85</b>

Fonte: Autoria própria (2022).

**Figura 16 - Composições asfálticas de 6 a 10, respectivamente.**



Fonte: Autoria própria (2022).

A amostra que apresentou os melhores resultados, levando em conta o aspecto visual, maior facilidade de mistura, textura, e ainda, nível de aderência com a pista, foi a mistura utilizando 6% de piche e 94% de brita.



## 6.2 Utilização da magnetita em asfalto comum

A partir dos resultados encontrados etapa anterior, utilizamos a quantidade de 6% de piche para quantificar a quantidade ideal de magnetita, fixou-se a quantidade de piche e variou-se a quantidade de brita. Assim como nos experimentos anteriores, nesta etapa também foi utilizado querosene e hexano como facilitadores da mistura. As quantidades de material utilizadas nessa etapa, encontram-se listados na Tabela 4.

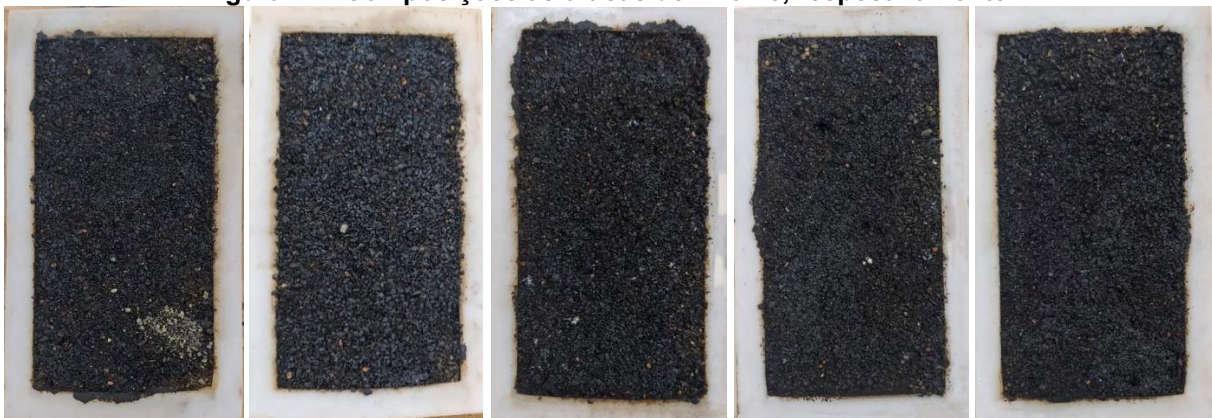
**Tabela 4 - Diferentes proporções de magnetita**

Amostra	Piche (%)	Brita (%)	Magnetita (%)
11	6	89	5
12	6	84	10
13	6	79	15
14	6	74	20
15	6	69	25

Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 17 apresenta as composições realizadas na etapa 03.

**Figura 17 - Composições asfálticas de 11 a 15, respectivamente.**



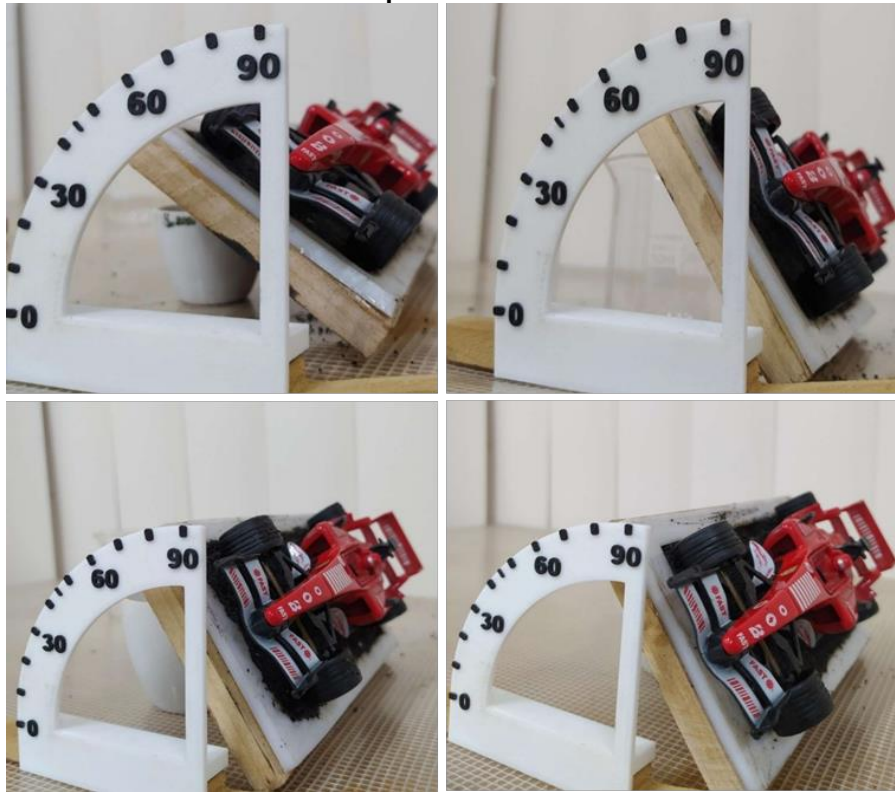
Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com uma análise dinâmica realizada em um carro sob uma curva, o carro sofre um escape lateral quando a força centrífuga vence o atrito. Como esse estudo está sendo realizado estaticamente, se o carro permanece fixo com a pista a 90°, estima-se que ele não escaparia pela tangente em uma situação real. Por isso, utilizamos o valor de 90° como uma referência/objetivo para os nossos testes com asfalto magnético.

As amostras de asfalto magnético foram testadas utilizando uma miniatura de carro de Fórmula 1 e o ângulo máximo encontrado em cada uma das pistas foi registrado.

A Figuras 18 e 19 mostram os testes de pequena escala com um carro contendo ímãs no assoalho. As pistas foram inclinadas até o deslizamento lateral do carro e o ângulo limite registrado.

**Figura 18 - Ângulos máximos de inclinação com as composições asfálticas de 11 a 14, respectivamente.**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Figura 19 - Composição 15, com ângulo de inclinação de 90°**



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos testes realizados utilizando magnetita, definiu-se a amostra com 25% de magnetita como sendo a melhor amostra, com melhor aderência na pista de madeira, aspecto visual, textura, e ainda, a que apresentou um maior ângulo quando colocada em contato com o carro de Fórmula 1 com ímãs acoplados.

### 6.3 Testes utilizando asfalto comum e magnético

A última bateria de testes envolveu as pistas maiores, uma contendo asfalto comum e outra o magnético. Os testes foram realizados da mesma maneira: um carro de Fórmula 1, com escala de (1:24) e com ímãs de neodímio acoplados na parte inferior (Figuras 20 e 21), foi colocado sobre a pista e submetido a diferentes angulações. O objetivo foi verificar a diferença de angulação que os dois modelos de asfalto podem suportar com o carro fixado, e ainda, chegar ao ângulo de 90° com a pista magnética.

Ímãs foram acoplados na parte inferior do carro de Fórmula 1, no total foram acoplados 10 ímãs grandes e 2 ímãs pequenos. O ímã maior possui massa de 1,7 g, dimensões de 14x1,5 mm e campo magnético à distância de 2 mm de 1040 Gauss. O ímã menor possui massa de 1,3 g, dimensões de 12x1,5 mm e campo magnético à distância de 2 mm de 1135 Gauss. O carro em miniatura pesa 167 g, e com o acoplamento de ímãs, ocorre um aumento de 12,7% na massa do veículo.

**Figura 20 - Ímãs acoplados na parte inferior do carro de Fórmula 1**



Fonte: Autoria própria (2022).

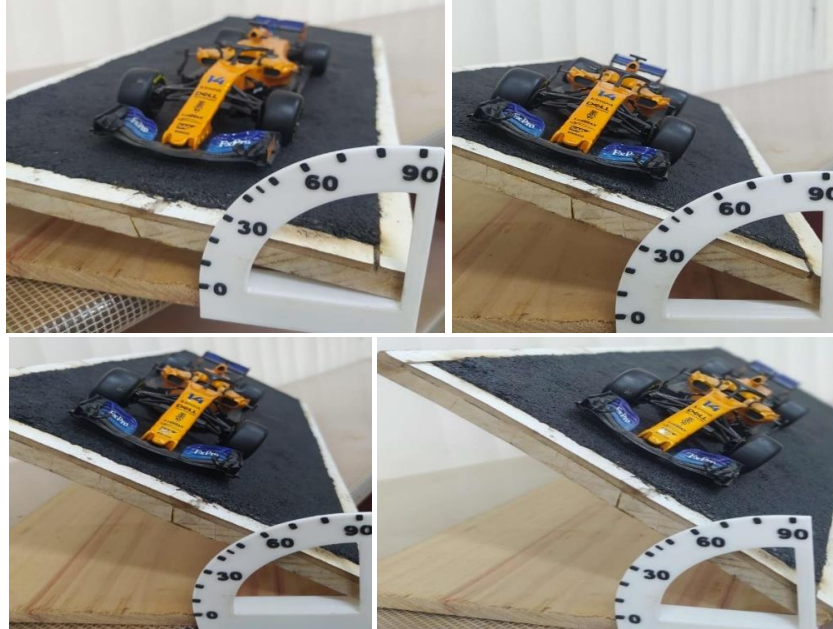
**Figura 21 - Vista lateral do carro – ímãs com distância de cerca de 2 mm da base de rolagem**



Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 22 mostra o teste de inclinação com a pista de asfalto comum até o deslizamento lateral do carro.

**Figura 22 - Teste de inclinação da pista de asfalto comum. A partir de 50° o carro perde aderência ao asfalto de maneira significativa.**



Fonte: Autoria própria (2022).

O ângulo máximo de inclinação suportado pelo carro no asfalto comum foi de 50°. Com inclinações maiores houve derrapagem lateral imediata.

Já na pista magnética, os ângulos suportados pelo veículo foram consideravelmente maiores, como mostram as Figuras 23 e 24.

**Figura 23 - Teste de inclinação da pista magnética.**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Figura 24 - Pista magnética com ângulo de 90°**

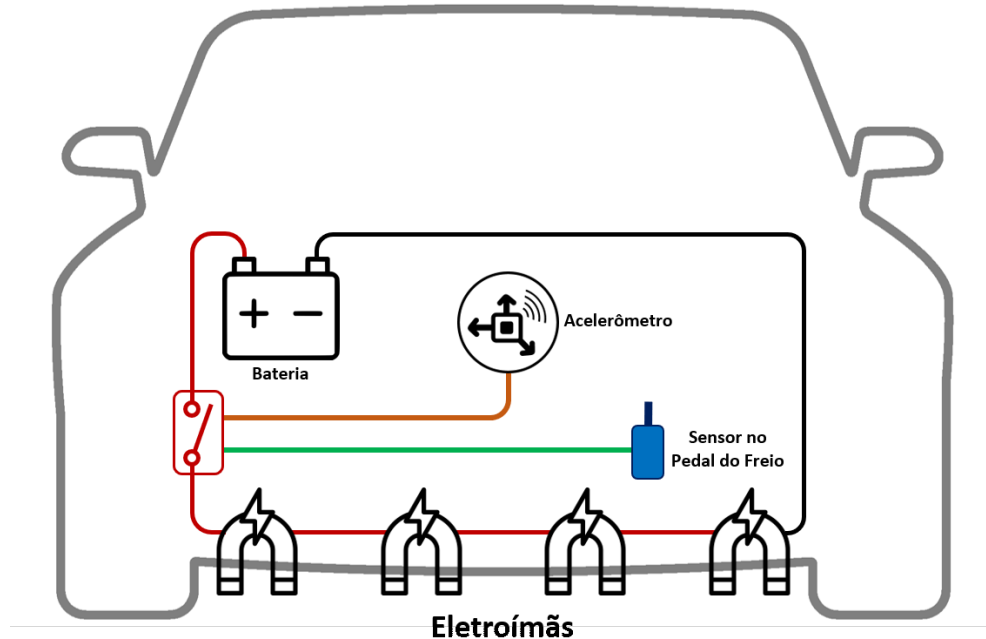


**Fonte: Aatoria própria (2022).**

Conforme descrito, o asfalto magnético tem o poder de manter um carro dotado de ímãs em condições extremas de aderência ao piso, apresentando grande potencial como agente de segurança em estradas e pistas.

A partir dos resultados obtidos com a composição do asfalto magnético, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema de freio magnético compatíveis a ser instalado em carros no futuro. Os testes desenvolvidos foram realizados com ímãs de neodímio, permanentes e com campo magnético considerável pelo seu tamanho. Porém, em uma situação de pilotagem ou mesmo acidente, estes ímãs podem ser perigosos: possuem alta massa, atração forte por metais ferromagnéticos e alta tendência a fragmentação com impacto. Por outro lado, eletroímãs podem ser desligados e projetados com diferentes formas e configurações de campo magnético. A Figura 25 propõe um sistema de freio magnético.

Figura 25 - Proposição de sistema de freio magnético empregando eletroímãs.



Fonte: Autoria própria (2022).

Este sistema pode ser acionado tanto através do pedal do freio, em conjunto com o freio hidráulico quanto automaticamente através de um acelerômetro. Neste caso, o sinal elétrico do acelerômetro controlaria a força magnética dos eletroímãs, proporcionando um aumento de atração do carro à pista proporcional à força lateral em uma curva.

Finalmente, destaca-se a característica retrocompatível do asfalto magnético. Uma vez que a magnetita substitui parte da brita usada, acredita-se que haveria poucas alterações na textura e resistência do asfalto e que podem ser facilmente contornadas a fim de permitir que veículos sem a tecnologia de freio magnético possam rodar livremente na mesma pista em que os dotados deste sistema.

## 7 CONCLUSÃO

A segurança automobilística é algo que sempre fomenta novas ideias e tecnologias. A frenagem lateral é um conceito novo, porém de grande potencial para desenvolvimento de itens adicionais de segurança.

O asfalto magnético apresentou capacidade promissora para ser empregado em circuitos de velocidade, como Fórmula 1, Stock Car, ou estradas de rodagem, para carros de passeio e caminhões, visto que sua composição simples pode ser facilmente adaptada a equipamentos de produção de asfalto já existentes.

Testes mais profundos e extensivos devem ser conduzidos com este material até sua plena aplicação, uma vez que os aqui realizados tratam-se apenas de um estudo preliminar como prova de conceito. As dificuldades no manuseio do piche e construção das pistas também foi um fator determinante para a limitação dos testes aqui apresentados. Além disso, somente testes estáticos foram conduzidos, devendo o asfalto magnético ser estudado também em condições de movimento.

Finalmente, destaca-se o grande potencial do asfalto magnético como item de segurança. Ao mesmo tempo em que é retrocompatível, foi capaz de manter um carro em miniatura aderido ao asfalto em condições extremas de força lateral aplicada, levando inclusive à proposição de um sistema de freios totalmente inovador.

## REFERÊNCIAS

BAGUINSKI, Francisco. **Glossário – Eletroímã**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/amlef/glossario/eletroima-2/>. Acesso em 08 dez. 2021.

BAUER, Wolfgang.; WESTFALL, Gary. D.; DIAS, Helio. *Física para Universitários*. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2012. 9788580551266. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551266/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

CHAGAS, Caio César Moreira. **A física no ensino médio através do estudo de fenômenos físicos em um automóvel**. Disponível em: [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/8131/1/2014\\_dis\\_csmchagas.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/8131/1/2014_dis_csmchagas.pdf). Acesso em 08 dez 2021.

COOPER, Adam. **Entrevista: Como acidentes ajudam na segurança dos carros?** Disponível em: <https://motorsport.uol.com.br/f1/news/como-grandes-acidentes-ajudam-seguranca-dos-carros-943862/1645811/>. Acesso em 08 dez.2021.

DELEIDI, Emilio. **Segurança na Fórmula 1: como a morte de Senna ajudou a salvar vidas**. Disponível em: <https://motorshow.com.br/seguranca-na-formula-1-como-a-morte-de-senna-ajudou-a-salvar-vidas/>. Acesso em 08 dez. 2021.

DESCONHECIDO. **Canal da Peça**. Freios ABS: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.canaldapeca.com.br/blog/freios-abs/>. Acesso em 08 dez.2021.

DESCONHECIDO. **R7**. F1 – Aerodinâmica cada vez mais importante. Disponível em: <https://www.autoracing.com.br/f1-aerodinamica-cada-vez-mais-importante/>. Acesso em 08 dez. 2021

DIAS, Danilo. **Acidentes na Fórmula 1: a Evolução da Segurança**. Disponível em: <https://www.radiopoliesportiva.com.br/acidentes-na-formula-1-a-evolucao-da-seguranca/>. Acesso em 08 dez. 2021.

DIAS, Diogo Lopes. **A química do querosene**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/a-quimica-querosene.htm>. Acesso em 10 jun. 2022.

FEUERUNFALL, Romain Grosjeans. **A história da segurança da Fórmula 1: a FIA examinou o acidente de Grosjean**. Disponível em: <https://f1-insider.com/en/history-of-formula-1-safety/>. Acesso em 08 dez. 2021.

HENRIQUES, Andréia Bicalho. **Caracterização e estudo das propriedades eletrocínéticas dos mineiras de ferro: hematita, goethita e magnetita**. 2012.



223

f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HYPERPHYSICS: Electricity and Magnetism. *In*: NAVE, R. **Electric and Magnetic Sources**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/elemag.html>. Acesso em: 9 dez. 2021.

HOLLAND, Helber. **Síntese e Caracterização de nanopartículas de magnetita e aplicação na obtenção do <sup>99</sup>Mo de Fissão**. Disponível em : <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-22072019-084020/publico/2014HollandSintese.pdf>. Acesso em 08 dez. 2021.

INFANTINI, Mauricio Blanco. **Variáveis de desempenho dos sistemas de freio**. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13947>. Acesso em 08 dez.2021.

LEAL, Longuinho da Costa Machado *et al.* **Uma introdução à modelagem quase-estática dos automóveis**. 2012. 355 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LIMA, Gabriel. **De Senna a Bianchi: relembre o que mudou na segurança da F1**. Disponível em: <https://motorsport.uol.com.br/f1/news/de-senna-a-bianchi-relembre-o-que-mudou-na-seguranca-da-f1/616094/>. Acesso em 08 dez. 2021.

PENNA, Fabio; LEITE, Mario. Renascido do inferno. **G1**. Disponível em: <https://interativos.globoesporte.globo.com/motor/formula-1/materia/renascido-do-inferno>. Acesso em 08 dez. 2021.

SALOMÃO, PINTO,.; EDUARDO, PINTO,. I. *Pavimentação Asfáltica - Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos*. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2015. 978-85-216-2916-0. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2916-0/>. Acesso em:12 dez. 2021.

SANTOCHI, Lucas. **Brake-by-wire, MGU-K e cilindros: o complexo freio da F1**. Disponível em: <https://projetomotor.com.br/brake-by-wire-mgu-k-cilindros-freio-f1/>. Acesso em 08 dez. 2021.

SANTOS, Gustavo Carvalho Martins dos. **Projeto e dimensionamento de um sistema de freios aplicado a um veículo fórmula SAE**. 2014. 150 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SERWAY, Raymond. A.; JR., John.W. J. *Física para Cientistas e Engenheiros - Volume 3 - Eletricidade e magnetismo*. [Digite o Local da Editora]: Cengage Learning Brasil, 2017. 9788522127115. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522127115/>. Acesso em: 12dez. 2021.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

**UMEC**. A tecnologia por trás do sistema de freios na fórmula 1. Disponível em: <https://cursos.umec.com.br/sistema-de-freios-na-formula-1/>. Acesso em 08 dez.2021.

WAGNER, Gilmar; LIGUORI, Guilherme; ZANITI, Mateus H. R.; CAMPOS, Rafael Henrique; HONDA, Rogério Hisashi; RODRIGUES, Samuel Gianasi. **Proposta de ensino de Força peso e Aceleração da Gravidade para o ensino médio com uso de sensores da PASCO**. Disponível em: [https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/pibidfisica/Atividades%20dos%20Bolsistas/Propostas%20com%20us%20de%20sensores%20da%20PASCO/Proposta\\_de\\_ensino\\_de\\_Forca\\_pes\\_o\\_e\\_Aceleracao\\_da\\_Gravidade\\_para\\_o\\_ensino\\_medio\\_com\\_uso\\_de\\_sensores\\_da\\_PASCO.pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/pibidfisica/Atividades%20dos%20Bolsistas/Propostas%20com%20us%20de%20sensores%20da%20PASCO/Proposta_de_ensino_de_Forca_pes_o_e_Aceleracao_da_Gravidade_para_o_ensino_medio_com_uso_de_sensores_da_PASCO.pdf) . Acesso em 08 dez. 2022.