

**RAFAEL WENTZCOVITCH OLIVI**

**ESTUDO SOBRE O FUNCIONAMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE  
DE TRAÇÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTORES**

Guaratinguetá  
2014

RAFAEL WENTZCOVITCH OLIVI

ESTUDO SOBRE FUNCIONAMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE  
DE TRAÇÃO EM VEÍCULOS AUTOMOTORES

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho  
de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
da Faculdade de Engenharia do Campus de  
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista,  
como parte dos requisitos para obtenção do  
diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Wagner Forti

Guaratinguetá  
2014

O49e	<p>Olivi, Rafael Wentzcovitch Estudo sobre o funcionamento de sistema de controle de tração em veículos automotores / Rafael Wentzcovitch Olivi – Guaratinguetá, 2014. 51 f : il. Bibliografia: f. 48-51</p>
	<p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. Orientador: Prof. Dr. Antônio Wagner Forti</p>
	<p>1. Automóveis – Freios 2. Resistência à tração I. Título</p>
	<p>CDU 62-592</p>

**RAFAEL WENTZCOVITCH OLIVI**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

  
Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ GERALDO TRANI BRANDÃO  
UNESP-FEG

Abril de 2014

OLIVI, R. W. **Estudo sobre funcionamento de sistema de controle de tração em veículos automotores.** 2014. 51 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

## **RESUMO**

O presente trabalho explora o tema acerca do sistema de controle de tração automotivo através da revisão bibliográfica disponível sob a ótica da Engenharia Mecânica. O estudo tem como objetivo destacar os principais componentes e tecnologias envolvidas na sua evolução desde o sistema MaxTrac de 1971 até os dias atuais, descrevendo o funcionamento de sistemas controlados por válvula borboleta do motor e freios. Adicionalmente, são apresentadas noções básicas da unidade controladora do veículo e sensores de velocidade das rodas.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema de controle de tração, válvula borboleta, unidade controladora, sensor de velocidade, freio, segurança automotiva

OLIVI, R. W. **Study of the traction control system on vehicles.** 2014. 51 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

### **ABSTRACT**

This study explores the subject of traction control systems through bibliography review on the spot of Mechanical Engineering. This paper has the objetivo of high light the main components and tecnologia involved since MaxTrac system in 1971. It describes systems controled by throttle valve and breaks. Additionally, it i also presented basic knowlodge regarding electronic control unit and wheel sensors.

**PALAVRAS-CHAVE:** Traction control system, throttle valve, electronic control unit, wheel sensors, break, safety

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de variação percentual nas taxas de acidentes de veículos com ESP .....	11
Figura 2 – Desenho do primeiro automóvel motorizado a vapor: Cugnot Steam Trolley de 1769 .....	16
Figura 3 – Componentes do dispositivo MaxTrac da Buick .....	17
Figura 4 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Device for prevention of spinning of the driven wheels of a motor vehicle” .....	18
Figura 5 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Anti-skid system for the driving wheels of automotive vehicles” .....	19
Figura 6 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Anti-skid and anti-spin braking system” .....	20
Figura 7 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Vehicular anti-skid braking system” .....	20
Figura 8 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Vehicle traction control system” .....	21
Figura 9 – Forças e momentos dos pneus.....	24
Figura 10 - A configuração do sistema para o IDE baseado em modelo FDI.....	28
Figura 11 – Sensor magnético de velocidade .....	29
Figura 12 – Características das forças longitudinal e lateral .....	30
Figura 13 – Estrutura geral de um sistema de controle de tração.....	31
Figura 14 – Representação gráfica do controle do torque do motor .....	33
Figura 15 – Válvulas borboleta eletrônicas em série.....	34
Figura 16 – (a) Aparência do sistema de controle de tração por válvula borboleta de Song e Byun; (b) Eixo de conexão entre o motor de corrente contínua e a válvula borboleta .....	34
Figura 17 – Diagrama do sistema de controle .....	36
Figura 18 – Esquema de um freio tipo ABS.....	39
Figura 19 – Válvulas solenoides 2/2 para o sistema ABS/TCS5 .....	40
Figura 20 – Diagrama esquemático para o sistema hidráulico ABS/TCS5 para configuração do circuito de freio.....	41
Figura 21 - Curva de taxa de escorregamento por fator de atrito para condição de asfalto seco em diferentes velocidades.....	44
Figura 22 - Coeficiente de atrito versus taxa de escorregamento para diferentes superfícies..	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução histórica do sistema de controle de tração .....	22
Tabela 2 - Parâmetros de atrito entre a pista e o pneu.....	44



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABS Anti-lock Braking System  
ASR Acceleration Slip Regulation  
DTC Diagnostic Troubleshooting Codes  
ECU Engine Control Unit  
ESP Electronic Stability Program  
ETC Electronic Throttle Control  
FDI Fault Detection and Isolation  
FIA Federação Internacional do Automóvel  
HILS Hardware-in-the-loop Simulation  
IIHS Insurance Institute for Highway Safety  
PIB Produto Interno Bruto  
TCS Traction Control System

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_x$  Coeficiente de rigidez longitudinal do pneu

$C_y$  Coeficiente de curvas

$F_x$  Força longitudinal

$F_y$  Força lateral

$F_z$  Força normal

I Momento de inercia

$M_x$  Momento de curva excessiva v

$M_y$  Momento resistência ao escorregamento

$M_z$  Momento de auto-alinhamento

R Raio efetivo do pneu

$r_f$  Raio da roda

T Torque da roda tracionada

W Peso da roda tracionada

$\dot{x}_E$  Velocidade longitudinal da roda

$\dot{y}_E$  Velocidade lateral da roda

$\gamma$  Ângulo de curvatura da roda

$\dot{\theta}_{RE}$  Velocidade angular da roda

$\mu$  Fator de atrito

$\sigma_x$  Taxa de deslizamento longitudinal da roda

$\sigma_y$  Taxa de deslizamento lateral da roda

$\tau_f$  Torque de frenagem

$\dot{\omega}$  Velocidade angular

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>HISTÓRIA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>HISTÓRIA DO CONTROLE DE TRAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>HISTÓRIA DO CONTROLE DE TRAÇÃO NA FÓRMULA 1 .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>NOÇÕES PRELIMINARES DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>FORÇAS DE DESLIZAMENTO DOS PNEUS E MOMENTOS.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Modelagem de Pneus: Fórmula “Mágica” de Pacejka .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>NIDADE CONTROLADORA (ECU).....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>SENSORES DE VELOCIDADE DAS RODAS.....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO POR VÁLVULA BORBOLETA.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Válvula Borboleta .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Sistema de Controle de Tração por Válvula Borboleta .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Descrição do Controle do Pneu Derrapante .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO PELOS FREIOS.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Freios ABS e de um Sistema de Controle de Tração Pelos Freios .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Sistema de Controle de Tração Pelos Freios.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Fórmulas Envolvidas no Controle da Tração Pelos Freios.....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS .....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há mais de 50 anos atrás Peter Drucker definia a indústria automobilística como sendo "a indústria das indústrias" (WOMACK; JONES, 1993). A indústria automobilística foi catalisadora de uma profunda mudança no sistema produtivo, tecnológico e na sociedade em geral no século XX. Segundo Belini (2010), vivemos um cenário automotivo mundial e esse setor porta o gene da inovação e modernização, trazendo alterações estruturais em mercados consumidores e produtores, novas concepções de produtos e processos. No Brasil suas contribuições foram expressivas em 2013: 25% do PIB industrial e de 5% no PIB nacional.

Os autores McAlinden et al. (2000) escrevem que o automóvel pode ser descrito como uma plataforma hospedeira de tecnologias de ponta e sua indústria como uma produtora destas tecnologias. Utilizando ou desenvolvendo internamente, é possível identificar na indústria automotiva quatro grandes áreas de desenvolvimento tecnológico: computadores e telecomunicações, eletrônica, manufatura integrada por computadores e design de materiais. Os mesmo autores dividem a pesquisa e o desenvolvimento automotivo em três campos, sendo eles: refinamento da mecânica tradicional, novas tecnologias para substituição de componentes existentes ou introdução de novos componentes e novos conceitos tecnológicos. Como exemplo dos campos de pesquisa, podemos citar a evolução do sistema de freios para sistemas ABS<sup>1</sup>, a introdução do sistema de controle de tração e os recentes estudos para substituição de combustíveis convencionais por células de hidrogênio, respectivamente (LUCAS INDUSTRIES, 1993).

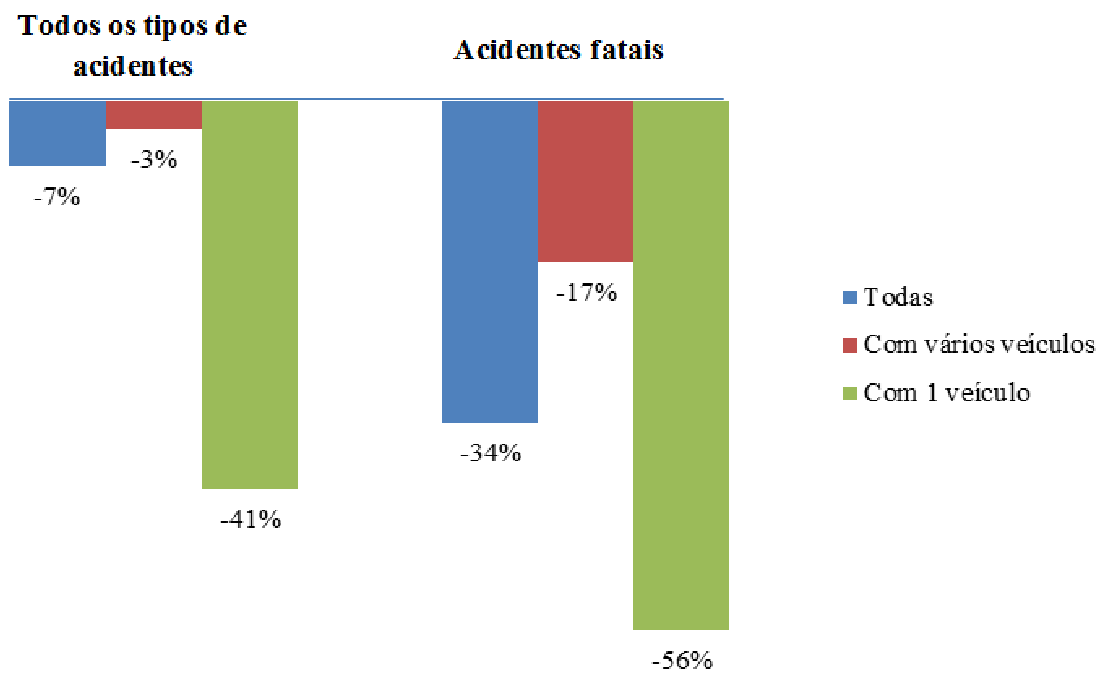
Atualmente, um dos grandes desafios que a indústria automotiva enfrenta está ligado ao fornecimento de tecnologias avançadas com preços acessíveis (MCALINDEN et al., 2000). Os mesmos autores completam ainda que houve crescimento significativo no desenvolvimento de interiores e tecnologias de segurança nos últimos anos. Dispositivos de segurança presentes em automóveis de luxo, como controle de estabilidade (ESP), sistema de controle de tração (TCS) e sistema de travagem anti-bloqueio (ABS), ajudam a evitar acidentes através do monitoramento computacional dos sensores que indicam o estado da estabilidade do veículo na trajetória.

---

<sup>1</sup> O antilock braking system (ABS) é utilizado em automóveis modernos para aprimorar sua segurança e confiabilidade.

A organização americana Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) publicou em 2004 que o ESP pode prevenir por volta de 9000 acidentes fatais por ano, diminuindo o número de acidentes envolvendo apenas um carro em até 56%, como ilustrado na Figura 1. Esses números incentivaram o governo dos Estados Unidos a tornar obrigatório o uso do ESP em todos os veículos produzidos a partir de 2012 (HALL-GEISLER, 2009).

Figura 1 – Gráfico de variação percentual nas taxas de acidentes de veículos com ESP



Fonte: IIHS News (2004), tradução nossa.

Para estabelecer os resultados da pesquisa, a organização IIHS analisou os acidentes ocorridos em 7 estados americanos em um período de 2 anos. Foram estudadas as taxas de acidentes (todos os acidentes, colisões com feridos e acidentes fatais por ano) de carros com ESP como equipamento padrão. A presença do ESP mostrou redução de risco em todos os tipos de acidentes fatais e não-fatais envolvendo um único veículo em 41% (ELECTRONIC, 2004).

Esse fato se dá devido ao ESP impedir que o veículo seja desestabilizado durante as curvas, como resultado da velocidade excessiva, uma redução inesperada na superfície da estrada (água, gelo, areia) ou manobra súbita (ELECTRONIC, 2014?). Para corrigir problemas antes que virem acidentes, o ESP usa outros dispositivos de segurança e

regulamentadores do veículo, sendo o principal deles o sistema de controle de tração (TCS). A definição apresentada pelo autor Hall-Geisler (2009) no *website How Stuff Works* faz um comparativo entre os dois sistemas: “se ESP é responsável pelo acompanhamento de movimento lado-a-lado em torno de um eixo vertical, o controle de tração está no comando de movimento para frente e para trás” (tradução nossa).

A finalidade do sistema de controle de tração (TCS) em um veículo é determinada por Kabgianian e Kazemi (2001) como sendo a de utilizar o máximo torque possível do motor nas rodas motrizes, de modo que o nível de escorregamento entre rodas e pavimento permaneça dentro de uma região estável. O controle da tração das rodas exige que o torque fornecido pelo motor seja distribuído de forma controlada para as rodas motrizes. O setor de Inovação & Tecnologia da Volkswagen (2014?) descreve que o sistema de controle de tração fornece mais conforto e segurança, em especial na condução em estradas escorregadias ou superfícies com diferentes graus de aderência.

Devido à importância de sua função na segurança durante a condução de um veículo, o sistema de controle de tração (TCS) foi o tema escolhido para ser estudado no presente trabalho sob a ótica da Engenharia Mecânica.

## 1.1 OBJETIVO

Usando como base a literatura disponível ligada ao tema de controle de tração, o presente trabalho tem como objetivo descrever o funcionamento do sistema de controle de tração (TCS), relatando sua evolução tecnológica histórica e seus principais componentes. Adicionalmente, são apresentadas noções básicas da interação dos pneus com a pista, da unidade controladora (ECU) de um veículo e dos sensores de velocidade das rodas. O trabalho também tem como objetivo a identificação de novos temas para estudos posteriores.

## 1.2 METODOLOGIA

Para estudar sobre o sistema de controle de tração em veículos automotores, optou-se por realizar a revisão bibliográfica da literatura disponível do tema, pois esse gênero de pesquisa “busca conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado sobre determinado assunto, tema ou problema” (CERVO; BERVIAN, 1983, p. 55). Trazendo

referências de autores e publicações tecnológicas sobre o assunto, busca-se atingir o objetivo proposto sob a ótica da Engenharia Mecânica.

O presente trabalho também tem caráter de pesquisa exploratória. Esse tipo de pesquisa não requer a elaboração de hipóteses a serem testadas no trabalho, restringindo-se a definir objetivos e buscar mais informações sobre determinado assunto de estudo. Tais estudos têm por objetivo familiarizar-se com o fenômeno ou obter uma nova percepção dele e descobrir novas ideias. Nesse tipo de pesquisa o pesquisador procura um maior conhecimento sobre o tema de estudo (GIL, 2005).

É possível ainda classificar a pesquisa como qualitativa, uma vez que não se faz uso de instrumentos estatísticos em sua análise. Em sua obra, a autora Charoux (2004) descreve o processo de pesquisa qualitativa, transcrito a seguir:

O processo de pesquisa qualitativo busca entender não apenas o fato ou fenômeno estudado, mas também o contexto dentro do qual se desenvolve. O foco do trabalho qualitativo é conhecer o significado que se confere ao objeto estudado, pontos de vista, processos, percepções, abstrações, enfim, a perspectiva dos participantes da situação estudada. Com mais frequência, essa finalidade aplica-se às pesquisas exploratórias (de diagnóstico) ou descritivas. (CHAROUX, 2004, p. 38)

O presente trabalho também faz uso da literatura de patentes, uma vez que “patentes são fontes essenciais de informação tecnológica, servindo como indicadores do estado da arte” (MATTAR, 2008, p. 170). Além disso, foram pesquisados catálogos, folhetos, brochuras e materiais comerciais relacionados ao tema de sistemas de controle de tração, conforme orientação de Mattar (2008) para utilização de documentos não encontrados em bibliotecas. Optou-se por essas fontes de pesquisa devido ao cunho tecnológico do trabalho.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado de modo a descrever o tema escolhido – o sistema de controle de tração em veículos automotores – sob a ótica da Engenharia Mecânica, passando por sua história e desenvolvimento tecnológico. Para tanto, adotou-se a seguinte forma:

O capítulo 1 contém a Introdução ao tema com dados do mercado automotivo e importância da segurança em veículos, além do objetivo geral do trabalho e metodologia de pesquisa.

O capítulo 2 é iniciado contando a história dos veículos de tração, passando pela evolução histórica do sistema e, por fim, apresenta sua polêmica aplicação na Fórmula 1.

No capítulo 3 são abordadas noções preliminares fundamentais para o entendimento do tema do trabalho. Essas noções envolvem a modelagem dos cálculos envolvidos na dinâmica entre os pneus e a pista, além de abordar teoricamente os itens presentes no sistema de controle de tração, como o funcionamento da unidade controladora do veículo (ECU) e dos sensores de velocidade das rodas.

O capítulo 4 apresenta conceitos sobre as duas formas de controle de tração, sendo elas por controle da válvula borboleta ou por controle dos freios. O capítulo explica ainda seus conceitos teóricos, princípios de funcionamento, componentes envolvidos e as modelagens aplicáveis em cada sistema.

Por fim, no último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas e objetivos alcançados através dos estudos sobre o tema principal do trabalho.

Após essa estrutura, seguem as referências bibliográficas.



## 2 HISTÓRIA

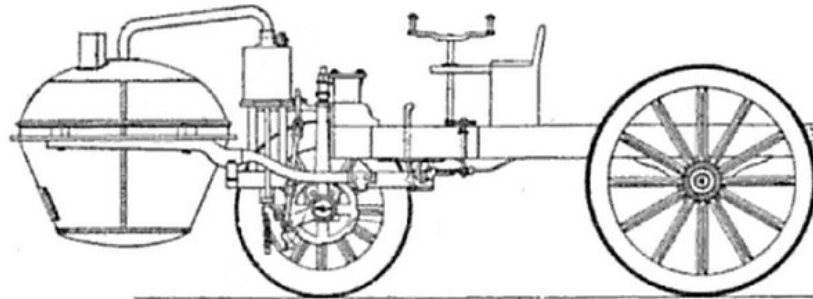
Em algum momento da pré-história, o homem domesticou um animal e o utilizou para realizar o arado. A partir desse momento iniciou a história da tração animal na agricultura. Baseado em investigações históricas, é possível afirmar que isso ocorreu entre 4.000 a.C. e 7.000 anos a.C, porém o registro mais antigo de arado encontrado por pesquisas arqueológicas vem de 2.800 a.c. na China (BERETTA, 1988). Outro exemplo histórico da tração animal utilizada na antiguidade foi no Egito, entre 30 a.C. e 395 d.C., na época dos Romanos, quando animais eram utilizados para tracionar a roda de bombeamento de água. Essa roda era utilizada para bombear água para locais não inundados naturalmente. Esse sistema de irrigação era chamado *shaduf* (GIMENEZ, 2003).

O cultivo com tração pesada foi responsável pela revolução agrícola da idade média. Oscilando entre períodos de expansão demográfica e períodos de crise, o uso do cultivo com tração pesada perpetuou-se no Ocidente até a motorização do século XX (MAZOYER; ROUDART, 2008). O homem utiliza veículos tracionados por animais para carregar pessoas desde tempos remotos. Um exemplo disso são as bigas utilizadas pelos romanos.

Porém, até o século XV, esses veículos de tração animal possuíam as caixas (local onde as pessoas eram transportadas) ligadas diretamente nos eixos. Com o objetivo de aumentar o conforto, durante o período do Renascimento na Europa, surgiu o coche. O coche possuía uma caixa suspensa por correias de couro. Por volta de dois séculos depois, foi construída na Alemanha, a berlinda. A berlinda representou um grande progresso em relação ao coche por apresentar-se mais estável, graças à colocação de dois varais lateralmente à caixa e outras inovações. Apenas no século XIX surgiu a carruagem. Esse veículo mostrou-se mais confortável do que o coche e a berlinda devido a um novo sistema de suspensão da caixa. A carruagem possuía também o banco do cocheiro mais elevado e faróis, o que permitia uma condução mais segura e com maior visibilidade (GUEDES; FERNANDES, 20??).

Apesar da evolução, todos os modelos citados utilizavam tração animal. O primeiro veículo motorizado criado com o propósito de conduzir pessoas foi o Cugnot Steam Trolley de 1769 (ver Figura 2) e era um veículo movido a vapor. Em 1806, surgiu o primeiro veículo utilizando motor de combustão interna por gás natural e em 1885 surgiu o primeiro carro a utilizar motor de combustão interna, movido à gasolina, o mesmo combustível utilizado até os dias atuais (ECKERMANN, 2001).

Figura 2 – Desenho do primeiro automóvel motorizado a vapor: Cugnot Steam Trolley de 1769



Fonte: Eckermann (2001).

A evolução do veículo (e também do sistema de controle de tração) acompanha a história e evolução da humanidade. Por isso, é válido estudar com mais detalhes o desenvolvimento tecnológico desse sistema nos dias atuais.

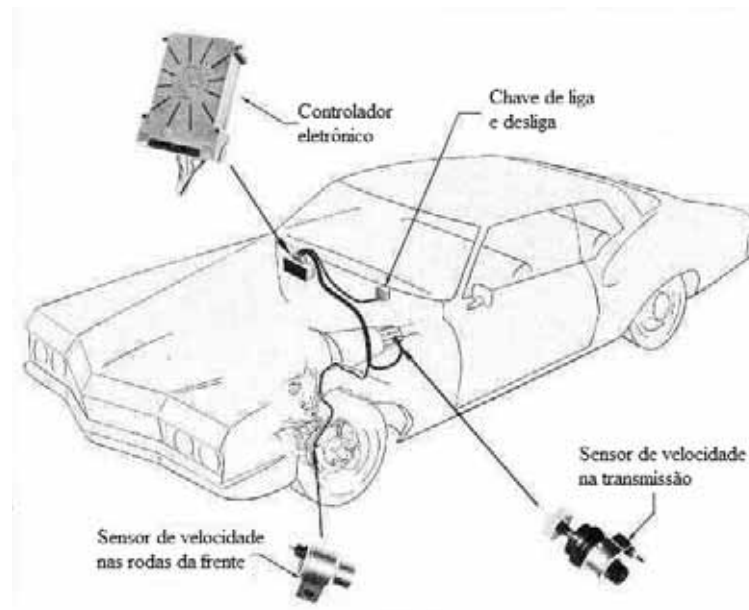
## 2.1 HISTÓRIA DO CONTROLE DE TRAÇÃO

No folheto de 1971 da Buick<sup>2</sup> foi apresentado ao mercado o exclusivo sistema de controle de tração da marca, o MaxTrac, presente no modelo Riviera. Esse sistema proporcionava ao veículo estabilidade em todas as condições climáticas e da pista. O dispositivo é composto por dois sensores de velocidade nas rodas tracionadas, um sensor de velocidade na transmissão e um computador responsável por comparar a velocidade das rodas tracionadas com a velocidade da transmissão, como apresentado na Figura 3. Se a velocidade das rodas for diferente da velocidade da transmissão, o computador atua na ignição do motor, controlando assim a tração entregue às rodas do veículo.

---

<sup>2</sup> Buick é uma marca premium americana pertencente à montadora General Motors.

Figura 3 – Componentes do dispositivo MaxTrac da Buick



Fonte: Folheto da Buick (1971), tradução nossa.

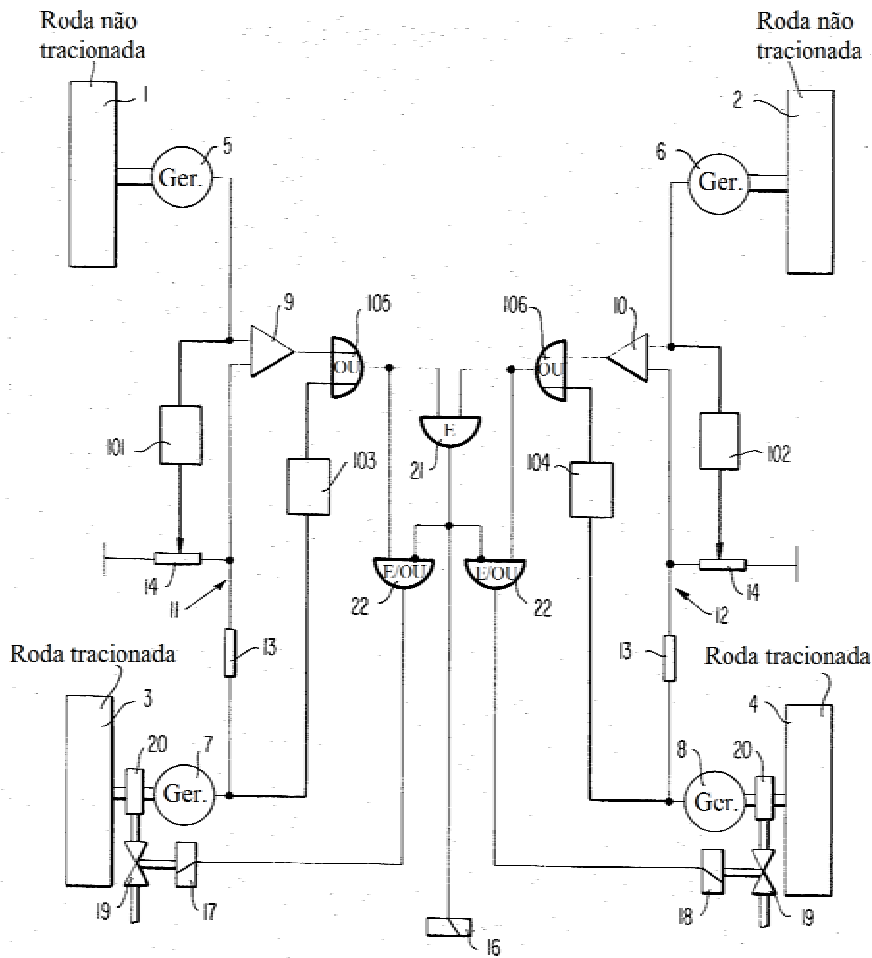
A primeira patente americana encontrada na literatura sobre um sistema para controle de tração foi publicada em 1966, sendo a requerente a empresa Shepherd Machinery Co<sup>3</sup>. Nela o autor Shepherd (1966) descreve um sistema em que cada roda do veículo possui um gerador e cada gerador gera um sinal elétrico proporcional à velocidade de rotação de cada roda. Assim, um sinal é gerado pela comparação dos sinais das rodas tracionadas com o sinal das rodas não tracionadas. Conseqüentemente esse sinal é entregue para dois amplificadores diferenciais, que por sua vez alimentam os atuadores dos freios. Quando necessário os atuadores acionam os freios diminuindo, assim, o torque nas rodas motrizes.

Essa patente de Shepherd (1966) é citada pela patente de Burckhardt et al. (1973) publicada pela empresa Daimler Benz<sup>4</sup>. O sistema proposto pelos autores pode ser visualizado na Figura 4, em que os itens 1 e 2 são as rodas não tracionadas e itens 3 e 4, as rodas tracionadas.

<sup>3</sup> Shepherd Machinery Co foi fundada em 1924 pelos pais de Willard Earl Shepherd. Este foi inventor de diversas patentes na área de mecânica.

<sup>4</sup> Daimler Benz é uma montadora alemã de automóveis associada a Mercedes-Benz.

Figura 4 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Device for prevention of spinning of the driven wheels of a motor vehicle”



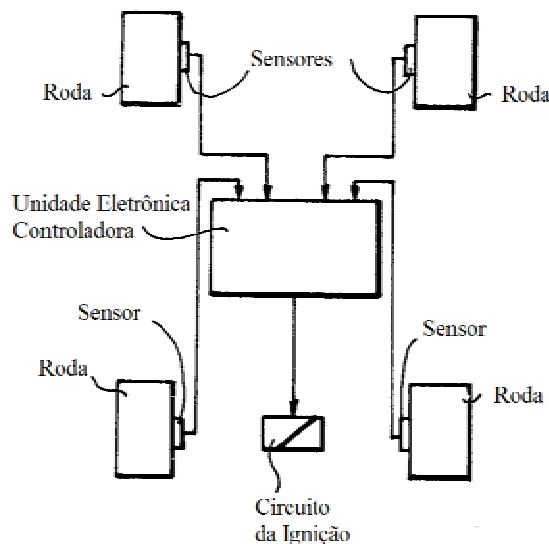
Fonte: Patente americana de Burckhardt et al. (1973), tradução nossa.

No modelo apresentado na Figura 4, cada roda é equipada com um gerador 5, 6, 7 ou 8 respectivamente. As saídas dos geradores de 5 e 7 estão ligados à entrada do amplificador diferencial 9 e as saídas dos geradores de 6 e 8 estão ligadas à entrada do amplificador diferencial 10, isso ocorre por meio de divisores de tensão designados por 11 e 12. As saídas dos amplificadores diferenciais 9 e 10 alimentam elementos OU (itens 105 e 106), que por sua vez alimentam o elemento E (item 21). Este elemento E alimenta dois elementos E/OU (item 22) que, por um lado, estão ligados a um elemento de atuação 16 – que pode diminuir o torque do motor – e, por outro lado, estão ligados a atuadores (itens 17 e 18), agindo sobre os freios das rodas (item 20). (DAIMLER, 1973)

No sistema de Burckhardt et al. (1973) o controle da tração é realizado por componentes mecânicos (válvula de borboleta por indução e corte de ignição). Alguns anos mais tarde, os autores Boudevile e Gelin (1976) expõe que esses componentes apresentam

tempo de resposta elevado e podem ocasionar um aumento na emissão de poluentes. Em sua patente requerida pela montadora Peugeot, Boudeville e Gelin (1976) apresentam um sistema relativamente mais simples, no qual a tração é controlada por uma unidade eletrônica que, cada vez que as rodas motrizes apresentarem uma velocidade de rotação maior do que as rodas não tracionadas, é gerado um sinal elétrico que corrigirá a ignição provocando uma redução no torque do motor. O princípio básico do sistema de Boudeville e Gelin (1976) é ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “*Anti-skid system for the driving wheels of automotive vehicles*”

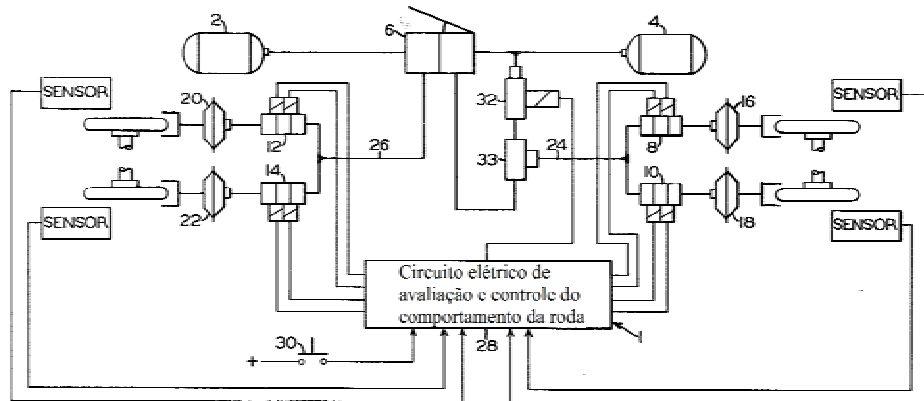


Fonte: Patente americana de Boudeville e Gelin (1976), tradução nossa.

Reinecke (1981) publicou uma patente requerida pela empresa Wabco<sup>5</sup> que apresenta um sistema anti-derrapagem dos pneus utilizando os freios. Esse sistema é demonstrado na Figura 6. O sistema é composto por um circuito elétrico de avaliação do comportamento da roda (1), um par de reservatórios de pressão do fluido (2 e 4), um pedal de freio, quatro válvulas solenoides (8, 10, 12 e 14). Cada uma delas está associada a um atuador de freio (16, 18, 20 e 22), a linha de abastecimento 24 liga o pedal do freio até as válvulas 8 e 10, enquanto uma outra linha (26) liga o mesmo às válvulas das rodas não motrizes (12 e 14).

<sup>5</sup> Wabco é uma fabricante de tecnologias e sistemas de controle para a segurança e eficiência de veículos comerciais.

Figura 6 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Anti-skid and anti-spin braking system”

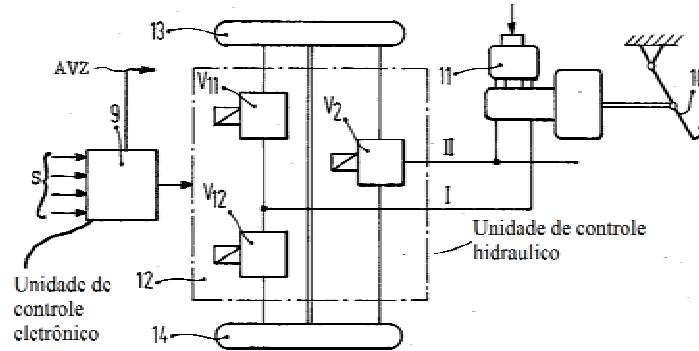


Fonte: Patente americana de Reinecke (1981), tradução nossa.

Pelo modelo da Figura 6, incorporado ao circuito de avaliação está o circuito elétrico de controle do comportamento da roda (28) que, ao detectar uma velocidade maior das rodas motrizes em relação às rodas não motrizes, através dos sensores, envia um sinal para pressurizar o cilindro atuador da roda que estiver derrapando (WABCO, 1981).

Posteriormente, autores Leiber, Roller e Braschel (1984) descrevem em sua patente requerida pela empresa Bosch um sistema de controle de tração pelos freios, que possui um sub-sistema de segurança. O sistema é composto por um pedal de freio (10) que está ligado a um cilindro de freio (11), que por sua vez está ligado a uma unidade de controle hidráulico (12). Essa unidade de controle hidráulico é controlada por uma unidade eletrônica (9) e opera os cilindros de freio das rodas 13 e 14. Cada roda possui dois cilindros de freio, sendo que um deles será acionado pelas válvulas solenoides V11 ou V12 e o outro cilindro está ligado ao sub-sistema II e será acionado, em conjunto com o cilindro da outra roda, pela válvula V2, se o sub-sistema I falhar (ver Figura 7).

Figura 7 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Vehicular anti-skid braking system”

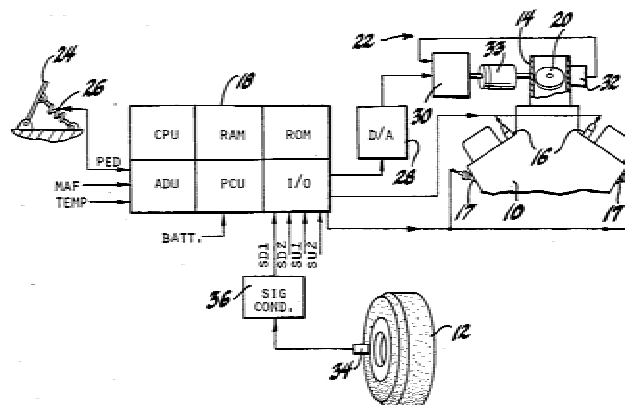


Fonte: Patente americana de Leiber, Roller e Braschel (1984), tradução nossa.

Os autores Kabasin e Stoltman (1988) publicaram em sua patente requerida pela montadora General Motors, um controle da tração do veículo ao regular a mistura ar-combustível do motor, conforme o sistema apresentado na Figura 8.

O motor de combustão interna (10) recebe ar pelo coletor de admissão do motor (14), que será misturado com o combustível. Injetado pelos bicos de injeção (16), essa mistura por sua vez entra no motor (10) onde será inflamada pelas velas de ignição (17), transferindo assim torque para uma roda (12). Com o objetivo de utilizar a relação ar/combustível ideal, a unidade controladora ECU (18) controla os bicos de injeção (16) e a válvula borboleta (20), em resposta aos valores medidos de massa da vazão de ar (MAF), temperatura do motor (TEMP) e do potenciômetro (26), que fornece um sinal elétrico correspondente a posição do pedal do PED (GENERAL, 1988).

Figura 8 – Princípio básico do sistema proposto pela patente “Vehicle traction control system”



Fonte: Patente americana de Kabasin e Stoltman (1988).

A unidade controladora ECU (18) é também responsável por calcular a relação de ar/combustível ideal com o intuito de controlar a tração do veículo. Para realizar esse cálculo, a ECU utiliza como base a velocidade das rodas motrizes e das rodas não motrizes. Estes sinais são SD1 e SD2 (para as rodas motrizes) e SU1 e SU2 (para as rodas não motrizes). Os mesmos tem sinal de onda quadrada e apresentam uma frequência diretamente proporcional à velocidade da roda. Esses sensores são captadores eletromagnéticos (34). O sinal em corrente alternada dos captadores, é entregue a um condicionador de sinal (36), que irá fornecer o sinal de onda quadrada para a ECU (18) (GENERAL, 1988).

A partir do ano de 1988 todas as patentes pesquisadas apresentavam melhorias nos componentes dos sistemas de tração, e não mais nos sistemas. Isso se dá ao fato do aparecimento do Programa Eletrônico de Estabilidade (ESP) que chegou aos consumidores de automóveis em 1995 através das montadoras BMW e Volvo (COMO, 2012b). No Brasil, o primeiro veículo a utilizar o controle de tração foi o modelo Vectra da marca Chevrolet de 1996, produzido na fabricante de automóveis, General Motors de São Caetano do Sul. (COMO, 2012a)

Abaixo é apresentada tabela com a evolução histórica do sistema de controle de tração descrita neste capítulo.

Tabela 1 – Evolução histórica do sistema de controle de tração

	Sistema	Data	Dispositivos			Diferencial	
			ECU	Sensores	Atuação pelos freios		Atuação pela válvula borboleta
	MaxTrac - Buick	1971	X	2 sensores nas rodas 1 sensor na transmissão		X	
Patentes	Shepherd Machinery Co	1966		4 sensores nas rodas	X		
	Daimler Benz	1973		4 sensores nas rodas	X	X	
	Peugeot	1976	X	4 sensores nas rodas		X	
	Wabco	1981	X	4 sensores nas rodas	X		
	Bosch	1984	X	4 sensores nas rodas	X		Sistema de segurança na atuação dos freios
	General Motors	1988	X	2 sensores nas rodas		X	ECU mais elaborada
	BMW e Volvo (ESP)	1995	X	4 sensores nas rodas	X	X	ESP
	Vectra	1996	X	4 sensores nas rodas	X	X	Primeiro veículo produzido no Brasil com sistema de controle de tração



## 2.2 HISTÓRIA DO CONTROLE DE TRAÇÃO NA FÓRMULA 1

O texto de Fonseca (2009) diz que a Fórmula 1 foi a responsável por popularizar o sistema de controle de tração, ao polemizar o uso desse dispositivo nos carros das equipes. A própria organização da Fórmula 1 declara que seus carros são extremamente poderosos e, que mesmo com pneus modernos e com o apoio da força vertical gerada pelos aerofólios, são capazes de fazer os pneus patinarem, principalmente nas curvas. Essa é uma condição indesejada, pois atrasa o veículo e danifica seus pneus. Sendo assim, o objetivo da utilização do controle de tração nos carros de Fórmula 1 é dar vantagem competitiva para os pilotos, transferindo a maior quantidade de potência possível para as pista durante toda a corrida. (TRACTION, 20??)

As discussões acerca do uso do sistema de controle de tração ocorrem porque os fãs afirmam que, ao utilizar o controle de tração, as habilidades dos pilotos não se fazem mais necessárias. Porém, a organização da Fórmula 1 afirma que se o sistema de controle de tração permite que o carro funcione muito próximo dos limites de seus pneus. Portanto, se o piloto optar por utilizar os recursos do controle de tração várias vezes durante a corrida, a vida útil dos pneus cairá drasticamente e os pit stops serão frequentes.

A organização da Fórmula 1 também afirma que o controle de tração tem sido utilizado na modalidade desde a década de 1980 e, em carros como o Williams-Renault FW14-B de 1992 que levou Nigel Mansell ao título do campeonato era controlado ainda mais por componentes eletrônicos do que os carros atuais. O controle de tração foi banido por um longo período, mas a Federação Internacional do Automóvel (FIA) voltou a permitir sua utilização no início da temporada de 2002. Essa decisão foi tomada por estar cada vez mais difícil de provar que as ECUs não estavam sendo utilizadas para controlar as trações dos veículos na Formula 1. Esta tecnologia também era utilizada em sistemas de controle de largadas, que permitia que os motoristas fizessem partidas melhores, mas seu uso foi proibido no início da temporada de 2004. Finalmente o controle de tração passou a ser banido por completo desde o início da temporada de 2008, quando as ECUs passaram a ser padronizadas entre os carros, tornando sua proibição muito mais fácil do que no passado.

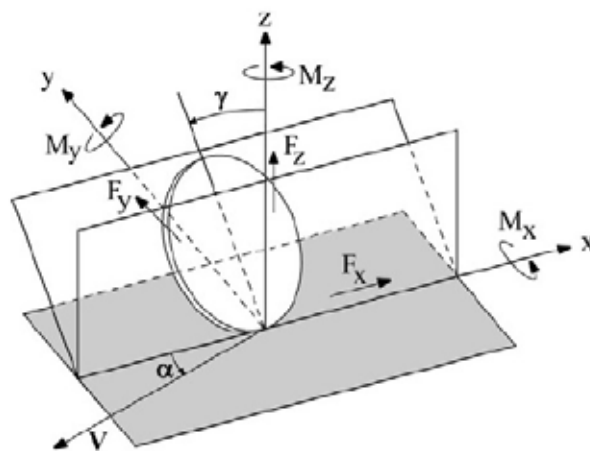
### 3 NOÇÕES PRELIMINARES DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO

Antes de estudar o funcionamento de controle de tração, é necessário descrever elementos que influenciam nessa tecnologia. Por isso este capítulo aborda os assuntos relacionados à interação dos pneus com a pista e suas respectivas forças de deslizamento e momentos, a Unidade Controladora (ECU) e sensores de velocidade das rodas.

#### 3.1 FORÇAS DE DESLIZAMENTO DOS PNEUS E MOMENTOS

Os autores Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011) descrevem as rodas são modeladas a partir de sua massa, inércia de rotação, raio e rigidez do pneu. Como os pneus são o único meio de contato entre a estrada, eles são os componentes mais importantes da roda, porque as forças e os momentos que os pneus desempenham tem um papel importante na dinâmica do veículo, controlando o veículo. A Figura 9 mostra como essas forças estão relacionadas.

Figura 9 – Forças e momentos dos pneus



Fonte: Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011)

É possível observar na Figura 9 as forças e os momentos dos pneus na superfície da pista. As forças que atuam no eixo x, eixo y e z são força longitudinal  $F_x$ , força lateral  $F_y$  e força normal  $F_z$ , respectivamente. Da mesma forma os momentos atuando nos eixos x, y e z são o momento de curva excessiva  $M_x$ , o momento resistência ao escorregamento  $M_y$  e o momento de auto-alinhamento  $M_z$ , respectivamente (BERA; BHATTACHARYA; SAMANTARAY, 2011).

### 3.1.1 Modelagem de Pneus: Fórmula “Mágica” de Pacejka

A modelagem de pneus é geralmente classificada como modelos físicos, analíticos e empíricos. Os modelos físicos são utilizados para estudar a deformação elástica dos pneus e suas forças. Já os modelos analíticos não são úteis para grandes deslizamentos e deslizamentos combinados. Os modelos empíricos baseados em correlações experimentais são geralmente mais precisos (BERA; BHATTACHARYA; SAMANTARAY, 2011).

Os mesmos autores apresentam a fórmula de Pacejka, que é um modelo empírico amplamente utilizado no qual calcula-se as forças longitudinais, forças curvas e momentos de auto-alinhamento. Para calcular o deslizamento longitudinal, mede-se a velocidade das rodas e a aceleração linear. A taxa de deslizamento longitudinal é apresentada na equação (1) e equação (2) (é definida como a diferença entre a velocidade periférica e a velocidade de rotação da roda).

$$\sigma_x = \frac{((\dot{\theta}_{ry} r_r - x_r) / (\dot{\theta}_{ry} r_r))}{(\dot{\theta}_{ry} r_r)} \quad (\text{durante a aceleração, considerando } \dot{\theta}_{ry} > 0) \quad (1)$$

Sendo,

$\sigma_x$  = Taxa de deslizamento longitudinal da roda

$\dot{\theta}_{ry}$  = Velocidade angular da roda

$r_r$  = Raio da roda

$x_r$  = Velocidade longitudinal da roda

O deslizamento lateral da roda é a velocidade lateral da roda pela velocidade longitudinal da roda. Ele é dado pela equação (3):

$$\sigma_y = \tan x = \frac{\dot{y}_r}{\dot{x}_r} \quad (3)$$

Sendo,

$\sigma_y$  = Taxa de deslizamento lateral da roda

$\dot{y}_r$  = Velocidade lateral da roda

Em pequenos deslizamentos, pode-se aproximar a força longitudinal  $F_x$  e a força lateral  $F_y$  para  $F_x = \sigma_x C_x$  e  $F_y = \sigma_y C_y$  onde,  $C_x$  e  $C_y$  são os coeficientes de rigidez longitudinal do pneu e o coeficiente de curvas, respectivamente.

Adota-se a fórmula empírica de Pacejka para desenvolver um modelo de atrito entre o pneu e a estrada. A fórmula de Pacejka dá resultados mais precisos para ângulos maiores de escorregamento e também é aplicável em uma ampla gama de condições de operação. A velocidade de deslocamento longitudinal ( $\dot{\theta}_{ry} r_r - \dot{x}_r$  durante a tração e  $\dot{x}_r - \dot{\theta}_{ry} r_r$  durante a frenagem) desenvolve uma força longitudinal  $F_x$  enquanto velocidade lateral  $\dot{y}_r$  e o ângulo de curvatura  $\gamma$  geram uma força lateral  $F_y$  e o momento de auto-alinhamento  $M_z$ . A fórmula de Pacejka afirma que a força longitudinal, a força lateral e o momento de auto-alinhamento são funções do deslizamento longitudinal e do deslizamento lateral, respectivamente. Ela é dada como:

$$y_o = D \text{ sen } [C \tan^{-1}\{B x_i - E (B x_i - \tan^{-1}(B x_i))\}] \quad (4)$$

Onde as variáveis de saída são,  $y_o$ :  $F_x$ ,  $F_y$  ou  $M_z$  e as variáveis de entrada são  $x_i$ :  $\sigma_x$  ou  $\sigma_y$ .

A resistência ao início do movimento de rotação e os efeitos de conicidade dos pneus podem causar ligeira variação na função na equação (4), mas estas variações podem ser negligenciadas. Os parâmetros constantes (B, C, D e E) podem ser determinados medindo-se as forças dos pneus e os momentos utilizando equipamentos sofisticados.

A fórmula de Pacejka é uma forma simples de demonstrar o escorregamento de pneus, porém não é aplicável quando a neve ou gelo começarem a afetar significativamente o desempenho do veículo. Além disso, ela não considera a dependência da velocidade de atrito, portanto, não deve ser utilizada para projetar sistemas de freio.

### 3.2 UNIDADE CONTROLADORA (ECU)

Os veículos automotores estão se tornando cada vez mais eletrônicos e, assim, a complexidade de seus sistemas também vem aumentando. Dessa forma, os autores Luo et al. (2007) afirmam que as unidades controladoras (ECU) são elementos indispensáveis nos projetos de novos veículos. Para analisar as funções desenvolvidas pelo sistema, a simulação quantitativa é uma ferramenta essencial. Exemplos de simulações quantitativas apresentadas pelos autores são: concepção de algoritmos para a ECU, prototipagem rápida, desenvolvimento de sistema por simulação de hardware em loop (HILS), geração de código de produção e documentação.

As unidades controladoras ECU são um componente essencial nos sistemas de controles de tração atuais. Suas funções incluem o controle eletrônico dos freios, controle eletrônico da válvula borboleta (ETC), controle de injeção de combustível e ignição (LUO et al.,2007).

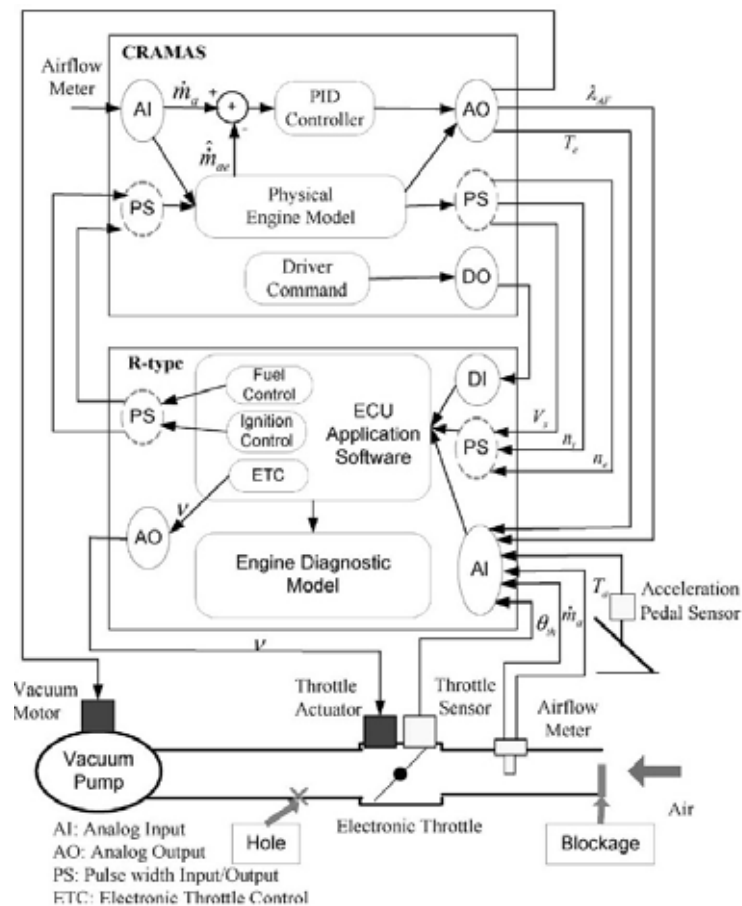
Para evitar o escorregamento das rodas, a ECU recebe as informações enviadas pelos sensores das rodas, as interpreta e então calcula qual é o melhor curso que o veículo deve tomar, de forma a evitar o escorregamento. Para tal, a ECU analisa a velocidade de rotação de todas as rodas e, através desses dados, a unidade controladora decide qual é a melhor forma de atuar no veículo, enviando uma resposta em forma de corrente direta para os componentes responsáveis por regular o movimento do carro (AUSTIN; MORREY, 2000).

Os autores Austin e Morrey (2000) complementam o processo descrito acima, explicando que este processo consiste tipicamente de dois processadores 68HC11, que executam o mesmo programa simultaneamente e independentemente. Isso significa que se um processador vier a falhar o outro garante o bom funcionamento do sistema de controle de tração. Se a falha ocorrer, uma luz de emergência se acende no painel para indicar ao motorista que ele deve realizar uma manutenção no sistema e que, a partir desse momento. A ECU realiza uma varredura pelo sistema toda vez que o veículo é ligado. Ao constatar falhas, desconecta os sistemas automáticos e os converte para os sistemas convencionais.

Os códigos de solução de problemas (DTCs) indicam de que forma a ECU deve controlar o sistema, de forma a evitar o escorregamento do veículo. Esses códigos são carregados na unidade controladora utilizando um scanner. Devido à limitação de memória computacional da ECU, os algoritmos de diagnósticos mais utilizados são substancialmente mais simples do que os métodos propostos pelos pesquisadores (LUO et al.,2007).

A Figura 10 representa a configuração de um sistema no qual suas funções incluem o controle eletrônico dos freios, controle eletrônico da válvula borboleta, controle de injeção de combustível e ignição uma configuração baseada no método de modelagem FDI (Fault Detection and Isolation) do sistema do motor.

Figura 10 - A configuração do sistema para o IDE baseado em modelo FDI



Fonte: Luo et al. (2007)

### 3.3 SENSORES DE VELOCIDADE DAS RODAS

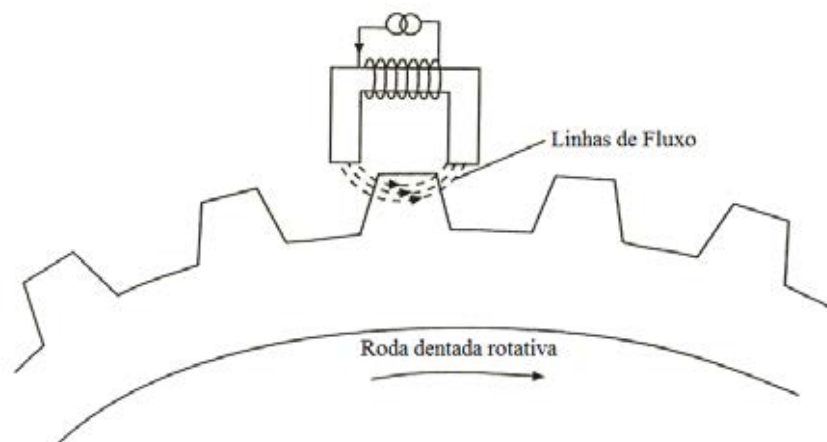
No capítulo 2, os sensores de velocidade das rodas foram definidos como sendo captadores eletromagnéticos. Devido a sua importância no sistema de controle de tração, é válido descrevê-los com mais detalhes.

Os autores Austin e Morrey (2000 apud HEISLER, 1999) afirmam que o sensor de velocidade das rodas é composto por uma roda dentada e um sensor HALL, envolto por uma

bobina, que possui um campo magnético permanente (SANTOS, 2008). A roda dentada é construída em aço com baixo carbono e está presa ao cubo da roda do automóvel. O sensor HALL é montado em um suporte estacionário, acima da roda dentada.

Um transdutor comum é construído baseado em regulação de fluxo utilizando um transformador magnético. Já o sensor HALL é construído em material magnético e possui um fluxo magnético constante. Esse fluxo magnético se sobrepõe a um dente da roda dentada, conforme ilustrado na Figura 11. (AUSTIN; MORREY, 2000 apud BENNETT, 1996).

Figura 11 – Sensor magnético de velocidade



Fonte: Austin e Morrey, (2000).

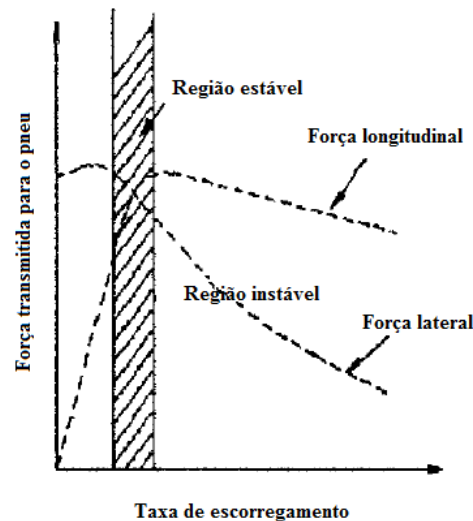
Conforme a roda se movimenta, a roda dentada rotaciona em conjunto; seus dentes e vãos se alternam ao entrar em contato com o campo magnético do dispositivo sensor induzindo uma tensão alternada na bobina que envolve o mesmo. A frequência da voltagem gerada através deste processo é proporcional à velocidade de rotação da roda (AUSTIN; MORREY, 2000).

Com a implantação dos sensores velocidade das rodas, os sistemas de controle de tração passaram por uma grande evolução devido à identificação com precisão da derrapagem de uma roda do veículo.

#### 4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO

Dirigindo um automóvel em uma estrada escorregadia, há chances de derrapagem ao acelerar, frear ou fazer uma curva em alta velocidade. O escorregamento ocorre porque o coeficiente de atrito  $\mu$  entre o pneu e a pista é menor do que o necessário para manter a tração do veículo. O coeficiente de atrito  $\mu$  diminui ainda mais com o aumento do escorregamento. É possível observar na Figura 12 que, dentro de uma região estável, a força longitudinal aumenta até um valor máximo, mas em seguida entra em uma região instável, chegando a um valor 20% menor do que o inicial. Nesta mesma região instável, a força lateral do pneu é reduzida. Quando o escorregamento é muito grande, o seu valor é zero ou desprezível. Neste ponto, para veículos de tração dianteira, as rodas da frente não conseguem ser tracionadas. (KABGANIAN; KAZEMI, 2001)

Figura 12 – Características das forças longitudinal e lateral



Fonte: (KABGANIAN; KAZEMI, 2001), tradução nossa.

Em seu artigo, os autores descrevem o objetivo do controle de tração, transcrito a seguir:

O objetivo do controle antiderrapante (ou sistema de controle de tração [TCS]) é determinar o torque máximo do motor, que pode ser transmitido para as rodas

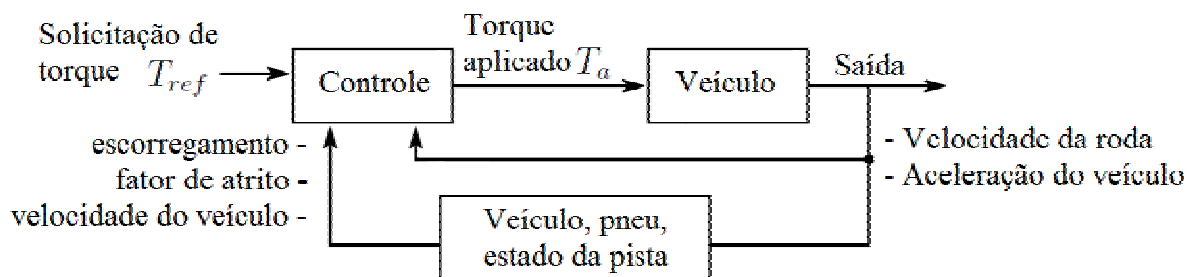


motrizes, de modo que o nível de deslizamento permaneça dentro de uma faixa estável. O controle de escorregamento das rodas requer que o torque fornecido pelo motor seja distribuído da melhor forma para as rodas motrizes, dissipando o excesso de torque. (KABGANIAN; KAZEMI, 2001, p. 1540, tradução nossa).

Da mesma forma, os autores Chen et al. (2013) descrevem a funcionalidade do sistema de controle de tração (ou como denominado em sua obra, sistema regulador de escorregamento na aceleração [ASR]). Os autores declaram que, assim como quando se freia um automóvel, ao acelerar o mesmo, o coeficiente de tração dos pneus com a estrada pode ser menor que o limite mínimo de aderência entre o pneu e a pista. Dessa forma, as rodas motrizes do veículo irão escorregar. Se o deslizamento ocorre, ele não só irá reduzir a performance do veículo, aumentar a carga do sistema de transmissão e o consumo de combustível, como também diminuirá a dirigibilidade. O sistema ASR resolve esses exemplos funcionando em conjunto como o sistema de ABS.

Em relação aos benefícios para o usuário, Tong (2007) apresenta em sua obra que o sistema de controle de tração melhora a segurança durante o mau tempo e reduz o desgaste dos pneus, impedindo o deslizamento excessivo roda. Esse autor propõe um modelo esquemático geral sobre um sistema de controle de tração em automóveis, reproduzido na Figura 13 a seguir.

Figura 13 – Estrutura geral de um sistema de controle de tração



Fonte: Tong (2007), tradução nossa.

A aplicação do torque máximo nas rodas irá satisfazer a necessidade do motorista sem exceder as limitações de desempenho dos pneus (como determinado através dos valores medidos nos sensores e estimativa do estado da pista). O limite de desempenho do pneu é definido como a força máxima que pode ser gerada entre o pneu e estrada sem gerar deslizamento (TONG, 2007).

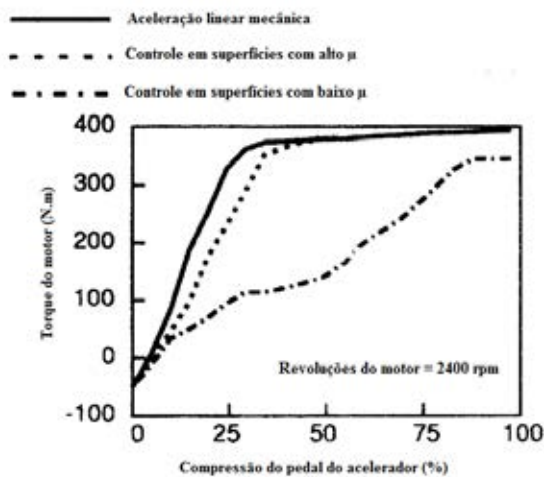
#### 4.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO POR VÁLVULA BORBOLETA

Devido à importância deste componente, optou-se por dedicar uma sessão do presente trabalho sobre a válvula borboleta. Em trabalhos pesquisados sob o tema de controle de tração, o sistema de controle foi projetado baseado no torque transmitido para as rodas motrizes. Tendo em vista que em carros de passeio esse torque é gerado em um motor de combustão interna, é possível regular o torque do motor ao controlar a angulação de sua válvula borboleta (KABGANIAN; KAZEMI, 2001).

Complementando, Song e Byun (1999) escrevem que o controle da válvula borboleta influencia na potência do motor regulando a quantidade de ar que entra para o mesmo. Em motores convencionais, a angulação de abertura da válvula borboleta é diretamente proporcional à compressão do pedal do acelerador. Isto determina a potência transmitida do motor para as rodas motrizes (IBARAKI et al., 1994).

O sistema de controle de tração por válvula borboleta utiliza características de aderência da pista, condições de atmosfera, situação de operação que o veículo se encontra e algoritmos pré-programados para realizar os cálculos que permitem que o veículo utilize o melhor torque possível do motor.

Figura 14 – Representação gráfica do controle do torque do motor



Fonte: Ibaraki et al. (1994), tradução nossa.

Na Figura 14 é possível observar o comportamento de um sistema de controle de tração por válvula borboleta. Pode-se notar que em pistas com alto coeficiente de atrito na superfície, o torque do motor é controlado pela compressão do pedal. Isso ocorre porque o torque gerado pelo motor é menor que o torque necessário para fazer as rodas deslizar. Nota-se também que, em pistas com baixo coeficiente de atrito na superfície, o torque do motor é controlado pelo sistema de controle de tração, no qual o torque gerado pelo motor é maior ou igual ao torque necessário para fazer as rodas deslizarem.

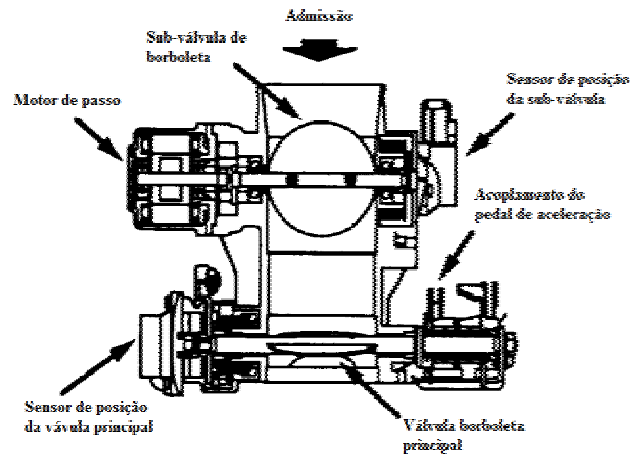
#### 4.1.1 Válvula Borboleta

A válvula borboleta é utilizada quando surge a necessidade de controlar a potência ou o torque do motor. O torque do motor é regulado quando é necessário atingir uma velocidade específica. Esse controle (torque ou velocidade) ocorre através da vazão de massa de ar que entra no motor. Quando a válvula borboleta está em uma posição intermediária, ou seja, não está nem completamente aberta e nem completamente fechada, o fluxo de ar que entra no motor é limitado e, por consequência, limita o torque gerado. Esse efeito de estrangulamento depende do ângulo de abertura da válvula borboleta. O torque máximo é obtido quando a válvula borboleta está completamente aberta (BOSCH, 2000).

Os autores Ibaraki et al. (1994) apresentam um modelo de construção de válvulas borboleta no qual são utilizadas duas válvulas borboletas em série, como demonstrado na

Figura 15. Em sua obra os autores descrevem o propósito deste dispositivo como de manter os passageiros do automóvel em segurança.

Figura 15 – Válvulas borboleta eletrônicas em série

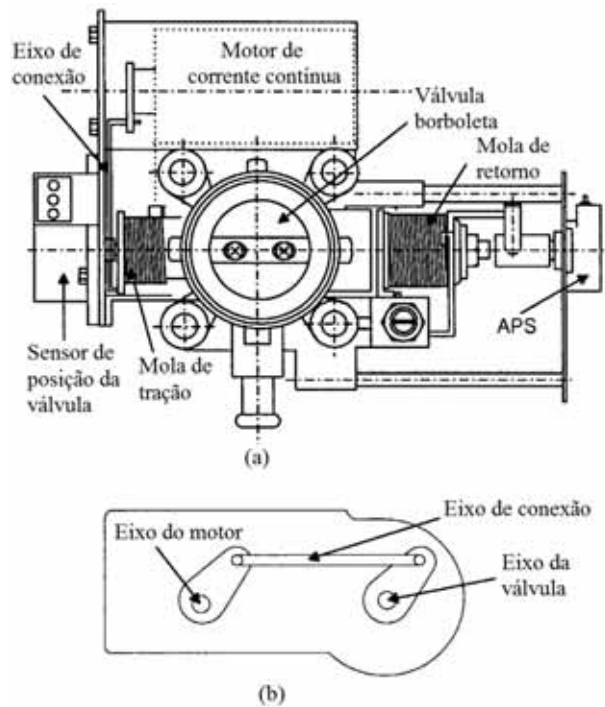


Fonte: Ibaraki et al. (1994), tradução nossa.

O sistema apresentado possui uma sub-válvula controlada por um motor elétrico de passo, situado a montante da válvula borboleta principal, que por sua vez é mecanicamente ligada ao pedal do acelerador por um acoplamento linear. Uma mola é utilizada para garantir o retorno da válvula à sua posição inicial. O motor de passo aplica pouca resistência quando se encontra desligado e, quando está em operação, este motor é responsável pela abertura que irá transmitir uma relação de tração ótima para os pneus (IBARAKI et al.,1994).

O modelo proposto por Song e Byun (1999) tem apenas uma válvula borboleta (ver Figura 16). Mas possui as mesmas funções encontradas no sistema, mencionado acima, com duas válvulas borboletas. Ou seja, quando o sistema de controle de tração não está em funcionamento, a válvula borboleta é utilizada como uma válvula normal, reguladora da quantidade de ar que entra para o motor de acordo com a posição do pedal do acelerador. Porém, quando o sistema está em funcionamento, a válvula borboleta é conduzida pelo servomotor de corrente contínua, quando a quantidade de ar que entra para o motor não está mais de acordo com a intenção do condutor.

Figura 16 – (a) Aparência do sistema de controle de tração por válvula borboleta de Song e Byun; (b) Eixo de conexão entre o motor de corrente contínua e a válvula borboleta



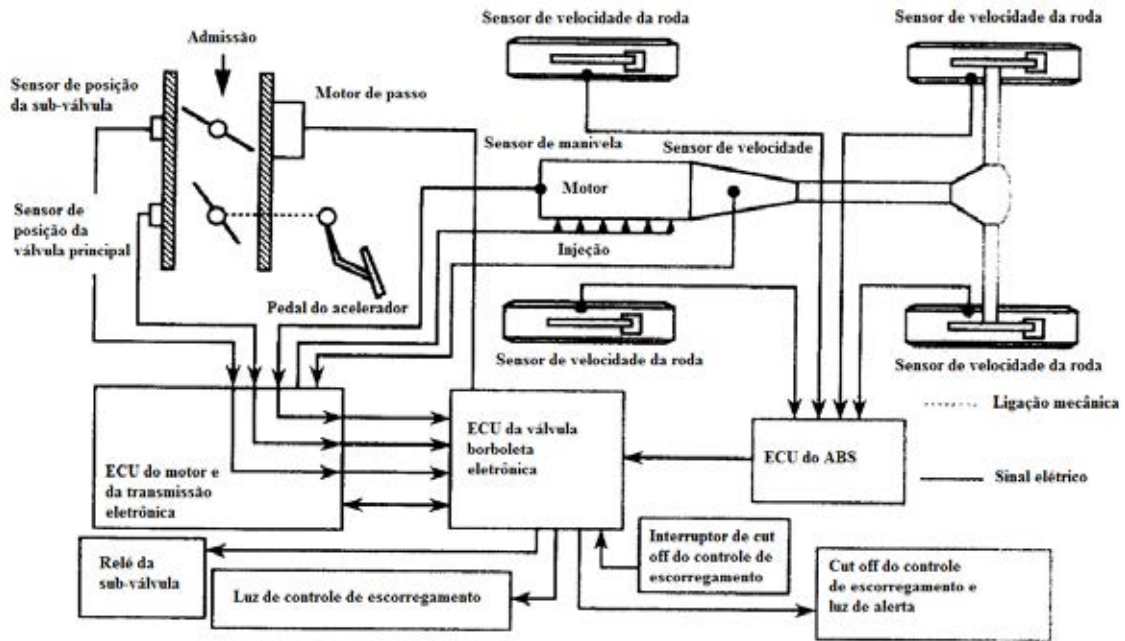
Fonte: Song e Byun 1999, tradução nossa.

As vantagens do modelo proposto por Song e Byun (1999) são de pequeno volume, menor custo de fabricação (se comparado com os modelos de duas válvulas) e tempo de resposta mais rápido (se comparado com modelos que utilizam atuadores a vácuo no lugar de motores elétricos).

#### 4.1.2 Sistema de Controle de Tração por Válvula Borboleta

Diferente do sistema de controle de tração por freios, a aplicação da válvula borboleta atua no motor do veículo, e não nas rodas. A Figura 17 mostra um exemplo de configuração de sistema de controle de tração por válvula borboleta.

Figura 17 – Diagrama do sistema de controle



Fonte: Ibaraki et al (1993), tradução nossa.

No esquema acima são representadas a ECU controladora da válvula, a ECU do motor e transmissão eletrônica e a ECU do ABS. Essas ECUs recebem dados de operação como, por exemplo, velocidade das rodas e ângulo de abertura das válvulas borboleta. A partir desses dados, as ECUs executam algoritmos pré-programados e determinam o torque que deve entregar para as rodas nas condições atuais de rodagem do veículo.

Com o objetivo de atingir o torque calculado anteriormente, o sistema corrige a angulação da sub-válvula borboleta. Ao restringir a passagem de ar pela válvula borboleta, restringe-se também, o torque entregue para as rodas motrizes (IBARAKI et al.,1994).

#### 4.1.3 Descrição do Controle do Pneu Derrapante

O sistema de controle de tração é alimentado pelos sensores de velocidades das rodas e utiliza essas informações para determinar a taxa de escorregamento “ótima”. Se necessário, o sistema reduz o torque do motor visando reduzir a taxa de escorregamento mesmo que o condutor esteja acelerando o veículo. Por este motivo, o sistema cria uma condução segura e

estável independente do condutor. O sistema não controla o acionamento do pedal, porém controla a quantidade de deslizamento dos pneus de forma a obter o máximo torque possível sem perder tração com o solo (IBARAKI et al, 1993).

Os autores Ibaraki et al (1993) propõe em sua publicação uma equação do movimento (1) para o sistema durante uma aceleração, conforme reproduzido a seguir. Nesta equação,  $\mu.W$  é a força de reação da superfície da pista nas rodas e contribui para a aceleração do veículo.

$$I\dot{\omega} = T - \mu.W.R \quad (5)$$

Sendo,

$I$  = momento de inercia

$\dot{\omega}$  = velocidade angular

$T$  = torque da roda tracionada

$\mu$  = fator de atrito

$W$  = peso da roda tracionada

$R$  = raio efetivo do pneu

O sistema de controle de tração convencional utiliza o torque das rodas motrizes, obtido através da equação (1), com o objetivo de corrigir esse valor e fazendo com que o escorregamento convirja para um valor aceitável. Se a taxa de deslizamento atual é excedida pela taxa alvo, um valor negativo é utilizado do lado direito da equação (1) para reduzir a taxa de deslizamento, reduzindo a aceleração das rodas tracionadas. Nesse instante, mesmo se o condutor acelerar o veículo, as rodas motrizes reduzirão sua velocidade e o torque do motor não corresponderá à quantidade de compressão do pedal (IBARAKI et al, 1993).

## 4.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TRAÇÃO PELOS FREIOS

Ao dirigir um veículo, a segurança e o conforto são altamente influenciados pelo desempenho do veículo na frenagem, tendo em vista que vários problemas podem ocorrer nesse momento (MUTOH et al, 2007).

Em um veículo de passeio com um sistema de controle de tração, suas rodas são tracionadas por um diferencial ao acelerar. O diferencial tem a função de dividir o torque gerado pelo motor e distribuí-lo para as rodas, conectadas ao diferencial por eixos. Os diferenciais tendem a distribuir mais torque para a roda que estiver com menos tração, fazendo-as patinar. Para evitar que alguma roda patine o sistema de controle de tração verifica se alguma roda está patinando. Se estiver, o sistema irá freia-la, forçando assim o diferencial a enviar mais torque para a roda que estiver estática (maior tração) (GATES, 2000).

O autor Farr (1993) complementa a citação acima e afirma que o objetivo do sistema de controle de tração é proporcionar um sistema em que seja possível limitar a rotação de uma roda que esteja recebendo torque em excesso através dos freios, possibilitando que o torque possa ser transmitido através do diferencial para outra/outras rodas. Os autores Patterson et al. (2013) reforçam a ideia de que os sistemas de controle de tração baseados nos freios tem como objetivo atuar através do freio na roda que estiver derrapando a fim de transferir o torque da roda que está derrapando para a roda não está girando.

#### **4.2.1 Freios ABS e de um Sistema de Controle de Tração Pelos Freios**

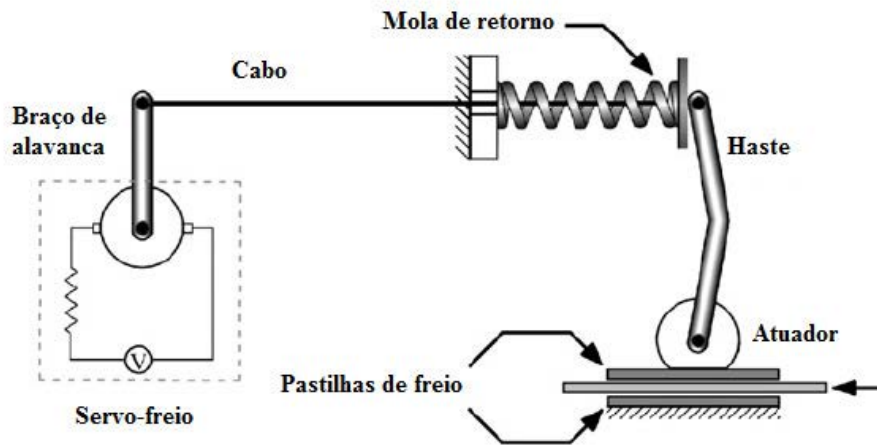
O autor Eduardo (2008) afirmação que o sistema de controle de tração pelos freios utiliza os mesmos componentes que o sistema ABS. Por ser o mesmo componente, é válido descrever o freio utilizado em um sistema ABS, sendo seus principais componentes:

- servo-freio;
- braço de alavanca;
- cabo de ligação;
- mola de retorno;
- haste;
- roldana;
- rotores;
- pastilhas de freio.

O esquema de um sistema ABS é representado na Figura 18.



Figura 18 – Esquema de um freio tipo ABS



Fonte: Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011)

Interpretando o esquema acima, o funcionamento ocorre da seguinte forma: a ECU controla a tensão que alimenta o motor, o motor possui um braço de alavanca acoplado, que por sua vez possui um cabo responsável por interligar o braço de alavanca a roldana. Esse sistema utiliza uma mola para que, quando não está atuando, permaneça na posição inicial.

#### 4.2.2 Sistema de Controle de Tração Pelos Freios

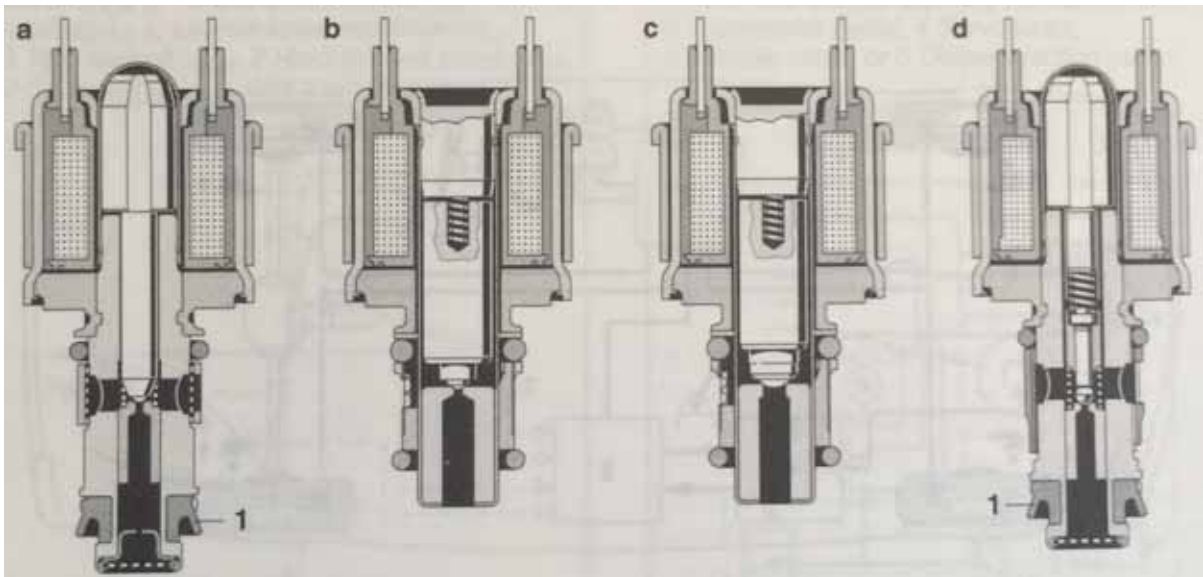
Na sessão 4.1.1 deste trabalho é citado que o sistema de controle de tração funciona em conjunto com o sistema ABS. Dessa forma, a plataforma de funcionamento do sistema de controle de tração por freios é a mesma plataforma de funcionamento do sistema ABS, salvo algumas alterações no sistema. Por isso, é apresentado a seguir o sistema de controle de tração da Bosch ABS/TCS5, que consiste em um sistema com capacidade de exercer as funções de ABS e de controle de tração e, logo após, é apresentada a explicação do funcionamento do sistema proposta pelos autores Portões e Schantz.

O Handbook automotivo da Bosch (2000) propõe um sistema ABS padrão que é ampliado para se tornar um sistema de controle de tração (TCS). O mesmo livro afirma que essa ampliação ocorre ao adicionar duas válvulas solenoides ao sistema ABS, com função de isolar o cilindro mestre do TCS. Adiciona-se também duas válvulas de alívio de pressão, responsáveis por regular a pressão no sistema.

Sistemas comuns possuem válvulas solenoides de três vias, “acúmulo de pressão”, “pressão de manutenção” e “descarga”. Essas válvulas tem finalidade de regular a pressão do sistema e fornecer pressão adequada para controle da força dos freios nas rodas tracionadas (BOSCH, 2000).

A Bosch (2000) desenvolveu um sistema de controle utilizando válvulas solenoides de duas vias (ver Figura 19) e, por esse motivo, foi possível reduzir o peso e o custo do sistema sem perder as funções exercidas pelos sistemas comuns, além de obter a vantagem de poder isolar o circuito.

Figura 19 – Válvulas solenoides 2/2 para o sistema ABS/TCS5



Fonte: BOSCH Automotive Handbook (2000).

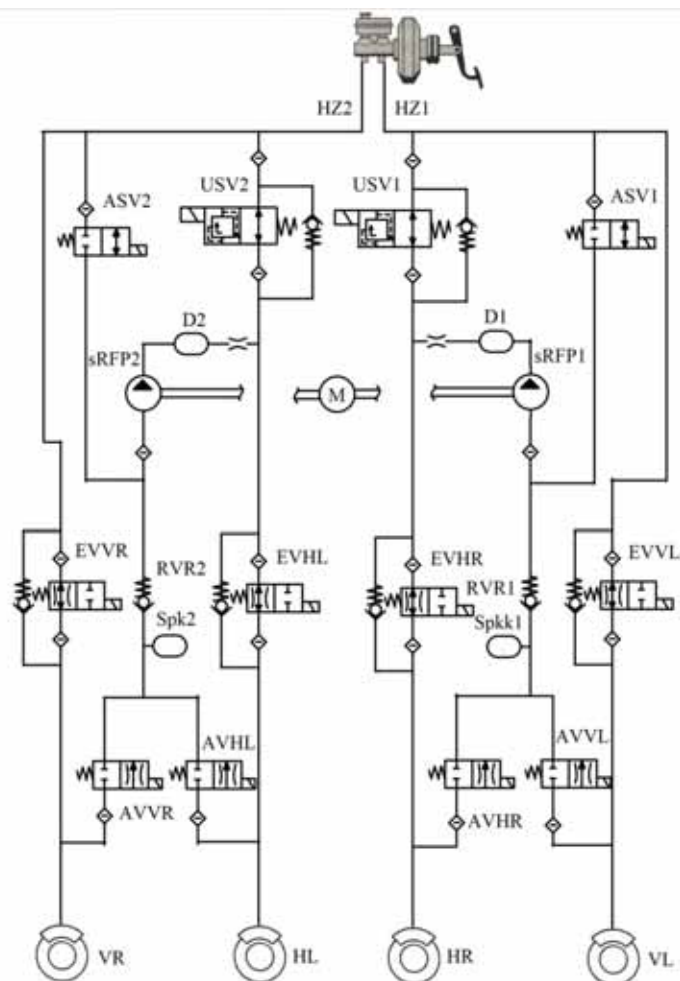
Onde:

- a. Válvula de admissão

- b. Válvula de saída
  - c. Válvula de tomada de pressão
  - d. Válvula piloto
1. Conexão da válvula anti-retorno

Na Figura 20 é possível observar o sistema completo proposto pela Bosch.

Figura 20 – Diagrama esquemático para o sistema hidráulico ABS/TCS5 para configuração do circuito de freio.



Onde:

HZ1,2 linhas do cilindro principal

USV1,2 válvulas de controle do circuito

D1, D2 câmaras atenuadoras

RVR1,2 válvulas de vácuo/segurança

AV (HR, HL, VR, VL) válvula de alívio de pressão

ASV1,2 válvulas de sucção

sRFP1,2 bombas de retorno

Spk1.2 câmaras acumuladoras

EV (HR, HL, VR, VL\*) válvulas de pressurização

HR, HL, VR, VL freios das rodas

\*HR traseiro direito

\*HL traseiro esquerdo

\*VR frontal direito

\*VL frontal esquerdo

Uma explicação sobre o funcionamento do sistema de controle de tração pelos freios é apresentada pelos autores Portões e Schantz (2000). Esse sistema possui dois mecanismos de freios hidráulicos (veículo com tração em duas rodas), um em cada roda tracionada do veículo, além de duas válvulas responsáveis por controlar a pressão entregue para os mecanismos de freio.

Quando o sistema de controle de tração não está atuando, o pedal de freio (pressionado pelo motorista) opera as válvulas simultaneamente com o objetivo de acionar simultaneamente os freios das rodas em função da pressão feita pelo pé do motorista. As válvulas acionadas pelo pedal de freio têm como função liberar a pressão piloto necessária para acionar a válvula associada ao atuador do freio de cada roda. O monitoramento contínuo da velocidade de rotação das rodas acontece através dos sensores de velocidade. Ao detectar que alguma roda está derrapando, a unidade de controle (ECU), ligada aos sensores de

velocidade das rodas, aciona uma das duas válvulas que irá liberar a pressão piloto necessária para acionar a válvula associada ao atuador do freio da roda que está derrapando. Ao receber a pressão piloto a válvula do freio provoca o funcionamento do mecanismo de freio na roda de giro mais rápido. Como dito anteriormente no capítulo 4 deste trabalho, o torque do motor é então transferido através de um diferencial para a outra roda (EUCLID-HITACHI, 2000).

#### 4.2.3 Fórmulas Envolvidas no Controle da Tração Pelos Freios

Neste capítulo são aprestados os cálculos que modelam o controle dos freios do sistema ABS e sistema de controle de tração. Os cálculos foram propostos pelos autores Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011).

O coeficiente de atrito é dado pela fórmula (6):

$$\mu = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{F_z} \quad (6)$$

A força longitudinal  $F_x$  e a força lateral  $F_y$  podem ser determinadas através da constante de velocidade linear e angular a partir da fórmula de Pacejka.  $F_z$  é a força normal. No entanto, uma das principais desvantagens deste modelo é a sua incapacidade de descrever os efeitos dos pequenos e grandes deslizamentos na aceleração.

Os mesmos autores apresentam a fórmula de Burckhardt, utilizada para modelar as forças do pneu. A fórmula é apresentada na equação (7):

$$\mu(\sigma_x, \dot{x}_r) = [C_1(1 - e^{-C_2\sigma_x}) - C_3\sigma_x]e^{-C_4\sigma_x\dot{x}_r} \quad (7)$$

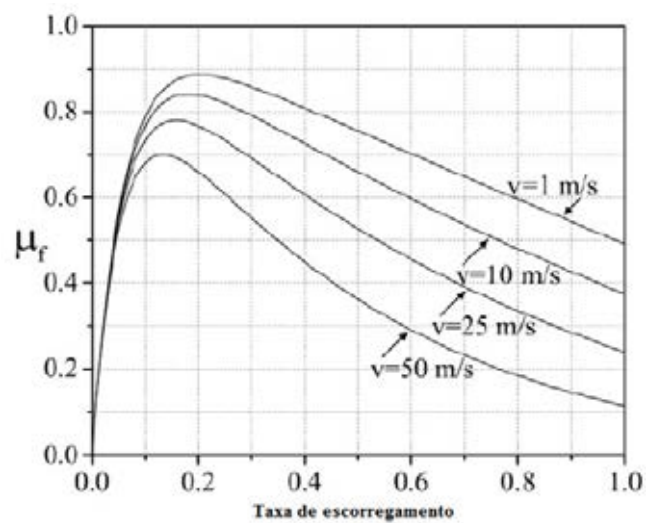
Os parâmetros constantes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  são determinados experimentalmente. Estes parâmetros dependem das condições da estrada e são apresentadas na Tabela 1. As curvas de taxa de escorregamento por fator de atrito obtidas a partir deste modelo são mostradas na Figura 21.

Tabela 2 - Parâmetros de atrito entre a pista e o pneu

Condições da superfície	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
Asfalto seco	1.029	17.16	0.523	0.03
Asfalto molhado	0.857	33.822	0.347	0.03
Paralelepípedo seco	1.3713	6.4565	0.6691	0.03
Neve	0.1946	94.129	0.0646	0.03

Fonte: Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011), tradução nossa.

Figura 21 - Curva de taxa de escorregamento por fator de atrito para condição de asfalto seco em diferentes velocidades



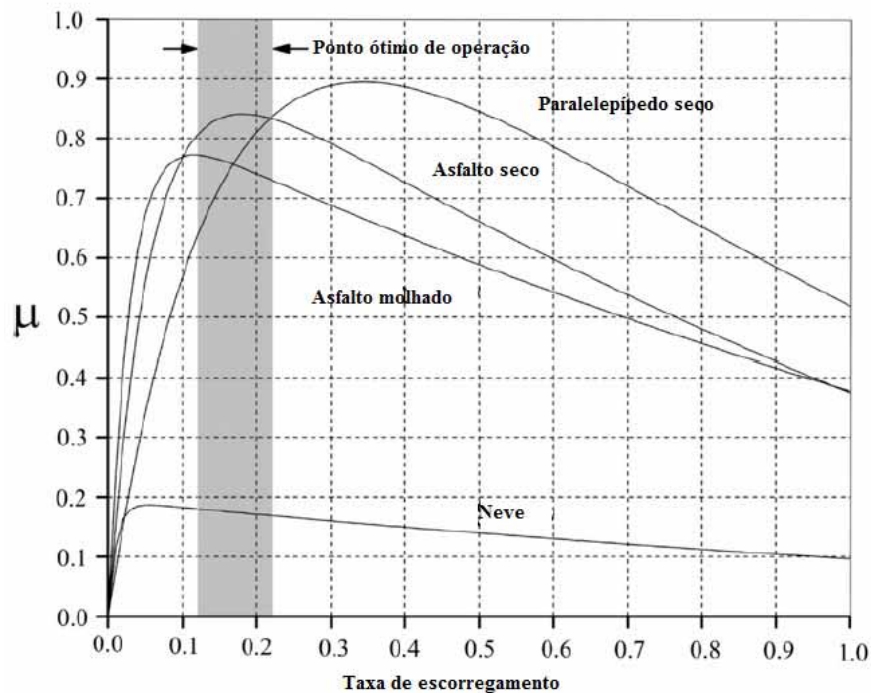
Fonte: Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011), tradução nossa

A variação da derrapagem do pneu oscila entre valores máximo e mínimo e, dessa forma, o torque utilizado nos freios varia da seguinte forma:

$$\tau_i = \begin{cases} \tau_{i-1} & \tau_{max} & \sigma_x < \sigma_{baixo} \\ \tau_{baixo} & & \sigma_{baixo} \leq \sigma_x \leq \sigma_{alto} \\ 0 & & \sigma_x > \sigma_{alto} \end{cases} \quad (8)$$

Na fórmula anterior (8) é possível observar que o torque ( $\tau$ ) aplicado nos freios é diferente para cada taxa de escorregamento ( $\sigma$ ). A curva de taxa de escorregamento por fator de atrito para uma roda a uma velocidade de 10 m/s é demonstrada na Figura 22.

Figura 22 - Coeficiente de atrito versus taxa de escorregamento para diferentes superfícies



Fonte: Bera, Bhattacharya e Samantaray (2011), tradução nossa

A curva apresenta um veículo rodando em algumas condições de estrada. É possível observar na Figura que o coeficiente de atrito aumenta junto com o deslizamento até um valor máximo e, em seguida, diminui de forma constante. Como a dinâmica do deslizamento é muito rápida e instável para qualquer valor após o valor máximo da curva, o valor do deslizamento deve ser mantido dentro de um intervalo determinado que é chamado ponto ótimo de operação (ver a área sombreada na Figura 22). O coeficiente de atrito máximo atingível é diferente para cada velocidade (ver Figura 21).

É difícil prever com precisão a condição da estrada a partir dos sensores a bordo do veículo. No modelo proposto pelos autores, a ótima relação de escorregamento é entre 0,2-0,25. Esta gama oferece uma boa confiabilidade onde perto dela o coeficiente de atrito máximo é alcançado para todos os tipos de superfícies de estrada (assim, eliminando a exigência de reconhecimento de condição de estrada) e velocidade do veículo (BERA; BHATTACHARYA; SAMANTARAY, 2011).

## 5 CONCLUSÃO

O mapeamento das funcionalidades, aplicações e composições do sistema de controle de tração permitiu estudar esse sistema automotivo desde seu surgimento e evolução, até seu funcionamento mecânico. O trabalho descreve o funcionamento dos sistemas de controles de tração atuados pela válvula borboleta e pelos freios e seus principais componentes. O trabalho apresenta também, noções básicas da interação dos pneus com a pista, da unidade controladora (ECU) de um veículo e dos sensores de velocidade das rodas.

Como fator crítico da segurança de um veículo, o sistema de controle de tração ainda é pouco difundido em carros populares, mas mesmo assim foi possível perceber grande tecnologia agregada em sua aplicação. Assim, o objetivo do trabalho foi atingido.

Além disso, foi possível perceber que a literatura disponível sobre o tema provém de pesquisas patrocinadas por indústrias do ramo devido ao seu investimento em inovação tecnológica. Por isso, grande parte da bibliografia utilizada foi de língua estrangeira, no formato de patentes ou artigos científicos.

Conclui-se também que o sistema de controle de tração (TCS) evoluiu para o sistema de controle de estabilidade (ESP). Por utilizar mais sensores e mais componentes que o TCS, o ESP consegue controlar de maneira mais completa e precisa a estabilidade do veículo.



## 5.1 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Propõe-se a continuidade do estudo de sistemas automotivos cujo objetivo principal é segurança do veículo e seus passageiros. Como o sistema de controle de tração é um sub-sistema do ESP, sugere-se seu estudo detalhando sua capacidade de corrigir a trajetória de um veículo, impedindo-o de sair de seu curso.

Propõe-se também a modelagem de um algoritmo capaz de atuar um sistema de controle de tração através dos freios e da válvula borboleta simultaneamente, tende em vista que não foram encontrados trabalhos que realizassem tal algoritmo.

Como o peso dos componentes embarcado em veículos automotores tem influência direta sobre o consumo e o desempenho do veículo, propõe-se um trabalho sobre os materiais dos componentes presentes nos sistemas de segurança dos veículos.

## REFERÊNCIAS

AUSTIN L., MORREY D. Recent advantages in antilock braking systems and traction control systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 2000 214 páginas 625-638

AUTOMOBILE Peugeot. Jean-Claude Boudeville, Jacques Gelin. Anti-skid system for the driving wheels of automotive vehicles. US 3938612, 24 Abr 1973, 17 Fev 1976.

BELINI, C. Pronunciamento de Cledorvino Belini, para o Triênio 2010/2013. [S.l.: s.n.], 2010, 6 p.

BENNETT, A. Hall-effect transducers in traction control. Electrotechnology, feb.-mar. 1996. p. 16-17.

BERA, T.K.; BHATTACHARYA, K.; SAMANTARAY, A.K. Evaluation of antilock braking system with na integrated modelo full vehicle system dynamics. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, 721 302 Kharagpur, India. Simulation Modelling Practice and Theory 19, 2011. p. 2131–2150

BERETTA, C. C. Tração animal na agricultura. São Paulo: Nobel, 1988. 101 p.

**BOSCH Automotive Handbook, 2000**

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia Científica: para uso dos estudantes universitários. 3.ed. São Paulo : McGraw-Hill do Brasil, 1983.

CHAROUX, Ofélia M. G., Metodologia: Processo de Produção, Registro e Relato do Conhecimento, São Paulo, DVS Editora Ltda., 2004.

CHEN, H. et al. Automotive Control: the State of the Art and Perspective. Acta Automatica Sinica, vol. 39, no. 4, abr. 2013. p. 322-347.

COMO funciona o Controle de Estabilidade (ESP). Salão do Carro, 2012b. Entenda como esse mecanismo garante a prevenção de acidentes e recoloca seu carro nos trilhos. Disponível em: <<http://salaodocarro.com.br/como-funciona/controle-de-estabilidade-esp.html>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

COMO funciona o Controle de Tração. Salão do Carro, 2012a. Descreve como esse mecanismo atua em pisos escorregadios ou curvas sinuosas. Disponível em: <<http://salaodocarro.com.br/como-funciona/controle-de-tracao.html>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

DAIMLER Benz Ag. M Burckhardt et al. Device for prevention of spinning of the driven wheels of a motor vehicle. US 3779331, 27 set. 1972, 18 dez. 1973.

ECKERMANN, E. World History of the Automobile. Society of Automotive Engineers, 2001. 371 p.

EDUARDO G. de P. Neuro-controlador ótimo por algoritmos genéticos para múltiplos sistemas ativos de dinâmica veicular em guinada. Tese de doutorado apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

ELECTRONIC Stabilisation Program. Webpage Volkswagen, 2014?. Glossário Técnico da Volkswagen sobre o Programa Eletrônico de Estabilidade. Disponível em: <[http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/elektronisches\\_stabilisierungsprogramm.html](http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/elektronisches_stabilisierungsprogramm.html)>. Acesso em: 8 mar. 2014.

ELECTRONIC stability control found effective; main effect is to reduce single-vehicle crash risk, including the risk of fatal single-vehicle crashes. IIHS News, 2004. Disponível em: <<http://www.iihs.org/iihs/news/desktopnews/electronic-stability-control-found-effective-main-effect-is-to-reduce-single-vehicle-crash-risk-including-the-risk-of-fatal-single-vehicle-crashes>>. Acesso em: 8 mar. 2014.

EUCLID-HITACHI Heavy Equipment Inc. Eric Gates, Ronald Schantz. Sistema de controle de tração. US6092881, 5 Mar 1997, 25 Jul 2000.

FOLHETO de lançamento de produto da empresa Buick – MaxTrac, 1971. Webpage dedicada ao Buick Riviera. Disponível em: <<http://www.buick-riviera.com/maxtrac.html>>. Acesso em: 9 de março de 2014.

FONSECA, R. L. da. Tire dúvidas sobre controle de tração, Globo.com, 2009. Descreve como o sistema de controle de tração funciona. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL1225838-9658,00-TIRE+DUVIDAS+SOBRE+CONTROLE+DE+TRACAO.html>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

GENERAL Motors Corporation. Daniel F. Kabasin; Donald D. Stoltman. Vehicle traction control system. US4721176, 28 Nov 1986, 26 Jan 1988.

GIL, Antonio Carlos, Como Elaborar Projetos de Pesquisa, 4. Ed. São Paulo, Atlas, 2002

GIMENEZ, K. A fantástica ciência do Egito antigo. Super Interessante, 2003. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ciencia/fantastica-ciencia-antigo-egito-444035.shtml>>. Acesso em: 28 de março de 2014.

GUEDES, A. C.; FERNANDES, L. P. Do móvel ao automóvel: Transitando pela história. Museu Histórico Nacional, 20??. Disponível em: <http://www.museuhistoriconacional.com.br/mh-e-330i.htm>. Acesso em: 28 de março de 2014.

HALL-GEISLER, K. How Electronic Stability Control Works. How Stuff Works, 2009. Descreve como o controle eletrônico de estabilidade funciona. Disponível em: <<http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/electronic-stability-control3.htm>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

HEISLER, H. Vehicle and Engine Technology, 1999.

IBARAKI, T. et al. Developmen of an electronic throttle control system. Technical notes/JSAE Review 15, 1994. p. 345-347.

KABGANIAN, M.; KAZEMI, R. A New Strategy for Traction Control in Turning Via Engine Modeling. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 50, no. 6, 2001, p. 1540-1548.

LUCAS INDUSTRIES public limited company (Inglaterra). Glyn Phillip Reginald Farr. Traction Control System. EP 0303470 B1, 10 ago. 1988, 13 out. 1993.

LUO J. et al. An Integrated Diagnostic Development Process for Automotive Engine Control Systems. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and reviews, vol. 37, No. 6, nov. 2007. p. 1163-1173

MATTAR João, Metodologia Científica na era da Informática, 3. Ed. São Paulo, Editora Saraiva, 2008.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas no mundo. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 568 p.

PATTERSON, Michael S., Fusion of driving and braking tire operational modes and analysis of traction dynamics and energy efficiency of a 4 x 4 loader, Journal of Terramechanics 50, p. 133–152, 2013

ROBERT Bosch GmbH. Heinz Leiber; Dieter Roller; Volker Braschel. Vehicular anti-skid braking system. US4460963, 27 Set 1982, 17 Jul 1984.

SANTOS, F. D. Utilização de DSPs e e FPGAs em Unidades Eletrônicas Automotivas. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SHEPHERD Machinery Co. Willard W Shepherd. Wheel Speed Control. US 3288232, 21 set. 1964, 29 no. 1966

SONG, J.; BYUN, K. Throttle actuator control system for vehicle traction control, Mechatronics 9, 1999. p. 477-495.

TONG Kuo-Feng, Simultaneous Plant/Controller Optimization of Traction Control for Electric Vehicle. Tese de mestrado. Waterloo, Ontario, Canada, 2007

TRACTION Control (ASR). Webpage Volkswagen, 2014?. Setor de Inovação & Tecnologia da Volkswagen. . Disponível em: <<http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/antriebsschlupfregelungasr.html>>. Acesso em: 8 mar. 2014.

TRACTION Control. Webpage oficial da Fórmula 1, 20???. Understanding Fórmula 1 Racings. Disponível em: <[http://www.formula1.com/inside\\_f1/understanding\\_the\\_sport/5278.html](http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_the_sport/5278.html)>. Acesso em: 15 mar. 2014.

WABCO Fahrzeugbremsen G.M.B.H. Erich Reinecke. Anti-skid and anti-spin braking system. US4260199, 30 Mar 1979, 7 Abr 1981.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 1992