

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

CAIO ROBERTO DOS SANTOS
FERNANDO TADEU GIMENEZ

SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA E CONTROLADA POR MOTOR ELÉTRICO

SANTO ANDRÉ
2018

**CAIO ROBERTO DOS SANTOS
FERNANDO TADEU GIMENEZ**

SISTEMA DE DIREÇÃO ASSISTIDA E CONTROLADA POR MOTOR ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Tecnologia de Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva e de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.
Orientador: Professor Dr. Edson Caoru Kitani

**SANTO ANDRÉ
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

S237s

Santos, Caio Roberto dos
Sistema de direção assistida e controlada por motor elétrico
/ Caio Roberto dos Santos. - Santo André, 2018. – 108f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Desenvolvimento. 3. Sistemas elétricos. 4. Direção. 5. Motor elétrico. 6. Microcontrolador PIC. 7. Programação. 8. Veículos. I. Sistema de direção assistida e controlada por motor elétrico.

621.43

G491s

Gimenez, Fernando Tadeu
Sistema de direção assistida e controlada por motor elétrico
/ Fernando Tadeu Gimenez. - Santo André, 2018. – 108f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Mecânica. 2. Desenvolvimento. 3. Sistemas elétricos. 4. Direção. 5. Motor elétrico. 6. Microcontrolador PIC. 7. Programação. 8. Veículos. I. Sistema de direção assistida e controlada por motor elétrico.

621.46

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 12 DE JULHO DE 2018.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "**SISTEMA
PARK ASSIST IMPLEMENTADO NO FIAT STRADA**" DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI 

MEMBROS:

PROF. CELSO APARECIDO JOÃO PROF. MURILO ZANINI DE CARVALHO **ALUNOS:**CAIO ROBERTO DOS SANTOS FERNANDO TADEU GIMENEZ 

AGRADECIMENTOS

Aos professores e colegas de curso, que contribuíram para a realização deste trabalho com muita dedicação e trocas de conhecimentos.

Ao professor Dr. Edson Caoru Kitani pelo suporte nas orientações do projeto, pela paciência, dedicação e apoio na construção do Hardware e Software.

Aos professores, Carlos Alberto Morioka, Fernando Garup Dalbo, Paulo Tetsuo Hoashi e Wesley Medeiros Torres, que foram os responsáveis pelas trocas de conhecimentos, suporte, orientações e conselhos essenciais fortalecendo o desenvolvimento do trabalho, que levaremos para o resto da vida. Todos agiram não só como professores, mas como amigos.

A equipe da BGB Ferramentaria e Automação Industrial pela montagem das polias e correia no sistema de direção e confecção do suporte e mancal do motor elétrico. Em especial ao Rogério Bortolotto, Leonardo Bortolotto e Taís Bortolotto.

Ao Flavson Francisco da Silva e ao Álvaro Cesar Garcia, nossos auxiliares de docentes da FATEC Santo André, pela ajuda e testes na montagem e desmontagem do sistema de direção no veículo e pelo apoio durante as rotinas de desenvolvimento.

Aos colegas do curso de Eletrônica Automotiva e Mecatrônica Industrial da FATEC Santo André, Higor França e Francisco Ivan pelo tempo dedicado a ajuda e desenvolvimento da programação do microcontrolador PIC 18F4550 em XC8.

A toda equipe da FATEC Santo André, pela ajuda concedida.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, o responsável por tudo, pois sem a paciência e sabedoria que recebi do Senhor não conseguiria jamais concluir esse trabalho de graduação. A ele seja dada toda a honra e Glória.

Agradecimentos a minha família, por estar sempre presente ajudando bastante com a locomoção durante trabalho, apoio, paciência nos momentos mais corridos da vida e por compreender minha ausência devido a carga de tarefas.

Ao meus amigos e companheiros de trabalho na empresa, Egisto Capucci e Felipe Hikichi, que proporcionou para mim uma visão diferente de uma estrutura de projeto, deram orientações de possibilidades que foram fundamentais para resolução dos problemas enfrentados no projeto.

(Caio Roberto dos Santos)

Agradeço a Deus por me dar a oportunidade de continuidade dos meus estudos e poder agregar conhecimentos, complementando as minhas formações, técnica em eletrônica e engenharia de controle e automação.

Agradecimentos especiais aos meus pais, pelo exemplo que levarei sempre comigo, principalmente pelo carinho e dedicação nos momentos difíceis. A minha esposa e filho, pela paciência nos momentos de ausência.

(Fernando Tadeu Gimenez)

“Todas as adversidades que eu tive na minha vida, todos os meus problemas e obstáculos, fortaleceram-me... Você pode não se dar conta quando acontece, mas um chute nos dentes pode ser a melhor coisa do mundo para você”.

Walt Disney

"Ora a Fé é o firme fundamento das coisas que se esperam, e a prova das coisas que não se vêem"

Hebreus 11:1

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de direção elétrica a ser adaptado no veículo FIAT Strada Adventure 2012 da FATEC Santo André, para trabalhar em conjunto com a direção hidráulica disponível no veículo e futuramente transformá-la em um veículo autônomo. Será utilizado um motor elétrico DC de 12V com *encoder* e controle por modulação de pulsos PWM. O controle será desenvolvido na plataforma PIC da *MICROCHIP*, utilizando o microcontrolador PIC 18F4550. Após a adaptação do motor elétrico DC com a devida placa de controle, será realizado estudo para implementar o sistema de estacionamento automático, similar ao sistema *Park Assist* já utilizado em alguns veículos. Utilizaremos a placa de controle desenvolvida pelo Professor Dr. Edson Caoru Kitani e o desenvolvimento do *Firmware* em linguagem C. Abordaremos sobre o desenvolvimento de veículos autônomos pelas empresas Google, Volvo, projeto CaRINA e a evolução dos sistemas de direção utilizados nos veículos, desde o sistema convencional, passando pelo sistema de direção hidráulica, sistema de direção eletro-hidráulica e atualmente os modernos sistemas de direção elétrica.

Palavras-chave: Sistema de Direção Elétrica. Veículos Autônomos. Microcontrolador PIC. Motor Elétrico DC.

ABSTRACT

The objective of this work is the development of an electric steering system to be adapted in the FIAT Strada Adventure 2012 of FATEC Santo André, to work in conjunction with the power steering available in the vehicle and in the future turn it into an autonomous vehicle. A 12V DC electric motor with encoder and PWM pulse width modulation control will be used. The control will be developed on the PIC platform of *MICROCHIP*, using the microcontroller PIC 18F4550. After adapting the DC motor with the appropriate control board, a study will be carried out to implement the automatic parking system, like the Park Assist system already used in some vehicles. We will use the control board developed by Professor Dr. Edson Caoru Kitani and the development of the Firmware in C language. We will focus on the development of autonomous vehicles by the Google company, Volvo Cars, CaRINA project and the evolution of the steering systems used in vehicles, from the conventional system, through the hydraulic power steering system, electro-hydraulic power steering system and currently the modern electrical power steering systems.

Keywords: Electrical Power Steering Systems. Autonomous Vehicles. PIC Microcontroller. DC Electric Motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Protótipo Toyota Prius autônomo Google.....	28
Figura 2 – Protótipo Lexus RX450h autônomo Google.....	29
Figura 3 – Protótipo inicial do novo veículo autônomo Google em 2014.....	29
Figura 4 – Protótipo atual do veículo autônomo Google	30
Figura 5 – Identificação dos dispositivos do veículo autônomo Google	32
Figura 6 – Exemplo de relatório mensal do Google	33
Figura 7 – Mapa de atuação do programa Drive Me	35
Figura 8 – Raio de atuação dos sensores do Volvo XC90s	37
Figura 9 – Painel do veículo em modo de condução autônoma.....	37
Figura 10 – Veículo CaRINA II	38
Figura 11 – Sistemas e equipamentos do veículo CaRINA II.....	42
Figura 12 – Geometria de Ackerman	44
Figura 13 – Geometria trapezoidal	45
Figura 14 – Vista em corte mecanismo rolete e sem fim.....	46
Figura 15 – Vista em detalhe do mecanismo pinhão e cremalheira	48
Figura 16 – Sistema de direção hidráulica	49
Figura 17 – Sistema de direção eletro-hidráulica	50
Figura 18 – Esquema do sistema de direção eletro-hidráulica.....	51
Figura 19 – Esquema do sistema de coluna de direção elétrico	52
Figura 20 – Sistema de coluna de direção elétrico.....	52
Figura 21 – Mecanismo em corte do sistema de coluna de direção elétrico	53
Figura 22 – Sistema cremalheira elétrico	53
Figura 23 – Sistema pinhão elétrico	54
Figura 24 – Sistema integral de direção hidráulica.....	55
Figura 25 – Conjunto motor DC 12V e redutor - BOSCH.....	57
Figura 26 – Motor DC 12V e redutor - adquiridos.....	57
Figura 27 – Placa eletrônica com microcontrolador PIC 18F4550	61
Figura 28 – Circuito eletrônico da ponte H	62
Figura 29 – Placa ponte H com MOSFET's canal P e N	62
Figura 30 – Circuito eletrônico condicionador do sinal de velocidade da roda	63
Figura 31 – Placa circuito condicionador do sinal de velocidade da roda	64
Figura 32 – Diagrama de blocos – sistema de direção elétrica	64

Figura 33 – Fluxograma - display	65
Figura 34 – Fluxograma – firmware de controle do sistema de direção elétrica... 66	
Figura 35 – Sistema montado (motor DC, conjunto de polias e correia)	68
Figura 36 – Coluna de direção instalada no veículo.....	69
Figura 37 – Painel de comando.....	70
Figura 38 – Teste do veículo na função Park Assist	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensionamento das polias e correia.....	60
Tabela 2 – Conjunto das polias e correia selecionados no catálogo Gates	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALV	Autonomous Land Vehicle
ATIS	Advanced Traveller Information Systems
ATMS	Advanced Traffic Management Systems
CD	Distância entre Centros Calculado (Cálculo Correia)
CNI	Conselho Nacional das Indústrias
CORO-UFMG	Lab. Sist. Comp. Robótica Depto Eng. Elétrica Univ.Fed. M.G.
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DC	Direct Current (Corrente Contínua)
DF _{mín}	Força de Deflexão Mínima da Correia
DF _{máx}	Força de Deflexão Máxima da Correia
DOT	Departamento de Transportes dos EUA
ECU	Unidade Eletrônica de Controle
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GPS	Sistema de Posicionamento Global
K	Constante K (Cálculo Correia)
LCAD-UFES	Lab. Computação Alto Desemp. Univ. Federal do Espírito Santo
LRM-USP	Lab. Robótica Móvel da Univ. São Paulo – Campus São Carlos
LTG-EPUSP	Lab. Topografia e Geodésia Esc. Politécnica da Univ. São Paulo
MDF	Mission Definition File
PDVA	Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos
PID	Proporcional Integral Derivativo
PL	Comprimento da Correia
PVS	Personal Vehicle System
PWM	Pulse Width Modulation (Controle por Modulação de Pulsos)
RCA	Radio Corporation of América
RNDF	Road Network Description File
SARTRE	Safe Road Trains for the Environment
SRI	Instituto de Pesquisa de Stanford
t	Distância de Deflexão da Correia
T _{st}	Tensão Estática da Correia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VISLAB	Artificial Vision and Intelligent Systems Laboratory

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere(s)
in	Polegada(s)
lb	Libra(s)
mm	Milímetro(s)
mV	MiliVolt(s)
m/s	Metro(s) por segundo
N	Newton(s)
Nm	Newton(s) metro
RPM	Rotações por minuto
V	Volt(s)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo geral	19
1.2 Objetivos específicos	19
1.3 Justificativa	19
2 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS	20
2.1 Histórico dos veículos autônomos.....	20
2.2 Desenvolvimento dos veículos autônomos pela Google	28
2.3 Programa Drive Me desenvolvido pela Volvo	33
2.4 Projeto CaRINA em desenvolvimento pela USP	38
2.5 Sistemas de direção	43
2.5.1 Sistema rolete e sem fim	46
2.5.2 Sistema pinhão e cremalheira	47
2.5.2.1 Sistema hidráulico	48
2.5.2.2 Sistema eletro-hidráulico	50
2.5.2.3 Sistema elétrico	51
2.5.3 Sistema integral de direção hidráulica.....	54
3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	56
3.1 Escolha do motor DC de 12V e do sistema de redução	56
3.2 Cálculo das polias sincronizadas e da correia.....	58
3.3 Montagem da placa eletrônica com o microcontrolador PIC 18F4550	61
3.4 Ponte H com MOSFET's canal P e N para controle do motor DC.....	62
3.5 Condicionador do sinal de velocidade da roda.....	63
3.6 Ligação elétrica linha 15 (pós-chave)- placa eletrônica e linha 30- ponte H ..	64
3.7 Desenvolvimento do firmware do microcontrolador em linguagem C.....	65
3.8 Montagem e testes do sistema de direção elétrica	68
4 CONCLUSÃO	72
5 PROPOSTAS FUTURAS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE A – Programa da Direção Elétrica em Linguagem C.....	78
ANEXO A – Catálogo Gates.....	92
ANEXO B – Placa Eletrônica FATEC	107

1 INTRODUÇÃO

Na visão global, diversas motivações têm sido propostas pela literatura científica e não científica para os investimentos em pesquisa no segmento de veículos autônomos. A principal justificativa associada à adoção de veículos autônomos baseia-se na possibilidade de redução de acidentes de trânsito ao eliminar a condução humana. Acidentes de trânsito são causados, na maior parte dos casos, por fatores de imperícia, imprudência ou negligência por parte do condutor humano (Benenson, 2009).

Acidentes de trânsito, incluindo os diversos tipos de veículos e vítimas envolvidos, estão entre as dez maiores causas de morte no mundo de acordo com a Organização Mundial de Saúde, sendo que para o ano de 2010 ocorreram cerca de 1,24 milhões de mortes decorrentes do trânsito no mundo, sendo que metade dos acidentes envolveram “usuários vulneráveis”, isto é, pedestres, motociclistas e ciclistas (WHO, 2013).

No Brasil, os acidentes de trânsito são o principal fator de óbito e de ferimentos por causa externa: entre os anos de 1996 e 2010 foram registrados mais de meio milhão de mortes nos diversos tipos de acidentes de trânsito, com cerca de 40 mil mortes por ano e taxa de mortalidade de 21,5 por 100 mil habitantes no ano de 2010 (Waiselfisz, 2012).

Com a redução de acidentes, é também possível reduzir os custos financeiros e materiais envolvidos que podem incluir serviços médicos para remoção e tratamento de feridos, atendimento policial, correção da infraestrutura de transportes, dano ao mobiliário urbano e à propriedade de terceiros, processos judiciais, entre outros. Não há, porém, estudos ou número de veículos autônomos suficientes até a presente data que permitam validar que a condução autônoma possa realmente minimizar a possibilidade de acidentes.

Sob a visão do condutor, apresenta-se como motivação a possibilidade de relevar limitações físicas (por exemplo, deficiência visual, auditiva, motora), mentais (por exemplo, embriaguez) ou sociais (por exemplo, menoridade, velhice, inimputabilidade) que, normalmente, impeçam seus portadores de conduzirem de forma temporária ou permanente a um veículo conforme as recomendações do Conselho Nacional de Trânsito (Brasil, 2012).

A automação da condução veicular também poderia permitir a redução do processo de treinamento teórico e prático de condutores de veículos que, no Brasil, totaliza um mínimo de 45 aulas/hora (Brasil, 2004). Outra motivação inclui a possibilidade de aumento da produtividade da população: de acordo com estudo realizado pelo Conselho Nacional das Indústrias (CNI) em grandes cidades o tempo gasto no trânsito é de 64 minutos/habitante/dia (CNI, 2012).

Com a automação da condução, esse tempo poderia ser direcionado para outras atividades convenientes ao condutor a serem realizadas durante o período de navegação. Esse ganho de produtividade pode ser incrementado com ações aderentes ao projeto do veículo autônomo como a capacidade de estacionamento automático e o acionamento remoto de ações do veículo utilizando dispositivos móveis.

Sob o aspecto das vias e do sistema de transporte a principal motivação baseia-se na capacidade do veículo autônomo e dos seus sensores embarcados reconhecerem os elementos estáticos e dinâmicos do ambiente de forma mais adequada, consistente e completa do que a capacidade humana. Dessa forma, as ações apropriadas de navegação podem ser selecionadas e gerenciadas de forma mais lógica, permitindo obedecer de forma restrita à legislação de trânsito, aumentar a velocidade média de navegação, distribuir de forma homogênea o tráfego de veículos, minimizar possíveis eventos extraordinários que impactem negativamente sobre o fluxo de veículos e agregar inteligência a situações-problema nas quais o veículo esteja inserido (como falta de sinalização, acidentes e ambientes com condições adversas de navegação).

Sob o aspecto do veículo, considera-se que a automatização do controle veicular permita garantir e aumentar a integridade do veículo ao fazer uso racional dos seus recursos para atender a uma determinada missão. Como a navegação autônoma busca tomar decisões apropriadas de acordo com os recursos disponíveis ao veículo, este deve ser capaz de monitorar permanentemente o desgaste dos seus componentes, o consumo e nível de energia, a temperatura interna e externa ao veículo, a integridade e expansividade dos diversos sistemas do veículo, entre outros.

Os veículos autônomos poderão se beneficiar pela maior durabilidade de seus componentes, minimizando manutenções emergenciais e reduzindo o impacto das ações do veículo sobre o ambiente.

1.1 Objetivo Geral

Adaptação de um sistema de direção elétrica do veículo FIAT Strada Adventure da FATEC Santo André, mantendo a originalidade e futuramente transformá-la em um veículo autônomo.

1.2 Objetivos Específicos

Desenvolvimento de um sistema de direção elétrica a ser adaptado no veículo FIAT Strada Adventure da FATEC Santo André, para trabalhar em conjunto com a direção hidráulica disponível no veículo.

Realizaremos mudanças no veículo FIAT Strada Adventure, para que futuramente possamos implementá-la como um veículo autônomo. Como passo inicial, faremos a adaptação de um motor elétrico junto à coluna de direção, controlado por *microcontrolador PIC 18F4550*.

Este motor elétrico trabalhará em conjunto com a direção hidráulica existente no veículo. Faremos o controle de estacionamento, similar ao *Park Assist* da Volkswagen.

1.3 Justificativa

A evolução eletrônica nos veículos, possibilitou melhores rendimentos e diminuição das emissões de poluentes nos motores de ciclo Otto e Diesel. Porém, como não sabemos por quanto tempo ainda teremos petróleo para suprir as necessidades globais, os desafios atuais são desenvolvimentos de veículos elétricos, veículos movidos a biocombustíveis e veículos movidos a Hidrogênio, que já estão sendo testados por algumas montadoras.

Somente a evolução tecnológica não basta, devemos nos preocupar com a redução no número de acidentes automotivos e melhorar a fluidez no trânsito urbano das cidades. A forma encontrada foi o estudo para desenvolvimento de veículos autônomos. De acordo com as perspectivas das montadoras, em 2025 teremos os carros autônomos em produção e começando a operação junto à frota de veículos atual.

2 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Esse capítulo detalha como surgiu a idealização dos veículos autônomos até onde chegamos nos dias de hoje, nas quais podemos destacar:

- Mencionando os testes que estão se realizando através da empresa GOOGLE, a aplicação nos carros da VOLVO com o programa Drive Me e o projeto CaRINA em desenvolvimento pela USP – São Carlos.
- Descrição dos sistemas de direção veicular e suas evoluções.

2.1 Histórico dos veículos autônomos

O evento pioneiro de pesquisas em automação de veículos foi no ano de 1939, com a realização da Feira Mundial de Nova York, nos Estados Unidos da América (EUA). Naquela feira, a exposição Futurama, patrocinada pela empresa General Motors Corporation (GM) e projetada por Norman Melancton Bel Geddes, demonstrava como seria o mundo em vinte anos (isto é, até os anos de 1959-1960), sendo exibido um protótipo de sistema de rodovias automatizado, onde as estradas corrigiriam as falhas de condução humanas, impedindo ações que não pudessem ser realizadas.

A possibilidade de criação das estradas foi discutida por Geddes e, o então presidente dos EUA Franklin Delano Roosevelt, porém não houve continuidade da proposta e nos anos de 1940, os esforços de pesquisa dos grandes fabricantes de automóveis foram direcionados para produção militar na Segunda Grande Guerra Mundial (Life, 1939; Geddes, 1940; Wetmore, 2003).

Com o término da Segunda Grande Guerra Mundial, diversas tecnologias desenvolvidas para fins militares (como o radar) foram adaptadas para automatizar e aumentar os recursos de navegação em veículos. Na década de 1950, as empresas GM e a Radio Corporation of América (RCA) iniciaram, em conjunto, o desenvolvimento de tecnologias para aperfeiçoar e automatizar a condução de carros: o primeiro produto, em 1953, foi o modelo em escala de um sistema rodoviário automatizado para testes e, no mesmo ano, foi iniciada a produção de uma série de três carros-conceito, chamados Firebird, para demonstração de novas tecnologias desenvolvidas.

Desta série de carros-conceito, o Firebird II foi apresentado como um projeto de carro tecnológico que incluía um sistema de condução automática na qual um fio enterrado na estrada enviaria sinais para o veículo e um sistema de comunicação via rádio com torres de controle (Temple, 2006).

O veículo, no entanto, não aplicava realmente a condução autônoma. A primeira demonstração de condução automatizada ocorreria apenas em 1958: essa condução utilizava um cabo elétrico enterrado no solo, cuja corrente alternada era percebida por bobinas magnéticas localizadas na parte frontal do veículo (Wetmore, 2003).

Em 1964, a GM patrocinou uma nova Feira Mundial em Nova York e apresentou uma atualização de sua visão de futuro para o sistema de transporte. Nesta visão, uma torre de controle operaria a direção, freios e velocidade de cada veículo em uma pista automática e grupos de carros se moveriam em intervalos iguais (Wetmore, 2003).

A aplicação da abordagem robótica para construção de carros autônomos teve início nos anos de 1960, oriunda das pesquisas em robótica móvel, campo da robótica com o objetivo de criar dispositivos automáticos com capacidade de movimento. Essas pesquisas tinham como objetivo desenvolver veículos controlados remotamente para fins militares e de exploração em ambiente terrestre, aéreo, marítimo e espacial.

Posteriormente, essas pesquisas foram ampliadas para atender outros objetivos: atualmente robôs móveis são utilizados para tarefas domésticas, desarmamento de explosivos, socorro emergencial de ambientes de difícil acesso, entre outros (Choset al., 2005; Secchi, 2008).

No final dos anos de 1960 apareceram os primeiros esforços para prover robôs autônomos capazes de movimento sobre superfície: entre 1966 e 1972 foi desenvolvido o robô Shakey pelo Centro de Inteligência Artificial do Instituto de Pesquisa de Stanford (SRI) sob financiamento da Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).

Na época, Shakey foi considerado um fracasso já que nunca conseguiu atingir a plena autonomia. Porém, estabeleceu as bases que serviram para o desenvolvimento das futuras pesquisas em navegação autônoma (Nilsson, 1969; 1984; Gage, 1995).

Em 1977 o Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade de Tsukuba, no Japão, construiu o que é considerado pela literatura científica como o primeiro veículo robótico inteligente. Tratava-se de um carro dotado de um sistema de visão computacional baseada em câmeras de televisão e uma unidade de processamento. O sistema permitia a detecção de obstáculos e seguimento de linhas brancas pintadas no solo (Tsugawa, 1994; Benenson, 2009).

Na década de 1980, o engenheiro aeroespacial alemão Ernst Dickmanns (considerado “o pioneiro do carro autônomo”) e sua equipe da Universität der Bundeswehr München, na Alemanha, desenvolveram uma série de projetos na área da condução autônoma. Destes projetos destaca-se o veículo VaMoRs de 1985, uma van Mercedes-Benz, equipada com câmeras e outros sensores, onde a direção e outros componentes eram controlados por comandos computacionais. O veículo podia, de forma autônoma, atingir até 100 km/h em vias sem tráfego (Broggi et al., 1999).

Desde 1984, o Laboratório de Navegação da Universidade Carnegie Mellon tem construído diversos protótipos para navegação autônoma chamados de NavLab. Em 1995, o veículo semi-autônomo NavLab 5 (no qual apenas a direção possuía controle autônomo) foi utilizado no evento *No Hands Across America*, navegando por quase 5000 km, entre as cidades de Pittsburgh e San Diego, andando de forma autônoma por 98,2 % do tempo (Pomerleau, 2005; CMU, 2013).

Um conjunto de engenheiros da GM produziu um relatório para a *Federal Highway Administration* em que exploraram as possibilidades e benefícios de um sistema automatizado de vias.

Este relatório permitiu a formação em 1986 de uma iniciativa chamada de “Mobilidade 2000” com o objetivo de iniciar um plano de adoção de sistemas inteligentes de transporte. Baseado na iniciativa, o Departamento de Transportes dos EUA (DOT) formou a *Intelligent Vehicle-Highway Systems America* (IVHS America), cujo nome foi modificado posteriormente para *Intelligent Transportation Systems America* (ITS America) (Gage, 1995; Wetmore, 2003; Sussman, 2005).

A DARPA iniciou as pesquisas com o *Autonomous Land Vehicle* (ALV), baseadas nas técnicas oriundas do desenvolvimento do robô Shakey. O ALV era um protótipo de veículo que possuía radar, visão computacional e mecanismo de controle robótico. As primeiras demonstrações em 1985 atingiam velocidade máxima

3 km/h em navegação autônoma, progredindo para 10 km/h em 1986 e 21 km/h em 1987 (Gage, 1995).

Em 1987, as empresas japonesas Fujitsu e Nissan desenvolveram o *Personal Vehicle System* (PVS), um sistema baseado em visão computacional e aplicado em um micro-ônibus. O PVS baseava-se em um conjunto de câmeras estéreo, processador de imagens e computadores de controle que permitiam detectar marcações na pista, detecção de obstáculos (Tsugawa, 1994).

Nos anos de 1990, o Governo dos EUA financiou três projetos conhecidos como Demo I e III (pelo exército dos EUA) e Demo II (pelo DARPA) que permitiram a pesquisa para navegação autônoma de veículos terrestres não tripulados em terreno de difícil navegação, permitindo o desvio de obstáculos (Gage, 1995; Ozguneret al., 2007).

Entre os anos de 1987-1995, diversos grupos de pesquisas europeus (entre os quais as equipes de Ernst Dickmanns, da BMW, da Daimler-Benz e da Jaguar) uniram esforços para desenvolvimento do projeto EUREKA PROMETHEUS (*PROgramMe for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety*) com o intuito de tornar mais eficiente o tráfego urbano na Europa.

Dentre as diversas pesquisas, em 1994, Dickmanns apresentou um Mercedes-Benz Classe-S modificado chamado de VaMP, que dirigiu de forma autônoma por mais de 1000 quilômetros, com velocidades até 130 km/h. Em 1995, o veículo VaMoRs-P, foi capaz de atingir velocidade de navegação de até 160 km/h na Autoban alemã e executando uma série de manobras que permitia ultrapassar outros veículos (Dickmannset al., 1994; Broggiet al., 1999).

Outra pesquisa participante do projeto EUREKA foi o projeto italiano *Artificial Vision and Intelligent Systems Laboratory* (VISLAB) do Departamento de Tecnologia da Informação da Universidade de Parma que, em cooperação com a Universidade de Turim, desenvolveu um protótipo chamado de MobLab, que servia como plataforma de pesquisa para todos os grupos de pesquisa italiano envolvidos com o projeto EUREKA.

Com o encerramento do projeto, o VISLAB segmentou-se em outros projetos entre os quais destaca-se o projeto ARGO desenvolvido entre 1997-2001 pela Universidade de Parma. Tratava-se de um protótipo de veículo que seguia marcas pintadas em uma estrada não modificada, utilizando duas câmeras de vídeo preto-e-branco de baixo custo e algoritmos de visão estereoscópica. O projeto permitiu a

navegação por uma distância de 2000 km por seis dias, com velocidade média de 90 km/h e 94% do tempo em modo autônomo (Broggiet al., 1999).

Em julho de 2002, o DARPA lançou o evento *Grand Challenge*, uma competição para estimular a pesquisa em navegação para veículos terrestres não tripulados por parte de empresas e organizações de pesquisa (Ozguneret al., 2007).

A primeira competição foi realizada em 13 de março de 2004, com o prêmio de US\$ 1 milhão e tinha como objetivo navegar 228 km, sem intervenção humana em, no máximo, 10 horas. A escolha do cenário deveu-se às grandes variações do terreno, alta quantidade de sujeira, curvas sinuosas e pequena fração de estradas pavimentadas. Esta competição teve 107 equipes inscritas, sendo que 15 efetivamente correram, mas nenhum dos participantes navegou mais do que 5% de todo o percurso (Thrunet al., 2006).

O desafio foi repetido em 8 de outubro de 2005, com o prêmio de US\$ 2 milhões. Desta vez, 195 equipes foram inscritas e 23 efetivamente correram. Dessas, cinco equipes conseguiram finalizar a corrida e o robô da Universidade de Stanford chamado Stanley foi considerado o campeão, finalizando o percurso em 6 horas, 53 minutos e 08 segundos.

Stanley foi produzido por uma equipe de pesquisadores de Stanford, da Intel Research, da Volkswagen e de outras entidades. Tratava-se de um Volkswagen Touareg R5 TDI com uma plataforma com seis processadores Intel e um conjunto de sensores e atuadores para navegação autônoma. O *software* do veículo não era centralizado, sendo os módulos executados de forma paralela e sem sincronismo, sendo integrados pela utilização de marcas temporais sobre os dados. Isto permitiu reduzir o risco de impasses e atraso de processamento (Thrunet al., 2006).

Em 03 de novembro de 2007 foi realizada a terceira versão da competição do DARPA, sob o nome de *DARPA Urban Challenge*. A mudança de nome ocorreu devido à alteração do cenário de provas, agora em um ambiente urbano simulado. Aos competidores foi fornecido um mapa digital das ruas do ambiente urbano e a missão a ser executada na forma de arquivos *Road Network Description File* (RNDF) e *Mission Definition File* (MDF).

Durante o desafio, os veículos receberam missões diferenciadas, permitindo situações nas quais os veículos, executando objetivos e ações diferenciadas, deveriam obedecer a leis de trânsito e interagir entre si para garantir a coexistência (Montemerlo et al., 2009).

O evento final contou com onze veículos, sendo vencedor o veículo Boss da Universidade Carnegie Mellon: o veículo possuía um sistema de controle integrado a um conjunto de sensores *laser*, radares e câmeras, sendo capaz de reconhecer regras de trânsito, detectar outros veículos, realizar seguimento de veículos a uma distância segura, entre outras funções (Urmson et al., 2007).

Diversos outros grupos de pesquisa, montadoras e empresas têm investido recursos para pesquisa em veículos semi-autônomos e completamente autônomos. As principais pesquisas baseiam-se na adoção de diferentes tipos de sensores que ampliam a capacidade de monitoramento do ambiente em que o veículo está inserido e pela adoção de sistema de controle computacional que realizam ações globais ou locais, provendo automação e autonomia em momentos específicos (Ozguner et al., 2007).

Dessas pesquisas, a de maior destaque para a navegação autônoma é o projeto Google Car, um conjunto de veículos robóticos desenvolvidos desde 2009 pela empresa americana Google Corporation. Os veículos integram um conjunto de sensores (incluindo radares, câmeras e receptores *GPS*) e técnicas de localização baseada em uma base de dados com mapas muito detalhados do terreno (facilitando a localização e permitindo que a leitura de *GPS* não seja feita de forma contínua), sendo o componente central do sistema um telêmetro a *laser* instalado sobre o teto do veículo, que gera um mapa tridimensional do ambiente.

Para navegar em um ambiente, o veículo é guiado por seres humanos pelo ambiente uma ou mais vezes para coleta de dados. Quando o veículo navega de forma autônoma, os dados obtidos do ambiente são comparados com os dados previamente coletados, permitindo assim diferenciar objetos fixos de objetos dinâmicos.

Os esforços da empresa levaram às primeiras adoções de legislação específica para utilização de carros robóticos nos estados de Nevada, da Flórida e da Califórnia, todos nos EUA. Nestes estados, veículos autônomos podem ser utilizados para testes de navegação autônoma nas vias de transporte, porém exige-se que um condutor humano permaneça no veículo e possa intervir em situações emergenciais (Guizzo, 2011; Muller, 2012; Pinto, 2012).

O projeto-conceito EN-V (*Electric Networked - Vehicle* - Veículo Elétrico em Rede), desenvolvido pela empresa GM desde 2010, é um veículo elétrico de dois lugares, com foco em mobilidade urbana, que integra recursos de *GPS*, sensores e

comunicação entre veículos, possuindo a capacidade de detectar e evitar obstáculos e ser chamado por um smartphone, assim como de comunicar-se com outros veículos, organizando comboios e combinando ações (Mitchell et al., 2010).

Entre 2009-2012, a Comissão Europeia financiou o projeto *Safe Road Trains for the Environment* (SARTRE), um consórcio de empresas que inclui a Volvo, para investigar tecnologias para automação de condução envolvendo o conceito de “auto estradas de trem”, estas auto estradas aplicam o conceito de comboios lógicos, onde um conjunto de até oito veículos é conectado via rede de comunicação sem fio a um veículo condutor controlado por um motorista profissional.

Essa tecnologia não exige modificação em vias, utilizando sensores e tecnologias já embarcados no veículo para realizar a conexão com um veículo condutor e permitir a comunicação inter-veículos (Dávila e Nombela, 2010; Robinson e Chan, 2010).

O começo de 2015 foi marcado por um grande avanço na área de mobilidade urbana, com o anúncio do desenvolvimento da Volvo no projeto de veículos autônomos. O projeto com o nome “*Drive Me*”, utiliza tecnologia de radares e câmeras para desenvolver um veículo capaz de se locomover sem motorista. O início dos testes com previsão para o início de 2017 na cidade sueca de Gotemburgo (Volvo, 2016).

Atualmente, os Sistemas Inteligentes de Transportes desenvolvem recursos e tecnologias segmentadas em duas grandes áreas gerais: os sistemas de gerenciamento de viagens (*Advanced Traffic Management Systems - ATMS*) e sistemas avançados de informação ao motorista (*Advanced Traveller Information Systems- ATIS*) (Sussman 2005). Ambos os sistemas estão intimamente ligados com as tecnologias necessárias para o desenvolvimento de veículos autônomos.

No Brasil, há poucos grupos de pesquisas acadêmicos, governamentais e empresariais sobre carros autônomos. Em geral as pesquisas são realizadas por grupos de pesquisa em robótica, existindo poucos grupos com foco em construção de veículos robóticos para transporte humano.

Quatro grupos de pesquisa têm desenvolvido aplicações específicas em veículos autônomos: o Laboratório de Sistemas de Computação e Robótica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais (CORO-UFMG), o Laboratório de Robótica Móvel da Universidade de São Paulo – Campus São Carlos (LRM-USP), o Laboratório de Computação de Alto Desempenho

da Universidade Federal do Espírito Santo (LCAD- UFES) e o Laboratório de Topografia e Geodésia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LTG-EPUSP).

Desses grupos, três (CORO-UFMG, LRM-USP e LCAD-UFES) possuem um enfoque nos aspectos robóticos do veículo e um (LTG-EPUSP) possui o enfoque nos aspectos de Geomática e Engenharia de Transportes envolvidos no projeto de um veículo autônomo.

Segundo Pissardini (2013), as pesquisas do CORO-UFMG são consideradas as mais antigas em desenvolvimento no país, tendo iniciado em 2007 e sendo realizadas pelo Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos (PDVA). O objetivo do grupo é desenvolver ferramentas robóticas para instrumentação, navegação e controle embarcados para veículos terrestres e aéreos, autônomos ou semi-autônomos.

O grupo desenvolveu o CADU (Carro Autônomo Desenvolvido na UFMG), um automóvel integrado a um conjunto de componentes tecnológicos para navegação autônoma. Uma lista dos trabalhos do grupo pode ser visualizada em <http://coro.cpdee.ufmg.br/>.

De acordo com Pissardini (2013), o LRM-USP, laboratório integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC), tem desenvolvido desde 2010 aplicações robóticas para uso agrícola e para navegação urbana.

O projeto CaRINA (Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma) envolve a construção de um veículo desenvolvido para navegação urbana utilizando técnicas de localização, mapeamento e estratégia de movimento utilizando recursos da robótica móvel. Uma lista de trabalhos desenvolvidos pelo grupo está em <http://www.lrm.icmc.usp.br>.

Pissardini (2013) relata que as pesquisas do LCAD-UFES, realizado em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), tem como objetivo o desenvolvimento de veículos robóticos utilizando recursos matemático-computacionais para resolução de problemas de processamento de alto desempenho, mapeamento e localização. Uma lista de trabalhos desenvolvidos pelo grupo é apresentada em <http://www.lcad.inf.ufes.br/>.

As pesquisas do LTG-EPUSP são realizadas pela Equipe do Veículo Autônomo do Grupo de Investigação em Geomática Aplicada à Engenharia (EVA-

GIGA), grupo iniciado em 2011, cuja proposta é a criação de ferramentas e recursos para navegação autônoma sob enfoque da Geomática e da Engenharia de Transportes, segundo Pissardini (2013). Os trabalhos do grupo estão disponíveis em <http://www.teses.usp.br/>.

2.2 Desenvolvimento dos veículos autônomos pela Google

Segundo a Google, em 2009 começou o projeto de carro autônomo, incluindo membros da equipe que já tinham consagrado por anos a tecnologia. Começaram a testar a tecnologia de veículo autônomo com o Toyota Prius nas autoestradas da Califórnia.

A figura 1 ilustra o primeiro Prius da Google equipado com sensores e computação para condução autônoma.

Figura 1 – Protótipo Toyota Prius autônomo Google.



Fonte: Google (2016)

Em 2012, começaram os testes com o veículo Lexus modelo RX450h, que pode ser visto na figura 2. Até esse momento eles tinham completado mais de 480.000 Km de testes em rodovias (Google, 2016).

Figura 2 – Protótipo Lexus RX450h autônomo Google.



Fonte: Google (2016)

Em seguida a Google mudou o foco para as ruas das cidades, um ambiente muito mais complexo do que autoestradas. Revelaram uma construção inicial do novo veículo protótipo em 2014. Ele foi projetado desde o início para ser totalmente autônomo, como pode ser visto na figura 3 (Google, 2016).

Figura 3 – Protótipo inicial do novo veículo autônomo Google em 2014.



Fonte: Google (2016)

Após meses de testes e iterações entregaram a primeira compilação real do veículo protótipo em dezembro de 2014, ilustrado na figura 4 (Google, 2016).

Figura 4 – Protótipo atual do veículo autônomo Google.



Fonte: Google (2016)

De acordo com a Google (2016), estão construindo protótipos de veículos que foram projetados para levar o passageiro para onde ele necessitar, pressionando um botão que conduzirá o veículo de modo autônomo.

Os idosos e deficientes visuais são pessoas que não devem desistir de sua independência e poderão ser beneficiados pelo veículo autônomo. O tempo gasto dirigindo pode ser útil para fazer outras atividades. As mortes por acidentes no trânsito com mais de 1,2 milhões de pessoas em todo o mundo a cada ano, podem ser reduzidos drasticamente, especialmente porque 94% dos acidentes nos EUA envolvem falha humana.

Os veículos autônomos estão sendo projetados para navegar com segurança pelas ruas da cidade. Eles possuem sensores projetados para detectar objetos a uma distância equivalente a dois campos de futebol em todas as direções, incluindo pedestres, ciclistas e veículos ou mesmo sacolas plásticas voando e aves desorientadas. O *software* processa todas as informações ajudando o veículo a conduzir com segurança nas estradas de forma autônoma, sem cansaço ou distração dos ocupantes.

Os veículos da Google já rodaram mais de 3,2 milhões de Km e estão atualmente nas ruas de Mountain View - CA, Austin - TX, Kirkland - WA e Metro Phoenix - AZ.

A frota de teste inclui veículos autônomos Lexus modificados e os novos protótipos de veículos que foram projetados a partir do zero para serem totalmente autônomos. Há pilotos de testes a bordo de todos os veículos para acompanhamento da condução. Estão aprendendo como a comunidade os percebem e interagem, descobrindo situações que são únicas para um veículo totalmente autônomo.

Ensinaaram os veículos a conduzir através de vários cenários complicados nas ruas das cidades e rodovias, e como qualquer motorista, um veículo autônomo precisa saber responder constantemente as perguntas (Google, 2016):

➤ Onde estou?

O veículo processa informações do mapa e dos sensores para determinar onde ele está no mundo. Ele sabe qual é a rua e em qual faixa está conduzindo.

➤ O que há em torno de mim?

Sensores ajudam a detectar objetos ao redor do veículo. O *software* de processamento de imagens classifica os objetos com base em seu tamanho, forma e padrão de movimento. Ele detecta e diferencia, por exemplo, um ciclista de um pedestre.

➤ O que vai acontecer a seguir?

O *software* prevê o que todos os objetos ao seu redor podem fazer a seguir. Ele prevê que o ciclista vai andar e o pedestre vai atravessar a rua.

➤ O que eu devo fazer?

O *software* então escolhe uma velocidade segura e trajetória para o veículo. O veículo se afasta do ciclista e em seguida, desacelera para ceder espaço ao pedestre.

A Google começou adicionando componentes nos veículos existentes como o Lexus e em seguida desenharam um novo protótipo de baixo para cima para melhor explorar o que deveria entrar em um veículo totalmente autônomo. Removeram o volante e os pedais e foi desenvolvido um protótipo que permite ao *software* e sensores atuarem diretamente na condução do veículo.

Na figura 5 temos os dispositivos que foram instalados na criação do protótipo atual do veículo autônomo Google.

Figura 5 – Identificação dos dispositivos do veículo autônomo Google.



Fonte: Google (2016)

A Google realizou um grande progresso com a tecnologia empregada nos veículos autônomos ao longo dos últimos 6 anos, e ainda continuam aprendendo e fazendo melhorias. Diariamente se deslocam de mente aberta para as ruas públicas, para manterem o *software* de aprendizado dos veículos autônomos desafiadores e refinados.

A empresa obteve a autorização dos governos de alguns estados americanos para realizarem os testes nas vias públicas, desde que mensalmente apresentem um relatório dos testes realizados para a população ter ciência dos aspectos positivos e negativos observados e realizar os ajustes e correções que se façam necessários. No link: <<https://www.google.com/selfdrivingcar/reports/>> temos os relatórios disponíveis.

Na figura 6, temos um exemplo de parte de um relatório mensal disponibilizado pelo Google.

Figura 6 – Exemplo de relatório mensal do Google.



For many drivers, the three-point turn is one of the last hurdles standing between a learner's permit and the open road. And for good reason. This is one of the trickiest maneuvers to master, as drivers attempt to move a two-ton machine a full 180 degrees. Often, drivers are forced to tentatively inch forward and backward, in tight spaces, without a full view of the road. Our goal is to develop a fully self-driving car that can handle every part of driving, and that means teaching our car to handle advanced maneuvers like these multi-point turns.

Human drivers do their best to estimate the ideal angle and distance to move in order to solve this geometric puzzle. But all too often, these three-point turns become ten-point turns as drivers awkwardly shuffle around the road. Our self-driving cars, on the other hand, can see a full 360 degrees, measure distance down to a few centimeters, and precisely calculate the quickest path for the car. Our cars don't just follow a few standard turns either. We've taught them to adapt to all kinds of variables — including dead end streets stacked with parked cars, trash bins littered on the curbs, and narrow bottlenecks.

Fonte: Google (2016)

2.3 Programa Drive Me desenvolvido pela Volvo

De acordo com Marcus Rothoff (Volvo, 2016), diretor do programa de condução autônoma da Volvo, o projeto piloto *Drive Me* estará nos protótipos de veículos modelo XC90s, limitados a 100 unidades que estarão disponíveis em 2017 somente na Suécia. Os clientes que deverão reportar a Volvo se os veículos conduzindo de forma autônoma estão funcionando da forma esperada, para que a Volvo possa colocar em produção.

Alguns clientes terão a oportunidade de explorar a forma como sua vida irá mudar com a condução autônoma. A Volvo passará um período com eles para ganharem uma compreensão de como utilizam seu veículo atual e verificar como um veículo autônomo fará a diferença.

Quando os clientes finalmente receberem o seu veículo autônomo, a Volvo trabalhará com eles para entender como a condução autônoma tornará uma parte natural da vida. Segundo Marcus Rothoff (Volvo, 2016), “Saberemos o quão rápido eles se acostumarão com este modo de condução, como se encaixará em sua vida, o que é importante para eles e como podemos construir a confiança de condução. Se os clientes não confiarem no veículo, não serão capazes de utilizar o tempo extra que terão”.

Segundo a Volvo (2016), o primeiro lote de veículos será altamente automatizado, mas se os motoristas não validarem a tecnologia, terão que supervisionar os veículos, ou seja, os motoristas serão responsáveis pelo veículo durante a condução autônoma. A Volvo fará um lançamento escalonado de veículos de acordo com o julgamento e validação dos clientes. Uma vez que a tecnologia for validada, a IntelliSafe Autopilot nascerá e o motorista não terá mais que supervisionar o veículo.

Os parceiros do programa *Drive Me* vão ajudar a tornar a vida das pessoas melhor. Veículos autônomos representarão uma mudança radical no transporte e a colaboração no seu desenvolvimento é essencial para garantir que a tecnologia proporciona o máximo benefício para os indivíduos e para a sociedade. A Agência de Transporte Sueca vai ajudar a integrar os veículos autônomos na vida das pessoas, investigando como as leis que regem as estradas precisarão mudar.

Regras de trânsito e leis das estradas foram baseadas nos mesmos princípios para mais de 100 anos. Isso vai mudar com o advento do veículo autônomo, e o programa *Drive Me* é o modelo para determinar como isso vai acontecer (Volvo, 2016).

A Administração dos Transportes da Suécia, Trafikverket, usará o programa *Drive Me* como o primeiro da vida real e ajudará no julgamento de condução autônoma do mundo para estabelecer como as estradas, infraestrutura, gestão do tráfego e conectividade poderão ser beneficiados com os veículos autônomos. O objetivo é o desenvolvimento de uma tecnologia autônoma que funcione harmoniosamente com a infraestrutura rodoviária atual.

A cidade de Gotemburgo foi classificada como o local ideal para o programa *Drive Me*, e desempenhará um papel fundamental no desenvolvimento de veículos autônomos que trabalhem em harmonia com os seus arredores. Gotemburgo é uma cidade tecnicamente avançada com uma estratégia para um sistema de transportes

sustentável. A cidade de Gotemburgo está comprometida com o projeto *Drive Me* e atualmente é o lar para a indústria automotiva, instituições acadêmicas e de infraestrutura que farão isso acontecer.

Para a certificação de que a tecnologia autônoma é otimizada para o tráfego real, a Volvo selecionou algumas rotas suburbanas mais populares de Gotemburgo para o julgamento da funcionalidade do programa *Drive Me*. Eles são perfeitos para testes de segurança em um ambiente suburbano, com velocidades médias de 70 km/h, sem pedestres e muita separação entre pistas (Volvo, 2016).

A figura 7 ilustra o mapa de atuação do programa *Drive Me* em Gotemburgo.

Figura 7 – Mapa de atuação do programa Drive Me.



Fonte: Volvo (2016)

De acordo com a Volvo (2016), trazendo todos os parceiros em conjunto em um ambiente sob medida para a criação de novas ideias vai ajudar a avançar o projeto *Drive Me*. Lindholmen Science Park está proporcionando isso. É uma base nacional de pesquisa e desenvolvimento relacionados com o transporte e apoiará o programa *Drive Me* em vários níveis, com base na experiência industrial, acadêmica e da comunidade.

Chalmers University of Technology é o parceiro acadêmico para o projeto *Drive Me*. Ajudará a estabelecer os benefícios da condução autônoma para a

sociedade. A parceria produzirá pesquisas que irão informar o desenvolvimento de uma solução de mobilidade sustentável para o futuro.

A tecnologia do programa *Drive Me* e a participação da empresa Autoliv, líder mundial no desenvolvimento e construção de sistemas de segurança ativa, será fundamental na produção dos veículos autônomos. O envolvimento da Autoliv significa que poderão criar um mundo mais seguro em que os veículos autônomos cortarão as taxas de acidentes para zero.

O programa *Drive Me* é parcialmente financiado pelo parceiro sueco FFI (Fordonsstrategisk Forskningoch Innovation) – Strategic Vehicle Research and Innovation. No futuro, poderão melhorar as estradas para obter mais veículos de condução autônoma, tanto quando se trata de tráfego de estrada disponível, mas as oportunidades também sociais, como congestionamentos reduzidos, a melhoria da segurança no trânsito e sustentabilidade.

Os veículos de condução autônoma podem otimizar a capacidade de congestionamento nas estradas através da partilha de informação e controle cooperativo. Serão capazes de se comunicarem e otimizarem o fluxo global, irão abrir novas possibilidades quando se trata de planejamento de tráfego. Estradas poderão ser alteradas por novas otimizações, como pistas mais estreitas. A condução autônoma de veículos será concebida com um objetivo global, na qual não deverão falhar.

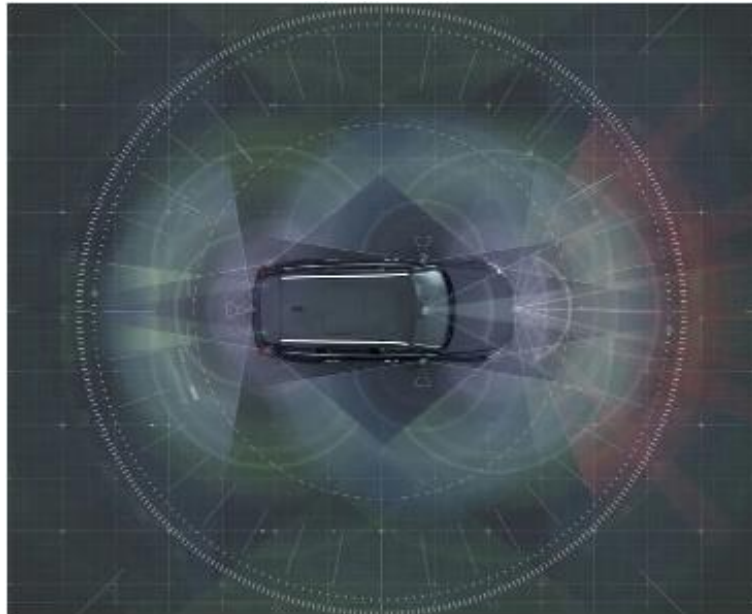
A maioria dos estudos mostram que, em 90% a 95% de todos os acidentes existe o fator humano envolvido. Isto tem um impacto sobre o seguro, com relação a aumento no valor e menor incidência de contratação. A concentração no valor do cliente com a condução autônoma são uma das principais ofertas oferecidas aos clientes. A possibilidade de usar com segurança o tempo perdido durante a condução. Com isso, terá a pressão por legislação e consciência de que os motoristas não serão responsáveis quando o veículo estiver em modo de condução autônoma (Volvo, 2016).

Como o objetivo para 2020 é ter veículos totalmente autônomos, mas apenas em áreas selecionadas, provavelmente em algumas cidades poderão fazer uma real diferença para as pessoas que utilizam a condução autônoma. O projeto *Drive Me* terá veículos de condução autônoma em vias públicas em número limitado em 2017, com perspectivas de crescimento com o avanço das homologações.

Os veículos sempre foram um símbolo de liberdade. A liberdade de viajar para onde e quando quiser. Explorando a experiência de condução, o luxo e o passeio com seu veículo. Com a tecnologia *IntelliSafe Autopilot* será revolucionário viajar, podendo dimensionar melhor a utilização do tempo durante suas viagens (Volvo, 2016).

Na figura 8, temos a ilustração do raio de atuação dos sensores do veículo Volvo XC90s.

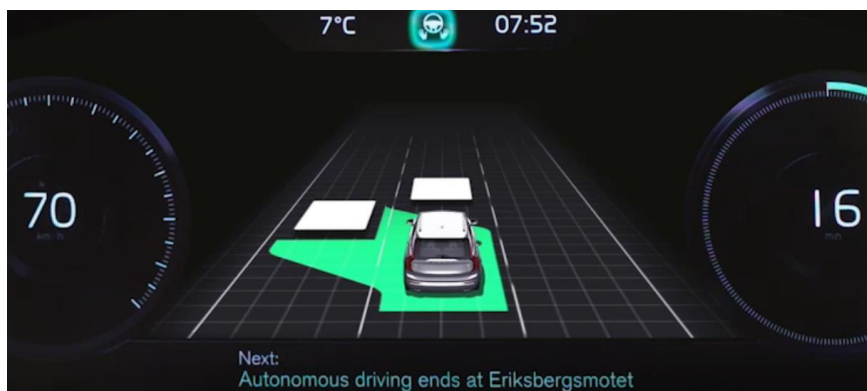
Figura 8 – Raio de atuação dos sensores do Volvo XC90s.



Fonte: Volvo (2016)

A ilustração do painel do veículo em modo de condução autônoma com a tecnologia *IntelliSafe Autopilot*, detectando o veículo a frente e na lateral esquerda, pode ser visto na figura 9.

Figura 9 – Painel do veículo em modo de condução autônoma.



Fonte: Volvo (2016)

2.4 Projeto CaRINA em desenvolvimento pela USP

Segundo a FAPESP (2013), futuramente o motorista ficará livre em seu assento para ler, cochilar, acessar um smartphone e até jogar videogame. Tudo isso dentro do veículo em movimento, é o que promete o carro autônomo previsto para ser comercializado nos próximos 10 ou 20 anos. Por enquanto, os esforços estão no campo da pesquisa, principalmente em universidades, algumas empresas da indústria automobilística e na Google, que também mantém um projeto experimental.

No Brasil, um Palio Weekend Adventure da Universidade de São Paulo (USP) foi o primeiro carro autônomo autorizado a trafegar em ruas da cidade de São Carlos no interior paulista, num percurso de 5,5 Km. O veículo comprado em uma concessionária Fiat, foi adaptado com uma série de equipamentos por um grupo de pesquisadores do Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação (ICMC) e da Escola de Engenharia do campus da USP - São Carlos.

“Um dos grandes problemas do momento é a falta de tempo das pessoas e as perdas de horas no trânsito principalmente nas grandes cidades”, disse o professor Denis Wolf, do ICMC, coordenador do projeto Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma (CaRINA), que tem financiamento da FAPESP e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), principalmente por meio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados (INCT-SEC), (FAPESP, 2013).

A figura 10 ilustra o veículo CaRINA II em desenvolvimento pela USP-São Carlos.

Figura 10 – Veículo CaRINA II.



Fonte: FAPESP (2013)

De acordo com Wolf, existem estudos científicos mostrando que carros ordenados e em velocidade adequada, trocando informações automaticamente entre si e com sensores em postes e no solo que, por sua vez, se comunicam com a companhia de trânsito, podem aumentar a capacidade de fluxo de veículos em vias urbanas e nas rodovias. E isso só é possível com os carros autônomos.

Um futuro possível dentro das cidades inteligentes, com semáforos e sinalização de pista, por exemplo, trocando informações com os carros. Sinais de *wi-fi* e de *GPS – Global Positioning System* de localização dos veículos por satélite, dos celulares e de outros aparelhos portados pelos passageiros de todos os veículos, inclusive motos, caminhões e ônibus, formariam uma rede de informações que traria condições ideais para todos trafegarem com mais segurança e maior rapidez.

As tecnologias para esse novo mundo estão sendo formatadas como mostram as experiências de São Carlos e de mais duas universidades brasileiras, as federais do Espírito Santo (UFES) e de Minas Gerais (UFMG). A equipe paulista é composta por dois professores, além de Wolf e 15 alunos de mestrado e doutorado, e conta com um mecânico responsável pela adaptação do carro. Eles desenvolveram o sistema de controle, com *softwares* de comando, e criaram uma inovação que deve ser patenteada assim que terminar o desenvolvimento.

É um motor elétrico na barra de direção que se acopla e magnetiza o mecanismo fazendo o carro movimentar o volante de acordo com os comandos dos dois computadores instalados. O primeiro está instalado no porta-malas, com grande capacidade de processamento e formato industrial capaz de suportar vibrações e altas temperaturas. Ele recebe as informações dos sensores externos, como os *lasers*, câmeras e um sistema de *GPS* muito avançado que indica a posição do veículo num mapa em uma tela ao lado do motorista.

Esse processador indica o que o carro deve fazer conforme as informações recebidas e repassa para outro computador, esse de menor porte, instalado no porta-luvas. O computador menor tem a função de controlar o *hardware* do veículo, como, por exemplo, girar o volante a 10 graus, acelerar ou frear. O freio possui um mecanismo chamado de atuador linear que age sobre um pistão para acioná-lo conforme mensagem dos computadores de bordo. Esse sistema é uma contribuição do grupo de pesquisa de veículos autônomos da UFMG.

O câmbio é automatizado de fábrica e troca as marchas conforme a necessidade do motor do carro. Também foi desenvolvido um sistema que engata a ré conforme o *software* de controle do veículo (FAPESP, 2013).

Como a segurança é fundamental, a qualquer momento o motorista pode tomar o comando do carro apertando um botão no painel que desliga todos os sistemas eletrônicos que não sejam os convencionais do veículo. Com isso, o condutor volta a ser o comandante.

No modo autônomo, os olhos do motorista são substituídos por *lasers* e câmeras que funcionam em 360°, da mesma forma da usada no sistema Google Street View em que é possível identificar cada local num mapa com tudo ao redor em localidades previamente filmadas por um carro da empresa. São dois *lasers*, um na frente e outro no teto. Os dois também em 360° emitem 700 mil pontos de luz por segundo para mapear tudo o que está ao redor numa distância de 50 metros de raio, medindo quão perto estão outros carros, postes, pessoas, cachorros, as guias e qualquer outro obstáculo, sempre informando o ângulo e a altura em relação ao veículo. É um *laser* invisível a olho nu que não traz prejuízos à saúde humana.

A câmera estéreo com duas lentes opera com o *laser* instalado na frente do carro e estima a profundidade das coisas ao redor, além de interpretar e informar as faixas de trânsito. O veículo conseguirá identificar se as faixas são contínuas ou duplas, além de reconhecer as faixas de pedestres. O trajeto do veículo é preestabelecido no mapa mostrado no monitor, mas durante o percurso é possível o ocupante mudar esse caminho por qualquer motivo.

No futuro, as informações das condições de tráfego poderão determinar as mudanças de forma autônoma de acordo com os comunicados que o veículo receber da companhia de trânsito ou da administradora da rodovia. As imagens no monitor também mostram os obstáculos e as pessoas ao redor do veículo (FAPESP, 2013).

De acordo com a FAPESP (2013), o veículo chamado de CaRINA II, percorreu primeiro as vias dentro do campus da USP - São Carlos em 2012, e em outubro de 2013 ganhou as ruas da cidade, com apoio da Secretaria Municipal de Transporte e Trânsito, que afastou outros veículos do percurso e o escoltou com duas motos. Até onde sabemos esse foi o primeiro teste de um carro autônomo com todas as autorizações em vias públicas da América Latina, que não tem financiamento ou parceria com nenhuma indústria de autopeças ou automobilística.

Com o financiamento da FAPESP e do CNPq foi comprado o carro por R\$ 50 mil em 2010 e todos os equipamentos principais como *lasers* e câmeras que foram importados. Os *lasers* custaram R\$ 110 mil e a câmera 360° mais R\$ 40 mil sem o imposto de importação porque foram aparelhos para pesquisa comprados via CNPq. Ainda terão um longo caminho porque o veículo ainda não faz ultrapassagens e a velocidade é limitada a 40 quilômetros por hora (km/h) por questão de segurança.

Os estudos vão se aprofundar com a interação com um grupo da Universidade do Estado de Ohio (OSU) nos Estados Unidos, por meio de um projeto dentro de um acordo de cooperação firmado entre a FAPESP e a universidade norte-americana. O grupo de Ohio é mais voltado para a engenharia elétrica e menos para a computação como o grupo da USP – São Carlos. Eles têm mais de 15 anos de experiência e estão mais avançados na parte de controle e de instrumentação, mas nós estamos na frente na interpretação e processamento das imagens captadas por câmeras e sensores.

Mesmo trabalhando na evolução do sistema, o grupo da USP já prestou consultoria para empresas do setor agrícola e de veículos de grande porte, em projetos que os empresários preferem não comentar.

Segundo Wolf, temos que evoluir muito e o caminho que todos buscam é a navegação que evite obstáculos, com a identificação de uma pessoa, um poste ou outro veículo, sabendo discernir o que está à frente. Buscam o mapeamento semântico dos obstáculos ao colocar nome e identificar o tipo de problema a enfrentar.

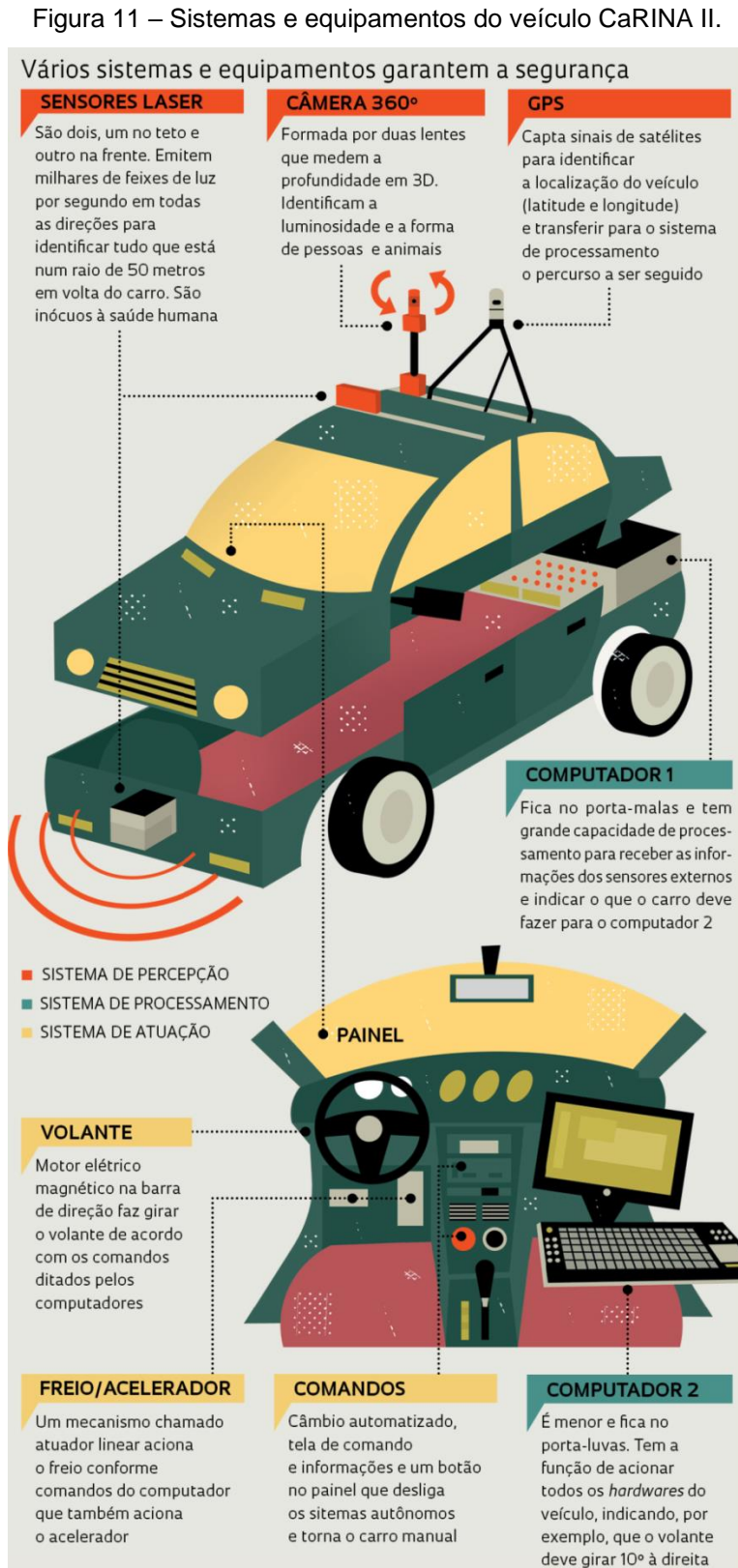
Acreditam que os veículos autônomos estejam saindo do âmbito da pesquisa, na área de montagem dos carros. Empresas da indústria automobilística já estão com modelos avançados. Por exemplo, a Nissan anunciou que terá um carro elétrico autônomo em 2020.

Algumas dificuldades no caminho dos veículos autônomos começaram a ser resolvidas como aconteceu nos Estados Unidos para favorecer os veículos experimentais da Google. Para rodarem com mais tranquilidade nas ruas, os estados da Califórnia, Nevada e Flórida emitiram leis que permitem testes com esses tipos de veículos.

Assim eles já percorrem milhares de quilômetros sem motorista, apenas acompanhados de engenheiros no interior dos veículos. O sistema de controle dos carros chamado de *Google Chauffeur* é coordenado pelo engenheiro Sebastian

Thrun, do Laboratório de Inteligência Artificial da Universidade Stanford e também um dos inventores da *Google Street View*.

A figura 11 ilustra os sistemas e equipamentos utilizados no CarINA II.



Fonte: Denis Wolf – USP, FAPESP (2013)

A equipe de Thrun ganhou um prêmio de US\$ 2 milhões em 2005 da Agência de Pesquisa Avançada de Defesa (Darpa, na sigla em inglês) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos com um projeto de veículo autônomo e depois foram contratados pela Google. Existem muitas experiências no mundo, principalmente na Alemanha, na Itália, no Japão e em Israel (FAPESP, 2013).

O professor Wolf analisa que se a tecnologia evoluir e for aprovada ainda vai faltar a pergunta: “Quem compraria esse carro?”. Além de mais caro, seria um carro monitorado por uma infinidade de sensores nas ruas e nas estradas. “Não daria para sair ultrapassando rapidamente outro carro como se faz hoje, correndo mais que os outros ou dirigindo mais devagar que o fluxo”.

Wolf ainda vai mais à frente num possível futuro. “Poderia existir um dia que ninguém mais compraria um carro, seria só pedir pelo telefone que um veículo sem motorista pegaria a pessoa num lugar e levaria para outro cobrando apenas o trajeto”.

2.5 Sistemas de direção

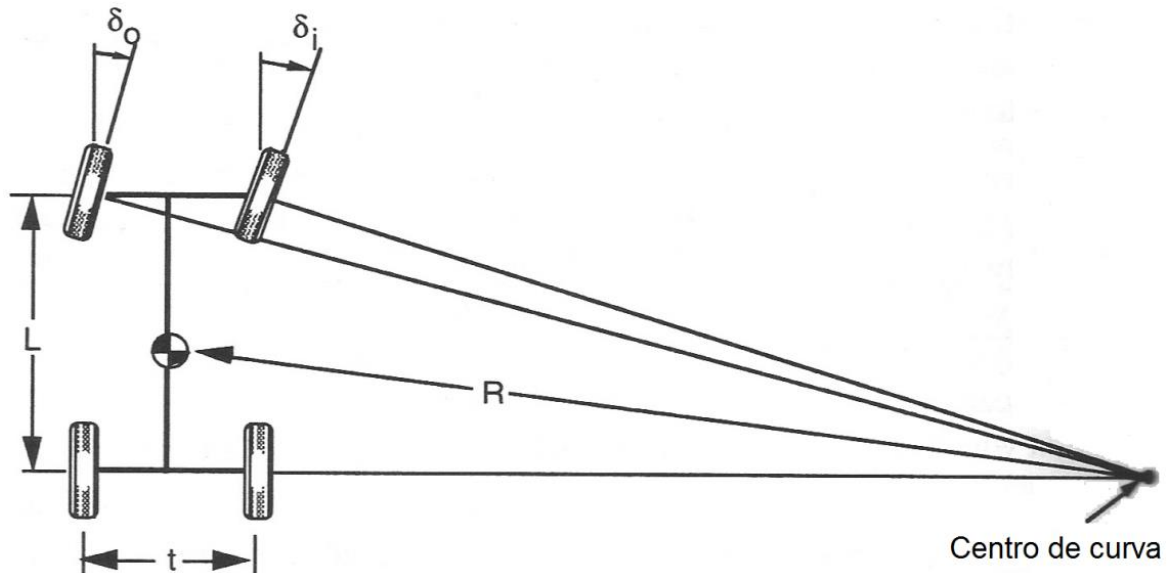
De acordo com Gillespie (1992), a concepção do sistema de direção tem uma influência sobre o comportamento de resposta direcional de um veículo automotivo que muitas vezes não é totalmente apreciada. A função do sistema de direção é orientar as rodas dianteiras em resposta às entradas de comando do condutor de modo a proporcionar um controle direcional total do veículo. No entanto, os ângulos reais de direção obtidos são modificados pela geometria do sistema de suspensão, pela geometria e reações dentro do sistema de direção, e no caso da tração dianteira, a geometria e as reações do conjunto motriz.

Os sistemas de direção usados em veículos automotivos variam de acordo com o design, mas com funcionalidades similares. O volante liga-se por eixos, juntas universais e isoladores de vibração à caixa de direção cujo objetivo é transformar o movimento rotativo do volante em um movimento de translação apropriado para a direção das rodas.

Segundo Gillespie (1992), as translações laterais transmitidas pelos mecanismos de direção através de barramentos às rodas direita e esquerda possuem uma importante característica geométrica. A geometria cinemática deste sistema de barras não é um paralelogramo que produz ângulos de esterçamento

iguais para ambas às rodas, mas sim um trapezóide que mais se aproxima da geometria de Ackerman, onde a roda interna tem um maior ângulo de esterçamento que a roda externa, conforme ilustrado na figura 12.

Figura 12 – Geometria de Ackerman.



Fonte: Gillespie (1992)

O cálculo dos ângulos interno e externo atendendo a geometria de Ackerman podem ser aproximados conforme as seguintes equações:

$$\delta_o = \text{atan} (L/(R+t/2)) \cong L/(R+t/2) \quad (1)$$

$$\delta_i = \text{atan} (L/(R-t/2)) \cong L/(R-t/2) \quad (2)$$

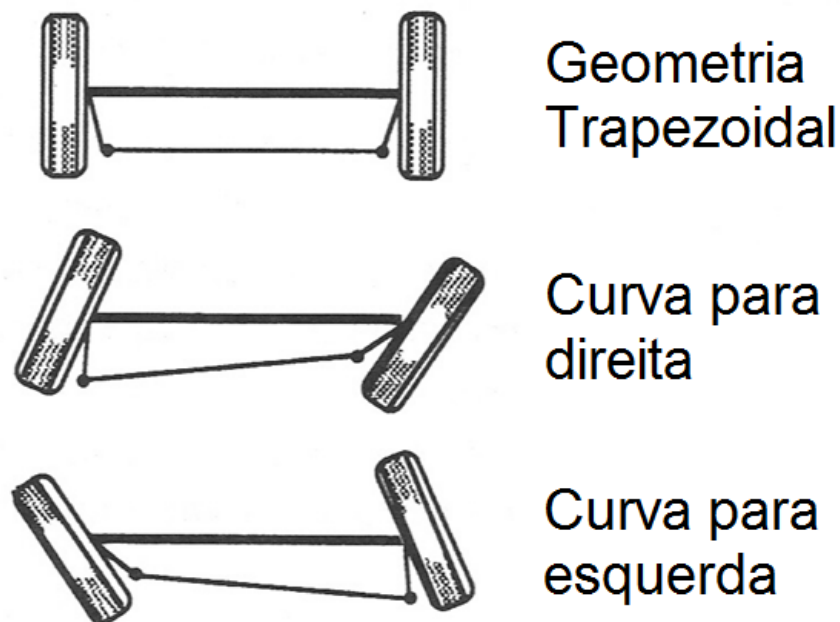
A aproximação acima descrita pode ser considerada para pequenos ângulos, que são os mais comumente encontrados e portanto os arco tangentes destes ângulos são aproximadamente iguais aos próprios ângulos em radianos (Gillespie, 1992).

Segundo Arronilas (2005), o efeito desejado de maior ângulo de esterçamento da roda interna em relação a externa é gerado através da geometria trapezoidal. O grau do atendimento da geometria de Ackerman no veículo tem pouca influência no comportamento direcional para altas velocidades, mas tem influência na auto centralização em manobras em baixas velocidades.

Com o atendimento da geometria de Ackerman, também se verifica progressividade do torque de resistência em função do ângulo de esterçamento. Vale salientar que com o esterçamento paralelo entre as rodas, determina-se inicialmente o crescimento do torque com o ângulo, contudo a partir de um dado ângulo, o torque tende a diminuir ou até ficar negativo para grandes ângulos de esterçamento.

A perfeita geometria de Ackerman é dificilmente atendida com o projeto da geometria de suspensão, mas é aproximada através do conceito trapezoidal, conforme ilustrado na figura 13.

Figura 13 – Geometria trapezoidal.



Fonte: Gillespie (1992)

Gillespie (1992) afirma que a função das barras articuladas do sistema de direção é transmitir o movimento do mecanismo de direção para as rodas do veículo. Contudo com a variação da posição da suspensão, a geometria do sistema de direção se altera causando os erros da geometria de direção. O sistema de direção ideal é formado por um sistema de barras articuladas, onde o arco descrito pela suspensão quando a mesma sofre deflexões é também descrito perfeitamente pelas mesmas barras.

Vale salientar que não há esterçamentos do sistema de direção nesta condição ideal. Normalmente a condição ideal não é atingida em decorrência de limitações de condicionamento físico dos componentes, não linearidades nos

movimentos da suspensão e pelas alterações da geometria quando o sistema está fora de sua posição central. Consequentemente com as deflexões da suspensão teremos variação na convergência das rodas que poderão gerar ângulos de esterçamento em ambas as rodas ou combinações. O centro da esfera da barra oposta ao ponto em que se conecta a manga de eixo é a posição que determina os erros do sistema de direção.

Os sistemas de direção são divididos em três famílias, o Sistema de Rolete e Sem-Fim, o Sistema Pinhão e Cremalheira e o Sistema Integral de Direção Hidráulica. Serão apresentados os descritivos de cada sistema.

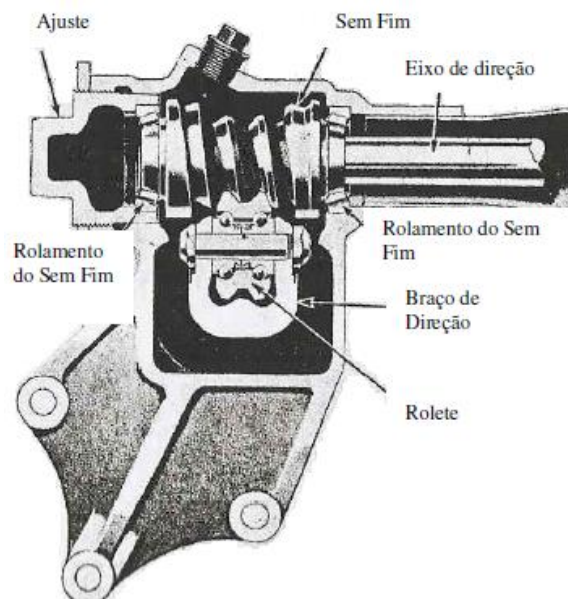
2.5.1 Sistema rolete e sem fim

Segundo Arronilas (2005), o sistema é composto de um eixo de entrada acoplado ao volante, que possui um sem-fim que fica engrenado no rolete que pertence ao eixo de saída. Portanto com a rotação do sem-fim, verifica-se o deslocamento angular do eixo de saída, onde se acopla o braço de direção Pitman.

No extremo deste braço acoplam-se os barramentos de direção que tem como função a transmissão do movimento para as mangas de eixo e por sua vez às rodas. Esse sistema de direção rolete e sem fim é empregado em veículos de passeio e comerciais leves.

A figura 14 ilustra a vista em corte do mecanismo rolete e sem fim.

Figura 14 – Vista em corte mecanismo rolete e sem fim.



Fonte: Crouse (1960)

De acordo com Gillespie (1992), comparando o sistema pinhão e cremalheira e o sistema rolete e sem fim, verifica-se a maior aplicação do sistema pinhão e cremalheira pelo menor nível de complexidade, facilidade em acomodação e a não obrigatoriedade de longarinas. Outro fato é a utilização de assistência apenas nos sistemas pinhão e cremalheira.

2.5.2 Sistema pinhão e cremalheira

Segundo Arronilas (2005), o sistema de direção normalmente é fixado na carroceria ou na suspensão, podendo estar localizado à frente ou atrás das rodas. Através do engrenamento pinhão e cremalheira, o movimento de rotação do volante que resulta no movimento de rotação do pinhão é transformado em movimento de translação da cremalheira.

Em cada extremidade da cremalheira, existem barras laterais bi-articuladas que tem a função de promover a união da cremalheira com as mangas de eixo. Portanto o movimento de translação da cremalheira aciona as mangas de eixo que geram os ângulos de esterçamento das rodas esquerda e direita, onde as mangas de eixo descrevem um arco em torno do eixo de esterçamento da roda ou pino mestre.

Este sistema de direção é largamente empregado em veículos de passeio e comerciais leves. A principal característica desse sistema é a redução do torque no volante necessário para girar as rodas do veículo apenas pela redução de engrenamento e geometria do sistema. O veículo possui a característica de torques no volante da ordem de 12 a 16 Nm em manobra de esterçamento com o veículo estático, conforme determina a geometria da suspensão e do sistema de direção.

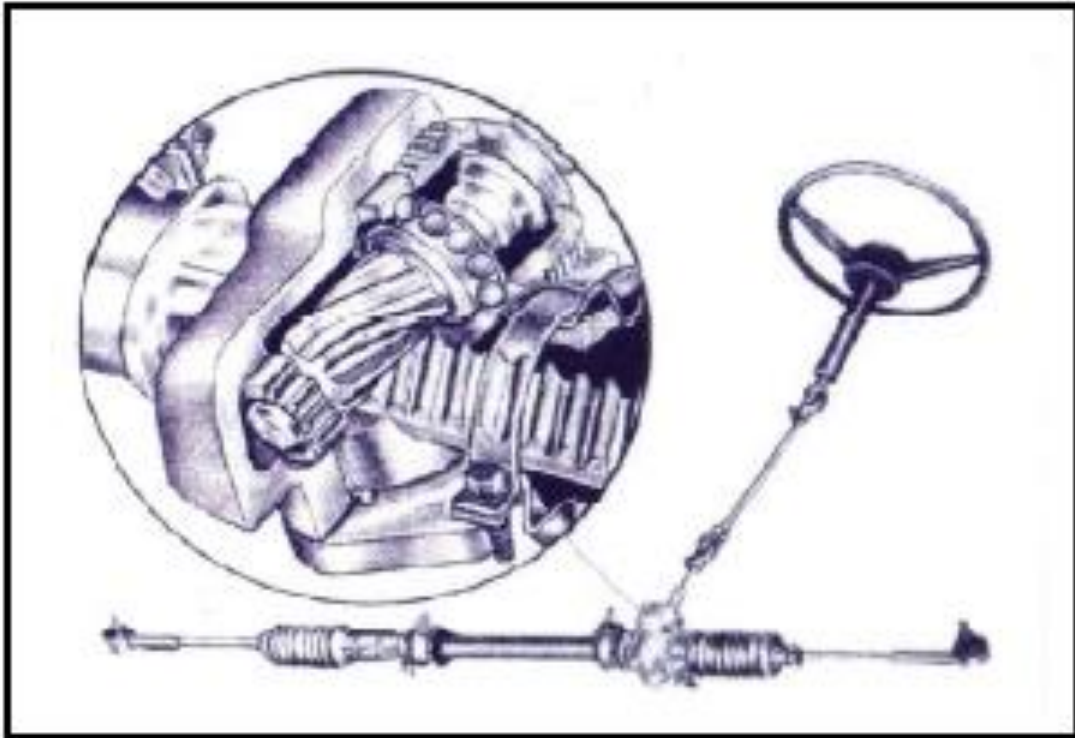
Como exemplo têm-se a relação de engrenamento de 32:1 utilizada na família Palio. O torque necessário apenas para deslocar os mecanismos de direção de batente a batente é da ordem de 1,5 a 2,2 Nm, com o número de revoluções de 3,7 a 3,8 conforme modelo.

A bucha da cremalheira, que é o mancal oposto ao do engrenamento, pode ser construída de material plástico (polímeros), metálicos com banho de material antiatrito (Teflon), material sinterizado entre outros. A região de regulagem do sistema de Yoke do mecanismo de direção, com uma mola que proporciona contato contínuo do Yoke sobre a cremalheira e através do tampão superior a regulagem da

folga. A folga se faz necessária para compensar as variações dimensionais dos componentes do mecanismo de direção (Arronilas, 2005).

A figura 15 ilustra os detalhes do mecanismo pinhão e cremalheira.

Figura 15 – Vista em detalhe do mecanismo pinhão e cremalheira.



Fonte: Arronilas (2005)

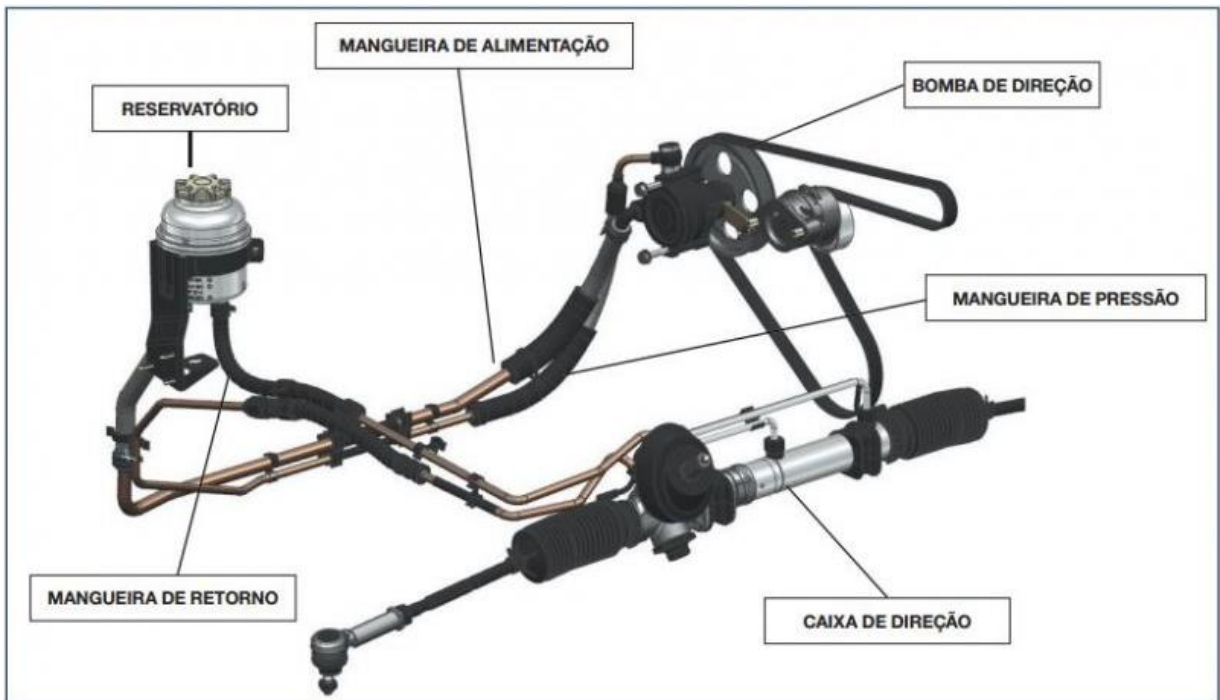
Descrevemos o sistema de direção pinhão e cremalheira sem assistência, mas temos os sistemas assistidos que podem ser divididos em três categorias:

- a) Hidráulico
- b) Eletro-Hidráulico
- c) Elétrico

2.5.2.1 Sistema hidráulico

Segundo Arronilas (2005), o sistema é semelhante ao mecanismo de direção manual, com redução do torque imposto ao motorista através da ação da assistência hidráulica. O torque que o motorista tem percepção é da ordem de 5Nm a 7Nm em manobra de esterçamento com o veículo parado. A figura 16 ilustra um sistema completo de direção hidráulica.

Figura 16 – Sistema de direção hidráulica.



Fonte: Rafael (2015)

De acordo com Arronilas (2005), o princípio é bastante simples. Um sistema com óleo sob pressão exerce a maior parte do esforço necessário para girar as rodas. A pressão do óleo é aplicada pelo sistema, justamente no instante em que o motorista vira o volante da direção.

No sistema de direção hidráulica há uma bomba que continuamente está operando e que fornece a pressão hidráulica, quando desejada. Há uma válvula especial que se abre ou fecha, quando se gira o volante. Ao abrir, ela permite que o óleo sob pressão seja aplicado a um pistão que, por sua vez, aciona a barra de direção.

A bomba de óleo é acionada através de uma correia, pelo próprio motor do veículo. Da bomba saem duas tubulações, uma que leva o óleo até a caixa de direção e outra que o traz de volta. Na caixa de direção estão incluídas a caixa propriamente dita e a válvula. Enquanto isso o motor está funcionando, a bomba cria pressão no óleo.

As posições da válvula é o que determinam por onde deve caminhar o óleo e qual o efeito que ele vai exercer. O corpo da válvula possui internamente três câmaras. Em cada câmara há um orifício. As duas câmaras externas são ligadas ao reservatório de óleo e a câmara central está ligada à bomba.

O sistema é montado de maneira tal que, mesmo em caso de acidente e perda do óleo, ainda assim a direção possa funcionar. Passando então a funcionar manualmente, como os sistemas comuns de direção.

Todos os sistemas hidráulicos, em caso de acidente se transformam em sistemas convencionais e o veículo pode continuar a trafegar até que se possa pará-lo para o conserto.

Conforme sua construção ela pode gerar mais ou menos assistência e exige maior ou menor esforço do condutor ao esterçar o volante. A calibração desse sistema é normalmente determinada pelas montadoras, onde seus especialistas em dirigibilidade determinam as necessidades.

2.5.2.2 Sistema eletro-hidráulico

Segundo Arronilas (2005), o sistema de direção eletro-hidráulico é assistido eletricamente através de conexão via cabos ao sistema elétrico do veículo.

Esse conjunto pode ser instalado no veículo no lugar de um mecanismo de direção manual ou do sistema de direção hidráulica convencional, com idênticas interfaces à coluna de direção e suspensão do veículo.

A figura 17 ilustra o sistema de direção eletro-hidráulica.

Figura 17 – Sistema de direção eletro-hidráulica.



Fonte: Arronilas (2005)

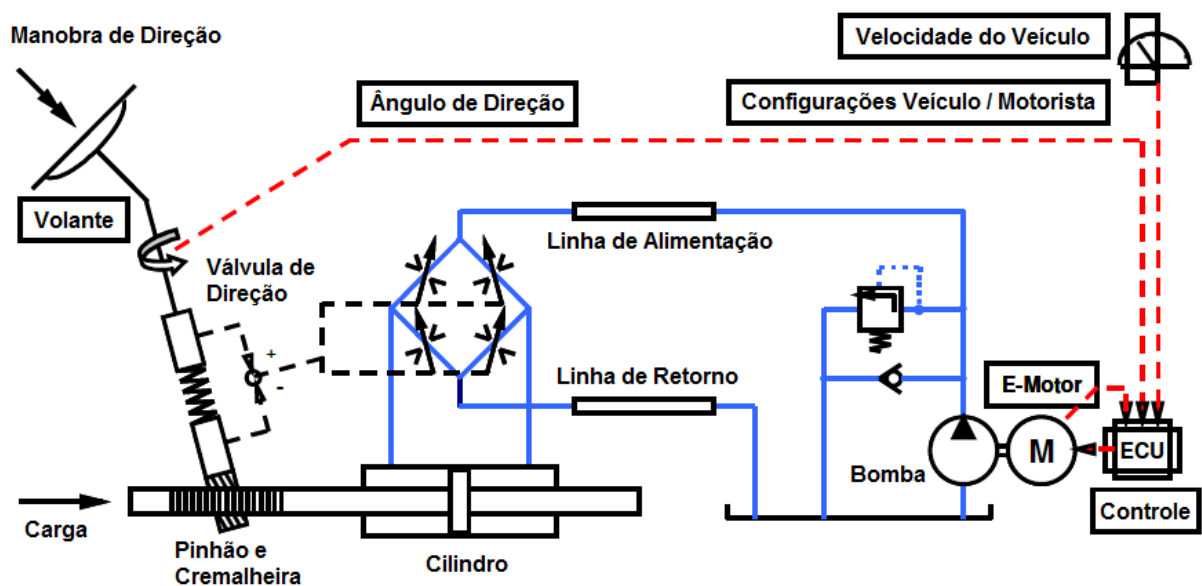
O sistema consiste de uma Bomba Hidráulica movimentada por um motor elétrico, que fornece assistência hidráulica ao mecanismo de direção pinhão e cremalheira. Inicia sua operação após receber na ECU (Unidade Eletrônica de Controle) um sinal da ignição e um sinal do alternador do veículo.

É controlado por velocidade e consumo de corrente elétrica em resposta a aplicação de torque no volante do veículo pelo motorista e este torque provoca o fechamento do conjunto pinhão e válvula rotativa do mecanismo, causando assim um aumento na pressão hidráulica do sistema de direção e por consequência um aumento no torque do eixo da bomba hidráulica movimentada pelo motor elétrico.

Este aumento de torque gera um aumento do consumo de corrente elétrica do motor elétrico que é detectado pela ECU.

A figura 18 representa de forma esquemática o sistema.

Figura 18 – Esquema do sistema de direção eletro-hidráulica.



Fonte: Arronilas (2005)

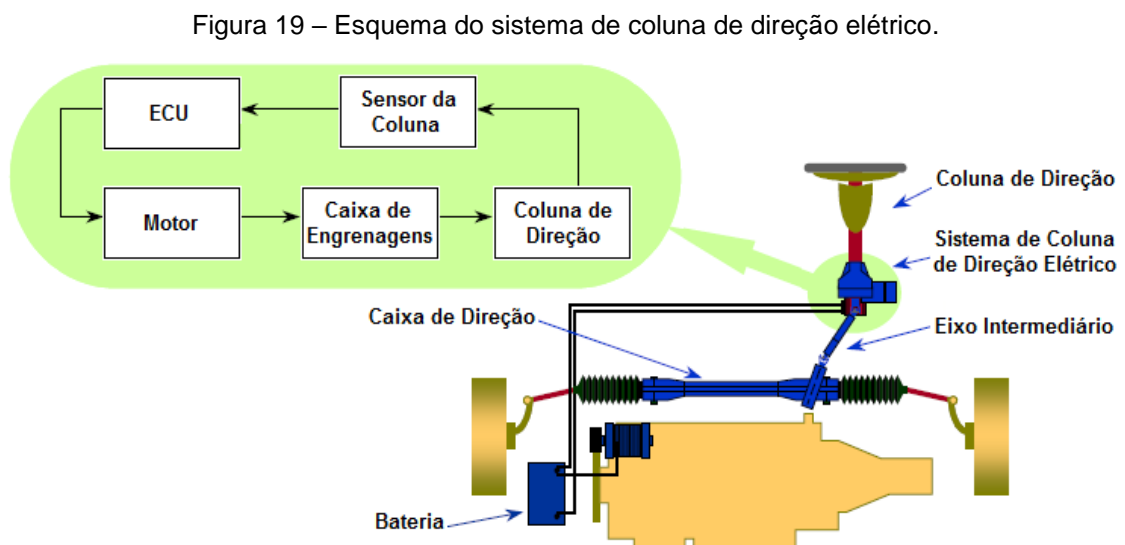
2.5.2.3 Sistema elétrico

Segundo Arronilas (2005), o sistema de direção elétrico possui 3 subdivisões. O sistema de coluna de direção elétrico ou Column Drive, o sistema de cremalheira elétrico ou Rack Drive e o sistema de pinhão elétrico ou Pinion Drive. O sistema de coluna elétrico é largamente aplicado na Europa e no Brasil teve início no veículo FIAT Stilo.

O sistema é formado por um atuador elétrico composto por um motor elétrico acoplado ao sem fim e engrenado a uma coroa solidária ao eixo da coluna de direção. São aplicados sensores visando medir o torque e posição da coluna, como também sensores para medir as condições internas do sistema.

A unidade de controle eletrônico (ECU) tem a função de processar os sinais dos sensores, calcular a assistência de acordo com os sinais dos sensores e o status do veículo para controlar o motor.

A figura 19 ilustra o esquema do sistema de coluna de direção elétrica.



Fonte: Arronilas (2005)

A figura 20 ilustra o sistema completo da coluna de direção elétrica, onde o motor elétrico fica localizado na coluna de direção próximo ao volante do veículo.

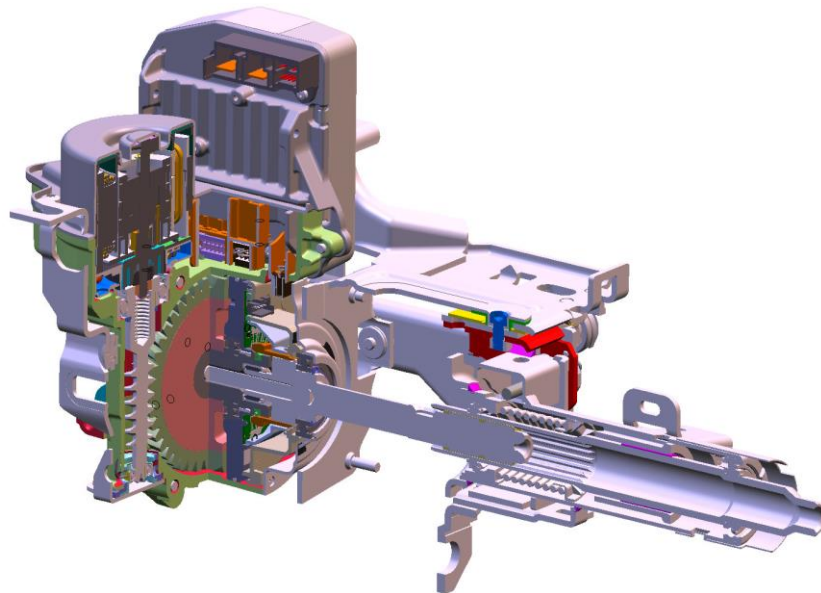
Figura 20 – Sistema de coluna de direção elétrica.



Fonte: Arronilas (2005)

A figura 21 ilustra o mecanismo do sistema de direção de coluna elétrica em corte, onde podemos observar o engrenamento da coroa que é solidária ao eixo da coluna de direção e o sem-fim que transmite o torque gerado pelo motor elétrico, controlado pela ECU.

Figura 21 – Mecanismo em corte do sistema de coluna de direção elétrico.



Fonte: Arronilas (2005)

Os outros sistemas de direção elétrica mencionados utilizam o mesmo conceito do motor elétrico. No sistema de direção cremalheira elétrica, a transmissão é realizada por um sistema de esferas recirculantes na cremalheira do mecanismo de direção. Na figura 22 ilustra o sistema cremalheira elétrico.

Figura 22 – Sistema cremalheira elétrico.



Fonte: Arronilas (2005)

No sistema de direção pinhão elétrico, o torque é transmitido por um engrenamento no pinhão em série com o engrenamento da cremalheira. Na figura 23 ilustra o sistema pinhão elétrico.

Figura 23 – Sistema pinhão elétrico.



Fonte: Arronilas (2005)

2.5.3 Sistema integral de direção hidráulica

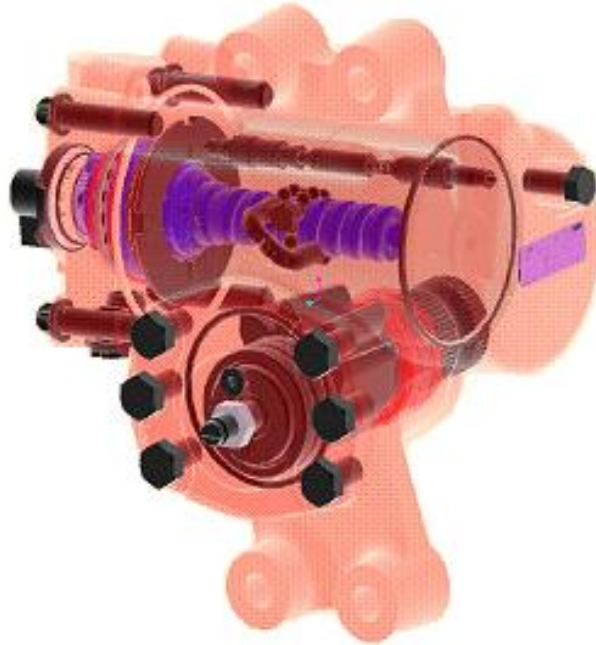
Segundo Arronilas (2005), esse sistema é utilizado em veículos comerciais leves e pesados. Um conjunto de mecanismo integral de direção hidráulica compõe o sistema, que possui um eixo de entrada incorporando uma válvula hidráulica e um sem fim que se acopla ao pistão cremalheira por um engrenamento de esferas recirculantes.

O pistão cremalheira fica engrenado a um eixo setor e no momento do acionamento do eixo de entrada existe uma parcela de torque de origem mecânica que é amplificado pelo sistema de reduções dos engrenamentos de esferas recirculantes e o dentado do pistão cremalheira e eixo setor. A outra parcela de torque é gerada pelo acréscimo da pressão controlado pela válvula hidráulica, que pressuriza a área do pistão gerando uma força que se transforma em torque no eixo setor.

Este torque é obtido pela multiplicação da força pelo primitivo do pistão cremalheira e o eixo setor. O eixo setor possui um braço Pitman, que é ligado a uma das mangas de eixo através de uma barra de direção. O movimento é transmitido para a outra roda através de uma segunda barra chamada de ligação.

Na figura 24 ilustra o sistema integral de direção hidráulica.

Figura 24 – Sistema integral de direção hidráulica.



Fonte: Arronilas (2005)

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Esse capítulo aborda todo o desenvolvimento do sistema de direção a ser adaptado no veículo FIAT Strada Adventure, ano 2012, direção hidráulica, câmbio automatizado de 5 velocidades, motor flex de 1800cm³, nas quais destacamos:

- Escolha do motor DC de 12V e do sistema de redução.
- Cálculo das polias sincronizadas e da correia.
- Montagem da placa eletrônica com o microcontrolador Microchip PIC 18F4550.
- Utilização da ponte H com MOSFET's de potência para controle do motor DC de 12V.
- Condicionador do sinal de velocidade da roda, para amplificar o sinal.
- Ligação elétrica utilizando a linha 15 (Pós-Chave) para alimentação da placa eletrônica e linha 30 para alimentação da ponte H.
- Desenvolvimento do *firmware* em linguagem C, para controle de direção eletrônico através de potenciômetro e sistema de estacionamento Park Assist.
- Montagem do sistema completo no veículo e realização de testes.

3.1 Escolha do motor DC de 12V e do sistema de redução

A escolha do motor e do sistema de redução, foi feito conforme sugerido pelo orientador Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, utilizando componentes de uma furadeira / parafusadeira da marca BOSCH.

Realizada consulta no catálogo de partes e peças no site da Robert Bosch – Ferramentas Elétricas, referente a serviços de pós-vendas e encontramos o modelo: **FURAD.PARAF.BAT. 3 601 J18 JD0 - GSR 12-2 / 12 V /BR**, de acordo com os dados técnicos, gera Torque máximo de 27Nm e rotações de 0 a 1200 rpm.

Na figura 25 ilustra o conjunto motor DC 12V, engrenagem planetária e o parafuso M5x20, onde temos os números das peças (Bosch, 2016):

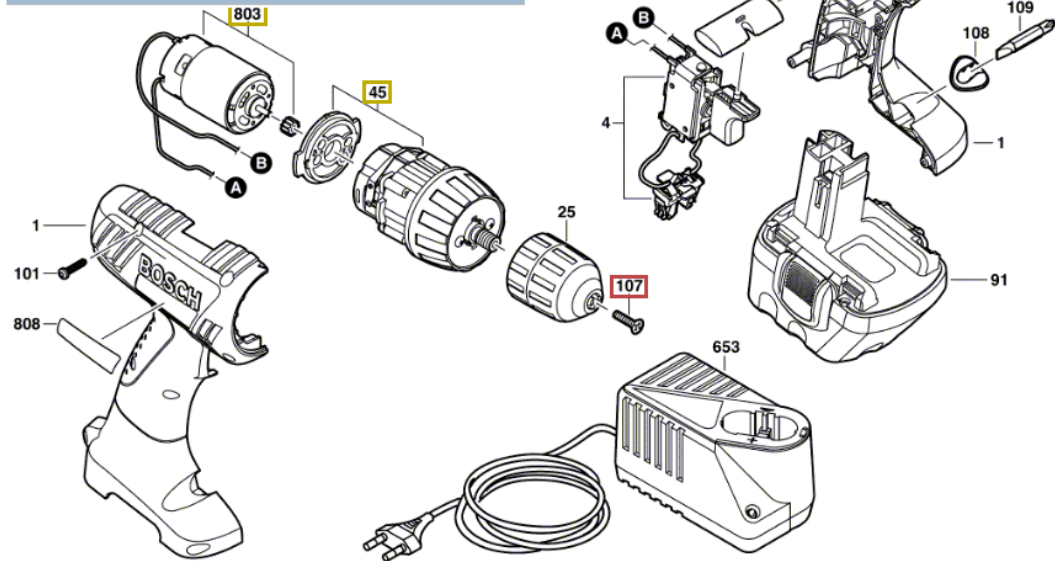
- 2 609 110 385 – Engrenagem Planetária (Redutor);
- 2 609 110 721 – Parafuso M5x20;
- 2 609 120 259 – Motor DC 12V;

Figura 25 – Conjunto motor DC 12V e redutor– BOSCH.

FURAD. PARAF. BAT.

3 601 J18 JD0 - GSR 12-2 / 12 V /BR

Pos.		Número de peça	Descrição
45	✓	2 609 110 385	ENGRANAGEM PLANETARIA
107	✓	2 609 110 721	PARAFUSO CAB. ESCAREADA M5x20
803	✓	2 609 120 259	MOTOR CORRENTE CONTÍNUA 12V



Fonte: Bosch

Na figura 26 ilustra o conjunto motor DC 12V e o redutor adquiridos no representante BOSCH.

Figura 26 – Motor DC 12V e redutor – adquiridos.



Fonte: Dados do autor

3.2 Cálculo das polias sincronizadas e da correia

A escolha das polias sincronizadas e da correia, foram feitas conforme catálogo da Gates e especificações dos eixos da coluna de direção que tem diâmetro de 19mm e do eixo do redutor de 8mm.

Na página 31 do catálogo Gates que está no Anexo A, escolhemos a polia motora com 18 dentes de código P18-5MGT-25 que se adequa ao diâmetro do eixo redutor de 8mm e a polia movida com 36 dentes de código P36-5MGT-25 que se adequa ao diâmetro do eixo da coluna de direção de 19mm.

Para cálculo do torque de pico, utilizamos o fator de serviço de 1,5 descrito no catálogo Gates e a caixa de redução da Bosch oferece $Q = 27\text{Nm}$ de torque.

O cálculo segue conforme equação:

$$Q_p(\text{Nm}) = Q \times \text{Fator de Serviço} \quad (3)$$

A verificação da velocidade da correia, segue conforme equação:

$$V(\text{m/s}) = 0,0000524 \times \text{Diâmetro Primitivo } D1 \times n \text{ Polia Motora} \quad (4)$$

Para cálculo do comprimento da correia, segue conforme equação:

$$PL(\text{in}) = 2CD + [1,57 \times (PD + pd)] + [(PD - pd)^2 / 4CD] \quad (5)$$

Onde: CD = Distância entre Centros (in)

PD = Diâmetro Primitivo Maior (in)

pd = Diâmetro Primitivo Menor (in)

$$PL(\text{mm}) = PL(\text{in}) \times 25,4 \quad (6)$$

Para cálculo da constante K, segue conforme equação:

$$K(\text{in}) = 4PL - 6,28 (PD + pd) \quad (7)$$

$$K(\text{mm}) = K(\text{in}) \times 25,4 \quad (8)$$

Para cálculo da distância entre centros, segue conforme equação:

$$CD(in) = \frac{K + \sqrt{K^2 - 32(PD - pd)^2}}{16} \quad (9)$$

$$CD(mm) = CD(in) \times 25,4 \quad (10)$$

Para cálculo da tensão estática da correia, segue conforme equação:

$$Tst(lb) = [(1,21Q \times 8,8508) / pd] + [m \times (((pd \times n)/3,82)/1000)^2] \quad (11)$$

Onde: Q = Torque da polia motora (Nm)

pd = Diâmetro Primitivo Menor (Polia Motora) (in)

n = Rotação da Polia Motora (RPM)

m = 0,47 (Conforme tabela 7 na página 61 do catálogo Gates)

$$Tst(N) = Tst(lb) \times 4,4482 \quad (12)$$

Para cálculo da distância de deflexão da correia, segue conforme equação:

$$t(in) = \sqrt{CD^2 - \left(\frac{PD - pd}{2}\right)^2} \quad (13)$$

$$t(mm) = t(in) \times 25,4 \quad (14)$$

Para cálculo da força de deflexão mínima da correia, segue conforme equação:

$$DFmín(lb) = [Tst(lb) + (t(in) / PL(in)) \times Y] / 16 \quad (15)$$

Onde: Y = 41,50 (Conforme tabela 7 na página 61 do catálogo Gates)

$$DFmín(N) = DFmín(lb) \times 4,4482 \quad (16)$$

Para cálculo da força de deflexão máxima da correia, segue conforme equação:

$$DF_{\text{máx}}(\text{lb}) = [1,1T_{\text{st}}(\text{lb}) + (t(\text{in}) / PL(\text{in})) \times Y] / 16 \quad (17)$$

Onde: Y = 41,50 (Conforme tabela 7 na página 61 do catálogo Gates)

$$DF_{\text{máx}}(\text{N}) = DF_{\text{máx}}(\text{lb}) \times 4,4482 \quad (18)$$

Na tabela 1, são apresentados todos os cálculos realizados através das equações demonstradas acima, efetuando o dimensionamento do sistema (polia motora, polia movida, correia, distância entre centros das polias, forças de deflexão mínima e máxima da correia):

Tabela 1 – Dimensionamento das polias e correia.

Cálculo das Polias						
Polia Motora		Unidade	Relação de Transmissão			
n Polia Motora	1200	RPM	i =	n1	D2	Relação de
Diâmetro D1	28,65	mm		n2	D1	
Polia Movida		Unidade	i =	1200	57,30	2
n Polia Movida	600	RPM		600	28,65	
Diâmetro D2	57,30	mm	i =	2	2	Transmissão Polias
Cálculo do Torque de Pico						
Fator Serviço	1,50		Torque de Pico		40,50	Nm
Torque Cx Redução	27,00	Nm				
Engrenamento						
Polia Motora		Unidade	Polia Movida		Unidade	
Rotação	1200	RPM	Rotação	600	RPM	
Relação	1	Transm.	Relação	2	Transm.	
Diâmetro Primitivo	28,65	mm	Diâmetro Primitivo	57,30	mm	
Diâmetro Primitivo	1,13	in	Diâmetro Primitivo	2,26	in	
Nº de dentes	18	Z1	Nº de dentes	36	Z2	
Passo	5,00	mm	Passo	5,00	mm	
Velocidade Correia	1,80	m/s	Velocidade Correia	1,80	m/s	
Dist.Centros Estim.	119,10	mm				
Dist.Centros Estim.	4,69	in				
Descrição	Valor	Unidade	Sigla			
Comprimento Correia - PL	14,76	in	PL			
Comprimento Correia - PL	374,86	mm	PL			
Constante - K	37,78	in	K			
Constante - K	959,69	mm	K			
Distância entre Centros Calculado - CD	4,69	in	CD			
Distância entre Centros Calculado - CD	119,10	mm	CD			
Tensão Estática Correia	256,41	lb	Tst			
Tensão Estática Correia	1140,58	N	Tst			
Distância Deflexão Correia	4,65	in	t			
Distância Deflexão Correia	118,24	mm	t			
Força de Deflexão Mínima Correia	16,84	lb	DFmín			
Força de Deflexão Mínima Correia	74,93	N	DFmín			
Força de Deflexão Máxima Correia	18,45	lb	DFmáx			
Força de Deflexão Máxima Correia	82,05	N	DFmáx			

Fonte: Dados do autor

Na tabela 2, são apresentados o conjunto de polia motora, polia movida e correia selecionados no catálogo Gates.

Tabela 2 – Conjunto das polias e correia selecionados no catálogo Gates.

Polia Motora	
Código	P18-5MGT-25
Código Produto	7709-5018
Polia Movida	
Código	P36-5MGT-25
Código Produto	7709-5036
Correia	
Código	5MR-375-25
Código Produto	

Fonte: Dados do autor

3.3 Montagem da placa eletrônica com o microcontrolador PIC 18F4550

A placa eletrônica que será utilizada neste projeto, foi desenvolvida pelo orientador Prof. Dr. Edson Caoru Kitani para utilização no curso de Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André.

Foi escolhida esta placa eletrônica, pela facilidade de montagem e de agregar a outros circuitos eletrônicos a serem controlados pelo microcontrolador MICROCHIP PIC 18F4550.

No Anexo B, está disponível o circuito da placa utilizada.

Na figura 27, está a placa montada para controle do sistema de direção.

Figura 27 – Placa eletrônica com microcontrolador PIC 18F4550.



Fonte: Dados do autor

3.4 Ponte H com MOSFET's canal P e N para controle do motor DC

O desenvolvimento da placa da ponte H com MOSFET's canal P e N para controle do motor DC de 12V foi necessário, devido a corrente de pico 54A na partida e estabilidade de corrente em 8A.

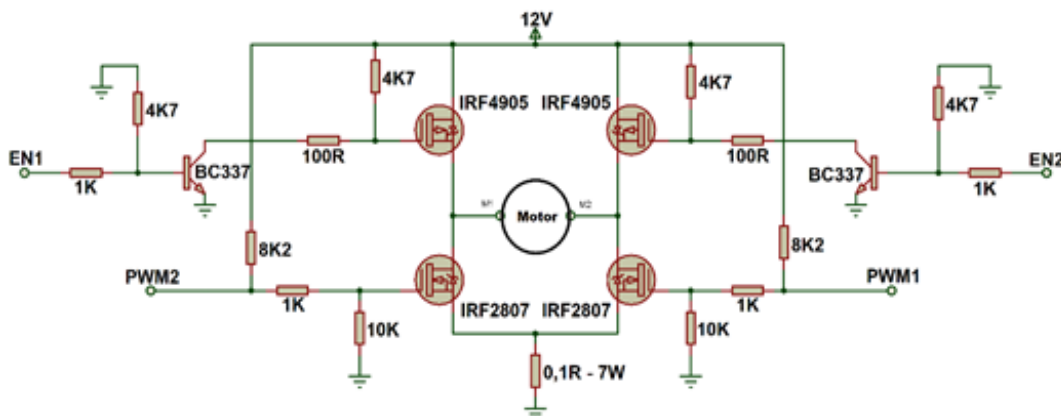
Consultando *datasheets*, encontramos com maior facilidade para compra os MOSFET's: IRF4905 – Canal P com corrente nominal de 74A e IRF2807 – Canal N com corrente nominal de 82A.

Utilizamos transistores NPN BC337 para chavear as entradas EN1, EN2.

As entradas EN1, EN2 e PWM, receberão sinal da placa eletrônica com o microcontrolador PIC 18F4550, que através da lógica de programação fará os acionamentos ora no sentido horário e ora no sentido anti-horário.

Na figura 28, demonstramos o circuito eletrônico da ponte H.

Figura 28 – Circuito eletrônico da ponte H.



Fonte: Dados do autor

Na figura 29, temos a placa da ponte H montada utilizada no projeto.

Figura 29 – Placa ponte H com MOSFET's canal P e N.



Fonte: Dados do autor

3.5 Condicionador do sinal de velocidade da roda

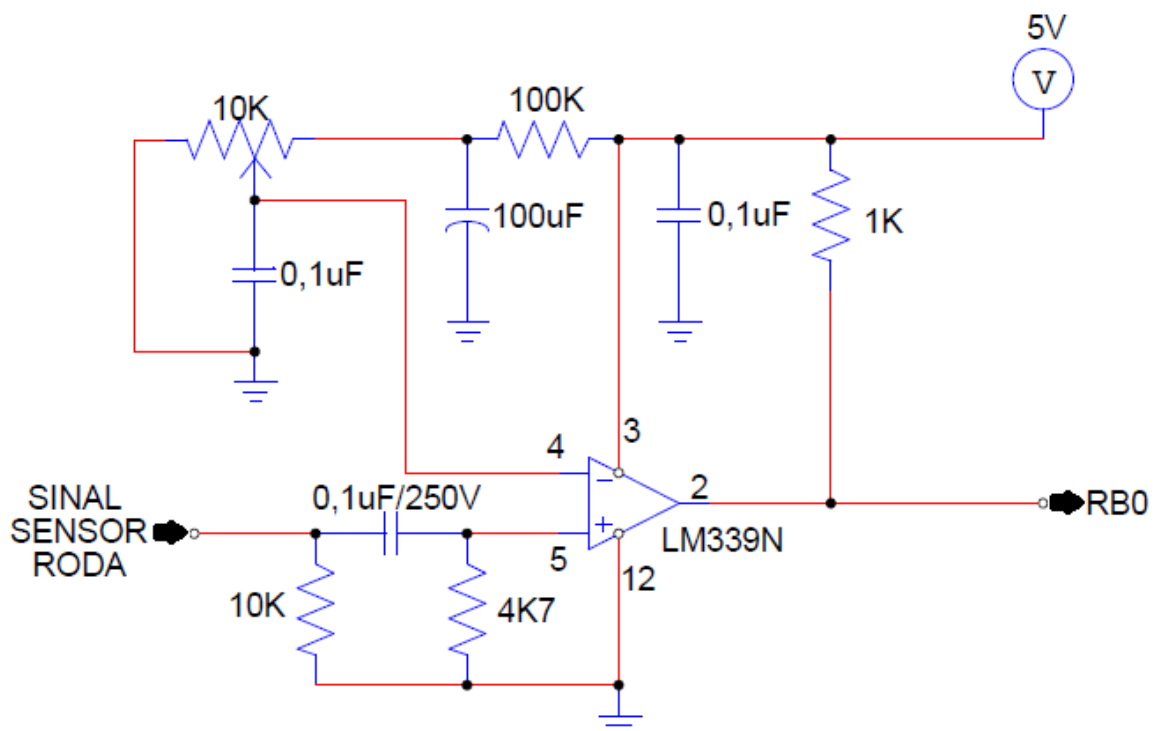
Para o desenvolvimento do *firmware* que realiza a operação de *Park Assist*, foi necessário utilizarmos o sinal do sensor de roda que gera os pulsos para o sistema de ABS do veículo FIAT Strada Adventure.

Realizamos a medição e constatamos que é um sensor tipo *Hall* e gera 48 pulsos a cada 360 graus de giro da roda, porém o sinal gerado possui amplitude de apenas 400mV, não sendo suficiente para utilizarmos na entrada RB0 do microcontrolador MICROCHIP PIC 18F4550.

Desenvolvemos um circuito comparador com amplificador operacional LM339N para amplificar o sinal de 400mV e gerar uma saída com pulsos de amplitude de 5V.

Na figura 30, demonstramos o circuito eletrônico do condicionador do sinal de velocidade da roda.

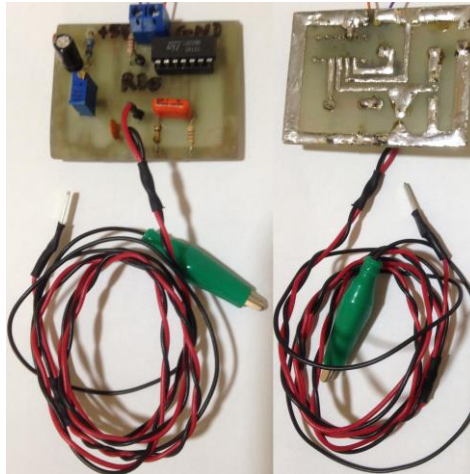
Figura 30 – Circuito eletrônico condicionador do sinal de velocidade da roda.



Fonte: Dados do autor

Na figura 31, temos a placa do circuito condicionador do sinal utilizada no projeto.

Figura 31 – Placa circuito condicionador do sinal de velocidade da roda.



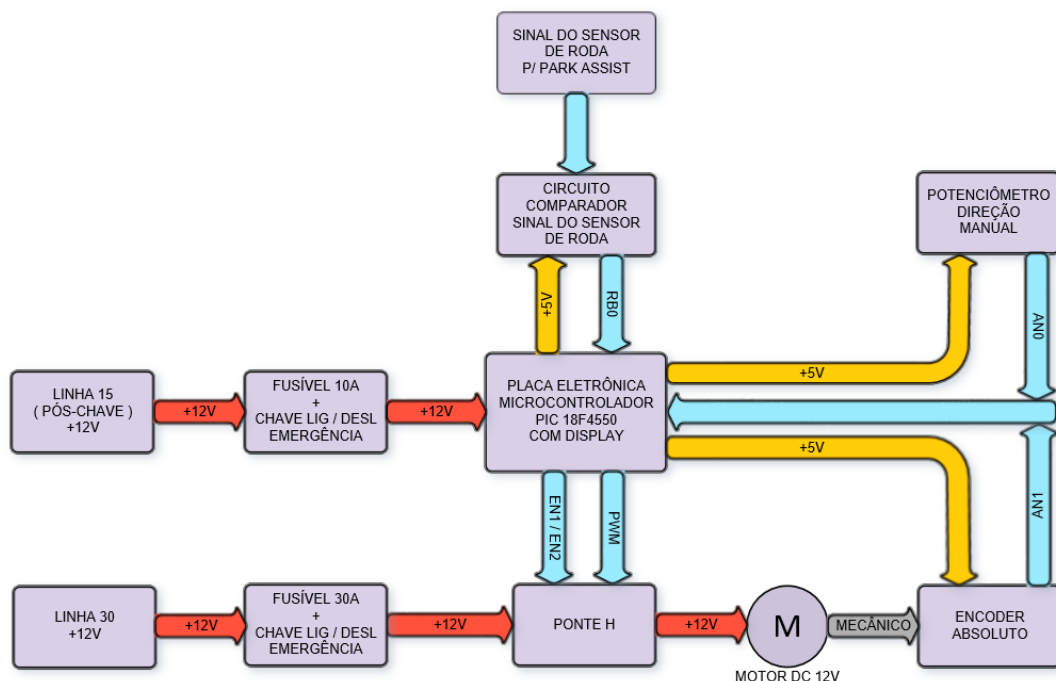
Fonte: Dados do autor

3.6 Ligação elétrica linha 15 (pós-chave) - placa eletrônica e linha 30 - ponte H

A linha 15 (pós-chave) foi utilizada para alimentar a placa eletrônica, devido segurança de alimentar a placa somente após ligar o carro. Para alimentar a ponte H, utilizamos a linha 30, devido a corrente de pico de 54A exigido para tirar o motor elétrico da inércia.

Apresentamos na figura 32, o de diagrama de blocos para entendimento das ligações das linhas 15 e 30, com as interligações da placa eletrônica e a ponte H.

Figura 32 – Diagrama de blocos – sistema de direção elétrica.



Fonte: Dados do autor

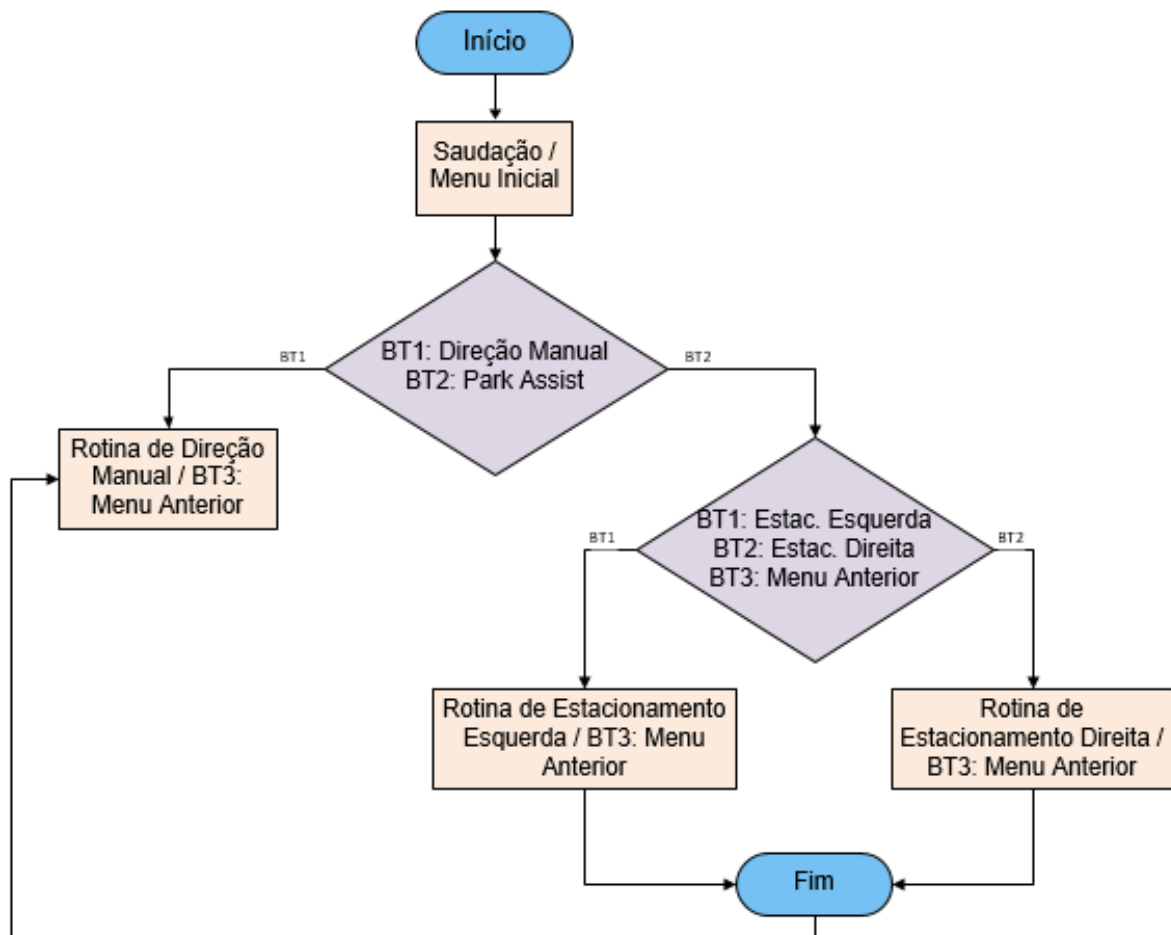
3.7 Desenvolvimento do firmware do microcontrolador em linguagem C

Com a utilização da placa eletrônica com o microcontrolador MICROCHIP PIC-18F4550, desenvolvemos o *firmware* em linguagem C, utilizando o *software* MPLAB X IDE e compilador XC8.

Conforme recomendações, nos baseamos em máquinas de estados para obter melhor compreensão do funcionamento dos menus.

Na figura 33, apresentamos o fluxograma de funcionamento dos menus no *display* da placa de controle.

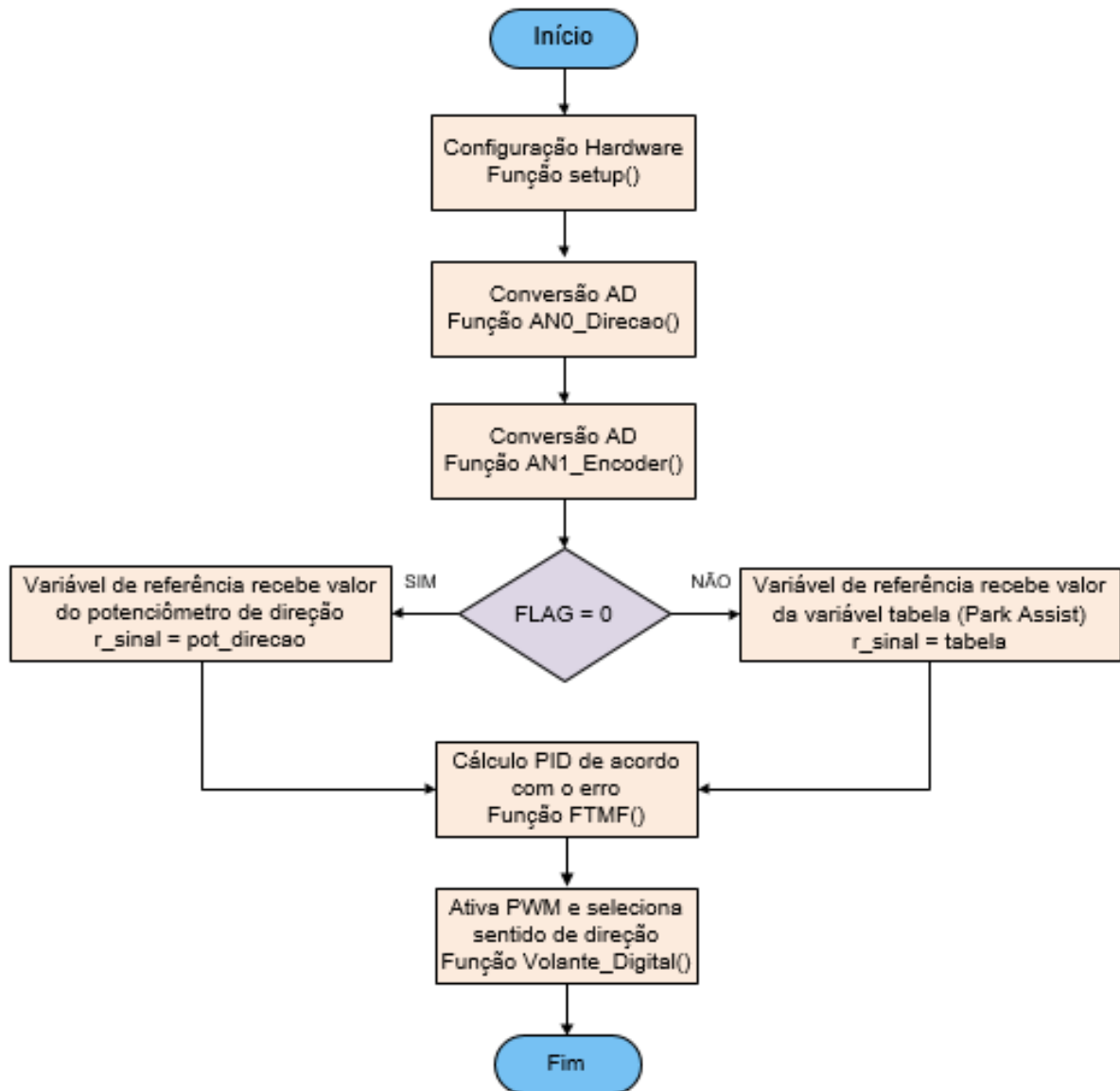
Figura 33 – Fluxograma – display.



Fonte: Dados do autor

Na figura 34, apresentamos o fluxograma de funcionamento do *firmware* de controle do sistema de direção elétrica.

Figura 34 – Fluxograma – firmware de controle do sistema de direção elétrica.



Fonte: Dados do autor

Como parâmetros de entrada temos dois potenciômetros que são as leituras do conversor AD, realizadas pelas funções (AN0_Direcao e AN1_Encoder). A função AN0_Direcao realiza a leitura do potenciômetro de controle de direção manual, convertendo o nível de tensão para sinal digital e armazenando na variável "pot_direcao".

A função AN1_Encoder realiza a leitura do potenciômetro acoplado na polia motora (*encoder*) que se encontra adaptado na coluna de direção, convertendo o nível de tensão para sinal digital e armazenando na variável "pot_encoder".

Foi necessária uma sinalização por "*Flag*" para usar dois modos distintos usando uma mesma variável "r_sinal" (sinal de referência). No modo manual, a

variável "r_sinal" recebe o valor armazenado na variável "pot_direcao". No modo *Park Assist*, a variável "r_sinal" recebe o valor da variável "tabela". A variável "tabela" recebe valores fixos e definidos ("dado_esq", "central" e "dado_dir") para execução da rotina de estacionamento, respeitando os limites de giro do volante.

Na função FTMF temos a variável "erro" que é calculada pela diferença entre a variável "r_sinal" e a variável "pot_encoder". O PID correspondente é calculado em função do erro em malha fechada. O ajuste dos ganhos de controle (kp, ki e kd), foram feitos através da realização de testes, estipulando valores aleatórios até atingir um movimento satisfatório ao controle do volante.

A função Volante_Digital decide o sentido do giro do motor, habilitando o "enable" correspondente (EN1 – sentido horário e EN2 – sentido anti-horário), de acordo com o erro. Enquanto o erro for positivo, habilitamos EN1 – sentido horário e quando o erro for negativo, habilitamos EN2 – sentido anti-horário.

Após, temos o ajuste do *dutycycle* de acordo com a variável "erro". Quanto maior for o erro, maior será o *dutycycle* do PWM, para que o *encoder* atinja a posição de referência até que o erro seja nulo.

Na seleção do modo *Park Assist*, temos duas funções (Park_Esq e Park_Dir), cada uma responsável por ajustar a rotina correspondente ao lado do estacionamento desejado. Estas funções atuam em malha de controle aberta.

Realizamos uma manobra para estacionar o veículo, simulando o modo *Park Assist*. Colocamos uma fita na extremidade do pneu para utilizar como referência ao deslocamento de giro de roda. Com o volante centralizado, deslocamos meia volta de roda, equivalente a 24 pulsos do sensor. Nos esterçamentos à direita e à esquerda, deslocamos uma volta e meia, equivalente a 72 pulsos do sensor.

Conforme descrevemos no capítulo 3.5 (Circuito Amplificador), utilizamos os pulsos gerados pelo sensor de roda para execução do modo *Park Assist*.

A função Park_Esq é simétrica a função Park_Dir, onde a mudança está nos valores atribuídos a variável "tabela", ou seja, quando a rotina de estacionamento for a esquerda, a variável "tabela" recebe "dado_esq" e quando a rotina for a direita, a variável "tabela" recebe "dado_dir"

Na execução da rotina, "r_sinal", recebe o valor da variável "central" para centralizar o volante. O usuário deve seguir instruções do *display* como engatar a marcha ré, soltar o freio e acelerar levemente. O carro irá se movimentar e inicia a contagem de pulsos vindo do sensor da roda, quando alcança a quantidade de 24

pulsos, ou seja, 180° graus de giro do pneu, é solicitado pelo *display* para o usuário pressionar o pedal de freio e após isso a variável "tabela" recebe o valor da variável "dado_esq" para que o volante gire para o sentido anti-horário (à esquerda).

Seguindo novamente as instruções do *display*, o usuário solta o pedal de freio e acelera lentamente, após o veículo se locomover inicia contagem de 72 pulsos que equivale 540° graus de giro do pneu e o valor da variável "central" é atribuído a "r_sinal", centralizando o volante e aguarda os 24 pulsos da roda, equivalente ao giro de 180° graus do pneu.

Em seguida, a variável "r_sinal" recebe o valor de "dado_dir", girando o volante no sentido horário (à direita) e aguarda a recepção de 72 pulsos da roda, deslocando 540° graus de giro do pneu.

A variável "r_sinal" recebe o valor da variável "central", centralizando o volante e aguarda os 24 pulsos da roda, equivalente ao giro de 180° graus do pneu, finalizando a manobra do *Park Assist* à esquerda.

No final da manobra do *Park Assist* a rotina volta para o modo manual.

3.8 Montagem e testes do sistema de direção elétrica

Realizamos a instalação da coluna de direção com a montagem do sistema (motor DC, conjunto de polias e correia) no veículo Fiat Strada Adventure e preparamos os fios da linha 15 (pós-chave) e linha 30.

Na figura 35, apresentamos o sistema montado (motor DC, conjunto de polias e correia) na coluna de direção do veículo.

Figura 35 – Sistema montado (motor DC, conjunto de polias e correia).



Fonte: Dados do autor

Deixamos o volante do veículo instalado na coluna de direção para poder manobrar o veículo, caso as placas eletrônicas estejam desligadas e por motivos de segurança, se desejar conduzir o veículo no modo original.

Na figura 36, apresentamos a coluna de direção instalada no veículo.

Figura 36 – Coluna de direção instalada no veículo.



Fonte: Dados do autor

Para efetuar a movimentação do motor, estamos utilizando como *hardware* uma ponte H construída com MOSFET's de potência e o controle dos acionamentos realizados pela Placa de Controle.

Um painel de acrílico foi preparado para facilitar a acomodação das placas e do potenciômetro, na qual o usuário conduzirá o veículo no modo manual utilizando o Volante Digital, ou utilizar a função *Park Assist* para estacionamento.

Na figura 37, apresentamos o painel de comando com todas as ligações efetuadas para a realização dos testes no veículo.

Figura 37 – Painel de comando.



Fonte: Dados do autor

Para a rotina do *Park Assist*, devido inexistência dos sensores na dianteira e traseira do veículo para localização da vaga, colocamos o Fiat Strada paralelo a outro veículo a frente da vaga pretendida. No *display* da placa de controle o motorista irá visualizar a rotina desenvolvida bem como o momento de engatar a marcha do veículo, soltar o freio, acelerar lentamente, até que se complete a operação do *Park Assist*. Ao final da operação, retorna automaticamente a função de direção manual.

No decorrer dos testes, encontramos algumas dificuldades no projeto. Um dos problemas foi o ajuste do PID, pois o volante movimentava-se muito rápido com determinados valores de K_p , porém quando alterava os outros fatores K_i e K_d , ficava lento. Após várias tentativas, ajustamos o ganho PID para o modo manual e o resultado foi satisfatório, porém não se adequava ao modo *Park Assist* devido o valor do erro ser grande e o valor do *encoder* estar distante do valor desejado.

O volante alcançava o fim de curso nos dois extremos, queimando a ponte H devido à resistência mecânica e solicitação de corrente elétrica pelo motor para atingir a posição desejada.

As soluções foram incrementar ou decrementar a variável r_{signal} a cada interrupção de tempo gerada a 5ms e limitar via *software* os intervalos de fim de curso do volante, pois não temos sensor de torque para desativar a ponte H.

Como a ponte H foi construída com MOSFET's e não foi adquirido um *driver* pronto devido à alta corrente para tirar o motor DC da inércia, tivemos problemas com o chaveamento de nível lógico dos MOSFET's. Estes possuem atrasos distintos de chaveamento, onde no momento de transição do sentido de giro do motor, com o acionamento do par de MOSFET's para um dos sentidos, o MOSFET do sentido oposto ainda continuava em nível lógico 1 durante 85 micro segundos, curto-circuitando os MOSFET's do mesmo ramo.

Para a solução do problema, implementamos via *software* uma proteção com atrasos de tempo (*delays*), para evitar a queima dos mesmos.

Outro problema constatado, foi relacionado a qualidade dos componentes comprados no mercado brasileiro. Nos testes finais, o MOSFET canal N - IRF2807 abria no momento em que o motor solicitava maior corrente com o veículo apoiado ao solo, aumentando a carga de esterçamento e inativando um dos sentidos de giro do volante. Com o veículo no elevador, os testes foram satisfatórios.

Decidimos importar os componentes para a correção do problema, porém para testes futuros devido a data de apresentação do projeto e prazo de importação.

Na figura 38, apresentamos o veículo em teste funcionando a função Park Assist.

Figura 38 – Teste do veículo na função Park Assist.



Fonte: Dados do autor

4 CONCLUSÃO

Desde da década de 30, começaram os estudos para automatizar os sistemas de locomoção, para deixar os veículos mais eficazes e seguros, afim de evitar acidentes, tornar as vias mais seguras e com menor engarrafamento.

Com os estudos dos sistemas de direção, geometria trapezoidal e geometria de Ackerman, demonstrando os ângulos de esterçamento, conhecemos os avanços até chegar no sistema atual com as direções elétricas.

No projeto de adaptação da direção elétrica assistida, foi possível utilizar um motor DC acoplado a uma caixa de redução. Realizamos o dimensionamento das polias e correia, implementando na coluna de direção original do veículo.

Construímos uma ponte H com Mosfet's de potência para realizar a movimentação do motor DC. Também implementamos um circuito condicionador para receber o sinal do sensor de roda, amplificar e nos fornecer o sinal de onda adequado para utilizarmos na placa de controle.

Concluimos que os testes realizados foram satisfatórios, porém a baixa qualidade dos componentes eletrônicos distribuídos no Brasil causou problemas durante os testes práticos. Danificando a ponte H por sobrecarga, ao testar o veículo com os pneus em contato com o solo, devido resistência ao atrito.

Podemos afirmar que o *software*, gerou um grande aprendizado no desenvolvimento, onde implantamos rotinas de segurança para atender o *hardware* e trabalhar de forma satisfatória.

Este projeto foi a etapa inicial para a transformação do Fiat Strada da FATEC Santo André em um futuro veículo autônomo, contribuindo para os estudos e desenvolvimento dos alunos.

5 PROPOSTAS FUTURAS

Para continuidade desse trabalho são apresentadas as seguintes propostas:

- Modelar a direção adaptada e o ajuste do controle PID.
- Implementar sensores na dianteira e traseira do veículo para identificação da posição da vaga a ser estacionado.
- Implementar sensor de torque na coluna de direção.
- Verificar viabilidade de adaptar motor sem escovas.
- Controle eletrônico dos indicadores de direção.
- Controle do TBI que fará a aceleração do veículo com controle eletrônico.

REFERÊNCIAS

- ARRONILAS, M. **Estudo em sistemas de direção veicular**. 2005. 81 f. Dissertação Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BENENSON, R. **Perception pour véhicule urbain sans conducteur: Conception et implementation**. 2009. 218 f. Docteur de l'Écoledes Mines de Paris. Paris Tech: Paris, France, 2009.
- BOSCH. **FURAD. PARAF. BAT.3 601 J18 JD0 - GSR 12-2 / 12 V /BR**. Disponível em:<http://www.powertools-aftersaleservice.com/public/bosch-pt/service?p_auth=PeDC8G5B&p_p_auth=JC6fiQ4b&p_p_id=WSRP_bc93764e__6873__4b00__9a29__b331c9759da9&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&WSRP_bc93764e__6873__4b00__9a29__b331c9759da9_wsrp-navigationalState=L0JPUy9QVEFTLVBULVNJUy1TaXRIL3B0X0JSLy0vQIJML1ZpZXdQcm9kdWN0LURpc3BhdGNoO3BnaWQ9YmNkZTdKNTFiZjM0NGE0YTU1ZjYzYTYYOGY0MmtiX1ZublduO3NpZD01enRsT1BucnF6UzIMNkUycVZ0NXdfWmc4ZkRXMmpEd2ZUcm1rM3RMWkpEbm1lcEFaWnM9>. Acesso em: 17Nov. 2016.
- BRASIL. Código Brasileiro de Trânsito. **Lei 9503 de 23 de Setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro, Casa Civil, Brasília, DF, 1997.
- BROGGI, A.; BERTOZZI, M; FASCIOLI, A. e CONTE, G. **Automatic Vehicle Guidance: The Experience of the ARGO Autonomous Vehicle**. World Scientific Publishing, Singapore, 1999.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução Nº 168 de 14 de Dezembro de 2004**. Estabelece Normas e Procedimentos para a formação de condutores de veículos automotores e elétricos, a realização dos exames, a expedição de documentos de habilitação, os cursos de formação, especializados, de reciclagem e dá outras providências. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução Nº 425 de 27 de Novembro de 2012**. Dispõe sobre o exame de aptidão física e mental, a avaliação psicológica e o credenciamento das entidades públicas e privadas de que tratam o art. 147, I e §§ 1º a 4º e o art. 148 do Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, DF, 2012.
- CHOSET, H.; LYNCH, K.N.; HUTCHINSON, S.; KANTOR, G.; BURGARD, W.; KAVRAKI, L.E. e THRUN, S. **Principles of Robot Motion**. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2005.
- CNI. **Cidades: Mobilidade, Habitação e Escala**. Confederação Nacional das Indústrias: São Paulo, 2012.
- CROUSE, W.H., **Automotive Mechanics**, New York: McGraw-Hill, 4th edition, 1960.
- DÁVILA, A. e NOMBELA, M. SARTRE: Safe Road TRains for the Environment. **In: Conference on Personal Rapid Transit PRT@LHR 2010**. Technical Paper, 2010.

DICKMANN, E.D.; BEHRINGER, R.; DICKMANN, D.; HILDEBRANDT, T.; MAURER, M.; THOMANEK, F. e SCHIEHLEN, J. The seeing passenger car 'VaMoRs-P'. **Proceedings of the Intelligent Vehicles '94 Symposium**. p.68-73, 1994.

FAPESP. **Carro Sem Motorista: Projetos Brasileiros De Veículos Autônomos Trazem Contribuição Para o Futuro Da Mobilidade Urbana**. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/11/18/carro-sem-motorista/>>. Acesso em: 01Dez. 2016.

GAGE, D.W. UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts. In: **Unmanned Systems Magazine**. v. 13, n. 3, 1995.

GEDDES, N.B. **Magic Motorways**. Random House Book, New York, NY, USA, 1940.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Estados Unidos: Society of Automotive Engineers, 1992.

GOOGLE. **Google Self-Driving Car Project**. Disponível em: <<https://www.google.com/selfdrivingcar/>>. Acesso em: 24 Nov. 2016.

GUIZZO, E. How Google's Self-Driving Car Works. **IEEE Spectrum**, 2011. 18 Oct. 2011. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>>. Acesso em: 01 Mai. 2013.

LIFE. Lifes Goes To The Futurama. In: **Life**, 1939. 5 Jul. 1939.

MITCHELL, W.J.; BORRONI-BIRD, C. e BURNS, L.D. **Reinventing the Automobile**. MIT Press: Cambridge, MA, USA, 2010.

MONTEMERLO, M.; BECKER, J.; BHAT, S.; DAHLKAMP, H.; DOLGOV, D.; ETTINGER, S.; HAEHNEL, D.; HILDEN, T.; HOFFMAN, G.; HUHNKE, B.; JOHNSTON, D.; KLUMPP, S.; LANGER, D.; LEVANDOWSKI, A.; LEVINSON, J.; MARCIL, J.; ORENSTEIN, D.; PAEFGEN, J.; PENNY, I.; PETROVSKAYA, A.; PFLUEGER, M.; STANEK, G.; STAVENS, D.; VOGT, A. e THRUN, S. JUNIOR: The Stanford Entry in the Urban Challenge. **The DARPA Urban Challenge: Springer Tracts in Robotics Advance**. v.56, p.91-123, 2009.

MULLER, J. With Driverless Cars, Once Again It Is California Leading The Way. 26 Sep. 2012. **Forbes**, 2012. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/joannmuller/2012/09/26/with-driverless-cars-once-again-it-is-california-leading-the-way/>>. Acesso em: 30 Abr. 2013.

NILSSON, N.J. A Mobile Automaton: An Application of Artificial Intelligence Techniques. **Proceedings of the First International Joint Conference on Artificial Intelligence**. Washington, DC, USA, 1969.

NILSSON, N.J. **Shakey The Robot**. Technical Note 323 AI Center, SRI International, Menlo Park, CA, USA, 1984.

OZGUNER, U., STILLER, C e REDMILL, K. Systems for Safety and Autonomous Behavior in Cars: The DARPA Grand Challenge Experience. **Proceedings of IEEE**. v. 95, n.2, p.397-412,2007.

PINTO, C. How Autonomous Vehicle Policy in California and Nevada Addresses Technological and Non-Technological Liabilities. **Intersect**. v. 5. n.1, 2012.

PISSARDINI, R.S., WEI, D.C.M., FONSECA JR, E.S. **Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-arte**. 2013. 13 f. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

RAFAEL. **Sistema de direção: Mecânica, hidráulica, elétrica...Qual é melhor?** São Paulo, 07 Mai. 2015. Disponível em: <<http://entendaseucarro.com.br/sistema-de-direcao-mecanica-hidraulica-eletrica-qual-e-melhor/>>. Acesso em: 03Dez.2016.

ROBINSON, T. e CHAN, E. Operating Plattons On Public Motorways: An Introduction To The SARTRE Plattoning Programme. In: **17th World Congress on Intelligent Transport Systems**. Busan, South Korea, 2010.

SECCHI, H.A. **Una Introducción a los Robots Móviles**. Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina, 2008.

SUSSMAN, J.M. **Perspectives on Intelligent Transportation**. Springer, New York, NY, USA, 2005.

TEMPLE, D.W. **GM's Motorama**. Motor books: Minneapolis, 2006.

THRUN, S.; MONTEMERLO, M.; DAHLKAMP, H.; STAVENS, D.; ARON, A.; DIEBEL, J.; FONG, P.; GALE, J.; HALPENNY, M.; HOFFMANN, G.; LAU, K.; OAKLEY, C.; PALATUCCI, M.; PRATT, V.; STANG, P.; STROHBAND, S.; DUPONT, C.; JENDROSSEK, L. E.; KOELEN, C.; MARKEY, C.; RUMMEL, C.; VAN NIEKERK, J.; JENSEN, E.; ALESSANDRINI, P.; BRADSKI, G.; DAVIES, B.; ETTINGER, S.; KAEHLER, A.; NEFIAN, A. e MAHONEY, P. Stanley: The Robot that Won the DARPA Challenge. **Journal of Field Robotics**, 2006. n. 23(9), p.661–692.

TSUGAWA, S. Vision-based vehicles in Japan: Machine Vision Systems and Driving Control-Systems. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, 1994, v.41(4), pp.398-405.

URMSON, C.; ANHALT, J.; BAGNELL, D.; BAKER, C.; BITTNER, R.; DOLAN, J.; DUG-GINS, D.; FERGUSON, D.; GALATALI, T.; GEYER, C.; GITTLEMAN, M.; HARBAUGH, S.; HEBERT, M.; HOWARD, T.; KELLY, A.; KOHANBASH, D.; LIKHACHEV, M.; MILLER, N.; PETERSON, K.; RAJKUMAR, R.; RYBSKI, P.; SALESKY, B.; SCHERER, S.; WOO-SEO, Y.; SIMMONS, R.; SINGH, S.; SNIDER, J.; STENTZ, A.; WHITTAKER, W. e ZIGLAR, J. **Tartan racing: A multi-modal approach to the darpa urban challenge**. Darpa Technical Report, 2007.

VOLVO. *The Self-Driving Car In Action – Drive-Me.* Disponível em: <<http://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/autonomous-driving/drive-me>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

WASELFISZ, J.J. *Mapa da Violência 2012.* Caderno Complementar 2: Acidentes de Trânsito. Instituto Sangari, São Paulo, 2012.

WETMORE, J. *Driving the Dream: The History and Motivations behind Sixty Years of Automated Highway Systems in America.* Automotive History Review. Summer, 2003. pp. 4- 19.

WHO. *Global Status Report On Road Safety 2013.* World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2013.

APÊNDICE A – Programa da Direção Elétrica em Linguagem C

Arquivo main.C

```

/* ===== *
 * Título: Sistema de Direção Assistida e Controlada por Motor Elétrico *
 * Versão: Final_Steering_120718 *
 * Autor: Caio Roberto dos Santos / Fernando Tadeu Gimenez *
 * Data: 12/07/2018 *
 * Compilador: XC8 *
 * IDE: MPLAB X v3.50 *
 * Dispositivo: Microchip PIC18F4550 *
 * ===== Descrição ===== *
 * Este código realiza o controle PID de maneira discreta. Através dos dados de *
 * entrada (Referência e Feedback), lidos pelo conversor A/D em AN0 e AN1, *
 * calculamos o erro e o PID na função FTMF(). O PID é usado para atribuir valor *
 * de PWM (Dutycycle). A função Volante_Digital() atribui o sentido de giro do *
 * motor e habilita o PWM. *
 * Entradas Analógicas: AN0 (Pino 2) e AN1 (Pino 3). *
 * Entradas Digitais: Pulsos: RB0 (Pino 33). *
 * Entradas Digitais: Botões: RE0 (Pino 8), RE1 (Pino 9) e RE2 (Pino 10). *
 * Saídas Digitais: EN1: RB7 (Pino 40), EN2: RB6 (Pino 39). *
 * Saídas Digitais: PWM1: RC2/CCP1 (Pino 17), PWM2: RC1/CCP2 (Pino 16). *
 * ===== *
 */

```

```

#include "config.h"
#include "displayLCD.h"
#include "park_dir.h"
#include "park_esq.h"
#include "visor.h"

```

```
//===== Funções =====//
```

```

void Atraso() // Função de atraso dos visores no display
{
    for(i = 0; i<250; i++)
    {
        __delay_ms(10);
    }
}

void Tempo()
{
    for(y = 0; y<3; y++)
    {
        __delay_ms(15);
    }
}

```

```

void AN0_Direcao()          // Função de leitura e conversão de AN0 (Pino 2)
{
    ADCON0 = 0b00000001;    // 0:-, 0:-, 0000: canal=0, 0: go-done, 1: AD_ON
    __delay_us(20);
    GO_DONE = 1;           // Inicia a conversão A/D
    while(GO_DONE);       // Aguarda conversão terminar
    pot_direcao = (ADRESH <<8) | ADRESL; // Atribui valor do A/D p/ pot_direcao
}

void AN1_Encoder()        // Função de leitura e conversão de AN1 (Pino 3)
{
    ADCON0 = 0b00000101;    // 0:-, 0:-, 0001: canal=1, 0: go-done, 1: AD_ON
    __delay_us(20);
    GO_DONE = 1;           // Inicia a conversão A/D
    while(GO_DONE);       // Aguarda conversão terminar
    pot_encoder = (ADRESH <<8) | ADRESL; // Atribui valor do A/D p/ pot_encoder
}

void Swap_Dir()          // Função Swap - Sentido de giro Horário
{
    EN1 = 0;              // Desativa EN1
    EN2 = 0;              // Desativa EN2
    __delay_ms(1);
    EN1 = 1;              // Habilita EN1 - Sentido Horário
    EN2 = 0;              // Mantém EN2 desativado
}

void Swap_Esq()         // Função Swap - Sentido de giro Anti-Horário
{
    EN1 = 0;              // Desativa EN1
    EN2 = 0;              // Desativa EN2
    __delay_ms(1);
    EN1 = 0;              // Mantém EN1 desativado
    EN2 = 1;              // Habilita EN2 - Sentido Anti-Horário
}

unsigned long int FTMF() // Função de transferência de malha fechada
{
    erro = r_sinal - pot_encoder; // Erro de posição entre referência e encoder

    erro_anterior = erro;        // Atualiza valores

    integral = integral + (erro * T); // Calcula fator integral

    derivativo = ((erro - erro_anterior)/T); // Calcula fator derivativo

    PID = ((k1 * erro)+ (k2 * integral) + (k3 * derivativo)); // Calcula o controle PID

    PID = PID >> 8;             // Deslocamento devido ao uso de ponto fixo
}

```

```

if (PID <= -1)           // Caso PID seja negativo
{
  PID = PID*(-1);       // Multiplica por (-1), para ficar positivo
}

if (PID > 1023)         // Caso PID seja maior que 1023 e estoure
{
  PID = 1023;          // Saturamos a saída, limitando em 1023
}
}

void Volante_Digital() // Função de sentido de giro do motor
{
  if (Flag == 0)       // Caso Flag seja igual a zero
  {
    r_sinal = pot_direcao; // Variável r_sinal recebe o valor de pot_direcao

    if (r_sinal <= 350) // Caso r_sinal seja menor ou igual a 350
    {
      r_sinal = 350;    // Limitamos a variável r_sinal em 350
    }

    if (r_sinal >= 765) // Caso r_sinal seja maior ou igual a 765
    {
      r_sinal = 765;    // Limitamos a variável r_sinal em 765
    }

    if (pot_encoder <= 350) // Caso pot_encoder seja menor ou igual a 350
    {
      pot_encoder = 350; // Limitamos a variável pot_encoder em 350
    }

    if (pot_encoder >= 765) // Caso pot_encoder seja maior ou igual a 765
    {
      pot_encoder = 765; // Limitamos a variável pot_encoder em 765
    }
  }
}

else                    // Caso Flag seja diferente de zero
{
  if (pot_encoder <= 350) // Caso pot_encoder seja menor ou igual a 350
  {
    pot_encoder = 350;    // Limitamos a variável pot_encoder em 350
  }

  if (pot_encoder >= 765) // Caso pot_encoder seja maior ou igual a 765
  {
    pot_encoder = 765;    // Limitamos a variável pot_encoder em 765
  }
}

```



```

if (erro < -2)           // Caso erro seja menor que -2
{
    CCPR1L = 0;          // Desabilita PWM1, zerando os bits mais significativos
    CCP1CONbits.DC1B0 = 0; // Desabilita PWM1, zerando o bit menos significativo
    CCP1CONbits.DC1B1 = 0; // Desabilita PWM1, zerando segdo bit menos signif.

    if (EN2 == 0)       // Caso EN2 seja igual a zero
    {
        Swap_Esq();    // Chama a Função Swap - Sentido de giro Anti-Horário
    }

    EN1 = 0;            // Desabilita EN1 - Sentido Horário
    EN2 = 1;            // Habilita EN2 - Sentido Anti-Horário
    __delay_ms(1);
    PWM2 = PID;         // Variável PWM2 recebe o valor de PID

    CCP2CONbits.DC2B1 = PWM2 >> 1; // Habilita PWM2, atribuindo valor de
                                     PWM2 ao segundo bit menos significativo
    CCP2CONbits.DC2B0 = PWM2; // Habilita PWM2, atribuindo valor de PWM2
                                     ao bit menos significativo
    CCPR2L = PWM2 >> 2; // Habilita PWM2, atribuindo valor de PWM2 aos
                                     8 bits mais significativos
}

if ((erro > -2)&&(erro < 2)) // Caso erro seja maior que -2 e menor que 2
{
    CCPR1L = 0;          // Desabilita PWM1, zerando os bits mais significativos
    CCP1CONbits.DC1B0 = 0; // Desabilita PWM1, zerando o bit menos significativo
    CCP1CONbits.DC1B1 = 0; // Desabilita PWM1, zerando segdo bit menos signif.
    CCPR2L = 0;          // Desabilita PWM2, zerando os bits mais significativos
    CCP2CONbits.DC2B0 = 0; // Desabilita PWM2, zerando o bit menos significativo
    CCP2CONbits.DC2B1 = 0; // Desabilita PWM2, zerando segdo bit menos signif.
    EN1 = 0;             // Desabilita EN1 - Sentido Horário
    EN2 = 0;             // Desabilita EN2 - Sentido Anti-Horário
}
}

void interrupt high_priority interrupcoes()
{
    if (INTCONbits.TMR0IF == 1) // Interrupções p/ aumentar tempo aquisição valores.
    {
        INTCONbits.TMR0IF = 0;
        AN0_Direcao(); // Chama Função de leitura e conversão de AN0 (Pino 2)
        AN1_Encoder(); // Chama Função de leitura e conversão de AN1 (Pino 3)
        FTMF(); // Chama Função de transferência de malha fechada
        Volante_Digital(); // Chama Função de sentido de giro do motor
        TMR0L = 22 + TMR0L; // Interrupção a cada 5ms
    }
}

```

```

if (INTCONbits.INT0IE && INTCONbits.INT0IF)
{
    INTCONbits.INT0IF = 0;
    pulso++;
}
}

void Setup()          // Função Setup das Configurações
{
    CMCON = 0x07; // Desabilita os Comparadores Internos
    TRISA = 0x03; // RA0, RA1 como entrada analógica, os demais pinos como saída
    TRISB = 0x01; // RB0 como entrada digital, os demais como pinos de saída
    TRISC = 0x00; // PORTC como saída, RC2/CCP1 e RC1/CCP2, são saídas PWM
    TRISD = 0x00; // Todo o PORTD como saída, onde se Encontra Conectado o LCD
    TRISE = 0x07; // RE0, RE1 e RE2 são Entradas (Botões)
    PORTB = 0xFF; // Inicia o PORTB Todo em Alto

    ConfiguraLCD(); // Inicia Configurações do LCD
    ADCON0bits.ADON = 1; // Liga o módulo ADC

    T2CON = 0x07; // Configura Timer2 e Ativa Prescaler 16
    PR2 = 0x7F; // Carrega PR2
    CCP1CON = 0x3C;
    CCPR1L = 0x00;
    CCP1CONbits.DC1B0 = 0;
    CCP1CONbits.DC1B1 = 0;
    CCP2CON = 0x3C;
    CCPR2L = 0x00;
    CCP2CONbits.DC2B0 = 0;
    CCP2CONbits.DC2B1 = 0;

    ADCON1 = 0x0C; // AN0 e AN1 como Entrada Analógica, Referência e Feedback
    ADCON2 = 0x8E; // Justificado a Direita, 64 fosc , 2 Tda

    kp = 55; // Ganho Proporcional
    ki = 30; // Ganho Integral
    kd = 25; // Ganho Derivativo

    k1 = (kp) * SHIFT;
    k2 = (ki) * SHIFT;
    k3 = (kd) * SHIFT;

    T0CONbits.TMR0ON = 1;
    T0CONbits.T08BIT = 1;
    T0CONbits.T0CS = 0;
    T0CONbits.T0SE = 0;
    T0CONbits.PSA = 0;
    T0CONbits.T0PS = 0b111;

    INTCONbits.TMR0IE = 1;

```

```

INTCON2bits.TMR0IP = 1;
RCONbits.IPEN = 0;
INTCONbits.GIE_GIEH = 1;
INTCONbits.PEIE_GIEL = 1;
INTCONbits.INT0IE = 1;
}

//===== Função Principal =====//

void main()
{
    Setup();          // Chama Função Setup das Configurações
    Saudacao();      // Chama Função de Saudação
    Visor1();        // Chama Função Visor 1

    while (1)
    {
        if(PORTEbits.RE0 == 0 && FlagPark == 0 && FlagManual == 0 && FlagVolta == 0)
        {
            Visor2();          // Pressionando o botão RE0, sairá do Visor 1
            FlagPark = 0;      // "Dir. Manual e Park Assist"
            FlagManual = 1;    // Irá para o Visor 2
            FlagVolta = 0;     // "Direcao Manual"
        }

        if(PORTEbits.RE2 == 0 && FlagPark == 0 && FlagManual == 1 && FlagVolta == 0)
        {
            Visor1();         // Pressionando o botão RE2, sairá do Visor 2
            FlagPark = 0;     // "Direcao Manual"
            FlagManual = 0;   // Irá para o Visor 1
            FlagVolta = 0;   // "Dir. Manual e Park Assist"
        }

        if(PORTEbits.RE1 == 0 && FlagPark == 0 && FlagManual == 0 && FlagVolta == 0)
        {
            Visor3();        // Pressionando o botão RE1, sairá do Visor 1
            FlagPark = 1;    // "Dir. Manual e Park Assist"
            FlagManual = 1;  // Irá para o Visor 3
            FlagVolta = 0;   // Estac. Esq e Estac. Dir
            Tempo();
        }

        if(PORTEbits.RE0 == 0 && FlagPark == 1 && FlagManual == 1 && FlagVolta == 0)
        {
            Visor4();        // Pressionando o botão RE0, sairá do Visor 3
            Park_Esq();      // "Estac. Esq e Estac. Dir"
            FlagPark = 0;    // Irá para o Visor 4
            FlagManual = 0;  // "Estacionamento Esquerda"
            FlagVolta = 0;
        }
    }
}

```

```

if(PORTEbits.RE1 == 0 && FlagPark == 1 && FlagManual == 1 && FlagVolta == 0)
{
    Visor5();    // Pressionando o botão RE1, sairá do Visor 3
    Park_Dir(); // "Estac. Esq e Estac. Dir"
    FlagPark = 0; // Irá para o Visor 5
    FlagManual = 0; // "Estacionamento Direita"
    FlagVolta = 0;
}

if(PORTEbits.RE2 == 0 && FlagPark == 1 && FlagManual == 1 && FlagVolta == 0)
{
    Visor1();    // Pressionando o botão RE2, sairá do Visor 3
    FlagPark = 0; // "Estac. Esq ou Estac. Direita"
    FlagManual = 0; // Irá para Visor 1
    FlagVolta = 0; // "Dir. Manual ou Park Assist"
}
}
}

```

=====

Arquivo visor.C

```

#include "displayLCD.h"

void Visor1()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("BT1: Dir. Manual");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("BT2: Park Assist");
}

void Visor2()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Direcao Manual");
}

void Visor3()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("BT1: Estac. Esq");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("BT2: Estac. Dir");
}

```

```

void Visor4()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Estacionamento");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("Esquerda");
}

```

```

void Visor5()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Estacionamento");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("Direita");
}

```

```

void Saudacao()
{
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Direcao Eletrica");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("FATEC S.ANDRE-SP");
    Atraso();
}

```

=====

Arquivo park_dir.C

```
#include "displayLCD.h"
```

```

void Park_Dir()
{
    Flag = 1; // Sinalização para Seleção do Modo Park Assist
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Engate Marcha Re");
    Atraso();

    tabela = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante

    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");
}

```

```
pulso = 0;
while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180º graus giro do pneu.
```

```
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Virando Direita");
Atraso();
```

```
tabela = dado_dir; // Atribui o valor de 350 para o volante girar para direita
```

```
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");
```

```
pulso = 0;
while(pulso < 73); // Aguarda 72 pulsos sensor roda, 540º graus giro do pneu.
```

```
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Centralizando");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Volante");
Atraso();
```

```
tabela = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante
```

```
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");
```

```
pulso = 0;
while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180º graus giro do pneu.
```

```
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Virando Esquerda");
Atraso();

tabela = dado_esq; // Atribui o valor de 765 para o volante girar para esquerda

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");

pulso = 0;
while(pulso < 73); // Aguarda 72 pulsos sensor roda, 540º graus giro do pneu.

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Centralizando");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Volante");
Atraso();

r_sinal = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");

pulso = 0;
while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180º graus giro do pneu.

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Engate Neutro");
Atraso();
LimpaDisplay();
Flag = 0; // Sinalização para Seleção do Modo Manual
Visor1();
}

```

Arquivo park_esq.C

```
#include "displayLCD.h"
```

```
void Park_Esq()
```

```
{
```

```
    Flag = 1;      // Sinalização para Seleção do Modo Park Assist
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Engate Marcha Re");
    Atraso();
```

```
    tabela = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante
```

```
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");
```

```
    pulso = 0;
    while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180º graus giro do pneu.
```

```
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
    Atraso();
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Virando Esquerda");
    Atraso();
```

```
    tabela = dado_esq; // Atribui o valor de 765 para o volante girar para esquerda
```

```
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
    PosicaoCursorLCD(2,1);
    EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");
```

```
    pulso = 0;
    while(pulso < 73); // Aguarda 72 pulsos sensor roda, 540º graus giro do pneu.
```

```
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
    Atraso();
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1,1);
    EscreveFraseRamLCD("Centralizando");
```

```

PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Volante");
Atraso();

```

```
tabela = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante
```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");

```

```

pulso = 0;
while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180° graus giro do pneu.

```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Virando Direita");
Atraso();

```

```
tabela = dado_dir; // Atribui o valor de 350 para o volante girar para direita
```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");

```

```

pulso = 0;
while(pulso < 73); // Aguarda 72 pulsos sensor roda, 540° graus giro do pneu.

```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
Atraso();
LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Centralizando");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Volante");
Atraso();

```

```
tabela = central; // Atribui o valor de 550 para centralizar o volante
```

```

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);

```

```
EscreveFraseRamLCD("Solte o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Acelere Devagar");

pulso = 0;
while(pulso < 25); // Aguarda 24 pulsos sensor roda, 180º graus giro do pneu.

LimpaDisplay();
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Acione o Freio");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Engate Neutro");
Atraso();
LimpaDisplay();
Flag = 0; // Sinalização para Seleção do Modo Manual
Visor1();
}
```

=====

ANEXO A – Catálogo Gates

PowerGrip® GT®2, HTD® and Timing Belt Drive Selection Procedure – single sided

Step 1. Determine design load.

Service factors between 1.5 and 2.0 are generally recommended when designing small pitch synchronous drives. Knowledge of drive loading characteristics should influence the actual value selected. A higher service factor should be selected for applications with high peak loads, high operating speeds, unusually severe operating conditions, etc. Lower service factors can be used when the loading is smooth, well defined, etc. and the reliability is less critical. Some designs may require service factors outside the 1.5 to 2.0 range, depending upon the nature of the application. Contact Gates Application Engineering for additional information.

Stall torque of the drive, or peak torque of the drive unit, may be part of the nameplate data. If not, calculate Torque (Q) by using these formulas:

$$Q \text{ (lb - in)} = \frac{63,025 \times \text{Shaft HP}}{\text{Shaft RPM}}$$

$$Q \text{ (lb - in)} = 8.85 \times Q \text{ (N - m)}$$

$$Q \text{ (oz - in)} = 16 \times Q \text{ (lb - in)}$$

$$\text{Peak Design Load} = \text{Load} \times \text{Service Factor}$$

NOTE: When performing drive calculations based upon torque loads, drive input/output power is constant but drive input/output torque is not. Drive input/output torque is a function of the speed ratio. Drive designs should be based upon the smaller, faster sprocket, at the torque load calculated for its operating speed. These critical drive parameters should be used for all engineering calculations. See engineering calculations on Page 102 for additional formulas and unit conversions.

Step 2. Determine belt pitch and select sprockets.

- Select Belt Pitch by using the Belt Pitch Selection Guide on pages 25, 39 and 49.
- Determine the speed ratio by dividing the larger speed, Sprocket Pitch Diameter or Sprocket Groove Number by the lesser speed, Sprocket Pitch Diameter or Sprocket Groove Number.
- Refer to the appropriate Sprocket Diameter Tables on pages 29-31, pages 44-45 or page 53. Select sprockets based upon speed ratio and drive requirements. Use stock sprocket sizes whenever possible.

- Check the Belt Speed, V, of the smaller sprocket selected, using the following formula:

$$V \text{ (fpm)} = 0.262 \times \text{Sprocket PD (in)} \times \text{Sprocket RPM}$$

$$V \text{ (m/s)} = 0.000624 \times \text{Sprocket PD (mm)} \times \text{Sprocket RPM}$$

and,
 $\text{m/s} = 0.00508 \times \text{fpm}$

NOTE: Belt speeds in excess of 6,500 fpm (33.02 m/s) require special sprocket materials and dynamic balancing.

Step 3. Determine belt length and nominal center distance.

- Using the allowable range of center distances required by the drive design, calculate the belt Pitch Length (PL) using the following formula:

$$PL = 2CD + [1.57 \times (PD + pd)] + \frac{(PD - pd)^2}{4CD}$$

Where CD – Drive center distance (in)

PD – Large pitch diameter (in)

pd – Small pitch diameter (in)

Using the calculated range of pitch lengths, select a belt of the proper length from the appropriate belt length table. Use a standard length as shown in the tables on pages 15-16, pages 37-38 or pages 47-48, if possible.

- The approximate nominal center distance for the drive can be calculated using the following formula:

$$\text{Center distance} = \frac{K + \sqrt{K^2 - 32(PD - pd)^2}}{16}$$

$$K = 4PL - 6.28(PD + pd)$$

Where PD – Large pitch diameter (in)

pd – Small pitch diameter (in)

PL – Belt pitch length (in)

See Engineering calculations on page 102 or contact Gates Application Engineering for accuracy within 0.001".

Step 4. Determine belt width.

Belt Width Selection Tables on pages 18-21, pages 40-41 and page 50 show the load ratings for the stock widths of each of the stock belt pitches. Using the smaller sprocket groove number and rpm as determined in Step 2, locate a torque or horsepower rating in the Belt Width Selection Tables of the proper belt pitch nearest to, but greater than,

the peak design load from Step 1. Torque or horsepower ratings for various belt widths can be calculated by multiplying the table rating by the appropriate belt width multiplier.

When designing with PowerGrip® GT®2 or HTD, use the belt length from Step 3 to find the proper belt length factor in the Length Factor Tables included with each Belt Width Selection table. Multiply the torque rating selected above by the belt length factor to obtain the corrected rating. For all designs, the torque or horsepower rating must be equal to, or greater than, the peak design load of Step 1.

NOTE: The torque or horsepower ratings are based on 6 or more teeth in mesh for the smaller sprocket. Calculate the teeth in mesh for the selected drive design using the Teeth In Mesh Formula on Page 103. If the teeth in mesh is less than 6, the drive must be de-rated as indicated, which may require redesign for additional drive capacity.

Step 5. Determine proper belt installation tension.

Procedures to calculate proper belt installation tension for specific applications are included on pages 60-62.

Step 6. Check and specify drive components.

After the drive system components have been selected and checked against drive system requirements, contact Gates Application Engineering before going into production.

Helpline: (303)744-5800

E-mail: ptpsupport@gates.com

PowerGrip® GT®2 Belt Drives

Single Sided Belt Drive Systems

Galas 2mm, 3mm and 5mm pitch PowerGrip® GT®2 belts have helically-wound fiberglass tension members embedded in a Neoprene body with the belt teeth faced with a tough wear-resistant nylon fabric.

As shown below, three principal dimensions of a belt (Pitch, Pitch Length and Width) in millimeters are used to specify a PowerGrip® GT®2 belt:

3MR	300	09
Pitch	Pitch Length	Width

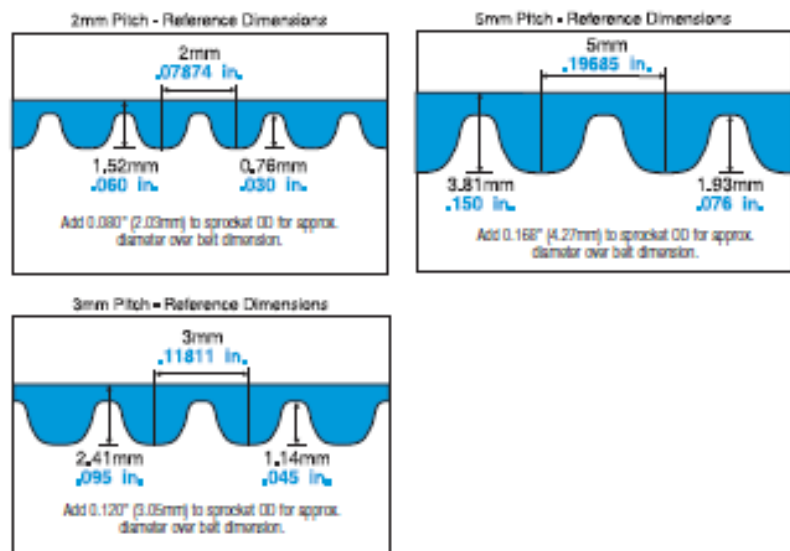
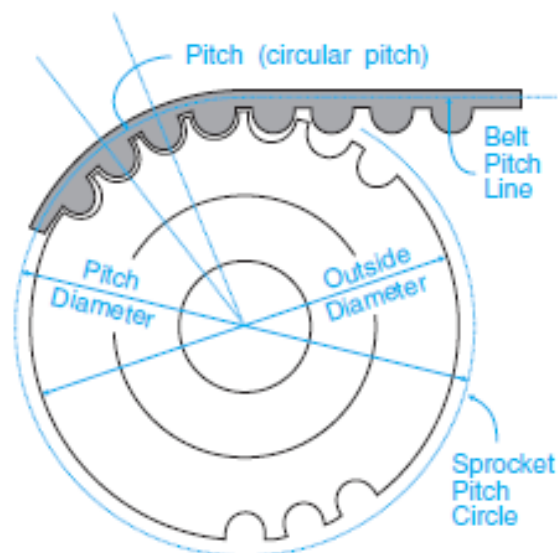
Belt pitch is the distance in millimeters between two adjacent tooth centers as measured on the pitch line of the belt. Belt pitch length is the total length (circumference) in millimeters as measured along the pitch line. The theoretical pitch line of a PowerGrip® GT®2 belt lies within the tensile member.

Three principal dimensions of a sprocket – number of grooves, pitch and belt width in millimeters – are used to specify a PowerGrip® GT®2 sprocket as shown below:

3MR	22S	09
Pitch	Number of Grooves	Belt Width

PowerGrip® GT®2 drives have a higher load capacity than PowerGrip® HTD® and PowerGrip® Timing drives. They also feature equivalent or better backlash characteristics when compared to PowerGrip® Timing drives. These attributes make PowerGrip® GT®2 the drive of choice for today's design engineers.

PowerGrip® GT®2 belts must run in PowerGrip® GT®2 sprockets. PowerGrip® GT®2 belts are not compatible with PowerGrip® HTD® sprockets, or any other sprockets available on the market.



PowerGrip® GT®2 Belt Drives

PowerGrip® GT®2 Belt Lengths and Widths – *continued*

5mm Pitch Belt Lengths											
Description	Pitch Length (mm)	Pitch Length (in)	No. of Teeth	Description	Pitch Length (mm)	Pitch Length (in)	No. of Teeth	Description	Pitch Length (mm)	Pitch Length (in)	No. of Teeth
SMR-225	225	8.858	45	•SMR-375	375	14.764	75	SMR-550	550	21.654	110
SMR-250	250	9.843	50	•SMR-400	400	15.748	80	•SMR-565	565	22.244	113
SMR-265	265	10.433	53	•SMR-405	405	15.945	81	•SMR-575	575	22.638	115
SMR-275	275	10.827	55	SMR-410	410	16.142	82	•SMR-580	580	22.835	116
SMR-285	285	11.220	57	•SMR-425	425	16.732	85	•SMR-600	600	23.622	120
•SMR-300	300	11.811	60	•SMR-450	450	17.717	90	•SMR-625	625	24.606	125
SMR-325	325	12.795	65	SMR-460	460	18.110	92	•SMR-650	650	25.591	130
SMR-330	330	12.992	66	SMR-475	475	18.701	95	•SMR-700	700	27.559	140
SMR-340	340	13.386	68	•SMR-500	500	19.685	100	•SMR-750	750	29.528	150
SMR-350	350	13.780	70	SMR-525	525	20.669	105	•SMR-800	800	31.496	160
•SMR-355	355	13.976	71	•SMR-535	535	21.063	107	•SMR-815	815	32.087	163
SMR-360	360	14.173	72	SMR-540	540	21.260	108	•SMR-850	850	33.465	170
								•SMR-900	900	35.433	180
								SMR-950	950	37.402	190
								•SMR-1000	1000	39.370	200
								SMR-1050	1050	41.339	210
								•SMR-1150	1150	45.276	230
								•SMR-1300	1300	51.181	260
								•SMR-1450	1450	57.087	290
								•SMR-1600	1600	62.992	320
								•SMR-1720	1720	67.717	344
								•SMR-1755	1755	69.094	351
								•SMR-2100	2100	82.677	420
								SMR-2440	2440	96.063	488

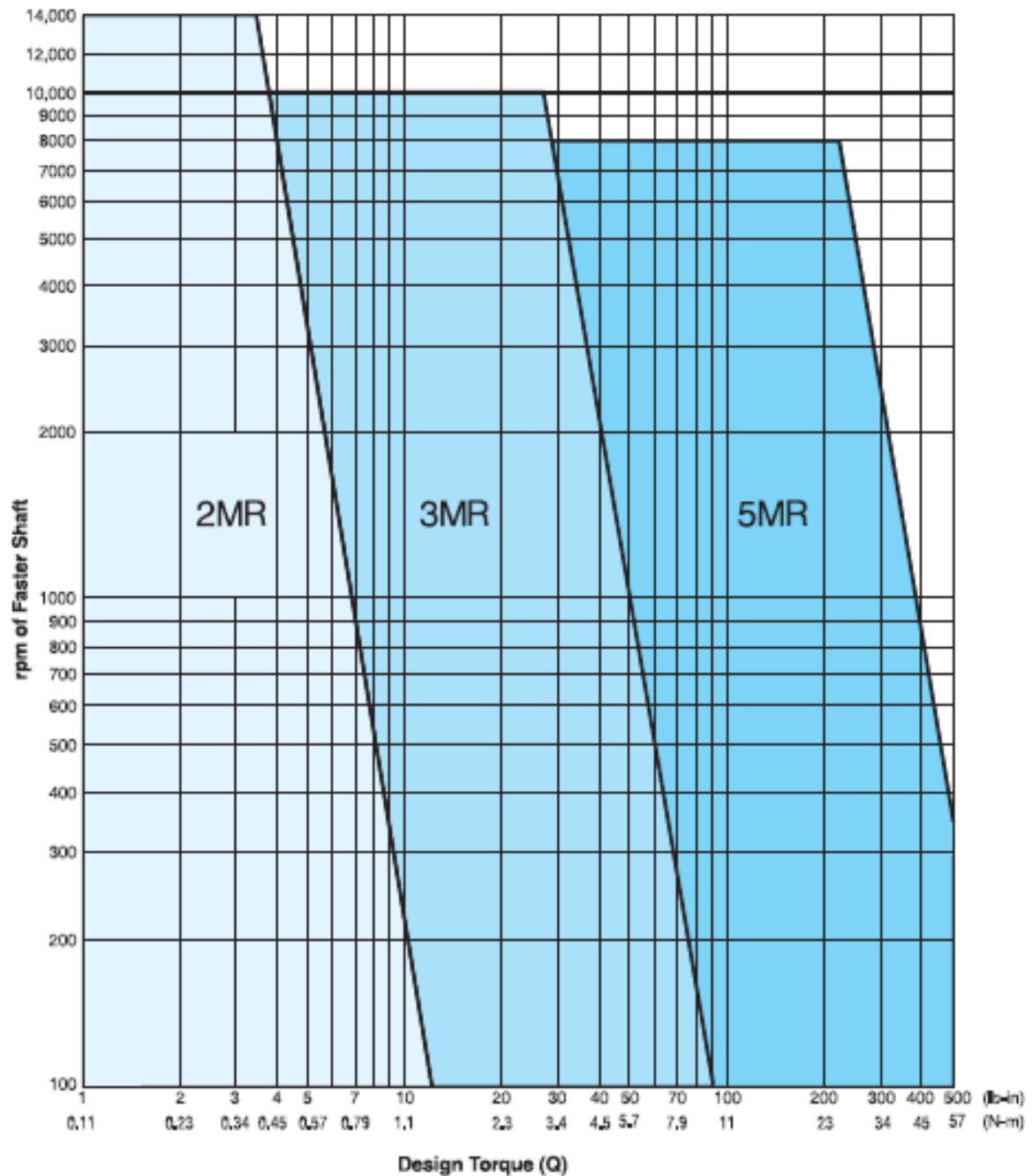
Stock lengths are denoted by a •. All other sizes, contact Gates Customer Service for availability.

5mm Pitch Stock Belt Widths		
Belt Width Code	Belt Width (mm)	Belt Width (in)
09	9	0.354
15	15	0.591
25	25	0.984



PowerGrip® GT® 2 Belt Drives

Belt Pitch Selection Guide



PowerGrip® GT®2 Belt Drives

Belt Width Selection Tables – 5mm PowerGrip® GT®2 Belts

The following table represents the power ratings for each belt in its base width at the predetermined number of grooves, pitch diameters and rpm's. These ratings must be multiplied by the appropriate width factor and applicable belt length factor to obtain the corrected power rating. (See Step 4 of Drive Selection Procedure on Page 12.)

Belt Width (mm)	9	15	20	25
Width Multiplier	0.60	1.00	1.33	1.67

Rated Horsepower For Small Sprocket – 15mm Belt Width*

Number of Grooves	Pitch Diameter (in)	18	20	22	24	26	28	32	36	40	45	48	50	62	74	80
		mm	28.65	31.83	35.01	38.20	41.38	44.56	50.93	57.30	63.66	71.62	76.99	79.58	98.68	117.77
		1.128	1.263	1.370	1.504	1.629	1.754	2.005	2.256	2.506	2.820	3.008	3.133	3.885	4.637	5.013
10	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.08
20	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.16
40	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.23	0.28	0.30	
60	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.26	0.33	0.41	0.44	
100	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.37	0.40	0.42	0.53	0.65	0.70	
200	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.36	0.44	0.52	0.59	0.69	0.74	0.78	1.00	1.22	1.33	
300	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.52	0.63	0.75	0.86	0.99	1.07	1.13	1.45	1.76	1.92	
400	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60	0.67	0.82	0.96	1.11	1.25	1.39	1.48	1.88	2.28	2.49	
500	0.36	0.45	0.54	0.64	0.73	0.82	1.00	1.17	1.35	1.57	1.70	1.78	2.29	2.79	3.04	
600	0.42	0.53	0.64	0.74	0.85	0.96	1.17	1.38	1.59	1.84	2.00	2.10	2.70	3.29	3.58	
800	0.52	0.67	0.81	0.95	1.09	1.23	1.50	1.78	2.05	2.38	2.58	2.71	3.49	4.26	4.63	
1000	0.62	0.80	0.97	1.15	1.32	1.49	1.83	2.16	2.49	2.90	3.14	3.30	4.26	5.19	5.65	
1200	0.72	0.93	1.13	1.34	1.54	1.74	2.14	2.53	2.92	3.40	3.69	3.88	5.00	6.09	6.63	
1400	0.81	1.05	1.29	1.52	1.75	1.98	2.44	2.90	3.34	3.89	4.22	4.44	5.72	6.97	7.58	
1600	0.90	1.17	1.43	1.70	1.96	2.22	2.74	3.25	3.75	4.37	4.74	4.99	6.43	7.83	8.51	
1800	0.98	1.28	1.58	1.87	2.16	2.45	3.03	3.59	4.15	4.84	5.25	5.52	7.12	8.66	9.41	
2000	1.06	1.39	1.72	2.04	2.36	2.68	3.31	3.93	4.55	5.30	5.75	6.05	7.79	9.47	10.29	
2400	1.21	1.60	1.99	2.37	2.75	3.12	3.86	4.59	5.31	6.19	6.72	7.06	9.08	11.00	11.96	
2800	1.35	1.80	2.24	2.68	3.11	3.54	4.39	5.23	6.04	7.05	7.64	8.04	10.30	12.50	13.52	
3200	1.49	1.99	2.49	2.98	3.47	3.95	4.90	5.84	6.75	7.87	8.53	8.97	11.50	13.90	14.97	
3600	1.61	2.17	2.73	3.27	3.81	4.34	5.40	6.43	7.43	8.66	9.39	9.86	12.60	15.10	16.30	
4000	1.73	2.34	2.95	3.55	4.14	4.72	5.87	6.99	8.09	9.42	10.20	10.70	13.60	16.30	17.50	
5000	2.00	2.74	3.48	4.20	4.91	5.61	6.99	8.32	9.61	11.2	12.06	12.60	15.90	19.70		
6000	2.23	3.10	3.96	4.79	5.62	6.42	8.00	9.51	10.96	12.7	13.66	14.30	17.70			
8000	2.59	3.69	4.76	5.80	6.81	7.80	9.69	11.46	13.09	14.9	15.95	16.60				
10000	2.82	4.11	5.36	6.56	7.72	8.82	10.89	12.75								
12000	2.91	4.36	5.75	7.06	8.30	9.46	11.54									
14000	2.86	4.42	5.90	7.26	8.52	9.65										

rpm of Fringe Shaft

Rated Kilowatts*

10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06
20	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.11	0.12
40	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13	0.13	0.17	0.21	0.23
60	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.19	0.25	0.30	0.33
100	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.31	0.40	0.48	0.53
200	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.33	0.39	0.44	0.51	0.56	0.58	0.75	0.91	0.99
300	0.18	0.22	0.26	0.30	0.35	0.39	0.47	0.56	0.64	0.74	0.80	0.84	1.08	1.31	1.43
400	0.22	0.28	0.34	0.39	0.45	0.50	0.61	0.72	0.83	0.96	1.04	1.09	1.40	1.70	1.85
500	0.27	0.34	0.41	0.47	0.54	0.61	0.74	0.88	1.01	1.17	1.27	1.33	1.71	2.08	2.27
600	0.31	0.39	0.47	0.55	0.63	0.71	0.87	1.03	1.18	1.38	1.49	1.56	2.01	2.45	2.67
800	0.39	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.12	1.33	1.53	1.78	1.92	2.02	2.60	3.17	3.45
1000	0.47	0.60	0.73	0.86	0.98	1.11	1.36	1.61	1.86	2.16	2.34	2.46	3.17	3.87	4.21
1200	0.54	0.69	0.85	1.00	1.15	1.30	1.59	1.89	2.18	2.54	2.75	2.89	3.73	4.54	4.94
1400	0.60	0.78	0.96	1.13	1.31	1.48	1.82	2.16	2.49	2.90	3.15	3.31	4.27	5.20	5.66
1600	0.67	0.87	1.07	1.27	1.46	1.66	2.04	2.42	2.80	3.26	3.54	3.72	4.79	5.84	6.35
1800	0.73	0.95	1.18	1.40	1.61	1.83	2.26	2.68	3.10	3.61	3.92	4.12	5.31	6.46	7.02
2000	0.79	1.04	1.28	1.52	1.76	2.00	2.47	2.93	3.39	3.95	4.29	4.51	5.81	7.06	7.67
2400	0.90	1.19	1.48	1.77	2.05	2.33	2.88	3.42	3.96	4.62	5.01	5.27	6.77	8.22	8.92
2800	1.01	1.34	1.67	2.00	2.32	2.64	3.27	3.90	4.51	5.26	5.70	5.99	7.70	9.31	10.08
3200	1.11	1.48	1.86	2.22	2.59	2.95	3.66	4.35	5.03	5.87	6.36	6.69	8.57	10.30	11.16
3600	1.20	1.62	2.03	2.44	2.84	3.24	4.02	4.79	5.54	6.46	7.00	7.35	9.39	11.30	12.15
4000	1.29	1.75	2.20	2.65	3.09	3.52	4.38	5.22	6.03	6.92	7.61	7.99	10.20	12.10	13.05
5000	1.49	2.05	2.60	3.13	3.66	4.18	5.21	6.21	7.16	8.32	9.00	9.43	11.90	13.90	
6000	1.67	2.31	2.95	3.57	4.19	4.79	5.96	7.09	8.17	9.45	10.19	10.70	13.20		
8000	1.93	2.75	3.55	4.32	5.08	5.81	7.23	8.54	9.76	11.10	11.89	12.4			
10000	2.10	3.06	4.00	4.89	5.75	6.58	8.12	9.51							
12000	2.17	3.25	4.29	5.26	6.19	7.05	8.61								
14000	2.13	3.30	4.40	5.42	6.35	7.20									

Length Correction Factor		0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	
For Belt Length	From	Length (mm)	200	215	260	315	375	450	540	650	780	935	1130	1355	1625	1960
		# of teeth	40	43	52	63	75	90	108	130	156	187	226	271	325	392
	To	Length (mm)	210	255	310	370	445	535	645	775	930	1125	1360	1620	1955	2000
		# of teeth	42	51	62	74	89	107	129	155	186	225	270	324	391	400

(Shaded area indicates drive conditions where reduced service life can be expected. Contact Gates Application Engineering for specific recommendations.)

*See page 20 for torque ratings.



Synchronous Belt Drives – Engineering

III. Belt Tensioning — continued

Formula 1

$$T_{st} = \frac{1.21 Q}{d} + mS^2, \text{ lb.}$$

Where: T_{st} – Static Tension per span, pounds
 Q – driver torque load, pound inches
 d – driver pitch diameter, inches
 S – Belt Speed/1000, feet per minute
 Belt Speed = (driver pitch diameter x driver rpm)/3.82
 m – Mass factor from Table 7

Table 7

Belt Section	Belt Width			Minimum T_{st} (lb) Per Span
		m	Y	
2MR GT2	4mm	0.026	1.37	1.3
	6mm	0.039	2.05	2.0
	9mm	0.058	3.08	3.0
	12mm	0.077	4.10	4.0
3MR GT2	6mm	0.077	3.22	2.2
	9mm	0.120	4.83	3.3
	12mm	0.150	6.45	4.4
	15mm	0.190	8.06	5.5
5MR GT2	9mm	0.170	14.90	8.4
	12mm	0.280	24.90	14.1
	15mm	0.380	33.20	18.7
	25mm	0.470	41.50	23.4
3M HTD	6mm	0.068	3.81	2.5
	9mm	0.102	5.71	4.3
	15mm	0.170	9.52	7.8
5M HTD	9mm	0.163	14.90	6.3
	15mm	0.272	24.90	12.0
	25mm	0.453	41.50	21.3
MXL	1/8"	0.003	1.40	1.0
	3/16"	0.004	2.11	1.7
	1/4"	0.005	2.81	2.3
XL	1/4"	0.070	3.30	3.2
	3/8"	0.105	4.94	5.1

Note: If the value of T_{st} calculated with Formula 1 is less than the minimum T_{st} value in Table 7, use the Minimum T_{st} value from the table for T_{st} in all further belt tension calculations. The minimum value must be used on lightly loaded drives to ensure that belts wrap and mesh properly with the sprockets.

Registration Drives: Registration drives are required to register, or position, accurately (see section J, Registration on Page 59). Higher belt installation tensions help in increasing belt tensile modulus as well as in increasing meshing interference, both reducing backlash. Tension values for these applications should be determined experimentally to confirm that desired performance characteristics have been achieved. As a beginning point, use values from Table 8 multiplied by 1.5 to 2.0.

Table 8 – Static Belt Tension – General Values T_{st} (lb) Per Span

PowerGrp® GT* 2 Belt Widths							
Section	4 mm	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	20 mm	25 mm
2MR GT2	3	4	6	8	-	-	-
3MR GT2	-	15	23	30	38	50	-
5MR GT2	-	-	30	40	50	67	84
PowerGrp HTD Belt Widths							
Section	3M	5M	9	15	21	27	40
3M	-	9	15	21	27	40	-
5M	-	-	16	-	30	42	54
PowerGrp Timing Belt Widths							
Section	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	7/16"	1/2"
MXL	2	3	4	4	5	-	-
XL	-	-	5	6	7	8	10

Most synchronous belt applications often exhibit their own individual operating characteristics. The static installation tensions recommended in this catalog should serve as a general guideline in determining the level of tension required. The drive system should be thoroughly tested to confirm that it performs as intended. Consult Gates Application Engineering for further guidance.

B. Making Measurements

Belt installation tension is generally measured in the following ways:

Force/Deflection: Belt span tension can be measured by deflecting a belt span 1/64" per inch of span length at mid-span, with a known force (see Fig. 5). This method is generally convenient, but not always very accurate due to difficulty in measuring small deflections and forces common in small synchronous drives. The force/deflection method is most effective on larger drives with long span lengths. The static or installation tension (T_{st}) can either be calculated from Formula 1 or selected from Table 7 or Table 8. The deflection forces can be calculated from Formula 3 and Formula 4. The span length can either be calculated from Formula 2 or measured. If the calculated static tension is less than the minimum T_{st} values in Table 7, use the minimum values.

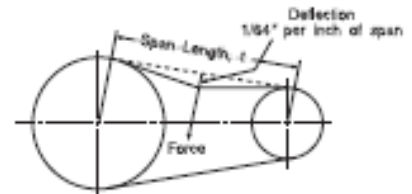


Figure 5 - Belt Deflection Distance

Formula 2

$$t = \sqrt{CD^2 - \left(\frac{PD - pd}{2}\right)^2}$$

Where: t – span length, inches
 CD – Drive center distance
 PD – Large pitch diameter, inches
 pd – Small pitch diameter, inches

Formula 3

$$\text{Deflection force, Min.} = \frac{T_{st} + \left(\frac{t}{L}\right)Y}{16}, \text{ lb.}$$

Formula 4

$$\text{Deflection force, Max.} = \frac{1.1 T_{st} + \left(\frac{t}{L}\right)Y}{16}, \text{ lb.}$$

Where: T_{st} – Static tension, pounds
 t – span length, inches
 L – belt pitch length, inches
 Y – constant from Table 7



Synchronous Belt Drives – Engineering

III. Belt Tensioning — continued

Shaft Separation: Belt installation tension can be applied directly by exerting a force against either the driveR or driveN shaft in a simple 2 point drive system (see Fig. 6). The resulting belt tension will be accurate as the force applied to the driveR or driveN shaft. This method is considerably easier to perform than the force/deflection method, and in some cases more accurate.

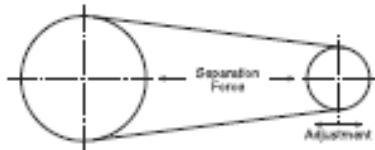


Figure 6 - Shaft Separation

In order to calculate the required shaft separation force, the proper static tension (on a per span basis) should first be determined as previously discussed. This tension value will be present in both belt spans as tension is applied. The angle of the spans with respect to the movable shaft should then be determined. The belt spans should be considered to be vectors (force with direction), and be summed into a single tension vector force (see Fig. 7). Refer to section *M. Belt Pul* on pages 65 and 66 for further instructions on summing vectors. Contact Gates Application Engineering for assistance if needed.

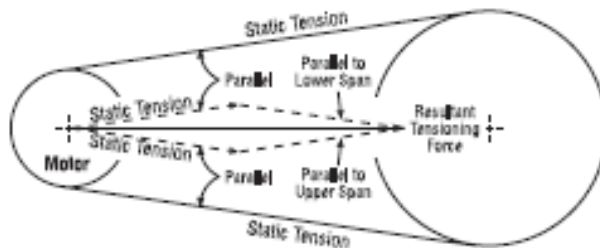


Figure 7 - Vector Addition

Idler Force: Belt installation tension can also be applied by exerting a force against an idler sprocket within the system that is used to take up belt slack (see Fig. 8). This force can be applied manually, or with a spring. Either way, the idler should be locked down after the appropriate tension has been applied.

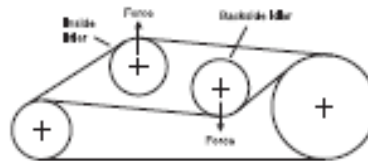


Figure 8 - Idler Force

Calculating the required force will involve a vector analysis as described above in the shaft separation section. Contact Gates Application Engineering for assistance if needed.

Sonic Tension Meter: The Sonic Tension Meter is an electronic device that measures the natural frequency of a free stationary belt span and instantly computes the static belt tension based upon the belt span length, belt width, and belt type. This provides accurate and repeatable tension measurements while using a non-intrusive procedure (the measurement process itself doesn't change the belt span tension). A measurement is made simply by plucking the belt while holding the sensor close to the vibrating belt span.

The unit is a bit larger than a cell phone (6" long x 2" wide x 1" thick) so it can be easily handled. The sensor is about 1/2" in diameter for use in cramped spaces, and the unit is battery operated. The unit measures virtually all types of Light Power & Precision belts.

For additional details, see Gates Publication No. 17898: Sonic Tension Meter Uses Sound Waves to Measure Belt Tension Accurately Every Time.

Contact Gates Application Engineering for further technical details. Contact Gates Customer Service for price and availability.



Useful Formulas and Calculations

Drive Design

$$\text{Speed Ratio} = \frac{\text{rpm (faster)}}{\text{rpm (slower)}} = \frac{\text{PD}}{\text{pd}} = \frac{N}{n}$$

Where: rpm – Revolutions per minute
 PD – Larger pitch diameter
 pd – Smaller pitch diameter
 N – Larger sprocket grooves
 n – Smaller sprocket grooves

$$\text{Horsepower} = \frac{Q (\text{rpm})}{63025}$$

Where: Q – Torque, lb-in
 rpm – Revolutions per minute

Be sure to use torque and rpm values at the same shaft; do not mix torque and rpm values from different shafts.

$$\text{Horsepower} = \frac{T_e(V)}{33,000}$$

Where: T_e – Effective tension, lb.
 V – Belt speed, ft/min

$$\text{Design Horsepower} = \text{hp} \times \text{SF}$$

Where: hp – Horsepower
 SF – Service Factor

$$\text{Torque (lb-in)} = \frac{63025 (\text{hp})}{\text{rpm}}$$

Where: hp – Horsepower
 rpm – Revolutions per minute

$$\text{Design Torque} = Q \times \text{SF}$$

Where: T – Torque load
 SF – Service factor

$$\text{Service Factor} = \frac{\text{Rated } T_R}{(T_e + T_c)}$$

Where: T_R – Rated belt working tension, lb.
 T_e – Effective tension, lb.
 T_c – Centrifugal tension, lb.

$$\text{Belt Speed (V)} = \frac{(\text{PD}) (\text{rpm})}{3.82}$$

Where: V – Belt speed, ft/min
 PD – Pitch diameter, in.
 rpm – Revolutions per minute of same pulley

The exact belt pitch length, in inches, can be found as follows:

$$\text{Pitch Length} = 2(\text{CD})(\cos \phi) + \frac{(\text{PD} + \text{pd})}{2} + \frac{\phi (\text{PD} - \text{pd})}{180}$$

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{\text{PD} - \text{pd}}{2\text{CD}} \right)$$

Where: CD – Drive center distance, in.
 PD – Large pitch diameter, in.
 pd – Small pitch diameter, in.

The approximate center distance in inches can be found as follows:

$$\text{Center Distance} = \frac{K + \sqrt{K^2 - 32(\text{PD} - \text{pd})^2}}{16}$$

$$K = 4\text{PL} - 6.28 (\text{PD} + \text{pd})$$

Where: PD – Large pitch diameter, in.
 pd – Small pitch diameter, in.
 PL – Belt pitch length, in.

The exact center distance can be calculated using an iterative process between the center distance and belt length equations above. The exact center distance has been found when the two equations converge.

$$\text{Span Length} = \sqrt{\text{CD}^2 - \frac{(\text{PD} - \text{pd})^2}{4}}$$

Where: PD – Large pitch diameter, in.
 pd – Small pitch diameter, in.
 CD – Drive center distance, in.

The arc of contact on the smaller pulley in degrees can be found as follows:

$$\text{Arc of Contact} = 180 - \left(\frac{60 (\text{PD} - \text{pd})}{\text{CD}} \right)$$

Where: PD – Large pitch diameter, in.
 pd – Small pitch diameter, in.
 CD – Drive center distance, in.

Useful Formulas and Calculations

Drive Design – continued

The number of teeth in mesh on the smaller sprocket can be found as follows:

$$\text{Teeth in Mesh} = \frac{(\text{Arc}) (n)}{360}$$

Where: Arc = Arc of contact; small sprocket, degrees
n = number of grooves, small sprocket

Drop any fractional part and use only the whole number as any tooth not fully engaged cannot be considered a working tooth.

If the teeth in mesh is less than 6, correct the belt torque rating with the following multiplication factors:

5 Teeth in Mesh – Multiply by 0.8

4 Teeth in Mesh – Multiply by 0.6

3 Teeth in Mesh – Multiply by 0.4

2 Teeth in Mesh – Suggest Redesign

1 Tooth in Mesh – Suggest Redesign

Torque loading due to flywheel effect (acceleration or deceleration) can be calculated as follows:

$$\text{Torque (lb-in)} = \frac{0.039(\text{RPM} - \text{rpm}) (WR^2)}{t}$$

Where: RPM = Final revolutions per minute
rpm = Initial revolutions per minute

WR² = Flywheel effect, pound-feet²
(lb-ft²) (1 ft-lb-sec² is equivalent to 32.2 lb-ft²)

t = time, seconds

The flywheel effect of a sprocket can be estimated as follows:

$$WR^2 (\text{lb-ft}^2) = \frac{F (Z) (D^4 - d^4)}{1467}$$

Where: F = Face width of rim, in.

Z = Material density, lb/in³

D = Outside rim diameter, in.

d = Inside rim diameter, in.

Typical Values: 2024 Aluminum - 0.100 lb/in³

6061 Aluminum - 0.098 lb/in³

Iron - 0.284 lb/in³

Synchronous Belt Tension

Effective Pull

$$T_e = T_T - T_S = \frac{2(Q)}{pd}$$

Where: T_T = Tight side tension, lb.
T_S = Slack side tension, lb.
Q = Torque Load, lb-in
pd = Pitch diameter, in.
T_e = Effective tension, lb.

Total Tension (8:1)

$$T_T + T_S = \frac{2.671(Q)}{pd}$$

Where: T_T = Tight side tension, lb.
T_S = Slack side tension, lb.
Q = Torque load, lb-in
pd = Pitch diameter, in

Tight Side Tension (8:1)

$$T_T = \frac{2.286(Q)}{pd}$$

Where: T_T = Tight side tension, lb.
Q = Torque load, lb-in
pd = Pitch diameter, in.

Slack Side Tension (8:1)

$$T_S = \frac{0.285(Q)}{pd}$$

Where: T_S = Slack side tension, lb.
Q = Torque load, lb-in
pd = Pitch diameter, in.

Working Tension

$$T_w = (T_e + T_c) (SF)$$

Where: T_w = Working tension, lb.
T_e = Effective tension, lb.
T_c = Centrifugal tension, lb.
SF = Service Factor

Centrifugal Belt Tension

$$T_c = \frac{(m) (PD)^2 (rpm)^2}{16.2 \times 10^4}$$

Where: T_c = Centrifugal tension, lb.
m = Belt mass constant

PD = Smaller pitch diameter, in.
rpm = Smaller sprocket revolutions per minute

Belt Section	Belt Width	m
2MR GT2	4mm	0.0234
	6mm	0.0351
	9mm	0.0522
	12mm	0.0693
3MR GT2	6mm	0.0693
	9mm	0.108
	12mm	0.135
	15mm	0.171
5MR GT2	9mm	0.153
	12mm	0.252
	15mm	0.342
	25mm	0.423
Belt Section	Belt Width	m
3M HTD	6mm	0.0612
	9mm	0.0918
	15mm	0.153
5M HTD	9mm	0.1467
	15mm	0.2448
	25mm	0.4077
MXL	1/8"	0.0027
	3/16"	0.0036
	1/4"	0.0045
	5/16"	0.009
XL	1/4"	0.009
	3/8"	0.0135



Useful Formulas and Calculations

Polyflex® JB® Belt Tension

Effective Pull

$$T_T - T_S = 33,000 \left(\frac{hp}{V} \right) - T_0$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 T_0 – Effective tension, lb.

Total Tension (5:1)

$$T_T + T_S = 33,000 (2.5 - G) \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Tension Ratio

$$T_T / T_S = \frac{1}{1 - 0.8G} \quad (\text{Also, } T_T / T_S = e^{K\theta})$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)
 e – Base of natural logarithms
 K – .51230, a constant for V-belt drive design
 θ – Arc of contact in radians

Tight Side Tension (5:1)

$$T_T = 41,250 \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Slack Side Tension (5:1)

$$T_S = 33,000 (1.25 - G) \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Micro-V® Belt Tension

Effective Pull

$$T_T - T_S = 33,000 \left(\frac{hp}{V} \right) - T_0$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 T_0 – Effective tension, lb.

Total Tension (4:1)

$$T_T + T_S = 33,000 (2.67 - G) \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Tension Ratio

$$T_T / T_S = \frac{1}{1 - 0.80G} \quad (\text{Also, } T_T / T_S = e^{K\theta})$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 T_S – Slack side tension, lb.
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)
 e – Base of natural logarithms
 K – .44127, a constant for Micro-V drive design
 θ – Arc of contact in radians

Tight Side Tension (4:1)

$$T_T = 44,000 \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_T – Tight side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Slack Side Tension (4:1)

$$T_S = 33,000 (1.33 - G) \left(\frac{hp}{GV} \right)$$

Where: T_S – Slack side tension, lb.
 hp – Horsepower
 V – Belt speed, ft/min
 G – Arc of contact correction factor (Table 34, Page 85)

Useful Formulas and Calculations

Power Transmission Conversions

Torque Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric		Metric to Metric	
Newton Meters	x 141.6119 – Ounce Inches	Ounce Inches	x 0.0071 – Newton Meters	Newton Meters	x 10.1972 – Kilogram Centimeters
Newton Meters	x 8.8508 – Pound Inches	Pound Inches	x 0.1130 – Newton Meters	Kilogram Centimeters	x 0.0981 – Newton Meters
Newton Meters	x 0.7376 – Pound Feet	Pound Feet	x 1.3558 – Newton Meters	Newton Meters	x 0.1020 – Kilogram Meters
				Kilogram Meters	x 9.8067 – Newton Meters

Power Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric	
Kilowatt	x 1.3410 – Horsepower	Horsepower	x 745.6999 – Watt
Watt	x 0.0013 – Horsepower	Horsepower	x 0.7457 – Kilowatt

Velocity Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric		Metric to Metric	
Meters/Second	x 196.8504 – Feet/Minute	Feet/Minute	x 0.0051 – Meters/Second	Meters/Second	x 3.6000 – Kilometers/Hour

Other Conversions

Force Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric		Metric to Metric	
Newtons	x 3.5969 – Ounces	Ounces	x 0.2780 – Newtons	Kilograms	x 9.8067 – Newtons
Newtons	x 0.2248 – Pounds	Pounds	x 4.4482 – Newtons	Newtons	x 0.1020 – Kilograms
Kilograms	x 2.2046 – Pounds	Pounds	x 0.4536 – Kilograms		

Length Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric	
Millimeters	x 0.0394 – Inches	Inches	x 25.4000 – Millimeters
Meters	x 39.3701 – Inches	Inches	x 0.0254 – Meters
Meters	x 3.2808 – Feet	Feet	x 0.3048 – Meters
Meters	x 1.0936 – Yards	Yards	x 0.9144 – Meters
Kilometers	x 3280.84 – Feet	Feet	x 0.0003048 – Kilometers
Kilometers	x 0.6214 – Statute Miles	Statute Miles	x 1.6093 – Kilometers
Kilometers	x 0.5396 – Nautical Miles	Nautical Miles	x 1.8532 – Kilometers

Area Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric	
Square Millimeters	x 0.0016 – Square Inches	Square Inches	x 645.160 – Square Millimeters
Square Centimeters	x 0.1550 – Square Inches	Square Inches	x 6.4516 – Square Centimeters
Square Meters	x 10.7639 – Square Feet	Square Feet	x 0.0929 – Square Meters
Square Meters	x 1.1960 – Square Yards	Square Yards	x 0.8361 – Square Meters
Hectares	x 2.4711 – Acres	Acres	x 0.4047 – Hectares
Square Kilometers	x 247.105 – Acres	Acres	x 0.004047 – Square Kilometers
Square Kilometers	x 0.3861 – Square Miles	Square Miles	x 2.5900 – Square Kilometers

Weight Conversion Constants

Metric to U.S.		U.S. to Metric		Metric to Metric	
Grams	x 15.4324 – Grains	Kilograms	x 35.2740 – Ounces (Awd.)	Metric Tons (1000 Kg)	x 1.1023 – Net Ton (2000 lbs.)
Grams	x 0.0353 – Ounces (Awd.)	Kilograms	x 2.2046 – Pounds (Awd.)	Metric Tons (1000 Kg)	x 0.9842 – Gross Ton (2240 lbs.)
Grams	x 0.0338 – Fluid Ounces (water)				



Useful Formulas and Calculations

Other Conversions – continued

Weight Conversion Constants – continued

U.S. to Metric

Grains	x 0.0648	– Grams	Pounds (Avd.)	x 0.4536	– Kilograms
Ounces (Avd.)	x 28.3496	– Grams	Net Ton (2000 lbs.)	x 0.9072	– Metric Tons (1000 Kg)
Fluid Ounces (water)	x 29.5735	– Grams	Gross Ton (2240 lbs.)	x 1.0160	– Metric Tons (1000 Kg)
Ounces (Avd.)	x 0.0283	– Kilograms			

Measures of Pressure

1 pound per square inch	– 144 pounds per square foot	1 foot of water at 62°F	– 62.35 pounds per square foot	
	– 0.068 atmosphere		– 0.433 pounds per square inch	
	– 2.042 inches of mercury at 62°F		1 inch of mercury at 62°F	– 1.132 feet of water at 62°F
	– 27.7 inches of water at 62°F			– 13.58 inches of water
	– 2.31 feet of water at 62°F		– 0.491 pounds per square inch	
1 atmosphere	– 30 inches of mercury at 62°F	Column of water 12 inches high, 1 inch in diameter – 34 lb.		
	– 14.7 pounds per square inch			
	– 2116.3 pounds per square foot			
	– 33.95 feet of water at 62°F			

Decimal and Millimeter Equivalents of Fractions

Inches			Inches		
Fractions	Decimals	Millimeters	Fractions	Decimals	Millimeters
1/64	.015625	.397	33/64	.515625	13.097
1/32	.03125	.794	17/32	.53125	13.494
3/64	.046875	1.191	35/64	.546875	13.891
1/16	.0625	1.588	9/16	.5625	14.288
5/64	.078125	1.984	37/64	.578125	14.684
3/32	.09375	2.381	19/32	.59375	15.081
7/64	.109375	2.778	39/64	.609375	15.478
1/8	.125	3.175	5/8	.625	15.875
9/64	.140625	3.572	41/64	.640625	16.272
5/32	.15625	3.969	21/32	.65625	16.669
11/64	.171875	4.366	43/64	.671875	17.066
3/16	.1875	4.763	11/16	.6875	17.463
13/64	.203125	5.159	45/64	.703125	17.859
7/32	.21875	5.556	23/32	.71875	18.256
15/64	.234375	5.953	47/64	.734375	18.653
1/4	.250	6.350	3/4	.750	19.050
17/64	.265625	6.747	49/64	.765625	19.447
9/32	.28125	7.144	25/32	.78125	19.844
19/64	.296875	7.541	51/64	.796875	20.241
5/16	.3125	7.938	13/16	.8125	20.638
21/64	.328125	8.334	53/64	.828125	21.034
11/32	.34375	8.731	27/32	.84375	21.431
23/64	.359375	9.128	55/64	.859375	21.828
3/8	.375	9.525	7/8	.875	22.225
25/64	.390625	9.922	57/64	.890625	22.622
13/32	.40625	10.319	29/32	.90625	23.019
27/64	.421875	10.716	59/64	.921875	23.416
7/16	.4375	11.113	15/16	.9375	23.813
29/64	.453125	11.509	61/64	.953125	24.209
15/32	.46875	11.906	31/32	.96875	24.606
31/64	.484375	12.303	63/64	.984375	25.003
1/2	.500	12.700	1	1.000	25.400

Useful Formulas and Calculations

Power To or From Machinery

In the absence of accurate data on horsepower requirements for a drive, it is sometimes possible to calculate the power output from a driveR machine or the required power input to a driveN machine. In each formula below, efficiency must be known or estimated. For checking a drive which is providing power to a pump or generator, it is more conservative to estimate a low efficiency for the driveN machine. For power input to a drive from a motor or turbine, it is more conservative to estimate high efficiency for the driveR machine. Efficiency is used as a decimal in the formulas. For example, if a pump is 70% efficient, use .70 in the formula.

Hydraulic Machinery

Power required by pumps

$$\text{Horsepower} = \frac{(F)(p)}{(1714)(\text{eff})}$$

Where: F – Flow rate, gallons per minute

P – Discharge pressure for pumps, Inlet pressure for turbines, pounds/square inch

eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.

Power from water wheel or turbine

$$\text{Horsepower} = \frac{(F)(p)(\text{eff})}{(1714)}$$

Where: F – Flow rate, gallons per minute

P – Discharge pressure for pumps, Inlet pressure for turbines, pounds/square inch

eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.

A.C. Machinery

$$\text{Kilowatts} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})(\text{p.f.})}{Y}$$

Where: p.f. – Power factor

Y – 1000 (Single phase)

Y – 577 (Three phase)

Power required for generator (alternator)

$$\text{Horsepower} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})(\text{p.f.})}{(Z)(\text{eff})}$$

Where: eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.

p.f. – Power factor

Z – 746 (Single phase)

Z – 431 (Three phase)

Power from motor

$$\text{Horsepower} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})(\text{p.f.})(\text{EFF})}{(Z)}$$

Where: eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.

p.f. – Power factor

Z – 746 (Single phase)

Z – 431 (Three phase)

D.C. Machinery

$$\text{Kilowatts} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})}{1000}$$

Power required for generator

$$\text{Horsepower} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})}{(746)(\text{eff})}$$

Where: eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.

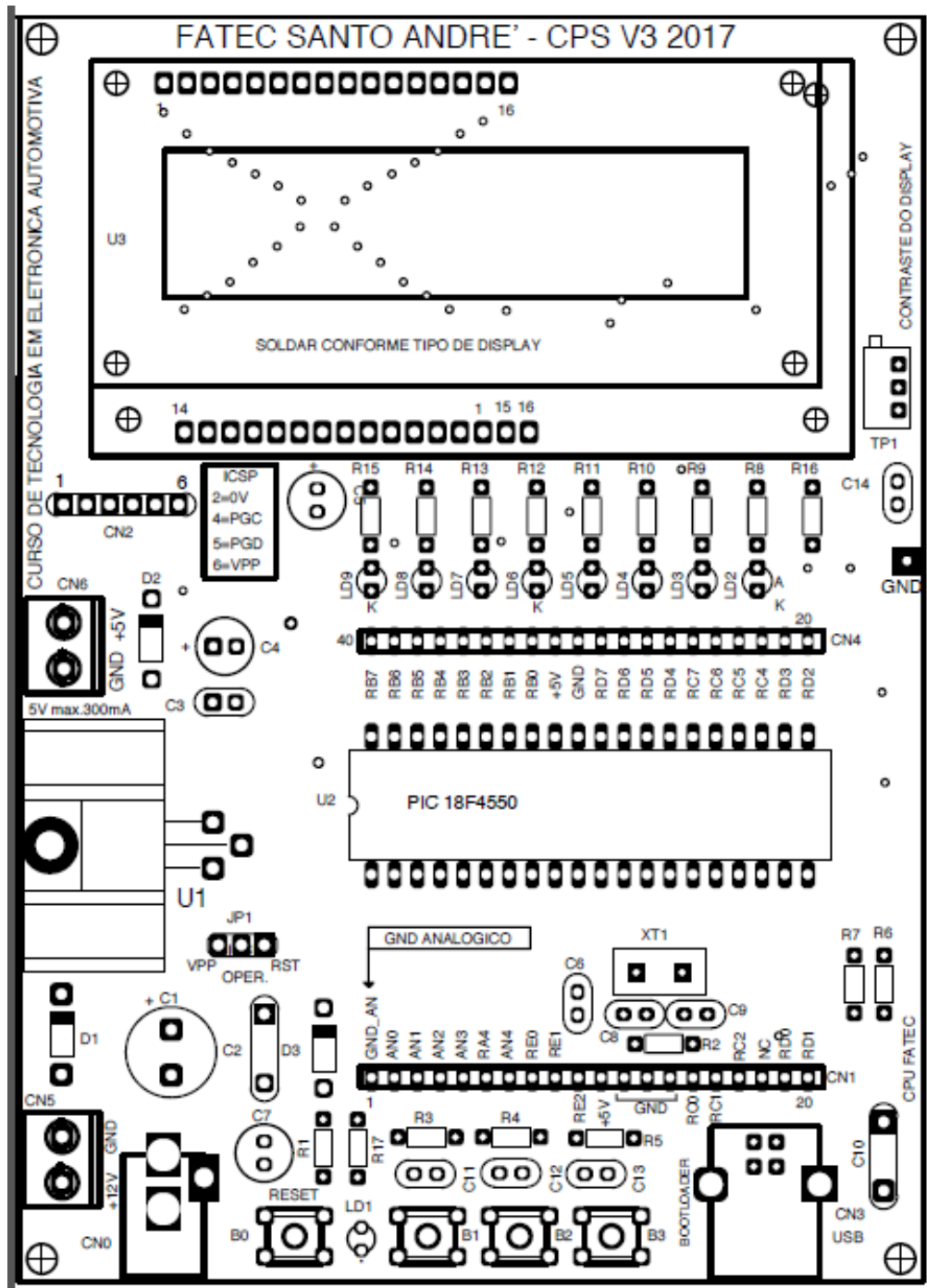
Power from motor

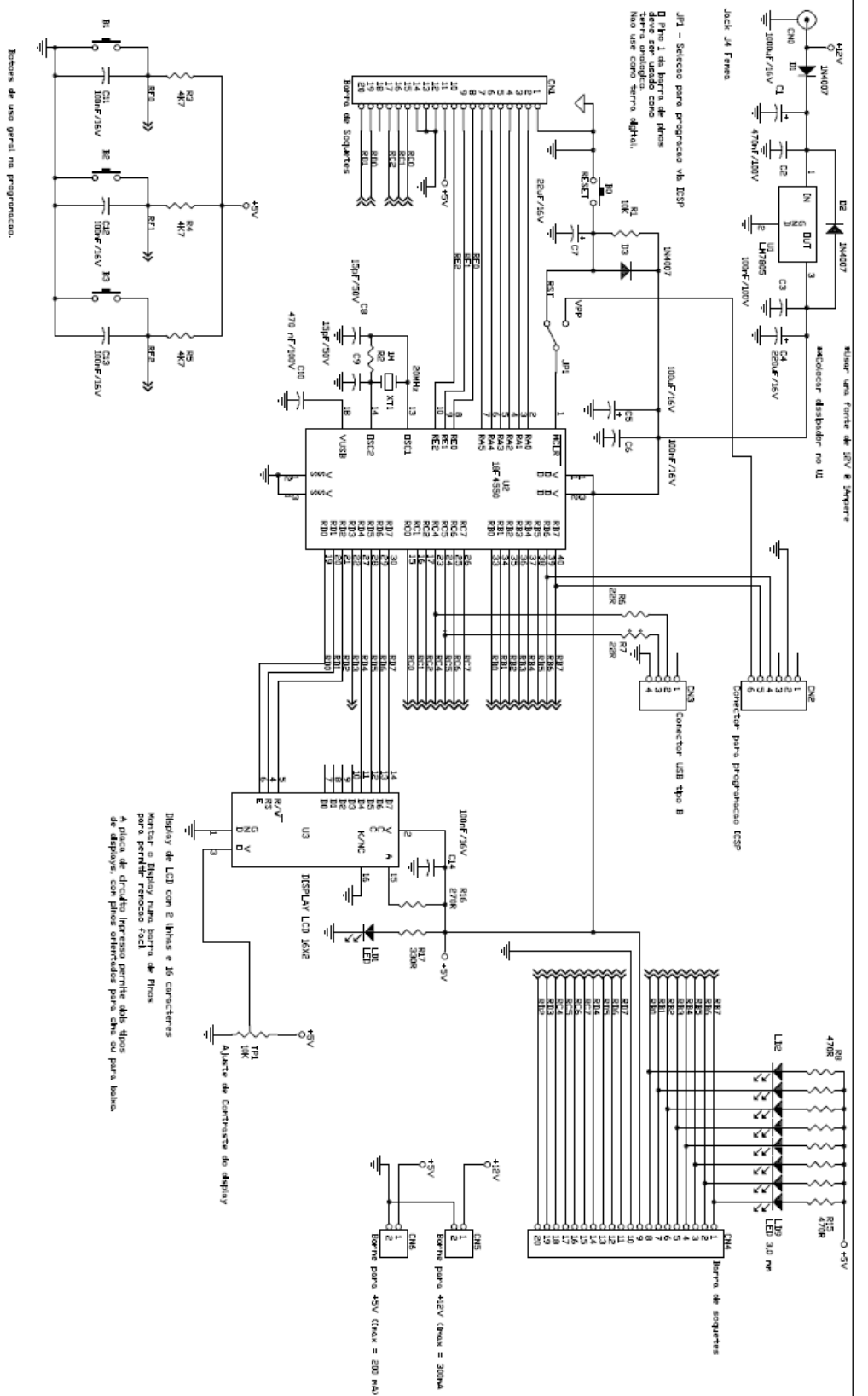
$$\text{Horsepower} = \frac{(\text{volts})(\text{amps})(\text{eff})}{746}$$

Where: eff – Overall mechanical and hydraulic efficiency.



ANEXO B – Placa Eletrônica FATEC





Size	DOCUMENT NUMBER	REV
B	August 3, 2015	Sheet
		of