



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ESTHEFANI MARIA ALMEIDA CAVALCANTE

**COMPARATIVO DE ATUADORES ELETRÔNICOS EM VEÍCULOS
AUTOMOBILÍSTICOS**

PAU DOS FERROS - RN

2016

ESTHEFANI MARIA ALMEIDA CAVALCANTE

**COMPARATIVO DE ATUADORES ELETRÔNICOS EM VEÍCULOS
AUTOMOBILÍSTICOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção
do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva
Júnior - UFERSA

PAU DOS FERROS – RN

2016

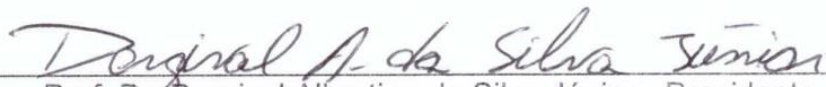
ESTHEFANI MARIA ALMEIDA CAVALCANTE

**COMPARATIVO DE ATUADORES ELETRÔNICOS EM VEÍCULOS
AUTOMOBILÍSTICOS**

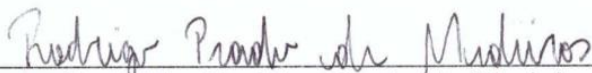
Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas para
a obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Aprovado em: ____ de _____ de 2016.

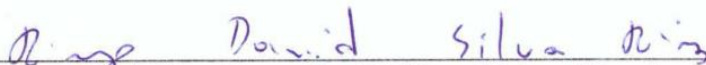
BANCA EXAMINADORA



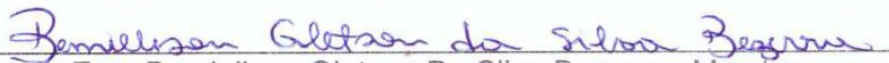
Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior - Presidente



Prof. Ms. Rodrigo Prado de Medeiros - Membro



Prof. Ms. Diego David Silva Diniz – Membro



Eng. Bemielison Gletson Da Silva Bezerra - Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

CCava Cavalcante, Esthefani Maria Almeida.
lcant COMPARATIVO DE ATUADORES ELETRÔNICOS EM
ec VEÍCULOS AUTOMOBILÍSTICOS / Esthefani Maria
Almeida Cavalcante. - 2016.
54 f. : il.

Orientador: Dorgival Albertino da Silva
Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Atuador de aceleração. 2. Throttle-by-wire, .
3. Baja SAE . I. da Silva Júnior, Dorgival
Albertino , orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que me deu energia e tempo para concluir este trabalho.

À minha família, que teve paciência e me aguentou em todos os momentos de crise durante o curso, principalmente, minha avó Neuman.

À minha mãe, que sempre confiou na minha capacidade, mesmo quando eu não confiava.

A todos os meus amigos de Pau dos Ferros, que foram presentes em todos os momentos da graduação, principalmente, ao Renato Victor e Bruna Mayara, que desde o começo, estavam comigo.

Aos meus amigos de Caraúbas, que passaram o semestre ouvindo sobre o TCC.

A todos os professores da UFRSA - Campus de Pau dos Ferros, que me auxiliaram nessa conquista, onde construí toda a base que possuo hoje.

À oficina mecânica JN pela paciência e ajuda que me deram.

A Dorgival Júnior, orientador deste trabalho, por ter me aceito como orientanda com pouco tempo para trabalhar, pela disponibilidade para ajudar e pelo conhecimento transmitido.

RESUMO

O homem vem usando de ferramenta, desde os tempos primórdios, com o objetivo de auxiliar e facilitar as suas tarefas, com a criação da escrita e o desenvolvimento dos pensamentos empíricos, desenvolveram as primeiras máquinas e, a partir de então, foi impulsionado o desenvolvimento industrial.

Este desenvolvimento afetou diversos campos, desde a indústria de alimentos até indústrias de aeronaves, automóveis e robótica. A evolução das indústrias automotivas vem ocorrendo, principalmente, depois da crise econômica que houve nos anos oitenta, quando houve a necessidade de inovar, as empresas automobilísticas, desde então, concorrem em nível internacional.

Os consumidores se tornaram mais exigentes, e neste quadro, entre a concorrência e as exigências dos clientes, as indústrias de veículos automotivos tiveram que reinventar seus sistemas, objetivando melhores condições aos consumidores e obter tecnologia de ponta para concorrer com outras indústrias. Nesse instante, a eletrônica obteve seu espaço nas indústrias automotivas.

As empresas automobilísticas aplicaram os conhecimentos desenvolvidos pelas indústrias de aeronaves, que conferem eficiência e segurança. A técnica conhecida como *fly-by-wire* foi adaptada para os veículos em diferentes áreas, o sistema que contempla todas essas áreas é conhecido por *drive-by-wire*, este consiste em um sistema que atua através da eletrônica sem o uso de cabos, este se divide em *steer-by-wire*, *throttle-by-wire* e *brake-by-wire*.

Todos esses sistemas substituem os cabos, que antes conduziam as ordens do condutor, por centrais de comandos eletrônicos. Conferindo ao sistema mais segurança, maior facilidade de montagem, melhor monitoramento do veículo, e uma diminuição no valor do veículo. Neste trabalho analisamos, principalmente, o *throttle-by-wire*, com o objetivo de implantar a tecnologia de atuadores de aceleração, já utilizadas nos veículos no Baja da Universidade Federal Rural do Semiárido, campus Caraúbas.

PALAVRAS-CHAVE: Atuador de aceleração, *throttle-by-wire*, Baja

ABSTRACT

Man has been using tools since the early times, aiming to assist and facilitate tasks through the creation of writing and the development of empirical thoughts, the first machines was developed and, it boosted development industrial.

This development has affected many fields, from the food industry to aircraft, automotive and robotics industries. The evolution of the automotive industry has occurred mainly after the economic crisis that was in the eighties when was necessary to innovate, the auto companies since then compete internationally.

Consumers have become more demanding, and in this situation between competition and customer requirements, the automotive vehicle industry had to reinvent their systems, aiming at better conditions to consumers and get the latest technology to compete with other industries. At that moment the electronics got its space in automotive industries.

Automotive companies have applied the knowledge developed by aircraft industries, which provide efficiency and safety. The technique known as fly-by-wire has been adapted for vehicles in different areas, the system covers all of these areas is known as drive-by-wire, this consists of a system that operates through the electronic without the use of cables, it is divided in steer-by-wire throttle-by-wire and brake-by-wire.

All these systems replace the cables, which previously led the driver's orders, by electronic command central. Giving the system more security, easier installation, improved monitoring of the vehicle, and a decrease in vehicle value. This study analyzes mainly the throttle-by-wire, in order to deploy this technology, actuators of acceleration, already used in vehicles in Baja Federal Rural University of Semi-Arid, campus Caraúbas.

KEYWORDS: Actuator of acceleration, throttle-by-wire, Baja

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS – Anti-lock Breaking System

ASR – Anti-slip Regulation

BBW- Brake-By-Wire

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DBW- Drive-By-Wire

DC – Direct Current

ECU – Electronic Control Unit

EHB – Electro-Hydraulic Brake

EMB – Electronic-Mechanical Brake

EMS – Energy Management System

ETC – Electronic Throttle Control

FBW – Fly-By-Wire

FTCS – Fault Tolerant Control Systems

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEICE – Institute of Electronics, Information, and Communications Engineers

LBF – Libra Força

M - Metros

MTB – Mechanical Throttle Body

N – Newton

Pol - Polegadas

S – Segundos

SBC – Sensor electronic Brake System

SBW – Steer-By-Wire

STC – Stability Traction Control

TBW – Throttle-By-Wire

TC - Throttle Controller

TPS – Throttle Position Control System

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-árido

UNICAMP – Universidade de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

VCC – Voltagem Corrente Continua

VSC – Vehicle Stability Control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquematização steer-by-wire.....	17
Figura 2 – Esquematização da válvula de aceleração	23
Figura 3 – Esquematização do sistema da válvula de aceleração	26
Figura 4 – Operação do sistema de atuador de aceleração.....	27
Figura 5 – Válvula de aceleração.....	28
Figura 6 – (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 505 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 529 56.....	30
Figura 7 – Atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 512.....	30
Figura 8 – (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 516 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 542.....	31
Figura 9 – (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 537 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 545 (C) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 559.....	32
Figura 10 – Atuador marcha lenta Fiorentino e Uno.....	32
Figura 11 – Atuador marcha lenta Endura e Zetec.....	33
Figura 12 – Atuador marcha lenta F1000.....	34
Figura 13 – Atuador marcha lenta Logus.....	34
Figura 14 – Atuador marcha lenta Kombi	34
Figura 15 – Atuador marcha lenta Fiat Fire	35
Figura 16 – Atuador marcha lenta Fiat Uno.....	35
Figura 17 – Atuador marcha lenta Corsa.....	36
Figura 18 – Atuador marcha lenta Grand Blazer e Silverato.....	36
Figura 19 – Atuador marcha lenta Monza.....	36
Figura 20 – Atuador de aceleração Electrak	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVO GERAL	11
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	SISTEMA DE TOLERÂNCIA À FALHA	13
2.2	<i>DRIVE-BY-WIRE</i>	14
2.3	<i>STEER-BY-WIRE</i>	15
2.4	<i>BRAKE-BY-WIRE</i>	18
2.5	<i>THROTTLE-BY-WIRE</i>	21
2.6	ATUADORES DE ACELERAÇÃO	29
3	METODOLOGIA	39
4	RESULTADOS	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6	REFERÊNCIAS	48
	ANEXO A – Esquema elétrico (DICATEC)	52
	ANEXO B – <i>Datasheet</i> Thomson.....	53

1 INTRODUÇÃO

Ferramentas são utilizadas pelo homem, desde a Pré-história, no intuito de facilitar e tornar mais ágeis seus trabalhos. Conforme o homem criou à escrita e fortaleceu o pensamento empírico, iniciou-se o aparecimento das máquinas, impulsionando o desenvolvimento industrial. A partir daí, projetos e métodos para otimização das máquinas vêm ,sistematicamente, evoluindo (RODAS, ALVES, *et. al.*, 2014).

As indústrias automobilísticas sofreram grandes mudanças durante as últimas três décadas (CARVALHO, 2008). A competição industrial, devido ao desenvolvimento tecnológico, tem como exemplo as indústrias automobilísticas, que comparando o número de empresas em escala global de 1970 e 1990, houve um crescimento de mais de vinte vezes no número de indústrias, ao mesmo tempo no qual os consumidores tornaram-se mais exigentes, sofisticados e perspicazes (CLARK, FUJIMOTO, 1991). Segundo Tauile (1986), nos anos oitenta, a indústria automobilística viu-se diante de uma grande crise de desemprego, que afetou a produção. Para superar essa crise, foi necessário adotar uma estratégia de produção semelhante as empresas internacionais, essa estratégia consistia em adaptação do *design* dos automóveis e introdução da microeletrônica na produção.

O uso da eletrônica nos automóveis tem revolucionado a aplicabilidade e a cobertura de muitos opcionais e funções oferecidas aos consumidores. Essa revolução, na eletrônica automotiva, tem melhorado significativamente o desempenho, a confiabilidade e o conforto dos automóveis (ANJOS, 2011). A evolução no conforto e na segurança do carro pode ser observada através do sistema hidráulico e eletrônico, que de acordo com Drage, Kalinowski e Bräunl (2014), o sistema hidráulico é normalmente utilizado para ajudar o motorista na condução do veículo. A assistência elétrica tem se tornado mais popular, tendo como função, diminuir o consumo de energia. O sistema eletrônico possibilita o desenvolvimento de algoritmos capazes aumentar a segurança do motorista nas rodovias.

Seguindo essa evolução tecnológica, a Fiat automóveis desenvolveu um acelerador eletrônico, *drive-by-wire*, que elimina o cabo do acelerador, sendo substituído por um pedal, na qual através de um potenciômetro, atua no movimento da borboleta do veículo, esse acelerador eletrônico foi desenvolvido com o intuito de ter uma dirigibilidade mais suave, evitar os trancos nas acelerações e nas retomadas, assim reduzindo o consumo de combustível (SANTOS, GRANDINETTI, 2010).

Este trabalho analisa atuadores de aceleração utilizados de forma eletrônica. Atuador é um mecanismo utilizado para mover ou controlar um sistema. É operado por uma fonte de

energia, normalmente, corrente elétrica, fluido hidráulico ou pressão pneumática e a converte em movimentos mecânicos. Ele é utilizado por todos os veículos e o seu funcionamento é muito simples (ANJOS, 2011). Os atuadores hidráulicos são utilizados quando é necessário suportar quantidade de força, com um tempo de resposta rápido, possui muitas aplicações industriais, eles são basicamente usados para sistemas de posicionamento e controle de vibração (STRANO, TERSON, 2016). Os atuadores pneumáticos são largamente utilizados nas indústrias para manuseio e automação industrial, normalmente, esses atuadores são utilizados para tarefas de posicionamento (TWIEFEL, 2015). Atuadores elétricos, eletrônicos são equipamentos motorizados acoplados as válvulas, a fim de automatizar sua operação (BOSA, 2009).

A aceleração eletrônica, está substituindo a aceleração mecânica, funciona basicamente por um pedal de acelerador, que não é mecanicamente conectado ao controle do acelerador, como nos projetos mecânicos anteriores (aceleração mecânica). Na aceleração electrónica, o motor elétrico atua sobre a válvula, possibilitando alteração na taxa de aceleração, o controle eletrônico do motor permite um funcionamento mais eficiente do motor, por meio dos resultados eletrônicos do veículo, e uma vez detectado alguma falha no sensor da válvula, o automóvel passa a funcionar através de mecanismos mecânicos (DRAGE, KALINOWSKI, & BRÄUNL, 2014). O atuador do acelerador é um corpo de borboleta motorizada (MTB) conduzido e controlado eletricamente por um sistema eletrônico que media entre a ordem do motorista, que é interpretada pelo acelerador por meio do sensor de posição do pedal e as trações, atuando na dirigibilidade, segurança e limitação de emissões e restrições. Essa nova tecnologia não requer atuadores adicionais, uma vez que são substituídos pelo motor elétrico conduzindo a válvula de aceleração, alcançando melhorias visíveis em termos de confiabilidade, desempenho, custo, tamanho e peso (ROSSI, TILLI, & TONIELLI, 2000).

A aceleração eletrônica funciona através de um sistema chamado *drive-by-wire*, que consiste na aplicação de fios, para a substituição dos cabos convencionais que interligam o pedal do acelerador ao corpo do mesmo (STEWART, ZAVALA, & FLEMING, 2004), esse sistema gera comandos elétricos através do condutor, que é transferido para o computador que controla os atuadores eletromecânicos, porém ele não é completamente a prova de falhas, mas possui propriedades que são tolerantes a falhas (ISERMANN, SCHWARZ, & STÖLZL, 2002).

O estudo bibliográfico sobre atuadores de aceleração, que será realizado nesse trabalho, tem o intuito de ser utilizado em pesquisas para trabalhos e experimentos futuros.

1.1 Justificativa

A introdução de atuadores de aceleração possibilita o monitoramento da velocidade, a partir disso, confere mais segurança ao condutor e passageiro dos veículos, a introdução desse sistema no Baja permitirá observar o rendimento dos veículos e dará mais segurança ao condutor.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar e compreender o funcionamento dos atuadores de aceleração.

1.3 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivo específico ser utilizado como fonte de pesquisa para auxiliar na substituição da aceleração mecânica pela eletrônica do Baja da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os fabricantes das indústrias automobilísticas continuam a tirar vantagens das novas tecnologias, diversas funções dos veículos tendem a se tornar cada vez mais automáticas (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014). Além dessa automatização, os produtos estão se tornando menores em um ritmo acelerado devido a rápida evolução tecnológica (HATTORI, HARA, *et al.*, 2014).

De acordo com Stanton Marsden (1996), automação automobilística irá aumentar a segurança dos motoristas, pois dirigir é uma atividade extremamente estressante, consequentemente, para eles, a automação em alguma atividade correlacionada à condução, poderia trazer conforto e melhorar o bem estar do condutor. Outra consideração, abordada por eles, é que o erro humano é a maior causa de acidentes nas estradas, assim argumentam que se retirassem o elemento humano do controle total da condução, resultaria na diminuição de acidentes, e finalmente, a automação é economicamente favorável, pois irá melhorar a qualidade da produção dos veículos, resultando em mais vendas. Em relação a rápida diminuição dos equipamentos, um grande destaque entre eles é o atuador que é compacto, multifuncional e tem alto desempenho, é um dos equipamentos mais essenciais quando se necessita de algo funcional e pequeno (HATTORI, HARA, *et al.*, 2014).

Os automóveis modernos, que possuem melhor eficiência, redução na emissão de exaustão, são mais seguros ou mais confortáveis, estão frequentemente aumentando o número de sensores e atuadores, para ter o controle detalhado e supervisão de cada sub-processo do veículo (PFEUFER & HONING, 1995). Os atuadores estão sendo desenvolvidos com propriedades mais inteligentes, com a integração da microeletrônica (Isermann & Raab, 1993). Para Merrill e Lorenzo (1988), sistema de controle inteligente consiste naqueles que integram o conceito de controle tradicional com a capacidade de detectar falhas e enviar o prognóstico.

Atuadores transformam entradas elétricas em saídas mecânicas em relação à posição, força, ângulo e torque. Como o nível de energia da saída é muito elevando em consideração ao de entrada é necessária à utilização de um sistema suporte como eletricidade, pressão pneumática ou hidráulica (ISERMANN & RAAB, 1993).

Os atuadores eletrônicos são umas das atuais tendências da indústria automotiva, isso devido a sua alta confiabilidade, controlabilidade e eficiência energética. (TRIFA,

MARTINS, *et al.*, 2010). Eles desempenham uma importante função na indústria de automação moderna e no processo industrial (ZHANG, LI e FAN, 2013). Atuadores são mais utilizados para rotação e oscilação, esses possuem alta precisão para multipontos de posicionamento. Nos últimos anos, vêm crescendo a sua utilização para a remoção da condição linear (ZHANG e CAI, 2010).

O sistema elétrico é mais eficiente, possui baixa necessidade de manutenção, maior flexibilidade no *design* em geral, fácil interação entre o controle e monitoramento do sistema e assistência ao condutor (BERTOLUZZO, BOLOGNESI, *et al.*, 2004). Os atuadores elétricos estão presentes nos freios, direção e aceleração nos veículos mais modernos (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014).

2.1 Sistema de tolerância à falha

Os novos processos tecnológicos têm sofisticado o sistema de controle para manter a qualidade, e eficiência dos processos (CARBOT-ROJAS, ESCOBAR, *et al.*, 2015). O aumento da automação tornou os sistemas mais susceptíveis a falhas nos equipamentos, atuadores e controladores. As falhas podem ocorrer em qualquer local do veículo e alterar as características do sistema, ocasionando a instabilidade ou degradação (ZHOU, XU, *et al.*, 2014). Devido a isso, foi desenvolvido um sistema de tolerância à falha, que se constitui na utilização de um maior número de atuadores, pois se houver falha no atuador de controle, os outros podem assumir a função. Outra reação à falha é a mudança de operador, reconfiguração do controlador, quando é detectado algo errado (MUENCHHOF, BECK e ISERMANN, 2009) e (MHASKARA, MCFALLB, *et al.*, 2008). O sistema de tolerância à falha é protegido por dois sistemas, o de integridade e segurança. O sistema de integridade consiste na probabilidade do sistema está protegido para realizar satisfatoriamente a segurança requerida, sob todas as condições e dentro de um determinado tempo. O sistema de confiança é conseguido evitando, removendo, tolerando, detectando e diagnosticando as falhas (ISERMANN, SCHWARZ e STÖLZL, 2002).

A ideia fundamental do sistema de tolerância à falha é que os componentes individuais podem falhar, mas haverá medidas para limitar os efeitos causados na funcionalidade total do sistema (MUENCHHOF, BECK e ISERMANN, 2009).

Sistema de tolerância à falha “*Fault tolerant control systems*” (FTCS) é um sistema que possui a capacidade de adaptar os componentes que falharam automaticamente, eles são capazes de manter o sistema geral estável, e desempenhando a função aceitavelmente, no caso de alguma falha, portanto é um sistema que pode tolerar componentes defeituosos, e conseguem manter o desempenho desejável e propriedades estáveis, é chamado de sistema de tolerância à falha (Fazal, Liaquat, & Naz , 2015).

Tolerância à falha está relacionada com o sistema *drive-by-wire*, que são sistemas envolvidos na segurança, devido a isso, todos os aspectos de segurança, confiabilidade, facilidade de manutenção e eficácia precisam ser considerados, eles são de responsabilidade do fabricante e necessitam da aceitação dos clientes. Esse sistema precisa de toda essa segurança, pois eles são usados no desenvolvimento de procedimentos espaciais, militares, sistema nuclear e na aeronáutica (ISERMANN, SCHWARZ e STÖLZL, 2002).

2.2 *Drive-by-wire*

O sistema *drive-by-wire* é similar ao *fly-by-wire*, esse o computador interpreta o comando do piloto, por meio de vários sensores e então realiza a tarefa desejada (SHARON, 1983). Na indústria automobilística, essa tecnologia é usada para substituir os sistemas de controle mecânico e hidráulico tradicionais, por sistemas eletrônicos específicos, que possui controle sobre diversas operações nos veículos, como aceleração, freios e direção. Existem alguns tipos diferentes de sistema *DBW*, dependendo de qual componente mecânico se deseja substituir, *brake-by-wire*, atua nos freios, *steer-by-wire*, na direção, *throttle-by-wire*, na aceleração. Em todos esses tipos de sistema *by-wire*, os componentes tipicamente mecânicos e hidráulicos são substituídos por sensores que coletam informações, transferindo-as para o computador que transfere energia elétrica em movimento mecânico (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014) e (GIL , DÍAZ, *et al.*, 2013).

De acordo com Gil, Díaz, Ciuarritz e Echeverría (2013), essa tecnologia apresenta muitas vantagens, como aumentar a segurança através da intervenção do controle computadorizado nos veículos, além da eliminação da coluna de direção, que em caso de acidente, poderia colidir com o motorista, causando ferimentos ou morte. Analisando ergonomicamente, há uma melhora para o motorista, pois diminui a força necessária para controlar o sistema e há uma redução no preço da manutenção e no peso do veículo, pois o

número de componentes dos veículos é, significativamente, reduzido e o *design* é simplificado. Os atuadores desempenham diversas funções automobilísticas, eles estão presentes na direção, freios e aceleração (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014).

2.3 *Steer-by-wire*

Sistema *steer-by-wire* (SBW), o tradicional sistema mecânico e hidráulico, que interliga a direção e o volante, é substituído por atuadores eletrônicos e equipamentos com interface humana, este sistema não apenas reduz o peso, barulho, vibração e consumo de energia, mas também aumenta a liberdade do motorista sincronizar o comando de direção, de tal modo que a estabilidade e a capacidade de manobra do veículo são melhoradas. Por fim, um motor de retorno é acoplado ao volante e proporciona ao condutor do veículo respostas sobre interação entre as rodas e a superfície da estrada (SUN, ZHENG, *et al.*, 2016).

Esse sistema não possui coluna de direção, o que oferece muitas vantagens ao sistema de direção dos veículos, maior flexibilidade para posicionar o volante e maior aproveitamento do compartimento mecânico, que torna a montagem do veículo mais fácil (MOUSAVINEJAD, ZHU e VLACIC, 2015).

O SBW, sistema de direção, permite que os comandos do volante sejam transmitidos na forma de sinais elétricos para as rodas (MOGI, SUGAI, *et al.*, 2011), segundo Drage, Kalinowski e Braünl (2014), esse sistema ainda não foi completamente implementado, pois judicialmente ainda é exigido um sistema mecânico, para que seja possível controlar a direção em caso de falhas do sistema eletrônico. Esse sistema ajudar a melhorar o desempenho de controle e segurança do veículo, além de aumentar a liberdade do *design*, tornando-se uma promessa para as próximas gerações dos automóveis (MOGI, SUGAI, *et al.*, 2011).

De acordo com Yih (2005), o sistema *steer-bywire*, permite que um computador analise informações fornecidas por múltiplos sensores e intervém evitando manobras potencialmente perigosas, reduzindo a velocidade ou freando rodas individuais. Esses sistemas são motivados pela segurança. O sistema SBW, introduz um veículo que apresenta melhor desempenho e segurança.

Neste sistema, que é uma parte do sistema *DBW*, a interface convencional mecânica, entre o volante e as rodas dianteiras, é substituída por um sistema eletrônico composto por atuadores, essa substituição proporciona a eliminação de partes, tais como a caixa de engrenagens, bomba hidráulica e coluna de direção, proporciona vantagens como diminuição do ruído e vibração, redução do peso do veículo, diminuição da energia, e a remoção do uso de fluidos hidráulicos que são perigosos para o meio ambiente (TAVOOSI, KAZEMI e HOSSEINI, 2014).

Existem várias funções que são requeridas no sistema *SBW*. A sincronização, entre os pneus e a controle de direção, é um requerimento básico para veículos com sistema de direção, inclusive para o sistema *SBW*. É exigido que as rodas sigam os comandos do volante guiado pelo motorista, e os comandos de entrada do sistema de controle de acordo com a dinâmica do veículo, as rodas devem manter a sincronização com a direção, sem atrasos (YIH, 2005).

A sensação de direção ajustável, também é um requisito, essa sensação fornece informações sobre o torque (ou força) na superfície de contato entre a estrada e o pneu do veículo, ela varia de acordo com a estrada. O condutor depende da direção do veículo para sentir a força ou torque do pneu na estrada, para assim, manter o controle do automóvel, esse torque do volante é enviado através do torque do pneu. Essa sensação de direção se tornou um dos mais importantes atributos do veículo para manter estabilidade e controle (TAVOOSI, KAZEMI e HOSSEINI, 2014).

Capacidade de retorno da direção, a direção deve retornar automaticamente ao centro ou a algum ângulo pré-definido, se as mãos do condutor deixarem a direção do veículo, a taxa de retorno do volante pode ser ajustada de acordo com a velocidade. A variável da direção é a relação entre o ângulo do volante e o ângulo da roda na estrada, nos volantes que possuem o sistema convencional, essa relação é de dezesseis para um, essa proporção permite uma melhoria na manipulação, no desempenho e na dinâmica do veículo, ela pode ser em função, da velocidade, do ângulo do volante entre outras (TAVOOSI, KAZEMI e HOSSEINI, 2014).

Um grande benefício do sistema *SBW* é direção ativa, que é a capacidade do condutor mudar a direção de entrada, melhorando a estabilidade e manobrabilidade do veículo. Devido a isso os institutos de pesquisa e indústrias automotivas dedicam considerável atenção aos benefícios em potencial do *SBW*, principalmente para melhorar o manuseamento do veículo,

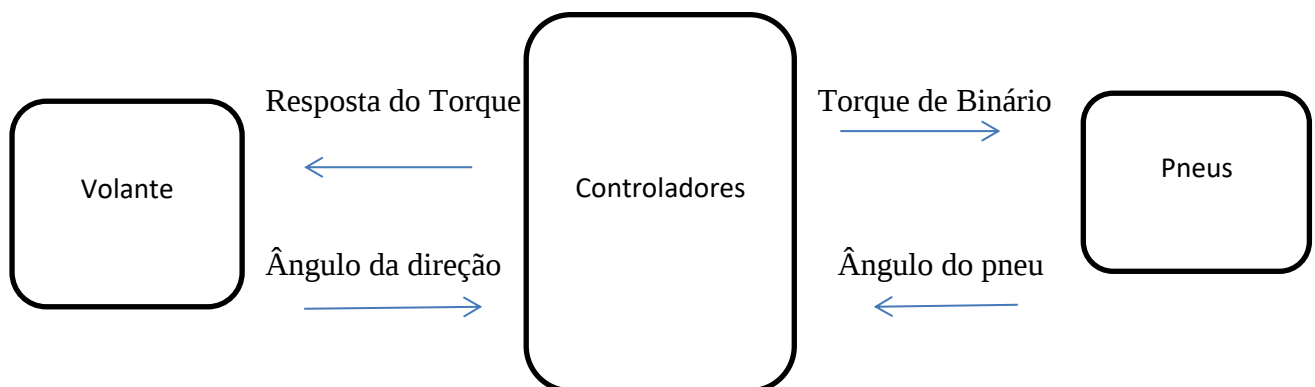
um grande número de estudos foram realizados em controle de estabilidade e manipulação de veículos automotivos usando a arquitetura do sistema SBW (TAVOOSI, KAZEMI e HOSSEINI, 2014).

Têm sido realizadas muitas pesquisas no sistema SBW, pelas indústrias automotivas e várias estratégias de controle estão sendo utilizadas para melhorar as características da direção. Foi formalizado o proporcional derivativo (*proportional-derivative*), PD, que consiste em um método proposto para permitir que as rodas dianteiras sigam os comandos do volante, e um controle adaptativo foi desenvolvido para controlar os atuadores dos pneus dianteiros, através da estimativa da dureza das rodas nas curvas (MOUSAVINEJAD, ZHU e VLACIC, 2015).

Como já relatado neste trabalho, uma falha de qualquer natureza no sistema SBW, seria catastrófica para o condutor do veículo, assim segundo Gadda, Laws e Guerds (2007), é importante à existência de um sistema de diagnóstico, que recolhe as informações residuais, e as analisa detectando e isolando alguma falha existente, esse sistema é bastante comum no *fly-by-wire*, para aviões, que é dependente de sensores para a captação das informações residuais, o objetivo de muitos estudos do SBW é propor que o sistema do veículo automotivo se baseie no mesmo princípio de segurança dos aviões.

O sistema SBW é composto por três blocos principais: os controladores, os pneus e o volante (direção). No volante, são necessários tipos de sensores para o condutor conseguir o ângulo e aplicar o torque, ainda é necessário um atuador de resposta, para que o motorista consiga sentir o desenvolvimento dos pneus em determinado tipo de estrada, como é mostrado na Figura 1 (CHAABAN, LESERF e SAUDRAIS, 2009).

Figura1- Esquematização do Steer-by-wire



Fonte: Adaptação Chaaban, Leserf e Saudrais, 2009.

2.4 Brake-by-wire

O freio do veículo, em casos de emergência, é muito importante para prevenir acidentes, por isso são necessárias respostas rápidas e confiáveis do sistema de freio, assim foi desenvolvido o sistema *brake-by-wire* (BBW) (SHANAKA, ABEYSIRIWARDHANA, *et al.*, 2014).

O BBW é constituído de atuadores eletromecânicos e redes de comunicação, em vez da hidráulica ou eletro hidráulica convencional, a força de frenagem é iniciada pelo condutor, e são aplicadas no atuador eletrônico conectado as quatro rodas do veículo (SINHA, 2011).

Esse sistema foi proposto pelos Estados Unidos em 1979, a ideia foi testada e concluída com êxito, em um avião A10 *attack*, em laboratório. Para eles o sistema BBW, apresenta muitas vantagens em especial os aspectos a seguir (LI, CHANG e GONG, 2015):

- 1- Uma excelente capacidade de expandir, o ABS (*Anti-lock Breaking System*), ASR (*Anti-Slip Regulation*), VSC (*Vehicle Stable Control*) podem ser facilmente integrado ao sistema BBW, isso torna mais fácil a combinação das funções de frenagem regenerativa em veículos elétricos, O BBW melhora a controlabilidade e desempenho do veículo.
- 2- Uma excelente capacidade de portabilidade, o mesmo tipo do sistema BBW pode ser facilmente adaptado a diferentes plataformas de veículos, portanto, ele economiza tempo na montagem dos veículos, uma vez que possui essa fácil adaptação.

O sistema *BBW*, controla a frenagem do veículo através de vários sensores, como os de efeito Hall, que permitem a conversão do deslocamento do freio em um sinal eletrônico, suas aplicações comerciais reduzem o esforço necessário para realizar a frenagem (COOMBS, LII e STURM, 2005). O desenvolvimento do sistema mecânico para motor e o trem de direção foi proposto, paralelamente, à assistência elétrica de direção e funções de frenagem, como o ABS (ISERMANN, SCHWARZ e STÖLZL, 2002). O sistema de controle eletrônico é usado para elevar o desempenho de frenagem e fatores como velocidade das rodas que podem ser medidas por sensores e vários métodos de controle podem ser desenvolvidos, como programas de estabilidade eletrônica, os ABS e novos controles de algoritmos (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014).

O sistema *by-wire* possui vantagens em relação à fabricação e ao *design*, no caso do *BBW*, há fios conectados a micro controladores, interligando o pedal do freio aos pneus, facilitando e aumentando a velocidade da montagem do veículo (BRETZ, 2001). Dois exemplos importantes de *BBW* são os sistemas *Electro-Hydraulic Brake* (EHB), elétrico e hidráulico, *Electro-Mechanical Brake* (EMB), elétrico e mecânico, este último já é muito produzido e disponível no mercado, a Toyota Prius utiliza esse sistema (BOERBOOM, 2012).

No caso do EHB, as forças entre pedal do freio e as rodas do veículo são aplicadas hidraulicamente, esse sistema é o primeiro estágio para um sistema *BBW* completo, que é, frequentemente, chamado de freio eletromecânico, ele previne falhas no caso de haver alguma paralisação no sistema elétrico, ele é composto de sensores que controlam as rodas, ângulo da direção e acelerador (BOERBOOM, 2012).

O EMB é considerado o verdadeiro sistema *BBW*, também chamado de sistema de freio seco, uma vez que não utiliza componentes hidráulicos, ele é montado completamente em conjunto, o que o torna bastante resistente ao choque, apesar de aumentar o peso do veículo, ainda é considerado reduzido comparando aos de outros sistemas, devido à utilização de um complexo hardware (BOERBOOM, 2012).

Os principais componentes do EMB são os atuadores das quatro rodas e a unidade de controle associadas. Para freios de disco, a função desses componentes é serem pressionados contra estes no momento da frenagem. A informação sobre o tempo e força da frenagem é extraída da caixa de pedal do freio (XIANG, RICHARDSON, *et al.*, 2008).

A resistência sobre o pedal do freio continua a ser sentida pelo condutor, e no caso de uma falha na unidade de controle, o sistema eletrônico é desativado, operando através do sistema hidráulico que permite que forças hidráulicas sejam ativadas para comandar os freios (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014). A intenção de substituir o sistema de freio hidráulico pelo elétrico consiste em substituir comandos enviados através de fios, neste sistema, a força de frenagem é gerada diretamente em cada roda, enquanto que para o sistema elétrico, a frenagem ocorre através sinais eletrônicos, conectados aos pedais, que incluem quatro atuadores de freio (TRIFA, MARTIS, BIRO, & SURDU, 2010).

Para Trifa, Martins, Biro e Surdu (2010), devem ser considerados alguns aspectos em relação ao sistema *BBW*, confiabilidade, desempenho, comportamento térmico e acústico, eficiência energética e o custo para a utilização.

Existem várias razões para preferir a utilização do sistema *BBW*, quando comparado ao sistema hidráulico, ele possui funções de assistência, como sistemas antibloqueios e assistência dos freios eletrônicos (BRUCE, 2002).

A estabilidade do veículo é realizada utilizando *software* e sensores, a interface elétrica permite uma fácil adaptação dos sistemas de assistência, redução no número de peças utilizadas, resultando na diminuição do peso do veículo, não sendo necessário o uso de fluidos, sendo ecológico e de fácil manutenção, não há ligação mecânica entre os componentes do freio e o compartimento do motor, ocasionando uma melhora na segurança passiva, não há peças que possam danificar o condutor em caso de colisão, redução nos custos de montagem e produção, fácil ajuste no sistema de freio, a relação entre força e posição do pedal pode ser ajustado com o valor desejável, não há vibrações ou ruído, é mais fácil sua instalação, o desgaste dos freios são minimizados e, em caso de reboque, os freios responderiam simultaneamente em ambos os transportes (BRUCE, 2002).

Embora o sistema *BBW* prometa eficiência, a segurança e confiabilidade é uma das maiores preocupações da indústria automobilística, assim elas exigem um sistema que tenha uma arquitetura a prova de falha, tolerância à falha. Para aumentar a segurança, o sistema exige uma maior quantidade de energia, sensores, atuadores, no processamento de informações de entrada, que tem a capacidade de detectar erros e gerenciar as falhas (XIANG, RICHARDSON, *et al.*, 2008).

De acordo com Li, Chang e Gang (2015), existem muitas empresas que desenvolveram diferentes tipos de freios com sistema *BBW*, entre elas estão as companhias BOSCH, Siemens e Delphi, que patentearam suas inovações. A BOSCH, primeiro apresentou um freio elétrico-hidráulico com sistema controle de freio por sensores (SBC- *Sensor electronic Brake Control*) que é uma forma do sistema *BBW*.

A Delphi desenvolveu um freio eletromecânico (EMB), que possui parafusos e engrenagens mecânicas para aplicar a força (DRENNEN, SILER e WAAG, 2005). A ESTOP GmbH desenvolveu um sistema semelhante ao da Delphi, mas com auto impulsão e variação do ângulo. A Siemens combinou os tipos já mencionados. Em 2001, a Toyota Estima Hybrid, foi a primeira a aplicar o sistema EMB e usou o sistema da BOSCH (LI, CHANG e GONG, 2015).

2.5 Throttle-by-wire

Durante as últimas décadas, foram desenvolvidos diversos sistemas de teleoperação para permitir que operadores humanos realizem tarefas em ambientes remotos ou perigosos. Esses sistemas são aplicados em circunstâncias diferentes como em submarinos, usinas nucleares, operações cirúrgicas e em automóveis, estão ligados a direção, aceleração e freios (PAN, CANUDAS-DE-WIT e SENAME, 2006).

Nos anos de 1980, grande parte dos carros possuía conexões hidráulicas, mecânicas e pneumáticas (como cabo da válvula de aceleração, coluna da direção, freio hidráulicos entre outros) essas conexões atuavam entre a ordem do condutor e o atuador. Desde então, inúmeros produtos utilizam atuadores e programação computacional para substituir os cabos, e estão sendo introduzidos ao sistema automobilístico, estes são os *x-by-wire*, nesse sistema há o *TBW* (válvula de controle eletrônico), utilizada para controlar a velocidade do veículo, a válvula de aceleração acionada por cabos foi substituída por componentes de controle eletrônico (GÁSPÁR, SZALAY e ARADI, 2014).

A mudança de velocidade é ocasionada pela angulação da válvula de aceleração no motor de combustão. Esta angulação é de fato a abertura da placa da válvula pela qual permite que o ar entre fazendo com que ocorra a combustão, ocasionando o crescimento do torque do motor, este por sua vez tem ação direta sobre a velocidade do veículo. Nos motores convencionais, a válvula é conectada diretamente ao acelerador através de fios, assim a placa da válvula é controlada pelo condutor. Nessa situação, o motor do veículo não é considerado para determinar a angulação da placa da válvula, afetando a eficiência do automóvel. Atualmente, a tendência automotiva é usar do auxílio eletrônico para controlar a válvula (DAGCI, PAN e OZGUNER, 2002).

Nos veículos automotivos, os motores funcionam por meio do ar que entra através da válvula de admissão, para estes, a energia gerada depende fortemente da posição angular da válvula. Nos sistemas tradicionais, a interligação, entre a válvula e o pedal do acelerador, é mecânica e é controlada pelo condutor. Começaram a introduzir atuadores para automatizar o sistema, o atuador, controla a velocidade da marcha lenta e a liberação, que consiste no desvio da válvula de aceleração que é regulada por meio de um passo do motor, este é um tipo de atuador de aceleração. Nos últimos anos, a crescente necessidade sobre uma melhor

dirigibilidade, redução das emissões, aumento do controle e segurança, estimularam o desenvolvimento do sistema *DBW* (ROSSI, TILLI e TONIELLI, 2000).

Este sistema *DBW*, como já discutido nesse trabalho, está presente em diversas partes do carro, no setor da aceleração, temos o *TBW*, que de acordo com Drake, Kalinowski e Braün (2014), o sistema funciona por um método similar ao do *BBW*, onde um sensor emite uma tensão proporcional à força que o condutor aplica no pedal do acelerador, assim quando o pedal é pressionado, uma resposta é enviada para o controle do acelerador que nesse sistema não é mecanicamente ligado ao acelerador.

O sistema *TBW* tem como sua principal parte *eletronic throttle body* (ETC), que é um dispositivo mecatrônico, cuja função consiste na regulação da massa de ar introduzida no motor de combustão interna, assim desempenhando um papel fundamental na regulação do motor e emissões de poluente, essas são variáveis importantes do motor que precisam ser controladas, para atender o desempenho exigido pelos condutores, no quesito de dirigibilidade e atender as restrições de emissão imposta por órgãos ambientais (MONTANARO, GAETA e GIGLIO, 2014).

A arquitetura do sistema *DBW* não requer qualquer ligação mecânica entre o pedal do acelerador e a válvula de aceleração, o motor elétrico age sobre a válvula permitindo um funcionamento mais eficiente utilizando o sistema de controle eletrônico, essa nova arquitetura não necessita de ar adicional, pois usam atuadores, essa substituição permite melhorias visíveis em termos de confiabilidade, desempenho, custo, tamanho e peso (DRAGE, KALINOWSKI e BRÄUNL, 2014) e (ROSSI, TILLI e TONIELLI, 2000).

A relação, entre a angulação da válvula e o pedal de aceleração, é controlada pelo sistema *TBW*, como já dito anteriormente, a posição da placa de referência controla a ordem do condutor (no pedal de aceleração) e os efeitos da tração, dirigibilidade, segurança e controle de emissões (MONTANARO, GAETA e GIGLIO, 2014). No típico sistema de controle eletrônico da válvula de aceleração (ETC), a deflexão do ângulo é controlada pelo motor em concordância com as instruções dadas pelo *Electronic Control Unit* (ECU) (WEI-KANG, XIAO-YIN e JIAN-QIU, 2012).

A substituição da válvula mecânica pela eletrônica tem dois objetivos principais: o primeiro é desengatar a ligação mecânica entre o pedal do acelerador e a válvula de aceleração, pois em um veículo mecânico, a ordem de aceleração vem do pedal do acelerador

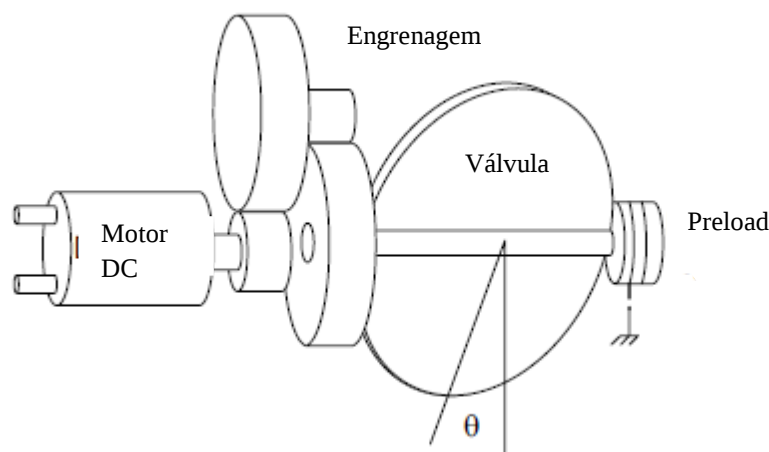
ligado por cabos, enquanto no veículo elétrico, é essa ordem não deve ser direcionada diretamente para o motor, antes, eles passam por um sistema de controle de energia (EMS- *Energy Management System*). O segundo objetivo é incorporar TBW permitindo o controle eletrônico do sistema de aceleração do motor, de modo que o sinal de EMS possa controlar o acelerador (ZULKIFLI, ASIRVADAM, *et al.*, 2014).

O uso da válvula de aceleração eletrônica, em vez do uso clássico do acelerador mecânico, ocasiona um melhor controle da válvula, consumo de combustível mais eficiente, um maior controle de tração e melhoramento do sistema de controle dinâmico do veículo por meio do controle do torque do motor de ação (VASAK, PETROVIC e PERIC, 2003).

O acelerador eletrônico tem sido amplamente reconhecido por ser uma solução bastante eficaz para inúmeros problemas no controle da circulação de ar nos motores automotivos, esse reconhecimento é devido às inúmeras vantagens que apresentam em vista sobre os sistemas mecânicos convencionais (MA, SHAO e YURKOVICH, 2005).

A Figura 2 mostra a configuração típica do sistema ETB, o sistema eletrônico é mais complicado que o mecânico, devido a inúmeros fatores como o custo da produção, a segurança e as restrições do empacotamento do sistema (MA, SHAO e YURKOVICH, 2005).

Figura 2 - Esquematização da válvula de aceleração



Fonte: Adaptação Ma, Shao e Yurkovich, 2005.

O controle eletrônico da válvula de aceleração (ETC – *Electronic Throttle Control*) foi o primeiro desenvolvimento do sistema *x-by-wire*, que substituiu as conexões mecânicas. O uso do sistema ETC tornou-se um padrão para o sistema do veículo permitindo um controle

mais avançado das ações dos automóveis. Atualmente, o acelerador, proveniente do sistema *DBW*, tornou-se padrão nos veículos mais modernos (GÁSPÁR, SZALAY e ARADI, 2014).

Desde o começo, atuadores e sensores desempenham um importante papel no sistema de controle de automação. Eles devem operar com precisão e funcionar de forma confiável, pois influenciam diretamente na atuação do sistema de controle. Em diversas situações, os atuadores manipulam o fluxo de energia, fluxo de massa ou as forças que atuam com baixa entrada de energia, como tensões elétricas, correntes, forças pneumáticas e pressões hidráulicas. Os atuadores, geralmente, são submetidos a muitos desgastes e envelhecimento devido a continua mudança da amplificação e potência dos componentes básicos, estes consistem em válvulas ou interruptores, amplificadores elétricos, hidráulicos e pneumáticos, acarretando a diminuição gradual do seu desempenho e a possibilidade do surgimento de falhas (Isermann & Raab, 1993).

Atuadores, em geral, possuem uma grande influência na dinâmica do veículo, a válvula de aceleração permite controlar o toque sem tocar o pedal, que controla a entrada de ar para o cilindro, o *SBW* permite a autonomia da direção do veículo, já o *BBW* permite distribuir a força do freio sem a necessidade do pedal, devido a sua extrema importância e o seu grande desgaste, é necessário tomar os devidos cuidados para evitar o surgimento de falhas no desempenho dos veículos, e quando estas surgirem, é preciso trocar os atuadores com urgência para evitar acidentes (GÁSPÁR, SZALAY e ARADI, 2014).

O controle eletrônico da válvula de aceleração (ETC) ocorre através do dispositivo que controla a entrada da massa de ar no cilindro do veículo. O desempenho do ETC é determinado pela resposta do torque do motor e precisão em relação ao ar. O mercado da válvula de aceleração eletrônica está se tornando popular devido à necessidade de controlar o torque do motor e a taxa de combustível e o ETC auxiliam no controle da injeção eletrônica. O ETC é controlado de modo, que o torque do motor, segue o valor já determinado. Nesse sistema, dois atrasos são detectados, desde que o sinal de controle é enviado para o ETC e até que haja a resposta no automóvel (AONO e KOWATARI, 2001).

O primeiro atraso ocorre quando o ETC responde ao controle do sinal, já o segundo ocorre quando a válvula, entre o ETC e o cilindro, é preenchida com ar e este é introduzido no cilindro do motor, na mesma proporção que a pressão do coletor também chamado de tubo de distribuição. O segundo atraso é chamado de atraso de enchimento do coletor (tubo de distribuição). O torque do motor é proporcional a quantidade de ar que entra no cilindro, o

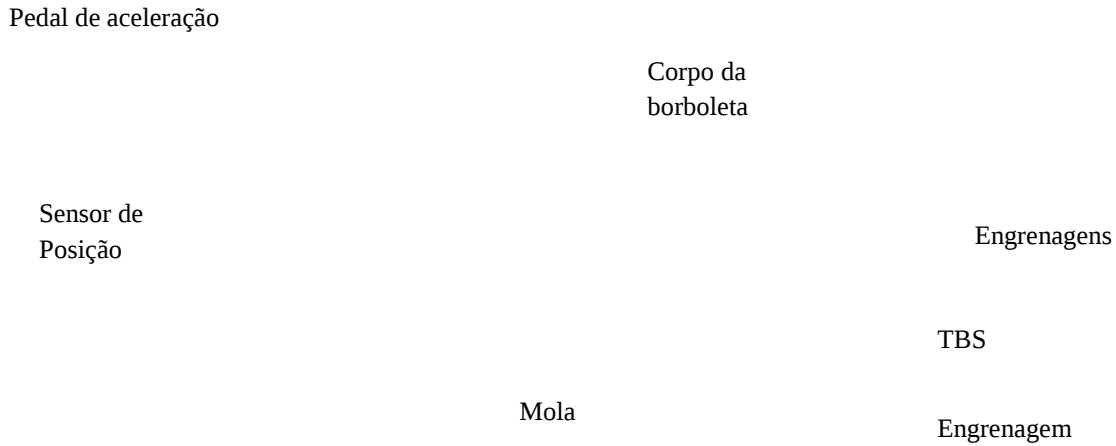
tempo de atraso do primeiro é cerca de dez milésimos de segundo enquanto o do segundo é por volta de cem milésimos de segundos (AONO e KOWATARI, 2001).

Portanto, desenvolvimento do ETC para amenizar os atrasos, em relação às respostas, não seria realmente eficiente, pois não melhoraria a resposta do torque do motor, sem compensar o segundo atraso. A compensação, para o segundo atraso, (coletor) tem sido analisada antes mesmo de desenvolver a válvula de aceleração eletrônica, entretanto as características de resposta do ETC, e o movimento do ângulo do disco da válvula, junto com os altos e baixos sinais de controle, não foram considerados suficientes para aperfeiçoar a resposta total do torque do motor (AONO e KOWATARI, 2001).

A válvula de aceleração eletrônica consiste em um motor DC, que nada mais é do que um motor de corrente contínua, um conjunto de engrenagens, uma válvula, um sensor de posição e duas molas de retorno. Na Figura 3, há uma esquematização no funcionamento, quando o pedal do acelerador está pressionado, o movimento deste é medido por um sensor do tipo potenciômetro e é transformado em um sinal de tensão.

Ao mesmo tempo o sensor de posição do acelerador irá também provocar uma abertura da válvula, enviando outra tensão, ambas as tensões são enviadas para o ECU no mesmo momento. O sinal de controle do ECU é uma tensão que corresponde à rotação. O movimento de rotação é transferido do eixo do motor para a válvula por meio da engrenagem para manter a abertura da válvula de aceleração (JIAO e SHEN, 2012).

Figura 3 - Esquemática do sistema da válvula de aceleração



Fonte: Adaptação Jiao e Shen, 2012.

Esses atuadores inteligentes são responsáveis por um domínio particular no controle da dinâmica do veículo, cada um de acordo com suas características, alguns controlam o movimento do veículo inteiro, este é organizado pelo controlador de motorização que separa e distribui as tarefas complexas do automóvel, para o cumprimento pré-definido das atividades (GÁSPÁR, SZALAY e ARADI, 2014).

Nos veículos convencionais, o pedal do acelerador é conectado mecanicamente à placa reguladora de pressão, porém como já abordado, esse sistema mecânico está sendo substituído nos veículos modernos por um regulador de pressão eletrônica, onde a ligação entre o pedal do acelerador e o regulador de pressão é realizada através do motor DC como ilustrado na Figura (PAVKOVIC, DEURA, *et al.*, 2005).

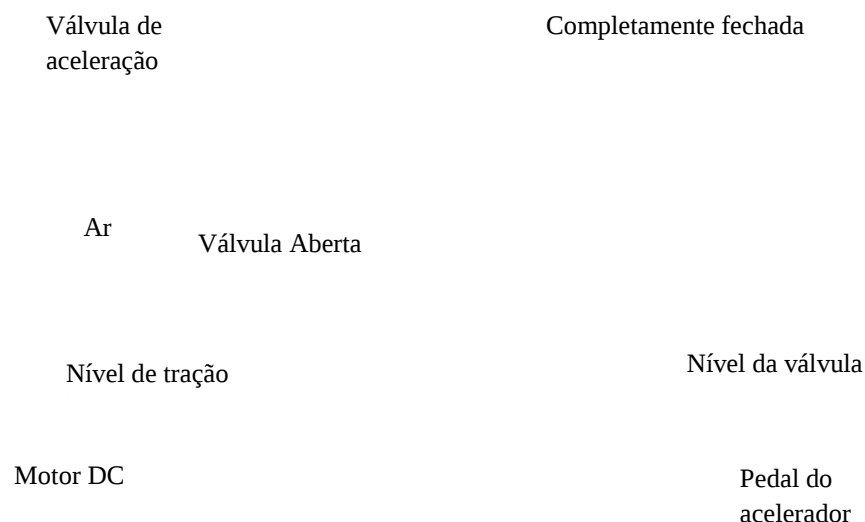
De acordo com Huber, Liebenroth-Leden, Maish e Reppich (1991), a unidade de controle do motor consegue corrigir o valor referente à posição da válvula de aceleração e o modo de operação do motor, resultando em uma melhor dirigibilidade, economia de combustível, diminuição de emissões, assim como um melhor controle na dinâmica do veículo, incluindo o controle de tração.

Esses recentes avanços no controle e tecnologia eletrônica permitiram que a válvula de aceleração fosse operada através de atuadores elétricos e sistema de controle. Algumas das

aplicações relacionadas a essas novas tecnologias é o sistema de controle de tração (SCT), sistema de controle de *cruise* e o sistema *Drive-by-wire* (DBW). A válvula de aceleração pode ser operada pelo sistema de controle eletrônico em vez da operação manual do condutor (PAVKOVIC, DEURA, *et al.*, 2005).

O sistema de controle de tração do veículo pode atuar em conjunto com a válvula de aceleração, pois muitos automóveis utilizam esse sistema de segurança para melhorar o desempenho de aceleração e a estabilidade, principalmente, em rodovias com pouco atrito. Quando o automóvel está em estradas com baixo atrito, como nos casos de neve, há um deslizamento excessivo entre a estrada e a roda, isto dificulta o movimento do veículo, esse deslizamento está relacionado com a abertura da válvula de aceleração, uma vez que esse sistema passa a atuar através de atuadores de aceleração, esses controlam com mais precisão a entrada de ar para a realização da combustão ocasionando um melhoramento na estabilidade do veículo assim com uma maior segurança para os condutores e passageiros dos veículos, porém é necessário que o atuador reaja rapidamente e com precisão para permitir que o veículo recupere sua estabilidade, a interligação entre os sistemas *DBW* e *cruise* também são muito importantes para controlar o posicionamento preciso e rápido da válvula de aceleração (SONG e BYUN, 1999).

Figura 4 - Operação do sistema de atuador de aceleração



Fonte: Adaptação Song e Byun, 1999.

Durante a operação normal, a válvula da borboleta gira de acordo com o pedal do acelerador controlado pelo condutor do veículo, a válvula é conectada ao acelerador mecanicamente. Quando a função TPS está ativada, a válvula de aceleração é girada por meio do atuador de aceleração e de acordo com o comando do controlador TPS, independente da interação do motorista (SONG e BYUN, 1999).

O Sistema *TBW* é composto por diversos componentes, um dos componentes é o corpo da válvula de aceleração que é o centro do sistema *TBW*, em um equipamento eletromecânico, a válvula da borboleta é acionada por uma mola. Outro componente é o motor DC responsável pela regulação do fluxo da potência entre o motor e a válvula de aceleração, e *throttle controller* (TC) controla a posição da válvula de aceleração, e o último componente *throttle position control system* (TPS) citado anteriormente (ZULKIFLI, ASIRVADAM, *et al.*, 2014).

Figura 5 - Válvula de aceleração



Fonte: Adaptação Zulkifli, Asirvadam, *et al.*, 2014.

O motor DC (*direct current*), da Figura 5, é um motor de corrente direta, um dispositivo utilizado em diversas indústrias com o objetivo de converter energia elétrica em energia mecânica, essa característica é bastante aproveitada pelas indústrias automobilísticas, para controlar a velocidade do veículo, na ausência desse motor, torna-se complicado manter constante a velocidade desejada. Este motor desempenha um papel significativo na indústria moderna, sua finalidade é controlar a velocidade por meio de um sinal que representa a

velocidade exigida, existem inúmeras aplicações onde esse motor é requerido: elevadores, sistema de transmissão e sistema de transito são alguns exemplos (AWANG, 2010).

A válvula de aceleração é responsável pelo controle interno dos fluidos compressíveis e não compressíveis, e são comumente usados nas indústrias, ele consiste um disco de metal formado em torno de um eixo de abertura, a Figura 4 exemplifica detalhadamente os componentes da válvula de aceleração, o ângulo varia de 0 a 90 graus e permite os fluidos passarem através da abertura da válvula (TORO, JOHNSON e SPALL, 2015).

O TPS é o sensor de posição da válvula da borboleta, ele tem uma grande importância na aceleração do carro, pois através da angulação da válvula, permite que o fluido do ar atravesse a abertura que o TPS controla, preparando assim para a combustão e consequentemente aceleração do veículo (TECHNOLOGIES, 2008).

2.6 Atuadores de aceleração

A Bosch apresenta uma evolução no sistema de aceleração de diferentes marcas automobilísticas, sistema de abastecimento, data de lançamento e encerramento da produção e aplicação.

Como o objetivo deste trabalho é estudar um atuador que possa ser implantado no Baja da UFERSA de Caraúbas, iremos começar o estudo retrospectivo dos atuadores para assim indicar o mais simples que supra as necessidades do veículo estudado.

O modelo 0 280 140 505 foi desenvolvido para a Kia, Hyundai, Ferrari e Alfa Romeo, o seu uso nos veículos varia de 1990 a 2004, variando a marca e o modelo do veículo, para todas as marcas o automóvel funcionava a gasolina, no mesmo ano de lançamento deste modelo, houve o lançamento dos 0 280 140 529, que foi desenvolvido apenas para a BMW, seu uso varia de 1990 a 1994. Os modelos são ilustrados na Figura 6 (BOSCH, 2014).

Figura 6 - (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 505 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 529



(A)

(B)

Fonte : Bosch, 2014.

O modelo 0 280 140 512 foi desenvolvido para o Audi e Volkswagen, todos os veículos de ambas as marcas funcionavam a gasolina, esse atuador foi utilizado entre 1991 e 1997, em diferentes modelos das duas marcas, a Figura 7 mostra o modelo (BOSCH, 2014).

Figura 7 - Atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 512

Fonte: Bosch, 2014.

Em 1991, também foram desenvolvidos os modelos 0 280 140 516 e 0 280 140 542, o primeiro foi criado para a Alfa Romeo, Chevrolet, Fiat, Volvo e Volkswagen, para esse atuador já começa a ser introduzido o combustível álcool, para um modelo da Chevrolet e outro da Volkswagen. O segundo modelo de atuador foi desenvolvido apenas para a Volvo e usando em alguns modelos todos funcionando através da gasolina, este foi utilizado até os anos de 2002, em alguns modelos de carro. O modelo 0 280 140 516 parou de ser utilizada em 2005, a Figura 8 apresenta os modelos descritos.

Figura 8 – (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 516 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 542.



(A)



(B)

Fonte: Bosch, 2014.

Nos anos de 1992, o modelo 0 280 140 537 foi desenvolvido para a Peugeot e Citroen, e para BMW foi desenvolvido o modelo 0 280 140 545, a Volkswagen começou a utilizar o modelo 0 280 140 559 em alguns veículos. Todos os modelos utilizavam apenas gasolina como combustível, o primeiro modelo parou de ser desenvolvido em 2002, o segundo em 2006 e o último em 1998. A Figura 9 ilustra os três modelos descritos acima.

Figura 9 – (A) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 537 (B) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 545 (C) atuador de aceleração/marcha lenta modelo 0 280 140 559.



(A)



(B)



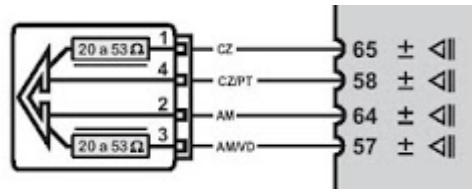
(C)

Fonte: Bosch, 2014.

Quando se trata de atuadores de marcha lenta, estes dependem do modelo do carro, marca, motor e combustível, a seguir é apresentada uma parte do esquema elétrico de diversos veículos para assim ser possível analisar os atuadores.

No Fiat Fiorentino e Uno 1.3, 0,8V ,ano 2003 a 2005, o esquema elétrico descreve o atuador de marcha lenta aperando entre 20 e 53 omhs, como é ilustrado na Figura 10:

Figura 10 – Atuador marcha lenta Fiorentino e Uno



Fonte : Dicatec

Os números contidos à direita da Figura 10 são os pinos de ligação do sistema elétrico.

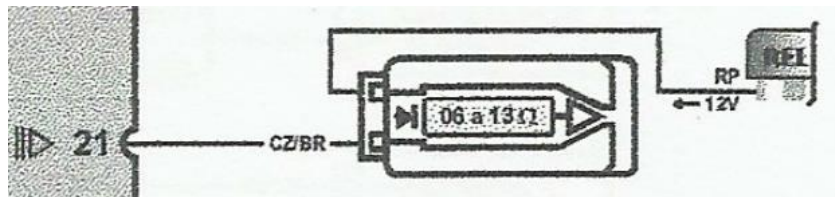
Para os modelos Ford Endura, 1.0 e 1.3, 16V, MPFI, ano 1996 a 1999, e o modelo Zetec, 1.4, 16V, MPFI, ano 1996 a 1999, o esquema elétrico descreve o atuador operando entre 50 a 120 ohms como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Atuador marcha lenta Endura e Zetec

Fonte : Dicatec

Para o modelo F1000, da Ford, 4.9i, ano 1995 a 1998, o esquema elétrico descreve o atuador operando entre 6 a 13 ohms como ilustrado na Figura 12.

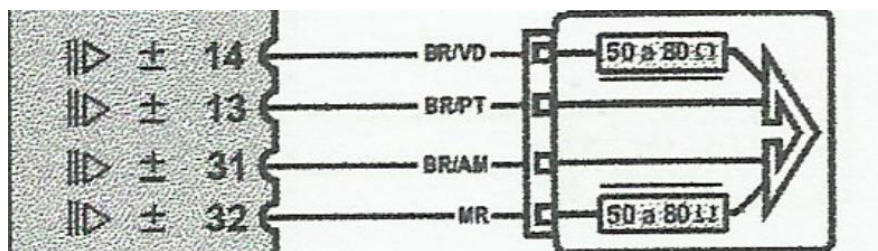
Figura 12 – Atuador marcha lenta F1000



Fonte : Dicatec

No modelo Logus da VW, motor 1.6, 1.8, 2.0, ano 1994 a 1996, apresenta uma resistência entre 50 e 80 ohms para o atuador de marcha lenta, como mostrado no esquema elétrico da Figura 13.

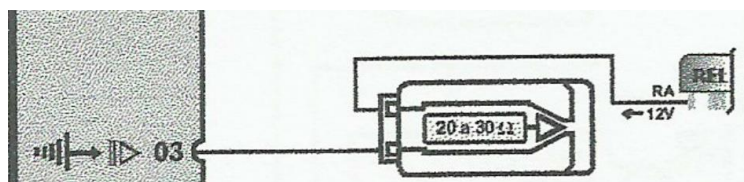
Figura 13 – Atuador marcha lenta Logus



Fonte : Dicatec

Outro modelo da Volkswagen é a Kombi, ano 1997 em diante, apresenta o atuador de marcha lenta variando a resistência entre 20 e 30 ohms. Como ilustra a Figura 14.

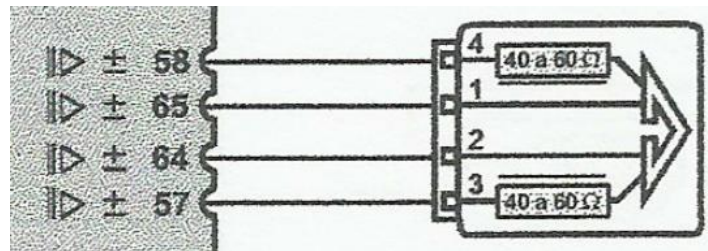
Figura 14 – Atuador marcha lenta Kombi



Fonte : Dicatec

O Fiat Fire, 1.0, 0,8V, ano 2000 em diante, apresenta uma variação de resistência entre 40 e 60 ohms, para o atuador de marcha lenta, como é visualizado na Figura 15.

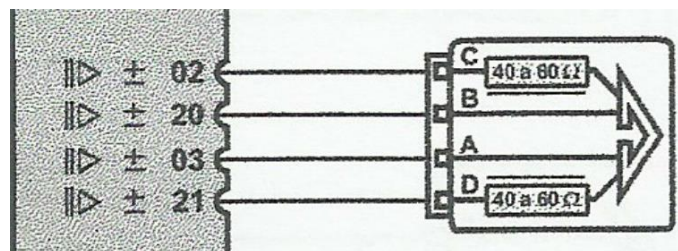
Figura 15 – Atuador marcha lenta Fiat Fire



Fonte : Dicatec

Outro modelo do uno, da Fiat está mostrado na Figura 16, este atuador pode ser usado para motor 1.0, 1.5 1.6 SPI, a resistência varia de 40 a 80 omhs.

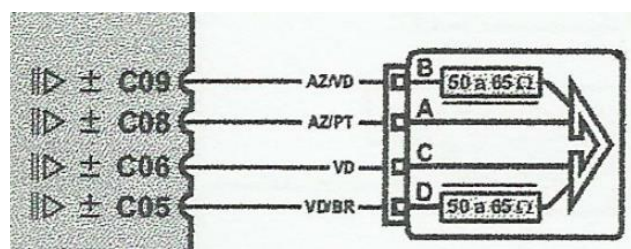
Figura 16 – Atuador marcha lenta Uno



Fonte : Dicatec

Na Figura 17, é apresentado o esquema do atuador de marcha lenta, do corsa, da GM, motor 1.0 e 1.6 MPFI.

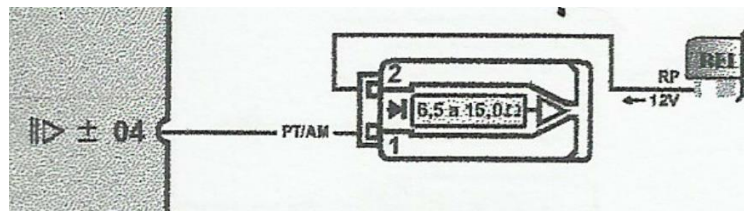
Figura 17 – Atuador marcha lenta Corsa



Fonte : Dicatec

O Atuador ilustrado na Figura 18 é para os modelos Grand Blazer e Silverado, da GM, ano 1998 e 1999, eles apresentam uma resistência entre 6,5 e 15 ohms.

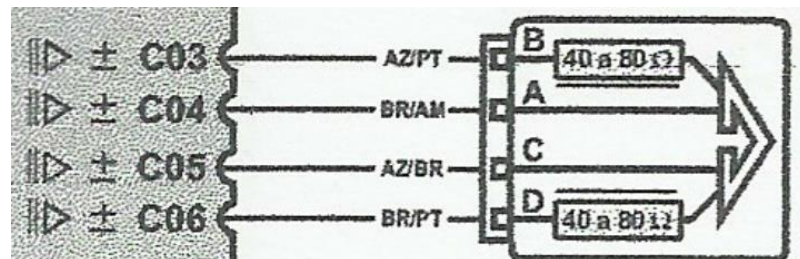
Figura 18 – Atuador marcha lenta Grand Blazer e Silverato



Fonte : Dicatec

Outro modelo, da empresa GM, é mostrado abaixo na Figura 19, ele corresponde ao automóvel Monza motor 1.0 e 1.2. A sua resistência varia entre 40 e 80 ohms.

Figura 19 – Atuador marcha lenta Monza



Fonte : Dicatec

A Empresa Thomson desenvolveu um atuador de para diversas aplicações, como veículos agrícolas, aplicações marítimas, motores auxiliares, equipamento de construção, veículos militares e de resgate, caminhões, empilhadeiras, veículo de transporte de massa, equipamento de mineração e automação industrial.

Esse atuador oferece uma redução no impacto ambiental através de opcionais eletrônicos, como sensor analógico que produz uma resposta sobre a posição, interruptores eletrônicos de comunicação e limite no intuito de controlar as rotações do motor, de acordo com a demanda do mesmo, aumentando a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzindo o controle de combustível, o ruído e as emissões. Ele possui uma carcaça de alumínio resistente, deixando o atuador, praticamente, livre de qualquer tipo de manutenção.

Algumas características dele são: desempenho confiável, instalação simplificada, redução do impacto ambiental, *design* que economiza espaço, manutenção mínima. Ele possui uma interface eletromecânica que permite a colocação dos controles de velocidade em posições ergonômicas. Este atuador pode ser ajustado para requisitos específicos da sua aplicação, a Figura 20 ilustra o atuador de aceleração da Thomson.

Figura 20 – Atuador de aceleração Electrak



Fonte: Thomson

Ele foi desenvolvido para ser o atuador mais robusto, confiável e versátil para aplicações de controle de velocidade. O desempenho deste atuador depende de alguns fatores como a temperatura, carga, tensão, corrente e ciclo de trabalho.

Sua temperatura mínima de funcionamento é de $-40(-40)[^{\circ}\text{C} \text{ (F)}]$, enquanto a máxima depende do modelo escolhido, se for o modelo ET-S, a temperatura máxima é de $85(185)[^{\circ}\text{C} \text{ (F)}]$, enquanto o modelo ET-E suportar uma temperatura ainda maior que é de $125(257)[^{\circ}\text{C} \text{ (F)}]$. A carga máxima dinâmica também depende do modelo, se optar pelo ET-084 é de 45 N e 10 lbf, já a estática para o mesmo modelo é de 90 N e 20 lbf. Para o modelo ET-174 a carga dinâmica máxima é de 90 N e 30 lbf e a estática 260 N e 60 lbf.

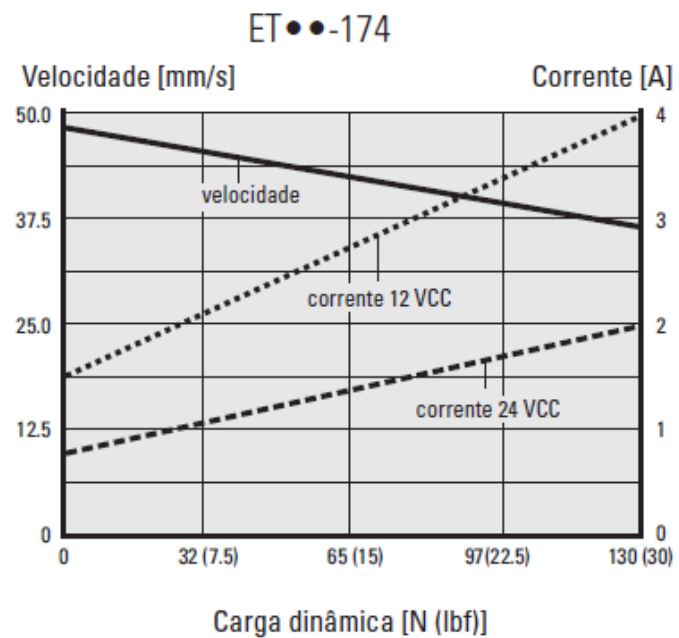
Quando submetido a carga máxima a 25°C , seu ciclo de trabalho é 50% do ciclo normal, independente do modelo. Os atuadores possuem duas opções de tensões que são 12 ou 24 [VCC], o consumo máximo de corrente é proporcional às tensões, para a de 12 VCC a corrente será 4 A, enquanto a de 24 VCC possui corrente máxima de 2 A.

As velocidades máximas variam com a carga e o modelo, para o modelo ET-84, sem carga, temos uma velocidade de 96 mm/s ou 3,7 pol./s, com carga máxima, a velocidade reduz para 83 mm/s ou 3.3 pol./s. Para o modelo ET-174 sem carga, a velocidade máxima é de 48 mm/s ou 1.9 pol./s, já com a carga máxima é de 37 mm/s ou 1.45 pol./s. O gráficos dessas velocidades e correntes em relação a carga são apresentados a seguir:

Gráfico 1 - Velocidade e corrente do modelo ET-84 em relação a carga aplicada.

Fonte: Thomson

Gráfico 2 - Velocidade e corrente do modelo ET-174 em relação a carga aplicada.



Fonte: Thomson

A leitura dos gráficos é semelhante as informações descritas acima

3 METODOLOGIA

Este trabalho constitui-se em um estudo de revisão bibliográfica sobre o funcionamento e utilização do sistema *drive-by-wire*, dando ênfase ao *throttle-by-wire*, para compreender o uso de atuadores eletrônicos. A escolha desse estudo foi motivada pela intenção de conhecer o que vem sendo produzido no mercado automotivo em relação à substituição do sistema mecânico pelo eletrônico e a funcionalidade dos atuadores de aceleração, objetivando encontrar a melhor opção para utilizar na substituição do sistema de aceleração do Baja da UFERSA Caraúbas.

A pesquisa teve um caráter exploratório, que consistiu inicialmente catalogação de periódicos, revistas, científicas teses e dissertação sobre os diferentes tipos de atuadores eletrônicos e seus pontos mais importantes. Essa pesquisa foi realizada com base na plataforma do periódico da CAPES, sites de revistas internacionais como IEEE, *Science Direct*, *IEICE electronics express*, *Safety Science* e plataformas *onlines* das bibliotecas nacionais, como a biblioteca virtual da USP e da UNICAMP, Os artigos foram catalogados de acordo com os temas, *drive-by-wire*, *steer-by-wire*, *brake-by-wire* e *throttle-by-wire*.

Com o auxílio do programa Dicatec, fornecido por uma oficina mecânica da cidade de Caraúbas, foi possível analisar o sistema elétricos de diferentes carros para em seguida compará-los e fornecer resultados úteis para a escolha do modelo a ser usado no Baja da UFERSA de Caraúbas, assim como os *datasheets* de alguns modelos de atuadores de aceleração, que também podem ser usados pelo Baja, dependendo da função que ele desempenhará.

Assim como a análise dos atuadores presentes nos esquemas elétricos e *datasheets*, e com o estudo bibliográfico realizado, tornou-se possível a indicação do melhor modelo de atuadores de aceleração a ser usado pelo Baja.

4 RESULTADOS

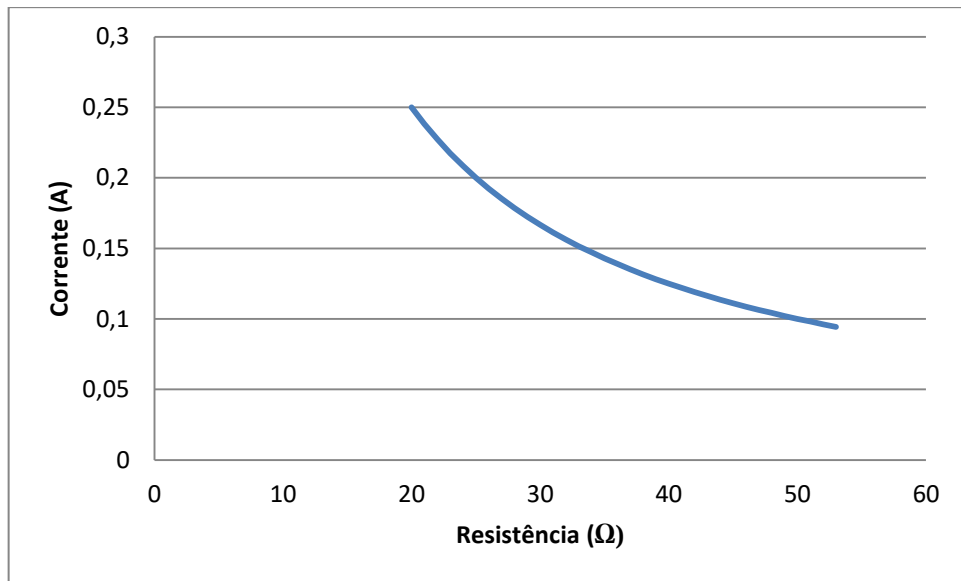
Analisando os atuadores de marcha lenta, percebemos que eles dependem da marca, modelo, tipo de combustível e motor do carro, eles podem ser de diferentes marcas como Delphi, DS, BOSCH, entre outras. Nos carros mais atuais, os atuadores já vêm embutido junto com a válvula da borboleta, tornando mais complicado o estudo, uma vez que suas especificações não são descritas nos diagramas elétricos dos veículos.

Os veículos urbanos apresentam atuadores com tensão fixa em cinco volts, quanto a corrente e resistência, variam de acordo como o modelo do carro e a marca. A seguir, será apresentada a relação corrente e resistência dos atuadores mostrados no referencial bibliográfico. Esses dados foram obtidos através do programa Dicatec, que consiste em um *software*, contendo um banco de dados sobre a parte elétrica de diversos veículos, ele é bastante utilizado pelos eletricitas das oficinas mecânicas para auxiliá-lo, quando for necessário fazer alterações ou substituições nos componentes elétricos dos automóveis.

Os gráficos apresentados foram construídos através das resistências ilustradas nas figuras apresentadas no referencial teórico e a tensão fixa de cinco volts. Essa relação corrente e resistência auxiliam na identificação do carro utilizado, principalmente, para verificar se são veículos urbanos pequenos ou caminhonetes, os eletricitas das oficinas mecânicas observaram, através dos anos de experiência, que quanto maior for a resistência do atuador de marcha lenta, maior é a velocidade adquirida pelo veículo, porém esse dado não poderá ser analisado neste trabalho, uma vez que eles não fornecem uma equação que comprove essa relação.

O Gráfico 1 apresenta a relação da corrente e a resistência do Fiat Fiorentio e Uno, a corrente e resistência são inversamente proporcionais, uma vez que a tensão como já dito anteriormente é fixa.

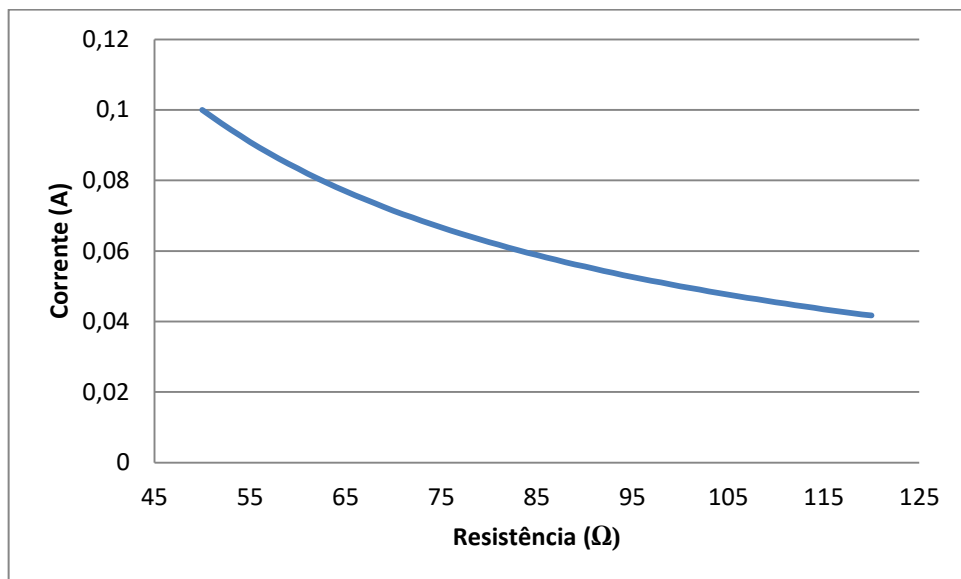
Gráfico 1 – Relação corrente e resistência do Fiorentino e Uno



Fonte: Autoria própria

A Ford apresentou uma maior variação de resistência e corrente para os modelos Endura e Zetec quando comparada com os modelos da Fiat descritos anteriormente, o Gráfico 2, mostra que para esses veículos a resistência máxima é 120 ohms e corrente máxima é 0,1 Ampère.

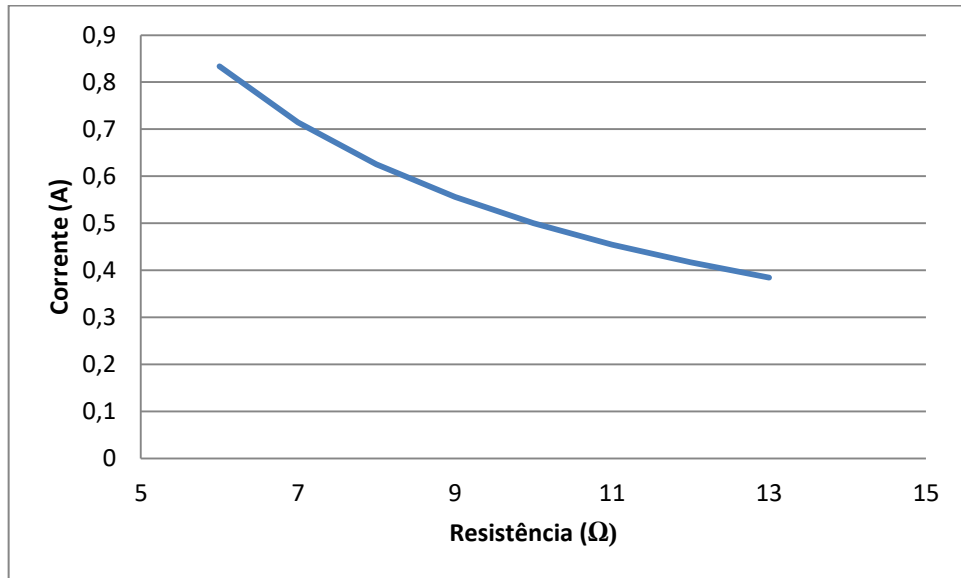
Gráfico 2 – Relação corrente e resistência do Endura e Zetec



Fonte: Autoria própria

Para a F1000, uma caminhonete da Ford a varia de resistência é bem menor que os veículos pequenos, sua resistência máxima é de 13 ohms e a corrente é de 0,83 Ampère. A relação entre a suas correntes e resistência é descrita no Gráfico 3 a seguir.

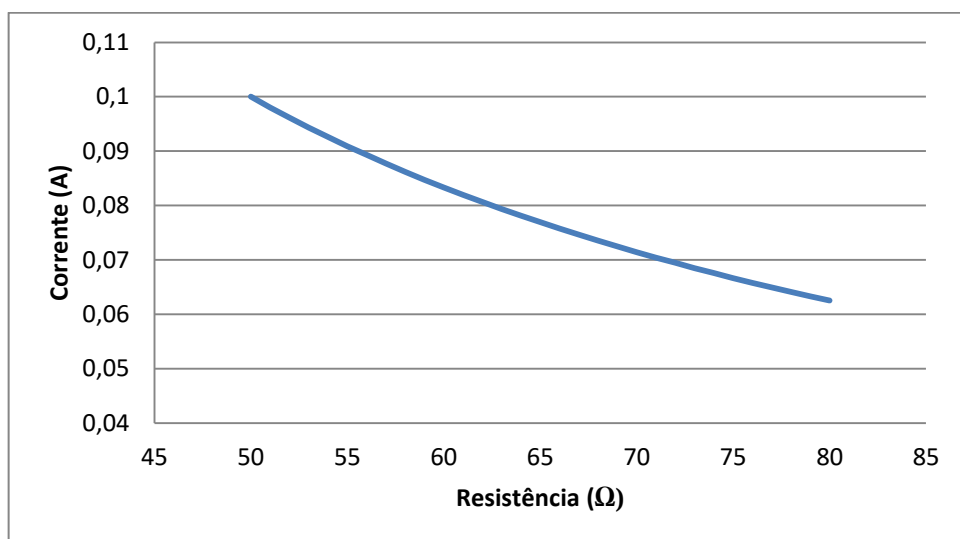
Gráfico 3 – Relação corrente e resistência caminhonete da F1000



Fonte: Autoria própria

O Logus da Volkswagen apresenta uma variação semelhante ao do Fiorentino e uno da fiat, a relação da sua corrente e resistência é apresentada no Gráfico 4, a resistência máxima é de 80 ohms, enquanto a corrente máxima é de 0,1 Ampère.

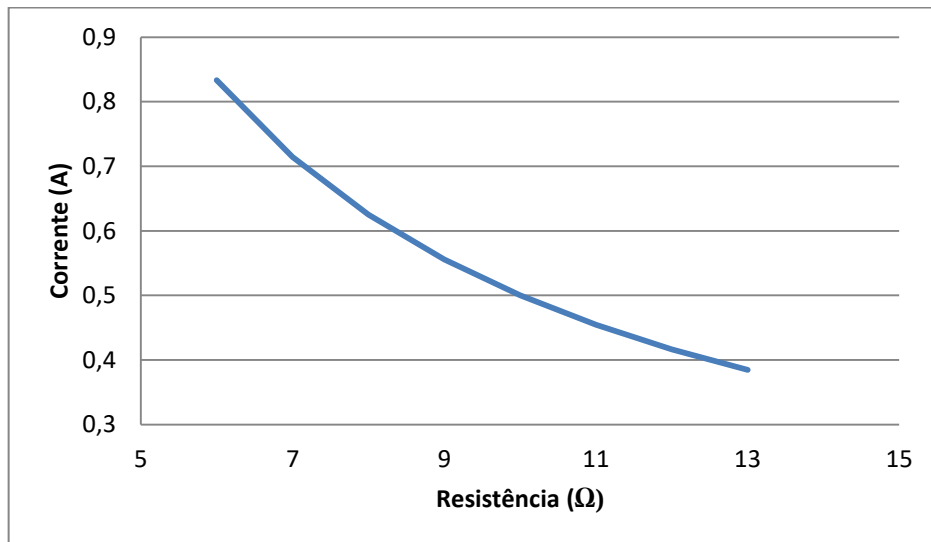
Gráfico 4 – Relação corrente e resistência do Logus



Fonte: Autoria própria

A Kombi, Volkswagen, assim como a F1000 da Ford, possui uma pequena variação em relação a resistência e corrente, a sua relação é apresentado no Gráfico 5, a corrente máxima é de 0,83 Ampère e a resistência 13 ohms.

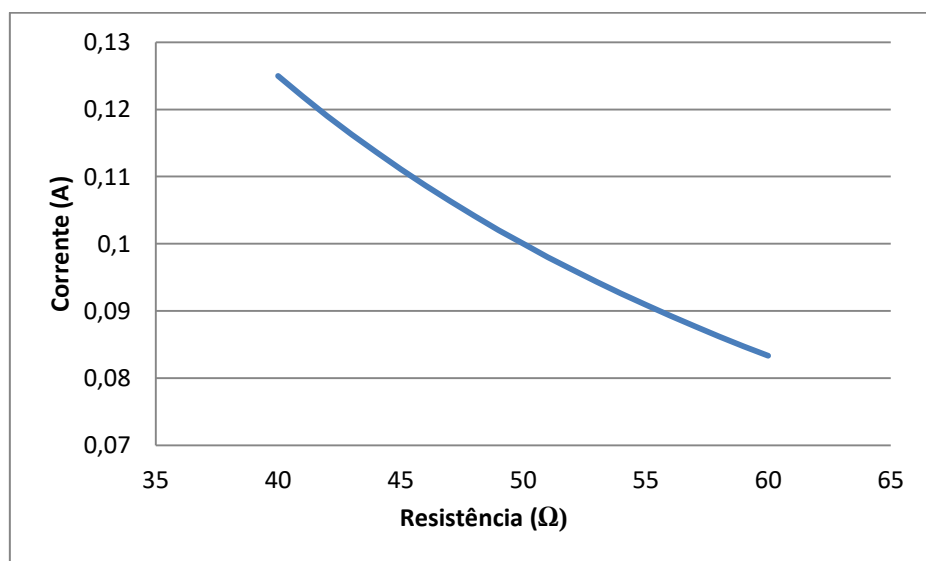
Gráfico 5 – Relação corrente e resistência da Kombi



Fonte: Autoria própria

O Fiat Fire, apresenta uma variação de resistência pequena de 20 ohms, variando de 60 a 40 ohms, o Gráfico 6 expressa a relação entre as correntes e as resistências, a corrente máxima foi de 0,125 Ampère, enquanto a resistência como já descrita foi de 60 ohms.

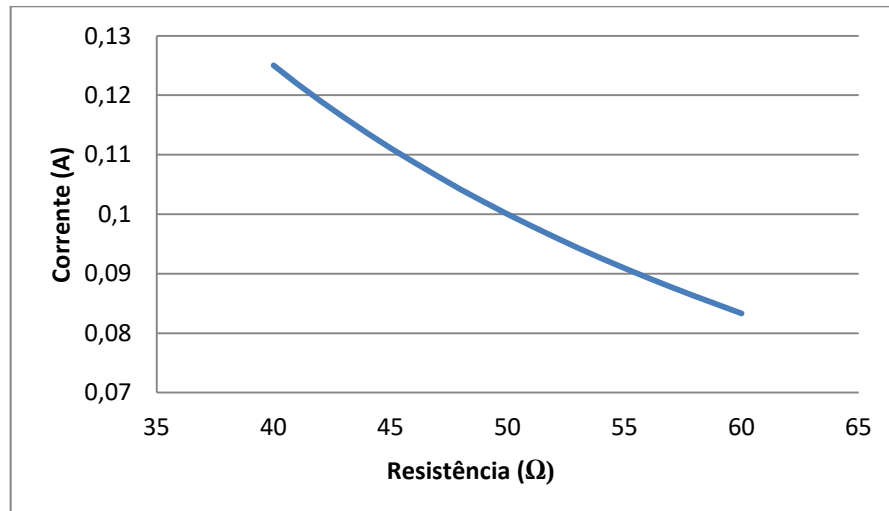
Gráfico 6 – Relação corrente e resistência do Fiat Fire



Fonte: Autoria própria

O Fiat Uno, apresenta as mesmas características que o fiat Fire, como é mostrado no Gráfico 7.

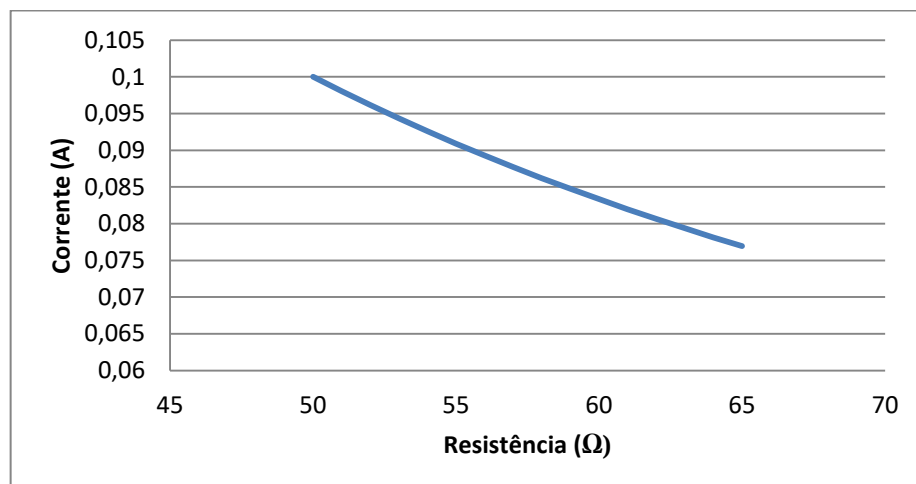
Gráfico 7– Relação corrente e resistência do Uno



Fonte: Autoria própria

O corsa da GM, apresenta uma variação de 15 ohms, o Gráfico 8, mostra a relação entre a resistência e corrente fornecida através do sistema elétrico do veículo. A resistência máxima é de 65 ohms, e a corrente é de 0,1 Ampére.

Gráfico 8 – Relação corrente e resistência do Corsa

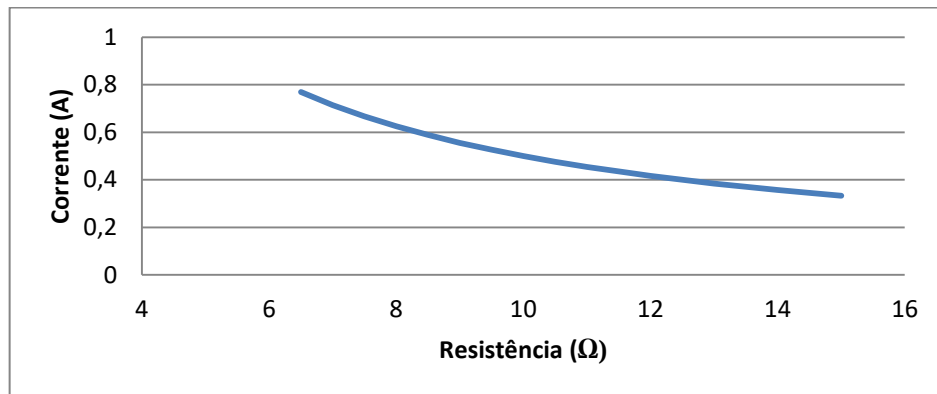


Fonte: Autoria própria

O Grand Blazer e o Silverado, são caminhotes da GM, e assim como as outras caminhonetes já descritas anteriormente apresentam pequenas variações de resistência, assim

como uma pequena resistência no geral, o Gráfico 9 mostra a relação corrente e resistência para ambos os modelos, a resistência máxima é de 15 ohms, enquanto a corrente é de 0,77 Ampère.

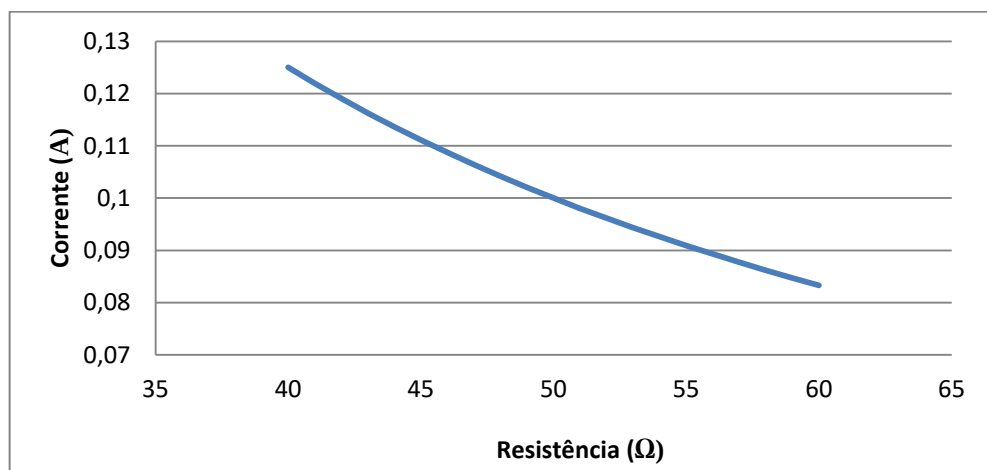
Gráfico 9 – Relação corrente e resistência do Grand Blazer e Silverado.



Fonte: Autoria própria

O Monza da GM apresenta uma variação de 40 ohms, entre as resistências máximas e mínimas, a relação entre a corrente a resistência é expressa no Gráfico 10, a resistência máxima é de 60 ohms e a corrente 0,125 Ampère.

Gráfico 10 – Relação corrente e resistência do Monza.



Fonte: Autoria própria

Enquanto para os carros agrícolas os atuadores são descritos independentemente do sistema elétrico do veículo, os veículos urbanos são descritos de acordo com a função da carga, marca, modelo, velocidade e corrente de operação. A temperatura na qual a máquina agrícola é submetida também influencia no funcionamento do atuador.

Comparando os dois tipos de atuadores para veículos agrícolas descritos no referencial teórico deste trabalho, nos permite concluir que, a temperatura máxima de trabalho irá variar entre 85 °C e 125 °C, de acordo com o modelo, para o ET-S, suporta a primeira temperatura descrita e o modelo ET-E corresponde à segunda, a temperatura mínima na qual ambos podem ser submetidos é -40 °C, logo, independente do modelo eles podem ser utilizados na região Nordeste do Brasil, local onde o Baja da UFERSA de Caráubas será construído. Outro fator que influenciará a escolha do atuador e à carga máxima dinâmica e estática, para determinar qual é o mais adequado é preciso especificar qual a principal função que o Baja irá desempenhar. Para o modelo ET-084 a carga máxima dinâmica é de 45 N e 10 lbf, enquanto a estática possui o dobro da dinâmica sendo assim 90N e 20 lbf. O modelo ET-174, apresenta uma maior carga máxima dinâmica e estática que o modelo anteriormente citado, para carga dinâmica a máxima é de 90 N e 30 lbf, enquanto a estática é consideravelmente maior 260 N e 60 lbf.

O desempenho do atuador depende da carga aplicada, quando submetido à carga máxima a uma temperatura ambiente de 25°C, seu ciclo de trabalho se reduz a metade, do que normalmente atua. Se analisada essa situação no ambiente no qual o Baja irá atuar ficará claro que o seu desempenho reduziria mais do que 50%, uma vez que além da carga máxima o atuador também estaria submetido a uma temperatura bem mais elevada que os 25°C.

Os atuadores para veículos agrícolas operam com duas tensões diferentes, enquanto para veículos urbanos operam apenas a 5 VCC, as tensões dos agrícolas podem ser de 12 ou 24 VCC, o consumo da corrente é proporcional às tensões assim as correntes máximas serão 4 A para a tensão de 12 VCC e 2 A para a tensão 24VCC.

A velocidade do veículo varia de acordo com a carga e modelo do atuador, como mostrado nos gráficos apresentados no referencial deste trabalho. Para o modelo ET-84, sem carga temos uma velocidade de 96 mm/s ou 3,7 pol./s, com carga máxima a velocidade reduz para 83 mm/s ou 3.3 pol./s. Para o modelo ET-174 sem carga a velocidade máxima é de 48 mm/s ou 1.9 pol./s, já com a carga máxima é de 37 mm/s ou 1.45 pol./s. Assim quando comparados os atuadores fica claro que cada um é para uma determinada atividade, uma vez que o ET-086 suporta menos carga que o ET-174, porém compensa essa desvantagem na velocidade, pois sua velocidade máxima é quase dobro da do ET-174.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar o referencial teórico sobre atuadores de aceleração e a especificação dada nos resultados sobre cada modelo, tornou-se claro que para a inserção de atuadores de aceleração no Baja, da UFERSA Cáraubas. É necessário considerar as funções que o Baja exercerá o sistema de combustível no qual ele será operado, a partir de então, será possível a seleção entre atuadores para veículos urbanos e para veículo agrícola.

Supondo que o escolhido foi o veículo urbano, um estudo sobre as configurações elétricas e mecânicas será necessário, pois os atuadores são desenvolvidos para modelos específicos de carro, dessa forma, devem-se selecionar os sistemas de carros urbanos mais compatíveis com o Baja, a partir de então testar os atuadores que melhor se adequaria as circunstâncias que envolvem temperatura e função desempenhada pelo veículo.

No entanto, ao se abordar a situação na qual o Baja futuramente desempenhará, a utilização como veículo agrícola, a análise é diferenciada, primeiramente é necessário optar entre um veículo que terá mais velocidade ou que suportará mais carga, pois os modelos de atuadores de aceleração são descritos através das cargas dinâmicas, estáticas, da sua velocidade e corrente, para então desenvolver um estudo sobre as especificações de cada atuador, porém estes são desenvolvidos para ter máximo desempenho em ambientes de 25°C, mas em Caraúbas a temperatura ambiente é mais elevada, então a especificação descrita pelo manual do atuador precisará ser recalculada, pois o desempenho não será exatamente igual, assim como com a carga máxima o ciclo seria 50% do veículo com cargas normais, segundo o *datasheet*.

Portanto para ambos os casos esse estudo teórico auxiliará na escolha do atuador, mas testes serão necessários para garantir que o atuador escolhido terá o desempenho semelhante ao que a teoria nos informa.

Não foi possível a determinação da relação entre velocidade e corrente para atuadores de aceleração em veículos urbanos, devido à ausência de uma equação matemática que demonstre essa relação.

6 REFERÊNCIAS

- ANJOS, E. G. P. D. **Evolução da Eletrônica embarcada na indústria automobilística brasileira**. São Caetano do Sul. 2011.
- AWANG, M. A. F. B. DC MOTOR SPEED CONTROLLER. **Faculty of Electrical and Electronics Engineering**, Pahang, Novembro 2010.
- BERTOLUZZO, M. et al. Drive-by-Wire Systems for Ground Vehicles, 2004.
- BOSA, J. L. Sistema Embarcado para Manutenção Inteligente de Atuadores Elétricos, 2009.
- BOSCH. Catálogo de aplicações de sensores e atuadores para sistemas de injeção. **Autopeças Bosch**, 2014. Disponível em: <http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/sensores/Cat_Sensores_Atuaadores_2014_LowRes.pdf>. Acesso em: 10 Setembro 2016.
- CARBOT-ROJAS, D. A. et al. Experimental validation of an actuator fault tolerant control system using virtual sensor: Application in a double pipe heat exchanger. **Chemical Engineering Research and Design**, 2015. 400-408.
- CARVALHO, E. G. D. Inovação tecnológica na indústria automobilística: características e evolução recente. **Economia e Sociedade**, dezembro 2008. 429-461.
- CHAABAN, K.; LESERF, ; SAUDRAIS,. Steer-By-Wire System Development Using AUTOSAR Methodology. **IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation**, 2009. 1-8.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. Performance Strategy Organization and Management in the World Auto Industry. **Product Development**, 1991.
- DAGCI, O. H.; PAN, ; OZGUNER,. Sliding Mode Control of Electronic Throttle Valve. **Proceedings of the 2002 American Control Conference**, Anchorage, AK, USA, 8-10 Maio 2002. 1996 - 2001 vol.3.
- DRAGE, T.; KALINOWSKI, J.; BRÄUNL, T. Integration of Drive-by-Wire with Navigation Control for a Driverless Electric Race Car. **IEEE Intelligent transportation systems magazine** , p. 23-33, 2014.
- DRENNEN, D. B.; SILER, E. R.; WAAG, J. R. Electric brake caliper having a ballscrew with integral gear carrier. ” **U.S. Patent 2005**, 17 fevereiro 2005.
- DUER, J. et al. “An Electronic Throttle Strategy Including Compensation of Friction and Limp-Home Effects. **IEEE International**, 1-4 Junho 2003.
- FAZAL, ; LIAQUAT, M.; NAZ ,. Robust Fault Tolerant Control of a DC Motor in the Presence of Actuator Faults. **16th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering**, 2015. 301-332.
- GIL , J. et al. New driving control system with haptic feedback: *Design* and preliminary validation tests. **Transportation Research Part C**, 3 Abril 2013. 22-36.

HATTORI, S. et al. *Design of an impact drive actuator using a shape memory alloy wire*. **Sensors and Actuators A: Physical**, 2 Maio 2014. 47-57.

HUBER, W. et al. Electronic throttle control. **SAE Automotive Engineering**, 1991. 15–18 99(6).

ISERMANN, R.; RAAB, U. Intelligent Actuators Ways to Autonomous Actuating Systems. **Automatica**, Setembro 1993. 1315-1331.

ISERMANN, R.; SCHWARZ, R.; STÖLZL, S. Drive-by-Wire systems. In: _____ **Fault-Tolerant**. [S.l.]: Feature, 2002. p. 64-81.

LI, X.; CHANG, S.; GONG, X. Modeling of a new brake by wire system based on the direct-drive electro-hydraulic brake unit. **IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)**, Dezembro 2015. 211-215.

MA, Q.; SHAO , ; YURKOVICH,. Diagnostics for Automotive Electronic Throttle Body Systems. **Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005**, Portland, OR, USA, 8-10 Junho 2005. 5041 - 5045 vol. 7.

MERRILL, W.; LORENZO, C. F. A Reusable Rocket Engine Intelligent Control. **24th Joint Propulsion Conference**, 1988.

MHASKARA, et al. Isolation and handling of actuator faults in nonlinear systems. **Automatica**, 2008. 53-62.

MONTANARO, U.; GAETA, A. D.; GIGLIO,. Robust Discrete-Time MRAC With Minimal Controller Synthesis of an Electronic Throttle Body. **IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS**, 2 Abril 2014. 524-537.

MOUSAVINEJAD, I. (.; ZHU, Y.; VLACIC,. Nonsingular Fast Terminal Sliding Mode Control Approach to Front wheel Subsystem of Steer-by-Wire System. **5th Australian Control Conference (AUCC)**, 5 Novembro 2015. 164-169.

MUENCHHOF, ; BECK, M.; ISERMANN,. Fault Tolerant Actuators and Drives – Structures, Fault Detection Principles and Applications, 3 Julho 2009. 1294-1305.

OZGUNER, U.; S. HONG, S.; PAN, Y. Discrete-time sliding mode control of electronic throttle valve. **40th IEEE Conf. Decis. Contr.**, 2001.

PAVKOVIC, D. et al. Adaptive control of automotive electronic throttle. **Control Engineering Practice**, 19 Janeiro 2005. 121–136.

PFEUFER , T.; HONING , T. Model-Based Fault Detection for Time Variant Process with Application to an Automotive Actuator, 1995. 2138-2142.

RODAS, A. D. C. C. et al. Soldagem Robótica Aplicada a Indústria Automobilística, A evolução e processos adaptativos para o desenvolvimento do setor, maio 2014.

ROSSI, C.; TILLI, ; TONIELLI,. Robust Control of a Throttle Body for Drive by Wire Operation of Automotive Engines, 6 Novembro 2000.

ROSSI, C.; TILLI, A.; TONIELLI, A. Robust Control of a Throttle Body for Drive by Wire Operation of Automotive Engines. **IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY**, 6 Novembro 2000. 993-1002.

SALVATORE STRANO, M. T. Mechanical Systems and Signal Processing. **Accurate state estimation for a hydraulic actuator via a SDRE nonlinear filter**, Junho 15 2016. 576-588.

SHANAKA , W. A. et al. Simulation of Brake by Wire System with Dynamic Force Control. **7th International Conference on Information and Automation for Sustainability**, Dezembro 2014.

SHARON, D. Dossier: Drive-by-wire. **Futures**, Dezembro 1983. 491-498.

SINHA, P. Architectural *design* and reliability analysis of a fail-operational brake-by-wire system from ISO 26262 perspectives. **Reliability Engineering & System Safety**, Outubro 2011. 1349–1359.

SONG, J.-B.; BYUN, K.-S. Throttle actuator control system for vehicle traction control. **Mechatronics** 9, 17 December 1999. 477-495.

STANTON , N. A.; MARSDEN,. From fly-by-wire to drive-by-wire: Safety implications of automation in vehicles. **Safety Science**, p. 35-49, 1996.

STEWART, P.; ZAVALA, J. C.; FLEMING, P. J. Automotive drive by wire controller *design* by multi-objective techniques., 18 Março 2004.

SUN, Z. et al. Robust Control of a Vehicle Steer-by-Wire System Using Adaptive Sliding Mode. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2016. 2251 -2262.

TAUILE, J. R. Microeletrônica e Automação: a nova fase da industria automobilística brasileira. **Economia política** , p. 69-81, 1986.

TECHNOLOGIES, I. Throttle Position Sensing with Linear Hall Sensors. **Infineon Technologies AG**, Neubiberg, n. 2008-07, p. 1-20, 2008.

TORO, A. D.; JOHNSON, M. C.; SPALL, R. E. Computational Fluid Dynamics Investigation of Butterfly Valve Performance Factors. **American Water Works Association**, Maio 2015.

TRIFA, R. et al. PMSM *design* for brake by-wire technology in automotives. **J. Comput. Sci. Control Syst**, Maio 2010. 237–240.

TWIEFEL, J. Ultrasonic friction reduction in Elastomer – Metal contacts and. **2015 International Congress on Ultrasonics, 2015 ICU Metz** , 2015.

UNISANTA. Princípios de Engenharia Mecânica. **Faculdade de Engenharia Industrial Mecânica**, 2009.

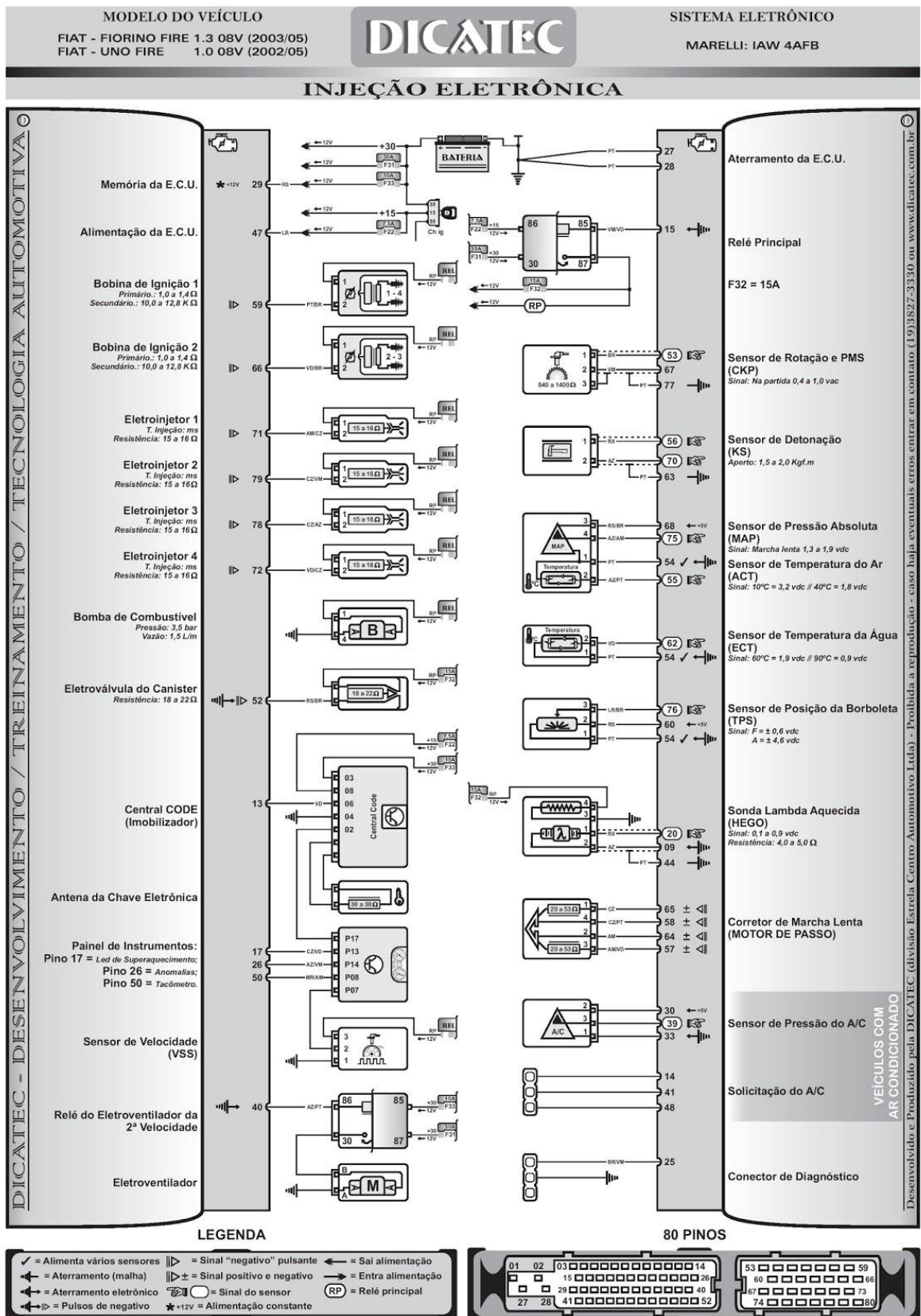
VASAK, ; PETROVIC, ; PERIC, N. State Estimation of an Electronic Throttle Body. **Industrial Technology, 2003 IEEE International Conference**, Maribor. Slovenia, 10-12 Dezembro 2003. 472 - 477 Vol.1.

WEI-KANG , ; XIAO-YIN, H.; JIAN-QIU,. Research and Analysis of the Drive Motor Characteristics for Automotive Electronic Throttle. **2012 Second International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control**, Harbin, Dezembro 2012. 1274-1277.

- WITT, C. C. D.; KOLMANOVSKY, I.; SUN, J. Adaptive pulse control of electronic throttle. **Amer. Contr. Conf.**, 2001.
- XIANG, et al. Although the BBW system promises benefits and efficiency *Design and Analysis*. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 2008. 138 -145.
- ZHANG, S.; LI, S.-L.; FAN, R.-C. **The Design of the Intelligent Electric Actuator Control System Based on Variable Frequency**. 8th Conference on Industrial Electronics and Applications. [S.l.]: [s.n.]. 2013. p. 337-341.
- ZHANG, Y.; CAI, M. Study on Mechanical Properties Evaluation for Pneumatic Actuator and Electric Actuator Based on Information Entropy, 2010.
- ZHOU, et al. Adaptive Fault-Tolerant Tracking Control of Nonaffine Nonlinear Systems with Actuator Failure, 16 Outubro 2014.
- ZULKIFLI, S. A. et al. Implementation of Electronic Throttle-by-drive for a Hybrid Electric vehicle using National Instruments. **ERGS IEEE**, 2014.
- ZULKIFLI, S. A. et al. Implementation of Electronic Throttle-by-Wire for a Hybrid Electric Vehicle using National Instruments CompactRIO Lab-view Real-time. **Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2014 5th International Conference**, Kuala Lumpur, 3-5 Julho 2014.

ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO (DICATEC)

Esquema elétrico modelo

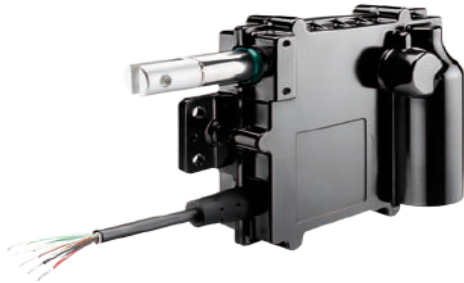


Fonte: Dicattec

ANEXO B – DATASHEET THOMSON

Datasheet Atuador de aceleração

Especificações



Recursos Padrão e Benefícios

- Projetado para aplicações industriais
- Carcaça de alumínio resistente com vedação IP69K/IP67
- Carcaça com e-coating para resistência à corrosão
- Manutenção mínima
- Opcionais eletrônicos integrados
- Recursos de primeira linha a um baixo custo
- Orifícios de montagem integrados

Especificações Gerais

Parâmetro	Acelerador Electrak
Tipo de parafuso	sem-fim
Com restrição interna	sim
Cancelamento manual	não
Frenagem dinâmica com CN opcional com a NP, FN, FP opcional	sim não
Freio	não (autoatarraxante)
Proteção de fim de curso	sim
Proteção no meio do curso	sim
Proteção do motor com classificação de temperatura S com classificação de temperatura E	interruptor térmico com rearme automático não
Conexão do motor	Condutores Móveis ou Conector Deutsch
Certificados	CE, RoHS
Opcionais	• faixa de temperatura ampliada • orientação do adaptador • saída do cabo em ângulo reto • sensor analógico de feedback de posição • interruptores de limite de fim de curso internos • CANBUS SAE J1939

Especificações de Desempenho

Parâmetro		Acelerador Electrak
Carga máxima, dinâmica/estática	[N (lbf)]	
ET●●-084 ⁽¹⁾		45 (10) / 90 (20)
ET●●-174		130 (30) / 260 (60)
Velocidade, sem carga/com carga máxima	[mm/s (pol./s)]	
ET●●-084 ⁽¹⁾		96 (3.7) / 83 (3.3)
ET●●-174		48 (1.9) / 37 (1.45)
Tensões de entrada disponíveis	[VCC]	12, 24
Consumo de corrente, máx. ⁽²⁾	[A]	
Modelos 12 VCC		4
Modelos 24 VCC		2
Temperatura operacional, mínima	[°C (F)]	-40 (-40)
Temperatura operacional, máxima	[°C (F)]	
ET●●-●●●●-S		85 (185)
ET●●-●●●●-E		125 (257)
Ciclo de trabalho com carga total a 25° C ⁽³⁾	[%]	50
Folga axial, máxima	[mm (pol.)]	1.5 (0.06)
Torque de restrição	[Nm (lbf-pol.)]	0
Seção transversal do condutor do cabo do motor	[mm ² (AWG)]	0.8 (18)
Comprimento do cabo do motor	[mm (pol.)]	165 (6.5)
Classe de proteção		IP69K, IP67
Vida operacional	[ciclos]	500000
Comprimento retraído	[mm (pol.)]	184.7 (7.27)
Comprimento do curso	[mm (pol.)]	50.8 (2)
Peso	[kg (lbs)]	1.11 (2.5)
Linearidade do sensor analógico de feedback	[± %]	1