

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA – PPGE

Marley Rosa Luciano

VALIDAÇÃO DE CENTRAIS AUTOMOTIVAS UTILIZANDO *HARDWARE IN THE LOOP*: Estudo de Caso do BCM e Iluminação

BELO HORIZONTE
2023

Marley Rosa Luciano

VALIDAÇÃO DE CENTRAIS AUTOMOTIVAS UTILIZANDO *HARDWARE IN THE LOOP*: Estudo de Caso do BCM e Iluminação

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sinais de Computação e Telecomunicação
Linha de Pesquisa: Otimização

Orientador Rodney Rezende Saldanha

L937v	<p>Luciano, Marley Rosa. Validação de centrais automotivas utilizando <i>Hardware in the loop</i> [recurso eletrônico] : estudo de caso do BCM e iluminação / Marley Rosa Luciano. - 2023. 1 recurso online (118 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Rodney Rezende Saldanha.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 109-117. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Veículos a motor - Teses. 3. Eletrônica - Teses. 4. Dispositivos eletrônicos - Teses. I. Saldanha, Rodney Rezende. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3(043)</p>
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"VALIDAÇÃO DE CENTRAIS AUTOMOTIVAS UTILIZANDO HARDWARE IN THE LOOP: ESTUDO DE CASO DO BCM E ILUMINAÇÃO"

MARLEY ROSA LUCIANO

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica. Aprovada em 15 de junho de 2023. Por:

Prof. Dr. Rodney Rezende Saldanha
DEE (UFMG) - Orientador

Prof. Dr. Braz de Jesus Cardoso Filho
DEE (UFMG)

Prof. Dr. Igor Amariz Pires
DELT (UFMG)

Prof. Dr. Cristiano Leite de Castro
DEE (UFMG)

Prof. Dr. Alexandre Wagner Chagas Faria
(Centro Univ. UNA - FIAT CHRYSLER)

Doutor Adelino Pinheiro Silva
Superintendência de polícia Técnico-Científica. (Polícia Civil)



Documento assinado eletronicamente por **Rodney Rezende Saldanha, Membro de comissão**, em 04/07/2023, às 14:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Amariz Pires, Professor do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Leite de Castro, Professor do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Braz de Jesus Cardoso Filho, Professor do Magistério Superior**, em 06/07/2023, às 07:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Wagner Chagas Faria, Usuário Externo**, em 06/07/2023, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adelino Pinheiro Silva, Usuário Externo**, em 06/07/2023, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2363639** e o código CRC **25F8F1E3**.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente Deus, e, aos meus pais, Amarildo Luciano e Claudia Lucia meus irmãos e à minha esposa Silvia Amélia pelo incentivo no decorrer deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Rodney Rezende Saldanha e a todos os colegas de classe.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”
Nikola Tesla

Resumo

Este trabalho tem a missão de compartilhar e incentivar as boas práticas de validação e verificação utilizando plataformas xIL, partindo de uma tecnologia já reconhecida e implantada porém não explorada totalmente. Esta tecnologia é a parte da utilização de ferramentas de testes automáticos, Model in the loop - Software in the Loop e Hardware in the loop ambas comentadas neste trabalho, para testar centrais automotivas, na qual será citada neste trabalho a unidade de controle eletrônica body computer module, a qual, basicamente, realiza testes componentes individuais ou sistêmicos com a integração de uma ou mais centrais. O desenvolvimento tecnológico em utilizar novos materiais faz com que o hardware sofra mudanças constantemente, com isso surgem novas criticidades para os projetistas em entregar o componente com qualidade e segurança. A eletrificação alterou a premissa do desenvolvimento de veículos, trazendo design e desempenho, mas acima de tudo, retornou a sociedade o alerta sobre os impactos causados à terra pelo excessivo consumo de combustíveis fósseis. A corrida industrial pela eficiência e segurança vem alterando a disponibilidade de veículos com menor emissão de carbono comparado aos veículos a propulsão já renomados, trazendo automatização de diversos componentes dos carros. A autonomia energética é cada vez mais requisitada pelo consumidor, impulsionando o desenvolvimento de centrais automotivas com velocidade de comunicação, baixo consumo de energia e confiabilidade. A evolução dos sistemas de iluminação veicular, onde faróis e lanternas de bulbo agora são leds, modificou o desenvolvimento que antigamente era um simples circuito de eletrônica, para drives de controle de comando rápido, mudança de intensidade e comunicação em alta velocidade entre as redes do veículo. Estas mudanças tecnológicas fizeram com que as fabricantes de veículos mudassem a forma de testar seus veículos e encontrasse soluções econômicas para evitar possíveis problemas de projeto. A validação de centrais automotivas e seus componentes é fundamental para o desenvolvimento do veículo, devido a diversas mudanças durante a fase do projeto e a integração de componentes de diferentes fornecedores, a complexibilidade de desenvolvimento de novos sistemas de luzes requer atenção e cuidado. Sendo um dos componentes mais críticos durante a prototipagem devido a sua fase de desenvolvimento e dependências de softwares compatíveis. Utilizando a ferramenta de simulação HIL, possibilita novas estratégias de testes e verificação de diagnóstico dos componentes, a integração com outras centrais para análise e desempenho, analisar a comunicação entre as redes (CAN) podem ser testadas em tempo real. Os testes em HIL tem a capacidade de reduzir problemas de desenvolvimento e evitar prejuízo de projeto, sendo a ferramenta inicial na fase de testes. Nos dias de hoje os veículos possuem diversos controladores, e troca de informação entre as (ECUs) e sensores/atuadores, o compartilhamento de mensagens entres elas requerem velocidade e segurança. A fim de atender à crescente demanda e necessidade do consumidor, atentando às legislações de emissões e criando estratégias de baixo impacto, mantendo qualidade e

conforto. A caixa de carga desenvolvida neste documento demonstra suas funcionalidades, e importância dos testes realizados na fase de desenvolvimento.

Palavras-chave: Automotive e Electronic Central Unit, Hardware in the Loop.

Abstract

The technological development in using new materials constantly changes the hardware, and with this comes new criticality for designers in delivering the component with quality and safety. This work has the mission to share and encourage good validation and verification practices using xIL platforms, starting from a technology already recognized and deployed but not fully explored, where its flexibility and standardization have no limits to growth in the automotive industry, so it was thought and represented here regarding the topic of testing automotive electronic switches. This technology is part of the use of xIL tools, MIL, SIL, and HIL being applied in this work, to test automotive electronic control units, in which the ECU BCM will be cited in this work, which performs individual component or systemic tests with the integration of one or more electronic control units. Electrification changed the premise of vehicle development, bringing design and performance. Above all, it returned to society the warning about the impacts caused to the earth by excessive consumption of fossil fuels. The industrial race for efficiency and safety is changing the availability of vehicles with lower carbon emissions compared to the already renowned propulsion vehicles, bringing automation to several car components. The consumer increasingly demands energy autonomy, driving the development of automotive power plants with communication speed, low power consumption, and reliability. The evolution of vehicle bulbs, from bulb headlights and lanterns to led, has changed the simple electronics circuit to fast control drives, intensity change, and high-speed communication between vehicle networks. These technological changes have caused vehicle manufacturers to change how they test their vehicles and find cost-effective solutions to avoid potential design problems. The validation of automotive central units and their components is fundamental to vehicle development; because of the many changes during the design phase and the integration of components from different suppliers, the work is complex, e.g., the development of the headlight and tail lamp and the BCM central unit. It was one of the most critical components of the development due to its development phase and dependencies on compatible software. The hardware-in-the-loop (HIL) simulation tool enables new testing strategies, verification of component diagnostics, integration with other control panels for analysis and performance, and analysis of CAN communication can be tested in real-time. HIL testing can reduce development problems and avoid design losses, being the initial tool in the testing phase. Today's vehicles have many controllers, and exchanging information between the ECUs and sensors/actuators and sharing messages require speed and security. In order to meet the growing demand and consumer needs, paying attention to the emission legislation and creating low-impact strategies while maintaining quality and comfort. The Load Box developed in this paper demonstrates its functionalities and the importance of the tests performed in the development phase.

Automotive e Electronic Central Unit, Hardware in the Loop.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 – Estratégia Global HIL da General Motors	29
Figura 2.2 – Processo de desenvolvimento e aplicação xIL in the loop	31
Figura 2.3 – Simulador HIL na indústria.	34
Figura 2.4 – Ciclo V	35
Figura 2.5 – Sistema de simulação HIL Modelagem da Planta	36
Figura 2.6 – Função e classificação xIL.	37
Figura 2.7 – Conceito HIL.	42
Figura 2.8 – Placas HIL.	42
Figura 2.9 – Estrutura HIL.	44
Figura 2.10–Board HIL.	45
Figura 2.11–Configuração Board HIL.	46
Figura 2.12–Lista de Sinais HIL.	47
Figura 2.13–Distribuição de energia da bateria para ECU.	48
Figura 2.14–Inserção de Falha Interior.	48
Figura 2.15–Exemplo de integração sinal DIGOUT do lado do ECU com Carga e sem FIU	49
Figura 2.16–Exemplo de sinal DIGOUT do lado da ECU com FIU e ligação Load adaptado.	50
Figura 2.17–Exemplo de sinal DIGIN do lado do ECU sem FIU adaptado.	51
Figura 2.18–Exemplo de sinal DIGIN do lado do ECU com FIU adaptado.	52
Figura 2.19–Exemplo de sinal de entrada Resistivo do lado da ECU sem FIU adaptado.	53
Figura 2.20–Exemplo de sinal de entrada Resistivo do lado da ECU FIU adaptado.	54
Figura 2.21–Exemplo de sinal de rede CAN com FIU adaptado.	54
Figura 2.22–Bits dominantes e recessivo na rede CAN	55
Figura 2.23–Quadro de dados Mensagem CAN	55
Figura 2.24–Software de desenvolvimento e simulação de Modelos	55
Figura 2.25–Software de configuração entre o hardware e o simulador	56
Figura 2.26–Software para operação	56
Figura 2.27–Integração modelagem e software	58
Figura 2.28–Virtualização de testes SIL	60
Figura 2.29–Ciclo de desenvolvimento MDB	61

Figura 2.30–Desenvolvimento de bibliotecas	63
Figura 2.31–Bibliotecas do modelo da planta	63
Figura 2.32–Interface modelo da planta	64
Figura 2.33–Estrutura do modelo da planta	64
Figura 3.1 – Esquema elétrico BCM reduzido.	69
Figura 3.2 – adaptada do Diagrama de corpo livre.	72
Figura 3.3 – Força de Fricção.	72
Figura 3.4 – Protocolo de Comunicação - ver se posso utilizar essa imagem	73
Figura 3.5 – Protocolo de Dados	73
Figura 3.6 – Topologia da Rede	74
Figura 3.7 – Nivel de Tensão	74
Figura 3.8 – Configuração da CAN	75
Figura 3.9 – CAN DBC Mensagens	75
Figura 3.10–Configuração LIN	76
Figura 3.11–Luzes internas e externas do veículo.	78
Figura 4.1 – Vistas ortogonais em escala 1:6 mm;	83
Figura 4.2 – Estrutura montada	84
Figura 4.3 – Cabeamento frontal Load Box.	85
Figura 4.4 – Cabeamento vista interna e régua de borne	85
Figura 4.5 – Conexão frontal	87
Figura 4.6 – Cargas lumonisas frontais	89
Figura 4.7 – Cargas luminosas traseiras	89
Figura 4.8 – Visão frontal do painel de cargas luminosas do Projeto	89
Figura 4.9 – Fluxograma do processo	92
Figura 4.10–Software Configuration Desk.	93
Figura 4.11–Software Control Desk.	94
Figura 4.12–Banco de teste HIL.	95
Figura 4.13–Ciclo de teste de liga e desliga.	97
Figura 4.14–Ciclo de teste de repetição.	97
Figura 4.15–Análise de teste por falha	98
Figura 4.16–Análise de teste por falha e repetição.	98
Figura 4.17–Virtualização de sistemas industriais.	99
Figura 4.18–Teste farol com inserção de falha	101
Figura 4.19–Teste Lanterna com inserção de falha	102
Figura 4.20–Teste farol com ciclo de chave	102
Figura 4.21–Teste Farol com carga real conectada	103
Figura 4.22–Teste Lanterna ciclo longo.	104
Figura 4.23–Teste Lanterna com inserção de falha	104

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Fornecedores de Simuladores Hardware in the Loop	23
Tabela 1.2 – Aplicação em SIL e MIL	23
Tabela 4.1 – Informação do Hardware	81
Tabela 4.2 – Materiais para Construção da Estrutura	82
Tabela 4.3 – Componentes da Estrutura LoadBox.	85
Tabela 4.4 – Luz Interna e Externa do Veiculo	88

Lista de Abreviaturas e Siglas

IEA	International Energy Agency
MCI	Motor a Combustão Interna
GDI	Injeção Direta de Gasolina
PHEVs	Plug in Electric Vehicle
HIL	Hardware in the Loop
PWM	Pulse Width Modulation
ESP	Electronic Stability Program
HHC	Hil Holder Control
ADAS	Advanced Driver Assistance System
Autosar	Automotive Open Systems Architecture
ECU	Unidades de Controle Eletrônico
ABS	Anti Break System
MIL	Model in the loop
SIL	Software in the Loop
VHIL	Vehicle in the Loop
ASM	Automotive Simulation Models
Pb	Chumbo - Ácido
NiCd	Níquel-Cádmio
NiMH	Níquel-Metal
Li-íon	Íon de Lítio
AVM	Dynamic Average - Value Modeling

EVCU	Unidade de Controle Eletrônico Virtual
CAN	Controller Network Area
BCM	Body Computer Module
PWB	Plywood Buck
dPWB	Dynamic Plywood Buck

Sumário

1	Introdução	19
1.1	Breve Contexto e Relevância	19
1.2	Objetivos	20
1.3	Objetivos Gerais	20
1.4	Objetivos Específicos	20
1.5	Contribuições	21
1.6	Metodologia	22
1.7	Perspectivas futuras	22
1.8	Estrutura do Trabalho	25
2	xIL Simuladores: Hardware e Plataformas	27
2.1	Simulador Hardware in the loop HIL	27
2.2	Simulador Software in the loop SIL	28
2.3	Reutilização de testes em ambientes SIL e MIL: Possibilidades e desafios.	30
2.4	Simulador Modeling in the loop MIL	30
2.5	Cenário Nacional Simuladores HIL	33
2.6	Cenário Internacional utilização Simuladores HIL	34
2.7	Um modelo de utilização de ferramentas xIL na indústria automotiva brasileira.	36
2.8	Componentes das Plataformas xIL	37
2.9	Hardware in the loop - Simulador	43
2.10	Hardware in the loop - Modulos e Placas	44
2.11	Integração com o sistema	47
2.12	Rede de Comunicação CAN	50
2.13	Softwares e ferramentas de validação HIL	51
2.14	Softwares e aplicações VEOS	58
2.15	Model based design - Hardware in the loop	59
2.16	Integração do Modelo ao Hardware	62
2.17	Conclusões	64
3	Unidade de Controle eletrônica - BCM	67
3.1	Gerenciamento da Iluminação Interna e Externa	67
3.2	Gerenciamento de Consumo Energético da iluminação	69
3.3	Modelos de Simulação para a Central (BCM)	70
3.4	Protocolo de Comunicação CAN/LIN	72
3.5	Modelagem CAN/LIN	75
3.5.1	Internal Lights	77
3.5.2	External Lights	77
3.6	Conclusões	78

4	Resultado	81
4.1	Estrutura	82
4.2	Conexão e Cabeamento	84
4.3	Montagem da Loadbox	86
4.4	Cargas Luminosas	87
4.5	Comissionamento	91
4.6	Software configuração	93
4.7	Software Operação	94
4.8	Validação e Verificação	95
4.9	Loop de testes	96
4.10	Virtualização	99
4.11	Análise de funcionamento – Configuração e teste de falha.	100
4.12	Conclusões	106
5	Conclusão	107
5.1	Propostas de continuidade	108
	Referências	109
	Apêndice A Produção de artigo	119

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo, é possível entender a motivação e as fases de desenvolvimento do projeto, começa com um contexto geral e depois são listados os objetivos, as contribuições que possibilitou o entendimento necessário para realizar este trabalho, finalmente, uma breve estruturação aplicando modelos de referência encontrado na literatura e práticas indústrias atuais, demonstrando como o texto é organizado.

1.1 Breve Contexto e Relevância

A competição global em busca da eletrificação de veículos tem impulsionado uma mudança no foco do desenvolvimento de produtos, incentivando as aplicações com motores elétricos. Essa mudança impactou diversos sistemas elétricos do veículo, gerando investimentos em novas formas de teste. Conseqüentemente, a atualização dos sistemas eletrônicos de potência dos veículos, com foco na eficiência energética e confiabilidade, tem incentivado o investimento em tecnologias de sensores e atuadores mais modernos, alterando o escopo de análise dos testes e a forma como as técnicas de verificação e validação dos novos componentes e sistemas do veículo são aplicadas [P.T \[2019\]](#). A demanda por componentes eletrônicos, como as unidades de controle eletrônicas (ECUs), que controlam os motores e se conectam aos sensores e atuadores do carro, é uma preocupação constante das equipes de desenvolvimento e validação, devido à necessidade de operação e funcionamento com alto desempenho. As ECUs precisam ter uma resposta rápida aos comandos e seus impulsos devem ser precisos, para não prejudicar a comunicação entre outras ECUs pela rede CAN/LIN ou ethernet, que atualmente conectam todo o circuito eletroeletrônico do carro. Essa evolução tem levado a um maior valor dos testes iniciais pelo time, não apenas na fase de prototipagem, a fim de evitar possíveis prejuízos e desperdícios durante o desenvolvimento. O módulo de controle do corpo (BCM) tem uma grande responsabilidade no funcionamento do veículo e requer atenção especial no seu desenvolvimento, assim como as cargas luminosas internas e externas, como faróis e lanternas. A utilização de

simuladores xIL para testes é a solução mais moderna para realização de testes, tanto simulados em determinados casos quanto reais, com componentes físicos e em tempo real Steven [2009]. Um componente com problemas na fase de produção pode gerar retrabalhos, impactar no prazo de desenvolvimento do veículo, comprometer outras centrais conectadas e causar insegurança no cliente em possíveis recalls.

1. Possíveis problemas decorrente a uma validação e verificação incorreta
 - a) Impactar no prazo de desenvolvimento do projeto e causar atrasos de lançamento;
 - b) Retrabalho em peças defeituosas;
 - c) Comprometer outras partes do veículo causando danos irreparáveis;
 - d) Insegurança do consumidor impactando as vendas no mercado.

Além disso, o impacto global causado pela pandemia com o covid 19 alterou a disponibilidade de componentes eletrônicos e impactou diretamente a produção de veículos em todas as montadoras. Assim, foi necessário uma mudança a curto prazo em criar estratégias de desenvolvimento de componentes com qualidade e evitar erros de projeto S.R. [2018].

Neste cenário a utilização de simuladores xIL para testar não apenas o componente separado, mas também a integração do sistema completo, a validação e verificação de centrais automotivas, tal como a realização de testes stress para verificar a vida útil do componente e sua confiabilidade. Os testes desenvolvidos neste trabalho utilizaram o simulador *hardware in the loop (HIL)*, analisando e testando a central BCM e suas cargas luminosas que recebem os comandos e acionamento pelos drives de controle.

1.2 Objetivos

1.3 Objetivos Gerais

Como objetivo geral, este estudo de caso visa aprofundar a metodologia de testes de componentes veiculares utilizando simuladores HIL.

1.4 Objetivos Especificos

Como objetivo específico, este trabalho tem o desenvolvimento de uma loadbox, que é uma caixa de carga que contém todas as lâmpadas internas e externas do veículo. Entre esses desafios o foco principal é a análise funcional do hardware e seu funcionamento. Analisar e comparar plataformas de testes individuais e sistêmicas. Desta forma é possível

priorizar qual melhor alternativa de teste aplicar em determinado componente, dividido em subsistemas e etapa de desenvolvimento do veículo.

1.5 Contribuições

A proposta em utilizar simuladores xIL é devido a evolução da indústria automotiva em realizar testes inteligentes, inicialmente o modelo *Software in the loop SIL* é a ferramenta de entrada no sistema, considerando a engenharia aplicada na área de propulsão e eletrificação e todo o desenvolvimento com uma visão global e compartilhada entre modelos e regiões diferentes, possibilitando flexibilidade em fornecedores de componentes diferentes S.R. [2018]. É possível verificar em Du J [2007] o crescimento da utilização de simuladores HIL na indústria nos últimos 20 anos, esse aumento é resultado de pesquisas e investimento em novos meios de testes automáticos, não apenas visando financeiramente e mas também elevando a qualidade do produto ao cliente e possibilitando mais segurança e eficiência ao validador, para executar alguns testes que necessitam o uso extremo do componente/veículo. Metodologias de testes automáticos utilizando simuladores *hardware in the loop* (Steven [2009], Kelemenová [2013], Ojas M. [2017]) e (Vora [2014], Du J [2007]).

A ideia de utilizar simuladores xIL em plataformas diferentes ou aplicações desconectadas não é uma inovação nos dias atuais, sistemas de controle de formação de posição para multicopteros são desenvolvidos pela EMBRAER para simulação de pilotos automáticos sendo inseridos em ambientes mais dinâmicos e com ampla gama de dados complementares em Du J [2007], Vora [2014]. A técnica de simulação xIL em sistemas de redes de sensores sem fio é proposta por Lone [2020], Mihalič [2022], Inc. [2023] e (pal RT Technologies Inc [2021], Wu, Palladino [2012]) que em seus testes utilizou os simuladores HIL (hardware in the loop) para comutar entre sensores reais e virtuais, analisando possíveis perdas e captando informações em tempo real.

O presente estudo tem como propósito contribuir para a disseminação do uso de simuladores xIL na realização de testes de componentes e sistemas automotivos. A pesquisa baseia-se em estudos recentes na indústria automotiva, alinhados a fornecedores de *software* e *hardware*. O objetivo principal é demonstrar os benefícios da utilização do simulador HIL na execução de testes de verificação e validação da ECU e do BCM, além da integração destes componentes com um protótipo de conexão entre a ECU e as cargas, conhecido como *loadbox*.

1.6 Metodologia

Para a validação e verificação de unidades de centrais automotivas, é necessário inicialmente montar setup de teste com o hardware conectado, permitindo a instalação de *software*. para analisar o seu funcionamento. Para isso, devem ser definidos qual ECU irá ser trabalhada e quais funções serão testadas nesse setup, a fim de definir qual meio de prova utilizar para realizar as análises: diagnose funcional; stress teste; teste integrativo; teste comunicação CAN, teste de compatibilidade com o modelo da planta. Assim, de posse das configurações de hardware e software define-se qual banco de teste melhor aplica no loop de teste. Existe diferentes meios de provas para realizar os testes, bancadas dinâmicas e não dinâmicas, system HIL, componente HIL e VHIL S.R. [2018]. Neste trabalho, opta-se por utilizar o componente HIL, meio de prova para teste componente com foco em apenas uma unidade de central eletrônica conectada, considerando o sistema conectado a um simulador HIL com a ECU real conectada, e o modelo configurado com as características do componente.

A integração entre a ECU conectada ao system HIL é realizada a partir de um setup externo, conhecido como loadbox, onde contém a central a ser testada BCM e suas cargas de iluminação. Todo o sistema é conectado internamente, seguindo a documentação do hardware compartilhada pelo fornecedor e do projeto. A partir do modelo desenvolvido no simulink/matlab o arquivo do modelo da planta é carregado no software do simulador com as respectivas informações das portas e placas e as suas lógicas implementadas, avalia-se a resposta de sinais na rede CAN com envio e recebimento das mensagens e o funcionamento das cargas luminosas durante os testes de função. Os resultados são avaliados com base nos testes realizados pelo fornecedor, ciclo de chave, conectividade, tempo de resposta, ativação de cargas por ciclo, seguindo a configuração do componente e suas características físicas.

1.7 Perspectivas futuras

Nos últimos cinco anos, a indústria automotiva tem passado por transformações significativas na busca por veículos mais seguros, eficientes e sustentáveis. Nesse contexto, os simuladores HIL, MIL e SIL têm se mostrado valiosas ferramentas para o desenvolvimento de sistemas automotivos confiáveis e seguros, permitindo testes rigorosos em ambientes controlados antes da implementação em veículos reais.

Uma das perspectivas futuras para o uso de simuladores xIL na indústria automotiva global é o aumento do uso de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial, para tornar os testes ainda mais precisos e eficientes. Além disso, a crescente demanda por veículos elétricos e autônomos deve impulsionar o desenvolvimento de novas soluções de simulação, capazes de lidar com sistemas cada vez mais complexos e integrados.

Outra perspectiva importante é a crescente adoção de soluções de simulação na nuvem, que permitem acesso remoto a ferramentas de simulação de alta performance, reduzindo custos de infraestrutura e melhorando a colaboração entre equipes distribuídas globalmente. Essa tendência já pode ser observada em algumas empresas do setor, como a Ford, que recentemente anunciou a criação de uma plataforma de simulação na nuvem para acelerar o desenvolvimento de veículos elétricos e autônomos.

Em suma, a utilização de simuladores HIL, MIL e SIL na indústria automotiva global possui um futuro promissor, com a adoção crescente de tecnologias avançadas, soluções de simulação na nuvem e a crescente demanda por veículos elétricos e autônomos. Essas ferramentas serão fundamentais para garantir a segurança, eficiência e sustentabilidade dos veículos desenvolvidos nos próximos anos.

Tabela 1.1 – Fornecedores de Simuladores Hardware in the Loop

Fornecedor	Aplicação Industrial	Participação de Mercado
National Instruments	Automotivo, Aeroespacial, Energia	25%
dSPACE	Automotivo, Aeroespacial, Energia	20%
Opal-RT	Energia, Ferrovias, Aeroespacial	15%
Typhoon HIL	Eletrônica de Potência, Energia	10%

Tabela 1.2 – Aplicação em SIL e MIL

Fornecedor	Aplicação
National Instruments	MIL e SIL
dSPACE	MIL e SIL
Opal-RT	SIL
Typhoon HIL	MIL e SIL

No geral, os simuladores HIL, SIL e MIL são ferramentas importantes para o desenvolvimento de sistemas automotivos modulares, permitindo que os fabricantes e fornecedores de autopeças testem suas soluções de forma segura e eficiente. No contexto da indústria automotiva, a National Instruments é uma das principais fornecedoras de soluções de teste e medição, oferecendo ferramentas HIL de alto desempenho. Com sua plataforma de hardware modular e software de programação intuitivo, a National Instruments tem se destacado no mercado graças à sua flexibilidade e facilidade de uso, permitindo que engenheiros configurem e executem testes automáticos com rapidez e precisão.

A dSPACE é uma empresa de soluções HIL para a indústria automotiva, oferecendo hardware e software altamente integrados para testes de sistemas embarcados. A empresa oferece uma ampla gama de sistemas HIL para simular diferentes sistemas veiculares, como motores, transmissões, sistemas de direção e frenagem, entre outros. Além disso, a dSPACE também oferece soluções de teste MIL e SIL, permitindo que os engenheiros testem diferentes componentes e sistemas em diferentes estágios do ciclo de desenvolvimento [Palladino \[2012\]](#).

A Opal-RT é uma fornecedora de soluções de simulação em tempo real que tem se destacado no mercado devido à sua plataforma de software avançada e suas ferramentas HIL altamente eficientes. A empresa oferece uma ampla gama de soluções HIL para a indústria automotiva, incluindo sistemas para testes de motores, transmissões, sistemas de controle de tração, entre outros. Além disso, a Opal-RT também oferece soluções de teste SIL, permitindo que os engenheiros testem e verifiquem os sistemas de controle de forma precisa e eficiente. [Opal RT Technologies Inc \[2021\]](#).

Por fim, a Typhoon HIL é outra fornecedora de soluções HIL para a indústria automotiva, oferecendo sistemas de simulação em tempo real para testes de sistemas elétricos de potência. A empresa oferece soluções altamente integradas e modulares, que permitem que os engenheiros testem e validem diferentes componentes e sistemas elétricos com precisão e segurança. Além disso, a Typhoon HIL também oferece soluções MIL e SIL, permitindo que os engenheiros testem diferentes sistemas em diferentes estágios do ciclo de desenvolvimento [Inc. \[2023\]](#).

No contexto da indústria automotiva, as soluções HIL, MIL e SIL oferecidas pelas empresas National Instruments, dSPACE, Opal-RT e Typhoon HIL são fundamentais para garantir a qualidade e segurança dos sistemas veiculares modernos. Essas ferramentas permitem que os engenheiros testem diferentes componentes e sistemas em condições controladas, reduzindo os riscos e os custos associados a testes em protótipos reais. Com suas soluções altamente eficientes e avançadas, essas empresas têm se destacado no mercado, oferecendo soluções que atendem às necessidades dos fabricantes e fornecedores de autopeças em todo o mundo, este trabalho está estruturado em 5 capítulos conforme será descrito a seguir.

1.8 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciando com o capítulo 1 introdutório. O Capítulo 2 constitui a base do tema proposto, onde é apresentada uma revisão da literatura, contendo informações de estado da arte, fundamentos científicos públicos na literatura e casos de sucesso implementados nas montadoras nacionais e globais. Tal revisão tem o objetivo de servir como parâmetro para os capítulos posteriores. Neste capítulo, é possível ter uma visão geral da proposta, com informações do cenário internacional e nacional, os simuladores xIL e suas configurações referentes ao hardware e software, o tipo de modelagem e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento das plataformas, a validação e verificação de sistemas e componentes. Ao final deste capítulo, o foco principal deste projeto é clarear as informações e compartilhar com convicção o conceito descrito neste trabalho, o poder das ferramentas xIL simuladores no desenvolvimento de veículos.

No capítulo 3, é apresentada a unidade de controle eletrônico (ECU) e sua função de controlar os sensores e atuadores do veículo e suas respectivas cargas. É citada a unidade de controle eletrônico virtual (EVCU), unidade virtual de controle eletrônico, devido à importância da virtualização, e é dedicado a apresentar a ECU testada neste projeto, o BCM, suas características e funções.

No Capítulo 4, são expostos os resultados obtidos com a utilização de plataformas xIL para validação e verificação, através de testes realizados. É apresentada a *loadbox*, sendo o *hardware* portátil que possui as cargas reais do veículo, onde foram utilizados faróis e lanternas conseqüentemente controladas pelo BCM.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas com esta dissertação, além de propostas de continuidade em trabalhos futuros e publicações relacionadas.

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciando com o capítulo 1 introdutório. O Capítulo 2 constitui a base do tema proposto, onde é apresentada uma revisão da literatura, contendo informações de estado da arte, fundamentos científicos públicos na literatura e casos de sucesso implementados nas montadoras nacionais e globais. Tal revisão tem o objetivo de servir como parâmetro para os capítulos posteriores. Neste capítulo, é possível ter uma visão geral da proposta, com informações do cenário internacional e nacional, os simuladores xIL e suas configurações referentes ao hardware e software, o tipo de modelagem e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento das plataformas, a validação e verificação de sistemas e componentes. Ao final deste capítulo, o foco principal deste projeto é clarear as informações e compartilhar com convicção o conceito descrito neste trabalho, o poder das ferramentas xIL simuladores no desenvolvimento de veículos.

No capítulo 3, é apresentada a unidade de controle eletrônico (ECU) e sua função

de controlar os sensores e atuadores do veículo e suas respectivas cargas. É citada a unidade de controle eletrônico virtual (EVCU), unidade virtual de controle eletrônico, devido à importância da virtualização, e é dedicado a apresentar a ECU testada neste projeto, o BCM, suas características e funções.

No Capítulo 4, são expostos os resultados obtidos com a utilização de plataformas xIL para validação e verificação, através de testes realizados. É apresentada a *loadbox*, sendo o *hardware* portátil que possui as cargas reais do veículo, onde foram utilizados faróis e lanternas conseqüentemente controladas pelo BCM.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas com esta dissertação, além de propostas de continuidade em trabalhos futuros e publicações relacionadas.

A estrutura do trabalho propõe ao leitor a oportunidade de conhecer a parte técnica do desenvolvimento com seus manuais descritivos e documentação de engenharia e também possibilita a visualizar a parte teórica em conformidade com a literatura, fundamentada em análises e simulações matemáticas.

Capítulo 2

xIL Simuladores: Hardware e Plataformas

Este capítulo tem como objetivo apresentar a estrutura física e funcional dos simuladores xIL. Aqui, inicialmente, é apresentada uma introdução de sistemas HIL, SIL e MIL. É apresentada informações de hardware e software que compõem cada plataforma. Posteriormente, é compartilhando as ferramentas integradas a cada hardware e plataforma, fazendo um comparativo entre as plataformas e suas respectivas aplicações industriais, para além dos pontos positivos da sua utilização para validação e verificação de sistemas automotivos. Em segundo lugar, é apresentado a usabilidade dos sistemas e os desafios, tal como áreas de aplicação, e compartilhado algumas normas e certificações. O capítulo termina com uma discussão sobre exemplos de simuladores utilizando plataformas virtuais.

2.1 Simulador Hardware in the loop HIL

A plataforma HIL é um exemplo de banco de teste que utiliza no seu desenvolvimento de sistemas eletrônicos sistemas modulares e físicos. A simulação envolve a operação de sistemas eletrônicos e mecânicos, particularmente unidades de controle eletrônico (ECUs), em um circuito de controle fechado com componentes físicos para análise de funcionamento e testes de possíveis ocorrências, incluindo inserção de falhas. O método de teste "hardware-in-the-loop" permite testar ECUs reais incorporados em um ambiente de simulação mais próximo do real, oferecendo testes completos 24/7 no laboratório, encurtando os tempos de validação e aumentando a gama de cenários de teste. O HIL também permite testar casos críticos e complexos para outros sistemas sem problemas de segurança. [Y. Han and Zhang \[2015\]](#) .

A crescente complexidade das arquiteturas de desenvolvimento, a evolução da comunicação entre as redes CAN, a eletrificação e a dependência de sistemas de segurança compatíveis com a tecnologia atual contribuem para a necessidade de testes HIL para asse-

gurar a fiabilidade do sistema global [Dallmann \[2007\]](#). O simulador HIL tem a capacidade de inserir módulos para aplicações diferentes e atender à maioria dos testes requisitados no desenvolvimento. Seu funcionamento depende da instalação física e integração de software [Martin \[2015\]](#).

O princípio de funcionamento dos simuladores HIL está conectado diretamente à aplicação definida, e o conceito de automatizar testes é uma peça chave do trabalho [Y. S. Kim and Kim \[2015\]](#). A estrutura física e seus periféricos conectam e comportam as centrais automotivas planejadas em um projeto, e a necessidade de teste e aplicação possibilita definir os softwares e modelos a serem desenvolvidos paralelamente. A plataforma HIL em funcionamento exige a colaboração da equipe de hardware e software para levantar as necessidades técnicas, desenvolver o hardware e os modelos, e definir os sinais das funções e parâmetros para desenvolver a aplicação [S. Yue and Zhang](#).

O modelo utilizado neste artigo demonstra a ferramenta desenvolvida pela empresa alemã dSPACE, que contém vários módulos e unidades de configuração divididos em sistema de alimentação, módulo de processamento e lógica, placas de entradas e saídas e modulação de sinais, placas de inserção de falhas e comunicação de rede [J. Gracia and Garrido \[2014\]](#). O desenvolvimento do HIL está vinculado ao desenvolvimento do modelo utilizado no sistema, que contém informações de sinais e lógicas de funcionamento modelados em Matlab/Simulink e parametrizados com o hardware definido. Em 2007, a montadora GM intensificou essa metodologia, como é possível observar na Figura 2.1.

2.2 Simulador Software in the loop SIL

A Plataforma (SIL) é uma proposta compatível com aplicações industriais que possibilita realizar testes em unidades de centrais automotivas virtualmente. A crescente implementação de funções automotivas ligadas a softwares, despertou na indústria automotiva a necessidade de investimento e apoio no desenvolvimento de ambientes virtuais baseado em simulações. Atualmente as estratégias de desenvolvimento de metodologia SIL está diretamente relacionada ao modelo utilizado no projeto, em alguns casos ele utilizado em testes HIL, onde são utilizadas as ferramentas de modelagem da MathWorks tudo é projetado em MatLab/Simulink em diversos estágios de desenvolvimento desde a implementação de bibliotecas a integração entre centrais desenvolvidas internamente ou por fornecedores [J. Gracia and Garrido \[2014\]](#).

No processo de configuração e as etapas de testes envolvidos na implementação da plataforma SIL, inicialmente, é realizada uma análise do modelo, a fim de verificar a compatibilidade entre as diversas plataformas envolvidas. Posteriormente, o comissionamento é executado, o que envolve a realização do primeiro teste integrativo, utilizando-se tanto softwares desenvolvidos internamente quanto aqueles provenientes de parcerias com

fornecedores. Por fim, tem-se a fase de validação, em que são conduzidos os testes planejados pelos especialistas no intuito de verificar a adequação e eficácia da plataforma implementada. [Y. Zheng and Chen \[2018\]](#). Os avanços tecnológicos veem contribuindo com o aumento do uso de plataformas SIL, a disponibilidade de desktops mais eficientes e alto desempenho possibilita realizar testes rápidos com qualidade e confiabilidade. O sistema não dependente de hardware quando comparado a outras plataformas HIL, no processo de desenvolvimento é possível adiantar etapas como a integração virtual de unidade de central eletrônica, possibilidade importantíssima na visão industrial [J. Song and Chen \[2015\]](#). A exploração de cenários complexos, simulação de falhas e teste de integração são possibilidades aplicadas em testes SIL, a ferramenta oferece recursos de troca de componentes sem necessidade de prototipagem, os ciclos de testes não sofrem atrasos e dependem de entregas de componentes. [T. Islam and Savkin \[2016\]](#).

A necessidade de plataformas de testes que realizem trabalhos complexos em menor tempo e custo benéfico impulsionou a disseminação de plataformas xIL entre as indústrias automotivas globais. O cenário de pesquisa e desenvolvimento contribuiu com esse interesse e enriqueceu as possibilidades de aplicação. [D. V. Dolk and Kling \[2007\]](#). A proposta da montadora GM em incentivar a utilização de plataformas xIL em seus testes faz parte de uma parceria com a desenvolvedora dSPACE fabricante que possui experiência na área de tecnologia e inovação e compartilha simuladores com todas as montadoras globais.



Figura 2.1 – Estratégia Global HIL da General Motors .

Fonte: [Y. S. Kim and Kim \[2015\]](#)

2.3 Reutilização de testes em ambientes SIL e MIL: Possibilidades e desafios.

A reusabilidade de testes tornou-se realidade com o surgimento de plataformas xIL, a possibilidade de utilizar o mesmo modelo desenvolvido por times globais em plataformas diferentes é hoje um ganho para a indústria. O processo é configurado desde o início da aprovação do projeto, onde o time de engenharia define a arquitetura do veículo e com auxílio dos especialistas é mapeado todos os sinais e funções para desenvolver as ECUs disponíveis no projeto. A fase do projeto determina qual plataforma inicia o trabalho primeiro é considerando a disponibilidade de hardware para testes físicos e modelo para aplicação de simulações virtuais. [Härri and Törngreny \[2017\]](#).

O papel dos primeiros projetos como piloto e referência para a padronização de testes, bem como a necessidade de adaptação de diferentes processos e modos de desenvolvimento dentro da fabricante dSPACE, que produz simuladores alinhados às necessidades dos clientes. O exemplo mais recente dessa adaptação foi a fusão do grupo FCA e PSA, que impactou diversos setores da indústria automotiva, incluindo a engenharia. Como resultado, a divisão de desenvolvimento precisou reestruturar e adaptar rapidamente diversos processos de desenvolvimento, incluindo a área de xIL. A utilização de simuladores xIL contribuiu para esse processo de adaptação, já que a padronização de testes e a criação de documentação facilitam a integração em outras plataformas, independentemente da localização. Metodologias SIL e MIL não dependem de hardwares físicos conectados diretamente aos desktops, o que tem sido uma peça-chave na mudança de cultura e na adoção de ferramentas de teste. [S. Dutt and Gajski \[2002\]](#).

A facilidade de integração em plataformas diferentes é positiva entre simuladores virtuais, porém quando envolve hardware requer atenção e muito diálogo entre o time de desenvolvimento e validação, devido a compatibilidade de estrutura física e componentes. [James Wollaeger \[2012\]](#). sobre as propostas de integração entre as regiões e o processo de padronização das ferramentas de testes como oportunidade de utilização de plataformas xIL em testes locais e remotos.

2.4 Simulador Modeling in the loop MIL

A plataforma de simulação MIL ou globalmente conhecida como testes baseados em modelos matemáticos na mesma plataforma de desenvolvimento. Inicialmente é necessário desenvolver um modelo para aplicação integrada a um meio de prova físico, podendo ser o mesmo utilizado na plataforma HIL, tal modelo é construído em um ambiente de simulação como o Simulink, que captura a maioria das características importantes do sistema de hardware. Após criar o modelo da plataforma, é desenvolvido o modelo do controlador e

verificado se o controlador pode controlar e capturar todos os sinais previstos no projeto Guzzella [2011].

A utilização da metodologia MIL aumentou na indústria automotiva devido diversos fatores positivos entre eles a relação de compreensão entre o custo e o tempo de desenvolvimento que são variáveis importantíssima no planejamento de validação para os projetos de novos veículos. O impacto causado devido a atrasos de componentes e ou falhas de projeto podem ser irreversíveis e prejudicar o cumprimento das entregas planejadas. Com isto a possibilidade de adiantar testes em fase inicial do projeto sem dependência de softwares em fases finais ou até mesmo o componente físico em estado de protótipo é a solução de gerenciamento;

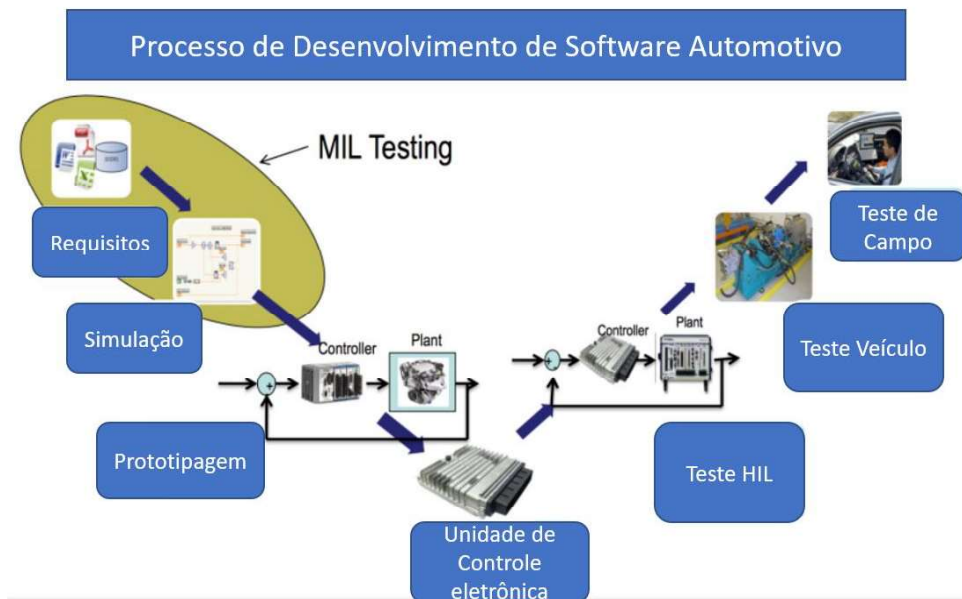


Figura 2.2 – Processo de desenvolvimento e aplicação xIL in the loop .

Fonte: Adaptada James Wollaeger [2012]

É possível observar na figura 2.2 a funcionalidade do *software control desk* utilizado na plataforma virtual unidade de controle eletrônico simulado VEOS. O *software* é estruturado em um modelo genérico, conforme a Figura 3, e permite a visualização de suas características em submódulos. Através desse recurso, é possível verificar todas as informações do veículo virtual e realizar testes específicos, conforme citado por M. Wu and Li [2011].

A plataforma MIL possibilita explorar e verificar as estratégias de controle e verificar o seu desempenho dinâmico no mesmo espaço de trabalho da plataforma. Também pode ser utilizado para simulações SIL, e HIL, que já foram mencionadas anteriormente dSPACE [2019].

A simulação baseada em PC de ECUs virtuais (V-ECUs) permite preparar e

executar testes de HIL no início do processo de desenvolvimento de software de ECUs. Para além do software de aplicação real, as ECUs fornecem tipicamente características de diagnóstico específicas. A geração de uma V-ECU com estas características de diagnóstico requer módulos de software básicos adicionais de terceiros [J. Lee and Ahn \[2015\]](#). A integração destes módulos de terceiros é possível utilizando módulos da camada de abstração do microcontrolador AUTOSAR (MCAL) fornecidos pela dSPACE.

Os requisitos para aplicação necessita de informação técnica e integrativa do fluxo de trabalho para a geração das V-ECUs com *system desk* [James Wollaeger \[2012\]](#). É necessário a utilização do software *ControlDesk* como ferramenta de teste de diagnóstico para executar serviços de diagnóstico e aceder à memória de falhas. A configuração da aplicação utiliza o software básico EB tresos AutoCore da Elektrobit para implementar as características de diagnóstico e possibilita gerar o software básico Elektrobit para a simulação no VEOS [Ali Emadi \[2004\]](#).

Os benefícios da utilização da plataforma MIL é tema antigo de longas reuniões entre times de desenvolvedores e validadores, amplamente citado de acordo com o Ciclo V, tem sido apoiado por lideranças e fornecedores de ferramentas de modelação e simulação. No início do processo, são coletados todos os requisitos e informações relacionados ao projeto, levando em consideração a possibilidade de *carry over*, usabilidade e compatibilidade entre as diferentes plataformas. Esses aspectos são definidos dentro do escopo do processo, com o objetivo de estabelecer diretrizes claras e garantir a integração eficiente e eficaz das diversas partes envolvidas [James Wollaeger \[2012\]](#). Neste artigo, o modelo de simulação apresentado foi desenvolvido com Matlab/Simulink e algumas ferramentas compatíveis com Excel e os Softwares do fornecedor de simuladores Dspace [M. Wu and Li \[2011\]](#). O software mencionado permite-nos construir um modelo de simulação no ambiente virtual. Integrando todos os parâmetros do Simulink com os blocos representando quadros de referência, corpos, juntas, etc. No entanto, também suporta o desenvolvimento de testes automáticos e constantes adaptações de melhorias durante o processo de desenvolvimento.

2.5 Cenário Nacional Simuladores HIL

As plataformas de simulação em tempo real vêm sendo cada vez mais utilizadas para acelerar o desenvolvimento de aplicações em diversas áreas da engenharia com foco industrial, como por exemplo, controle de processos, eletrônica de potência, automação e micro-redes. Dentre as tecnologias disponíveis, sistemas HIL permitem que uma planta seja emulada em um simulador em tempo real [Luiz G. G. Soeiro \[2011\]](#). Isto possibilita, por exemplo, a implementação e validação de centrais de comando e testes de sensores e atuadores, obtendo resultados muito próximos dos testes realizados em outros meios de provas mais complexos. Além disso, a plataforma HIL é configurável para a emulação de diferentes tipos de sistemas, oferecendo flexibilidade e adaptação para estudo e pesquisa em diferentes áreas, reduzindo custos e tempo de projeto [G. M. Coelho and Dalmolin \[2016\]](#).

Dentre as grandes indústrias de tecnologias disponíveis no mercado brasileiro, a EMBRAER vem se tornando uma referência de sucesso na utilização ferramentas de validação e verificação com uso de HIL, sendo responsável por citações e modelos de negócio entre empresas e universidades, colaborando com o conhecimento da aplicação de sistemas complexos com alta confiabilidade e justificando o investimento em simuladores automatizados [G. M. Coelho and Dalmolin \[2016\]](#). A importância da usabilidade de simuladores HIL para realizar testes em sistemas da EMBRAER, afirmando o ganho que Hardware in the Loop consiste em simular subsistemas que não podem ser incluídos nos testes fisicamente, permitindo que seja possível testar todo dispositivo de controle embarcado de forma completa antes de colocar o sistema em ambiente real. Assim, pode-se garantir a confiabilidade do sistema quantos aos requisitos ao mesmo tempo que reduz custos de testes e o tempo de lançamento do produto em mercado [L. S. Santos and Oliveira \[2017\]](#).

A proposta do trabalho na EMBRAER é a utilização do HIL para validação de sistemas de telemetria e controle remoto. Sendo implementado uma arquitetura modular composta por centrais de controle e simulação de sensores, atuadores e servidores web para controle remoto. Ponto positivo é a arquitetura ser construída modular permitindo a adição, alteração e retirada de módulos que simulam sensores e atuadores para criar um ambiente controlado de testes em laboratório de desenvolvimento e sensores para emular variáveis monitoradas pelo sistema de telemetria sob teste [F. C. Costa and Leão \[2018\]](#).

O processo de desenvolvimento dos sistemas e testes é baseado no modelo V, que é um processo de desenvolvimento como referência do Waterfall que relaciona cada etapa de desenvolvimento do software a uma etapa correspondente de validação, na figura 2.3 é possível observar o setup de teste montado e confirma o processo de VeV adicionando uma abordagem de desenvolvimento orientado a testes. Inicialmente é levantado os requisitos com as características funcionais e não funcionais da plataforma, conteúdo que será utilizado



Figura 2.3 – Simulador HIL na indústria.

Fonte: R. A. Araújo and Faria [2020]

como base na criação de testes e desenvolvimento das estrutura física do simulador, nessa fase é definido qual processo atende melhor o projeto, podendo optar por SIL, MIL ou HIL no caso foi definido o HIL R. A. Araújo and Faria [2020].

A metodologia mencionada na figura 2.4 é considerada como referência por equipes envolvidas no desenvolvimento e validação de projetos, pois abrange todas as etapas do ciclo V, tornando mais fácil a especificação de *hardware* e *software* e outras atividades relacionadas com fornecedores.

2.6 Cenário Internacional utilização Simuladores HIL

A concepção de produtos industriais em âmbito global é um processo complexo que demanda o uso de ferramentas versáteis para aprimorar o desenvolvimento. Uma dessas ferramentas é a simulação de HIL, que oferece a possibilidade de realizar simulações realistas por meio de um circuito fechado entre o *hardware* em teste e a simulação em tempo real. Essa abordagem permite uma integração efetiva entre os componentes físicos e virtuais, proporcionando uma avaliação precisa e abrangente do desempenho do produto durante o processo de desenvolvimento Salgado [2013]. O sistema compõe de drives e portas programável na estrutura. (FPGA) e processador de sinal digital (DSP). Um modelo HIL pode contornar danos graves ao realmente reduzir os custos de depuração e finalmente, reduzir o esforço global durante os testes M. Sales [2017].

No cenário internacional a visão histórica das simulações HIL através de diferentes desafios de engenharia, ou seja, dentro do setor automóvel, sistemas eletrônicos de potência, e diferentes unidades industriais, é constantemente atualizado. Diversos fornecedores, tais como National Instruments, dSPACE, Typhoon HIL, desenvolvedores de software como MATLAB Simulink *Real-Time toolboxes* e sistemas de *hardware* *Speedgoat*, oferecem uma

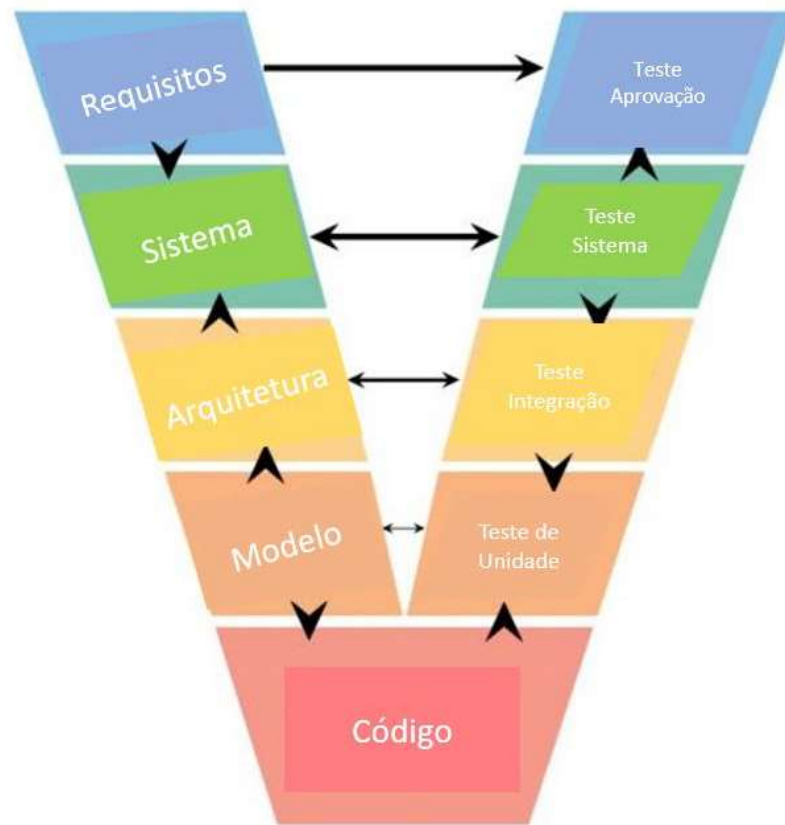


Figura 2.4 – Ciclo V .

Fonte: adaptada Almeida [2017]

ferramenta poderosa para investigações eficientes e bem-sucedidas em diferentes campos Lee [2013]. Por conseguinte, o cenário internacional iniciou a prática da simulação HIL a muito tempo e tem a premissa de investimento em pesquisa e desenvolvimento em parceria com educação para preparar os estudantes para compromissos profissionais na indústria allpar.com [2019].

Um exemplo de implementação do processo de comunicação entre o MATLAB/Simulink e a unidade de processamento de sinal digital durante a simulação do sistema a ser testado Liu [2016]. A aplicação do HIL é de grande importância para o projetista para estimar o efeito da unidade de processamento de sinal digital na resposta do controlador e estabilidade do sistema. Nesta aplicação como exemplo, um conversor de impulso DC-DC funcionava como o máximo e o controlador de corrente previsto foi implementado com base em o algoritmo de perturbação e observação do sistema fotovoltaico do circuito do impulso.

Na figura 2.5, é possível verificar que o esquema de controle foi programado na unidade de processamento de sinal digital e simulado no simulink. O bloco de transição

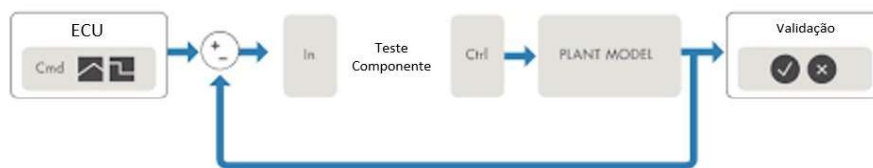


Figura 2.5 – Sistema de simulação HIL Modelagem da Planta

de taxa foi empregado para ajustar a frequência de operação da placa DSP, que pode ser diferente da frequência de amostragem do modelo simulink presente na figura 2.5 b. A figura apresenta os períodos de dados recebidos pela saída do controlador e de amostragem do modelo. Durante a verificação experimental do sistema de controle do conversor de impulso cc-cc, dois dados foram enviados ao MATLAB/Simulink pelo DSP, enquanto cinco dados foram enviados ao DSP [Shah \[2016\]](#).

Foi observado que existe um atraso de dois períodos de amostragem entre os dados recebidos e os dados transmitidos na análise do impulso conversor este atraso é independente da etapa do tempo de integração [Schmid \[2015\]](#).

2.7 Um modelo de utilização de ferramentas xIL na indústria automotiva brasileira.

No momento atual, a indústria automotiva brasileira possui 20 montadoras e 65 fábricas distribuídas em 11 estados, com capacidade instalada para produzir cerca de 4,5 milhões de veículos por ano e uma ampla rede de concessionárias. Nos últimos 5 anos, houve um aumento significativo na publicação de trabalhos relacionados a HIL, refletindo a importância e atualidade do tema. O Laboratório Tesla Engenharia de Potência da UFMG tem desenvolvido projetos de simuladores automotivos, como o estudo de alternadores usando simuladores HIL em parceria com a STELLANTIS. O projeto visa simular o funcionamento do alternador em diferentes condições de sinal do sensor IBS da bateria que se comunica com o ECM central de controle de motor, avaliando a energia armazenada pelo sistema. A proposta deste trabalho é apresentar um projeto futuro que possa ser integrado ao conceito modular e adaptativo do alternador. Há outros exemplos de projetos nacionais desenvolvidos em parcerias acadêmicas e da indústria, relacionados ao tema HIL. [Jannuzzi \[2018\]](#).

No Brasil a maioria dos projetos desenvolvidos relacionados com a utilização da metodologia xIL concentram-se nas grandes indústrias. Afinal, é uma ferramenta voltada a aplicações automatizadas e requer qualificação para operação e desenvolvimento [da Silva ;J. G. de Sousa \[2015\]](#). Isto torna a investigação nesta área ainda mais atrativa para o

meio industrial e fortalece o investimento em novas tecnologias, sendo importante para o desenvolvimento do país de Souza ; M. A. B. do Nascimento [2018].

Entre outros projetos desenvolvidos, uma montadora moderna que utiliza plataformas xIL bem conhecida é a da Jeep, localizada no Estado de Pernambuco. Este centro de tecnologia é referência na utilização de plataformas xIL e possui os simuladores mais modernos do país, com a arquitetura mais recente Scalexio. O laboratório de xIL é voltado para o lado de Propulsão focando em teste de motores, transmissão entre outros componentes do lado de Powertrain da Silva [2017].

Em 2022, a Ford lançou um projeto de capacitação especializada para desenvolvimento de simulação e testes virtuais utilizando SIL para funcionários alocados no Brasil, devido ao seu encerramento de produção em algumas regiões brasileiras. A ideia é que estas pessoas possam integrar a outros times globais e atendam a demanda do mercado brasileiro, a versatilidade de metodologias xIL facilita o trabalho remoto e possibilita empregar funcionários em localidades diferentes, não necessitando estar alocado onde o simulador HIL está posicionado. Em da Silvas [2014].é possível verificar a integração entre times espalhados pelo mundo.

2.8 Componentes das Plataformas xIL

A aplicação xIL pode ser dividida entre física ou virtual depende da plataforma selecionada, sistemas como MIL, SIL, PIL são sistemas virtuais e que existe possibilidade chavear em alguns casos para reais ou simulados, logo a plataforma HIL, VHIL são estrutura físicas que possuem todos os componentes reais, circuitos, sensores e atuadores do veículo Brochet [1995]. Mas isto poderia ser ainda mais dividido de forma didática em opções como MIL, SIL e HIL, por exemplo.

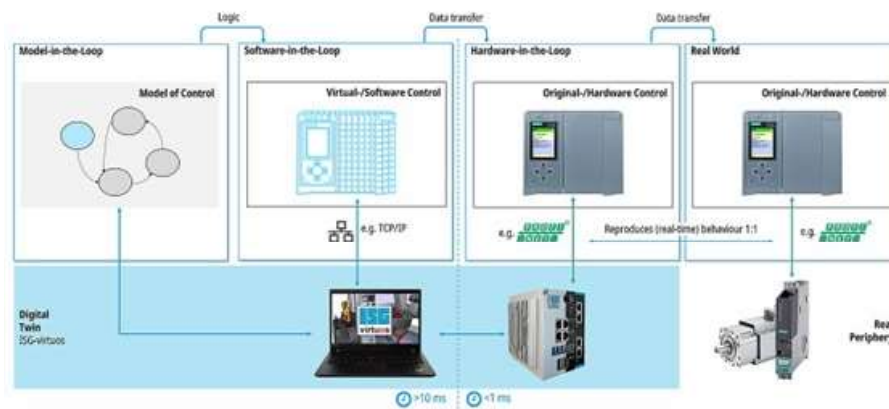


Figura 2.6 – Função e classificação xIL.

Fonte: Brochet [1995]

Inicialmente é possível observar a aplicação MIL, onde o modelo é a principal ferramenta de teste, utilizando o matlab é possível compilar o modelo integral no Simulink, o desenvolvimento independe de estado de software ou componente físico representado na figura 2.6. O MIL é autossuficiente e independente, porém demanda alto processamento e conhecimento específico para o seu desenvolvimento, pois não são apenas as bibliotecas das centrais que estão sendo aplicadas nesta plataforma e sim todos os sinais que compõem o veículo Shields [2002]. O MIL realiza testes nas primeiras fases do projeto, é uma ferramenta poderosa para reuso de testes entre outros projetos até a fase de desenvolvimento dos SIL. A plataforma pode ser vista como uma extensão da aplicação HIL no ciclo de desenvolvimento de projetos. No entanto, onde o HIL não está disponível, o SIL é capaz de atender aos testes nessa fase, embora não com a mesma velocidade, devido à ausência do modelo completo. Nesse contexto, o SIL depende da entrega de bibliotecas pelos fornecedores para possibilitar a integração necessária. O software possui a versatilidade de testar em ambiente virtual utilizando softwares do fornecedor, compatível com Matlab/Simulink, conhecido como VEOS a plataforma virtual de testes é amplamente utilizada na indústria automotiva e a tendência é aumentar durante os anos. Logo no exemplo HIL, é possível verificar a dependência da estrutura física, mas nota-se o reuso de modelos entre as plataformas, que facilita a integração entre os times e processos e traz confiabilidade na sua utilização para validação e verificação na etapa de validação T. Yalcinoz and Aksoy [2015].

Em suma, as plataformas xIL podem ser consideradas meios de provas, reais e ou virtuais para realização de verificação e validação de sistemas eletrônicos e mecânicos, composto por unidades de centrais eletrônicas, sistemas de proteção e alimentação, sensores e atuadores e software associado. Quando dependente de estrutura física estes dispositivos incluem controle de drives e alimentação para o sistema de comunicação e alimentação c.a K. H. Kwon and Kim [2012]. Os dispositivos compostos são reais e de alta significatividade para representar os presentes no veículo, possuem sistemas de alimentação e controladores para melhorar a performance e aumentar a capacidade de transferência de informação entre as redes CAN/LIN ou FD dependendo da aplicação Arcak and Khalil [2003]. Um sistema que dispensa a presença de hardware físico e tem todas as variáveis do sistema modeladas no Matlab/Simulink, abrangendo desde o sistema de controle do motor até os drives, engrenagens, diferencial e o sistema de partida do veículo, pode ser classificado como um modelo HIL. Da mesma forma, um sistema de controle de energia para carga e descarga de bateria projetado integralmente no Matlab também se enquadra nessa categoria. O modelo HIL permite a simulação precisa e detalhada do sistema, fornecendo uma plataforma eficaz para testes e validação antes da implementação física, contribuindo assim para o desenvolvimento de sistemas mais robustos e eficientes. Ao integrar um meio de prova, por exemplo um banco de bateria físico, esse sistema altera de SIL para HIL. No caso de troca de virtual para real, é considerada uma aplicação de testes compatível com sistemas xIL. Uma plataforma xIL pode ser representada com sistemas compartilhados. No entanto,

cada uma tem sua particularidade e ambas funcionam remotas e não têm ligações de infraestrutura locais. As plataformas SIL e MIL de utilidade sistemática abrangem uma área maior em comparação com a plataforma HIL devido a dependência de instalações R. Rojas and Romero [2002].

O uso de meios de prova xIL tem se destacado como uma alternativa viável para a validação de sistemas automotivos P C Krause Associates [2023]. Em um cenário de pandemia e escassez de mão de obra qualificada, a capacidade desses meios de prova operarem remotamente ou em locais diferentes se torna essencial para a continuidade do desenvolvimento da indústria S. Savaresi and Bemporad [2005]. Uma das principais características desses meios de prova é sua capacidade de operar autonomamente, especialmente em testes automáticos, o que facilita o trabalho dos validadores P C Krause Associates [2023]. Além disso, eles podem operar continuamente em tempo integral, o que evita interrupções do trabalho do validador devido a normas trabalhistas.

Entretanto, o funcionamento dos meios de prova xIL deve estar em conformidade com as normas técnicas, especialmente a ISO 26262 HIL Testing F. I. Doyle and O'Reilly [2005]. É importante que a operação desses meios de prova esteja dentro das normas e recomendações técnicas, e que a equipe de manutenção seja dividida em equipes técnicas e de comissionamento P C Krause Associates [2023]. Os métodos de segurança fornecidos por essa norma devem ser seguidos pelos validadores para garantir a utilização correta dos meios de prova Chiniforoosh [2010].

Apesar da capacidade dos meios de prova xIL operarem continuamente, é importante que essas plataformas sejam rastreadas regularmente pela equipe técnica para evitar problemas como queda de tensão, variação de rede de comunicação, entre outros problemas na rede principal P C Krause Associates [2023]. A manutenção da qualidade do sistema é fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos a partir desses meios de prova.

As plataformas xIL atualmente ainda têm diversos desafios pela frente, desde a adaptações frente a cultura e políticas da empresa em alterar o modo de realizar testes até a sua evolução entre as plataformas compartilhadas. O cenário automotivo possui diversos modos de testes de componentes ou sistemas já padronizados internamente, aplicar conceitos xIL precisa estar disposto a mudar a atualizar processos de validação M. J. Grimm and McFarlane [2003]. Portanto, a evolução de validação e verificação vai além do investimento de hardware e software mas em evoluir tecnicamente para utilizar as plataformas F. I. Doyle and O'Reilly [2005]. A plataforma de teste física PWB, bancada de teste vertical, é uma forma de realizar testes globalmente utilizados nas montadoras e em questão de complexibilidade é inferior a sistemas xIL. O conceito PWB já é inserido na empresa a muito tempo e compõe processos já desenhados entre a gestão e a parte técnica.

A preocupação global no âmbito da melhor plataforma em utilizar ainda é discu-

tida em todas as regiões [T. Matsushita and Shiratori \[2006\]](#). Por exemplo, a PWB tem a necessidade de ter todos os componentes do veículo e o seu chicote de conexão precisa ser idêntico ao do veículo de produção, fatores que criam dependências de componentes, softwares e caso algum atraso ocorra, o impacto no desenvolvimento é refletido diretamente. Logo os sistemas baseados em plataformas xIL podem contornar esses problemas, eliminando a dependência de software e hardware na fase inicial e possibilitando atualizações durante o processo de validação. No caso das PWB, tem-se a dependência de atualizações em curto prazo e necessidade do componente físico. Além do prazo de desenvolvimento da bancada, as atualizações demandam muito tempo de participação de todo o time [S. S. Mahapatra and Jena \[2017\]](#). As técnicas como trabalho remoto e testes automáticos não se aplicam em plataformas PWB ou dPWB em alguns casos [L. Lu and Cheng \[2015\]](#). O impacto de atrasos devido à falta de componentes, caso ocorrido em 2021/2022 bloqueou o desenvolvimento de bancadas de testes. Num sistema conectado e modular, isto exigirá incentivos econômicos e culturais da empresa, por exemplo sob a forma de realizar testes em ferramentas virtuais [M. Sales \[2017\]](#)

A fim de tornar disponíveis as características acima delineadas, as plataformas xIL cobrem a maioria de testes a serem realizados do veículo, no entanto dependo da plataforma irá requisitar equipamentos, interfaces de controle podendo ser virtual, ECUS, atuadores e sensores, fonte de alimentação e circuito de proteção, entre outros. Estes podem ser definidos durante a fase de desenvolvimento e seleção da plataforma de testes funcionais, testes de stress e inserção de falhas, são testes realizados nas plataformas xIL. A figura 3 exemplifica uma plataforma HIL constituída por módulos de alimentação, comunicação, controladores de entrada e saída e é possível verificar a arquitetura do simulador e suas características de integração com as cargas. Estes componentes mencionados fazem parte dos estudos durante os avanços neste trabalho de HIL. Finalmente, para tornar ainda mais claro, a Figura 4 traz a informação da arquitetura Scalexio a última geração dos simuladores HIL.

Na indústria automotiva, a área de energia é a principal demanda por melhorias e criação de novos sistemas, onde a eletrônica de potência é o componente principal, desde a arquitetura do veículo de comunicação, bateria e powertrains [Onoda \[2002\]](#) Através da sofisticada eletrônica de potência, as ECU centrais de unidade de controle trabalham com sensores e atuadores a fim de determinar a tensão de alimentação efetuando a transformada para a necessidade de Tensões CA ou CC. Em [Liu \[2016\]](#)., a dSpace uma das gigantes fornecedores de simuladores internacional oferece testes seguros através dos sistemas de *hardware* de potência no circuito, onde uma emulação relevante é utilizada para a simulação sinais para validar as ECUs com *software* SIL em ambientes HIL [Shah \[2016\]](#). O software da ECU é, numa solução SIL, certificado num ambiente virtual. O software da UEC pode então ser aprovado sem qualquer hardware de ECU. O modelo de objeto solicitado é o software executado em uma plataforma virtual utilizando ferramentas específicas do

fornecedor e compartilhamento pelo GitHub.

Porém, nos últimos 15 anos temos visto uma grande mudança no processo de desenvolvimento de veículos, principalmente na fase de protótipos e testes experimentais, no qual ferramentas de prototipagem rápida estão sendo cada vez mais utilizados e tem se mostrados essenciais devido ao aumento do número e complexidade dos conteúdos eletroeletrônicos embarcados no veículos, que aumentou drasticamente nos últimos anos e deve aumentar ainda mais no futuro [Y. S. Kim and Kim \[2015\]](#). [É observado a eletrificação de funções que foram convencionalmente realizadas mecanicamente ou hidraulicamente. Os sistemas de controle de freio são um exemplo dessa mudança. Enquanto o sistema de freio convencional foi caracterizado mais ou menos completamente por componentes mecânicos, a introdução do sistema de controle de freio ABS (*Anti Brake System*) foi acompanhada por uma maior proporção de componentes eletrônicos na forma de tecnologia de sensores e uma unidade de controle eletrônico. Com os desenvolvimentos mais recentes do ESP (*Electronic Stability Program*), as funções adicionais, como o HHC (*Hil holder Control*), são quase exclusivamente realizadas por meios eletrônicos, que está associado a um crescimento de software. Também é importante salientar o uso em larga escala do conteúdo de ADAS (*Advanced Driver Assistance System*) que está mudando completamente o modo como o motorista interage com o veículo [S. S. Mahapatra and Jena \[2017\]](#).

O escopo deste desenvolvimento vai muito além dos recursos que estão na maioria dos veículos de hoje, como o assistente para estacionar ou sistemas de navegação eletrônica. O objetivo é produzir o “veículo sensível” que usa sensores e eletrônicos para detectar e interpretar seus arredores. A utilização das tecnologias de ultra som, radar e sensor de vídeo levou a soluções que desempenham um papel importante na assistência ao motorista, por exemplo através de visão noturna aprimorada ou controle de distância. Devido a este rápido desenvolvimento e adoção de novas tecnologias houve um aumento significativo das centrais eletrônicas embarcadas nos veículos para cerca de algumas unidades para dezenas nos veículos modernos [S. Yue and Zhang, J. Kang and Kim \[2018\]](#), aumentando de forma significativa a complexidade nos desenvolvimentos e principalmente a complexidade na validação de um novo projeto.

Ainda hoje, os custos de desenvolvimento de *software* são equivalentes em comparação com os custos de *hardware*. O desenvolvimento de *software* enfrenta dois desafios decorrentes do aumento resultante da complexidade do sistema geral de um veículo: lidar com o volume e a adoção de uma arquitetura estruturada padronizada. A iniciativa Autosar (*Automotive Open Systems Architecture*), da qual participam vários fabricantes e fornecedores de veículos automotores, está trabalhando no sentido de uma padronização da arquitetura eletrônica, com o objetivo de reduzir a complexidade através do aumento da reutilização e permutabilidade de módulos de software [Y. S. Kim and Kim \[2015\]](#).

Portanto, considerando o processo de desenvolvimento de novos veículos, devido

a complexidade dos novos projetos, é necessário que sejam desenvolvidos novos métodos e processos para que tanto a fase de construção de protótipos quanto a fase de testes sejam otimizadas e não tenham impacto negativo nos custos e cronogramas previamente acordados. Na verdade, a fase de testes deveria começar antes da fase de construção de protótipos, no qual as centrais eletrônicas e alguns componentes elétricos possam ser avaliados utilizando-se de ferramentas virtuais antes de serem realizados testes integrativos em protótipos, como o HIL.

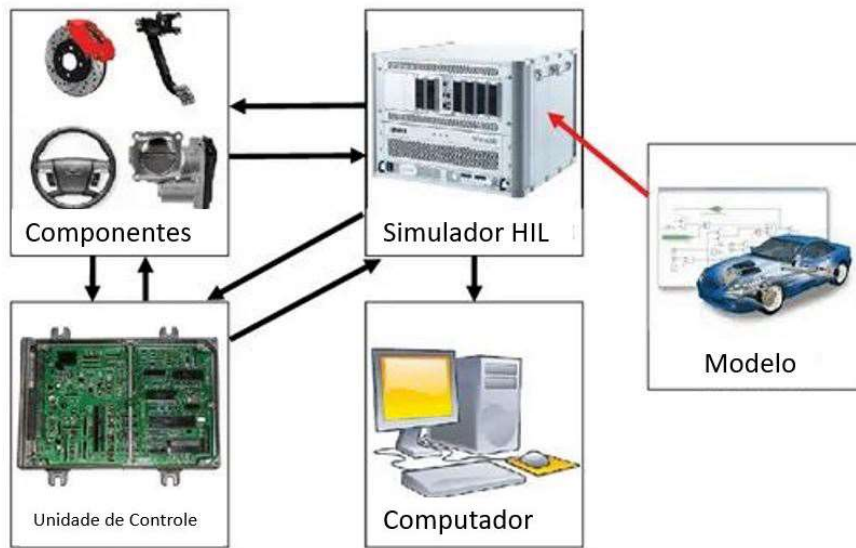


Figura 2.7 – Conceito HIL.

Fonte: Adaptada Popovici [2000]



Figura 2.8 – Placas HIL.

Fonte: dSPACE [2019]

Processador de alto desempenho e tecnologia FPGA os mais robustos para executar rotinas em tempo real com suporte abrangente de comunicação e capacidades de E/S. Sistema escalável com várias opções de configuração baseada na arquitetura SCALEXIO I/O fornece uma ampla gama de interfaces externas Larsson [2007].

1. Característica física Scalexio HIL

- a) Hardware de E/S padrão que abrange o desenvolvimento e teste de aplicações altamente dinâmicas;
- b) Subsistemas FPGA programáveis, incluindo vários módulos de E/S para aplicações de processamento de sinais muito rápidos e de alta resolução;
- c) Placas HighFlex, por exemplo, para testes de ECU HIL incluindo condicionamento de sinal e simulação de falhas conforme mencionado na figura 2.8.
- d) Unidades Multi Compactas com um alto número de canais de E/S, bem como condicionamento de sinal integrado e unidade de inserção de falhas a bordo;

Todo o hardware **SCALEXIO** I/O compartilha a características de processamento de sinal síncrono nas placas de **E** e **S** dSPACE [2019]. Isso permite reduzir a carga do processador em tempo real para garantir o mais alto desempenho em tempo real dos sistemas **SCALEXIO** definido no processo na figura 2.7 b. As placas de **E/S** possuem conexão com o hardware de processamento através de uma interface **IOCNET** e são totalmente configuráveis por *software*. O processo de instalação e configuração não é complexo, portanto, requer disponibilidade de documentação e possibilidade de treinamento.

2.9 Hardware in the loop - Simulador

O simulador compartilhado na figura 2.9 representa o estado da arte dos produtos da fabricante dSPACE [2019]. baseado na tecnologia SCALEXIO do dSPACE é uma plataforma modular e poderosa para testar ECU's em simulações de circuito fechado e circuito aberto. A simulação desenvolvida em circuito fechado tem como base modelos lógicos que abrange softwares e ferramentas automotivas, por exemplo, ambiente real de mobilidade, sensores e atuadores em situações reais. O simulador é integrado a modelos de Restbus, interfaces com comunicação ethernet automotiva, redes CANFD/LIN e FlexRay responsável pela comunicação entre as centrais. O modelo acima possui placas de inserção de falhas, módulos de controle de tensão e corrente onde todos os periféricos são sincronizados em tempo real, testes realizados em malha aberta com o intuito de reproduzir dados do sensor e barramento durante os testes realizados.

Além das possibilidades que o simulador oferece para executar a validação, suas ferrametnas contribuem para melhorar a performance de aquisição de dados para futuros

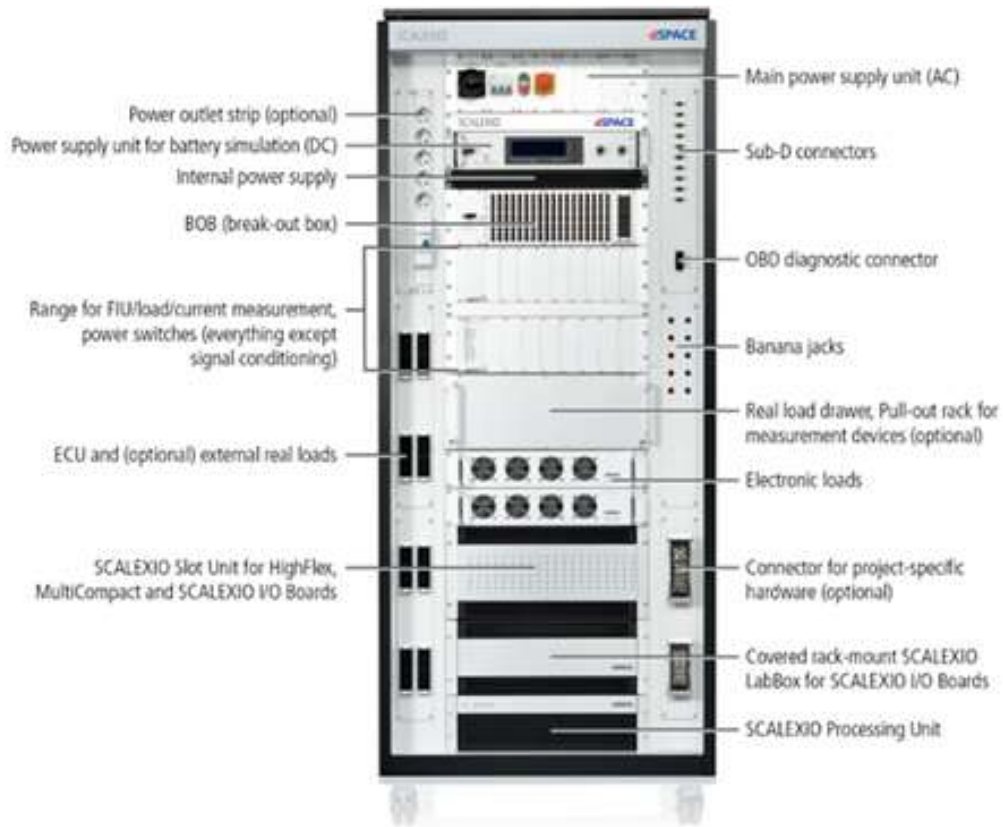


Figura 2.9 – Estrutura HIL.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

testes em loop e banco de dados para reutilização. O sistema é modular, com divisões pré determinadas entre periféricos externos e internos de controle, alimentação e armazenamento. A metodologia HIL possui a dependência da estrutura física presente e demanda infraestrutura local para o seu desenvolvimento e realização de testes. Em consideração com outras plataformas pode-se considerar o custo benefício e o tempo de desenvolvimento como fatores a trabalhar em comparativo a velocidade de troca de centrais e aferição de dados é fator positivo em referência [Robyn A. Jackey \[2007\]](#).

2.10 Hardware in the loop - Módulos e Placas

O modelo da plataforma HIL utilizada neste projeto foi o PT413, composto por 4 Módulos sendo os dSPACE Card DS 2202, DS 2211, DS 4004, DS 0606 DS291, em cada card existe uma configuração de entrada e saída específica podendo ser uma placa com entrada e saídas digitais, entrada ou saída PWM, entrada ou saída analógica, resistiva, CAN e FIU [dSPACE \[2019\]](#). As configurações de hardware são determinadas referente ao projeto que irá utilizar o simulador onde é definido todos os I/O necessários para o seu funcionamento correto. O fornecedor disponibiliza a documentação do esquema elétrico

contendo toda informação das placas, chamado de lista de sinal. [D. D. S. S. Teixeira and Trovão \[2016\]](#). O documento é completo contendo informação de alimentação, nível de tensão e corrente suportado por cada placa, informação sobre protocolo de comunicação e demais características de conexão com carga. A inclusão de novas placas ou card é dependente do tempo de licença e produção do fornecedor, fator que é analisado no início da compra e renovações futuras, onde é considerado que o fornecedor mantém contato com time de desenvolvimento e atualização sobre novas versões ou erros encontrados [M. R. Hossain and Hasan \[2017\]](#).

A arquitetura scxalexio possui placa do processamento rápido a DS6001, placa com unidade de processamento de dois slots compacta e eficiente é possível verificar exemplo na figura 2.10, de alto desempenho para aplicação em tempo real onde exige controles de entrada e saída compartilhados. A placa é composta de uma processador intel® Core i7-6820EQ quad-core, 2.8GHz, melhor velocidade de comunicação e troca de dados RX.TX e escalabilidade através do suporte de multiprocessadores dSPACE [2019].



Figura 2.10 – Board HIL.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

1. Característica Board HIL

- a) Alto desempenho e velocidade de comunicação;
- b) Suporte de multiprocessadores estrutura FPGA;
- c) Controle compartilhado entre centrais inteligentes

É possível analisar em resumo toda estrutura de controle do simulador em relação a hardware, embora citado em [M. R. Hossain and Hasan \[2017\]](#), o documento principal do

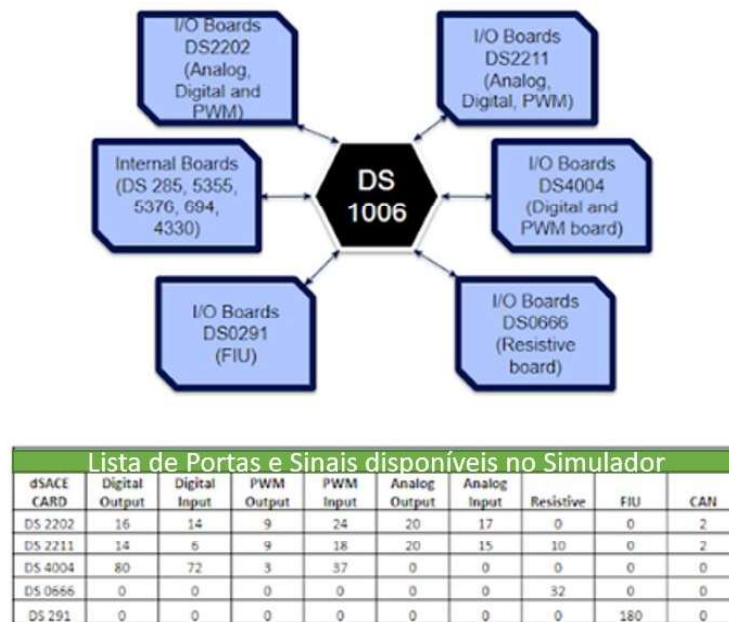


Figura 2.11 – Configuração Board HIL.

Fonte: Adaptada dSPACE [2019]

simulador é a lista de sinal, conforme figura 2.11 onde está presente todas as placas do simulador não só as utilizadas em determinado projeto para o seu desenvolvimento existe outros documentos, a lista de I/O e a Lista de sensores e atuadores Popovici [2000] A criação de cada documento depende das informações de cada ECU do veículo contendo suas características técnicas e relação com software integrado.

A lista de I/O é um documento que fornece a entrada e saída de uma ECU compartilhado na figura 2.12, o exemplo utilizado neste projeto é do BCM, a entrada e a saída de uma ECU podem ser analógicas ou digitais ou resistiva ou PWM e Pieter J. Mosterman [2011]. O modelo de uma lista de E/S da ECU BCM utilizada nesse projeto é apresentado abaixo.

É possível verificar na figura 2.11 a configuração de processamento do simulador e também informação das centrais que estão presentes no projeto, por exemplo o BCM e suas cargas de iluminação internas e externas Zachary [1980]. A atualização deste documento é uma atividade de suma importância para o funcionamento correto do veículo e demais testes. O time de validação precisa estar alinhado com time de hardware e software para não perder informações durante o processo de prototipagem relatado em, S. S. Mahapatra and Jena [2017]. Outro documento que integra a lista de sinal e contém características dos periféricos do simulador sendo os sensores, atuadores e demais cargas é a lista de sensores e atuadores. Este documento tem a função de fornecer informações dos sensores e atuadores

The diagram shows a table with columns for signal metadata and configuration. Brackets below the table group columns into four categories:

- Group 1:** Index, dSPACE Signal Name. Description: "The index and dSPACE signal name are preexisting in the signal list".
- Group 2:** PIN, PIN Description, ECU Pin Number, ECU Name. Description: "Signal name, pin number, Connector number and ECU taken from I/O list".
- Group 3:** Signal Name, Signal Type, FIU insertion, Current measuring. Description: "FIU insertion of FIU required Yes else NO". A legend below specifies: 1- Open circuit, 3 - Short to ground, 5 - Short to battery, 7 - Short to common.
- Group 4:** Functional description, ECU IO, ECU pin for HL-SC, (for analog I/O reference), (for digital I/O threshold), ECU pin, Inside 2 pin of, Function Group, dSPACE, Signal Type, For Wires_ID. Description: "Describes the type of FIU output (analog, digital, resistive, pwm)".

Figura 2.12 – Lista de Sinais HIL.

Fonte: dSPACE [2019]

e demais cargas que estão conectadas nas ECU's do veículo [D. J. Kim and Kim \[2016\]](#).

2.11 Integração com o sistema

A alimentação do simulador é independente e precisa estar configurada para suportar todas as placas incluídas no hardware, existem 3 configurações possíveis sendo KL31, Kl30 e Kl15 respectivamente o GND, o 30V e 15V, representam a tensão fornecida pelo simulador e os conectores disponíveis para alimentar as ECUS [L. F. Mendes and da Silva \[2018\]](#).

A distribuição de energia da bateria e da ignição da ECU é configurado entre as centrais de comando [B. Xie and Jiang \[2020\]](#). Quando a posição da ignição muda para o estado ativado, os pinos de ignição da DS4004 são colocados para o nível alto, isso ativa o relé e energiza o B, conduzindo o pino TE15 para o nível alto é possível ver a estratégia da FIU.

Há três tipos de atribuição de FIU utilizados no projeto:

FIU interna, onde a saída da FIU está inserida dentro do simulador conectada internamente, neste caso quando for feita alguma falha simulado do sensor usando FIU, então a saída da FIU é dada as placas de E/S internas, descrito nas figuras 2.13;2.14 e 2.15.

FIU interna com tipo de carga, onde a saída da FIU é retirada do simulador e dada a carga externa, sendo uma resistência ou componente físico, e novamente conectada a placa de E/S interna, então o sensor simulado como o sensor de interruptor de interrupção tem maioritariamente FIU interno com carga no conector presente nas figuras 2.16 e 2.17.

FIU externa, quando a saída da FIU for retirada do simulador é dada como entrada a ECU, então é chamada FIU externa, onde todas as FIU da lampada serão FIUs

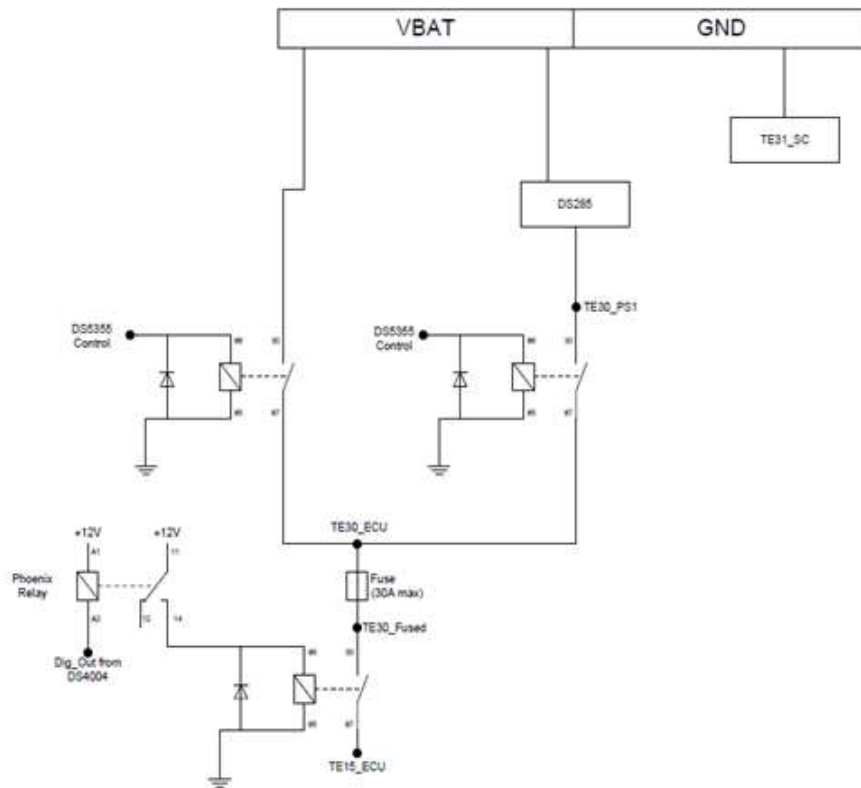


Figura 2.13 – Distribuição de energia da bateria para ECU.

Fonte: dSPACE [2019]

externas, conforme figuras 2.18;2.19;2.20 e 2.21 este exemplo foi o proposto no projeto dSPACE [2019].

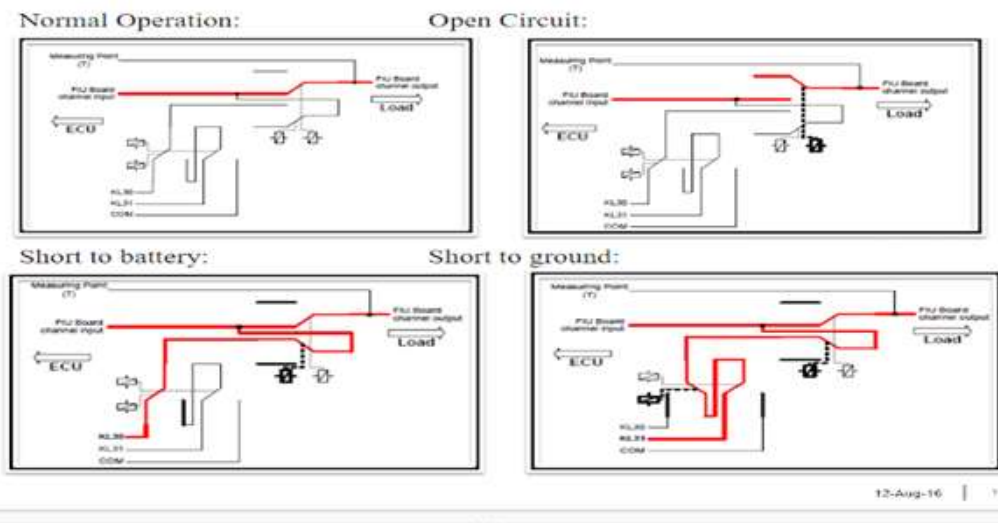


Figura 2.14 – Inserção de Falha Interior.

Fonte: dSPACE [2019]

A integração do sistema entre as ECU's disponíveis no veículo é proposta pelo time de desenvolvimento e precisa está dentro das especificações do simulador. A informação de tensão de operação, sinais de comunicação e sinais de controle analógico e digitais é determinante para projetar e configurar o simulador dentro das especificações corretas. O processo interno de uma configuração entre a ECU sem FIU [dSPACE \[2019\]](#).

1. Inserção de falhas

- a) LTB – *Low Terminal Block* , local onde é realizado as conexões dos sensores e atuador;
- b) MTB – *Main Terminal Block*, conexão entre as ECUS e o Simulador;
- c) HYP – *Hypertonic*, conector externo que conecta o simulador a estrutura

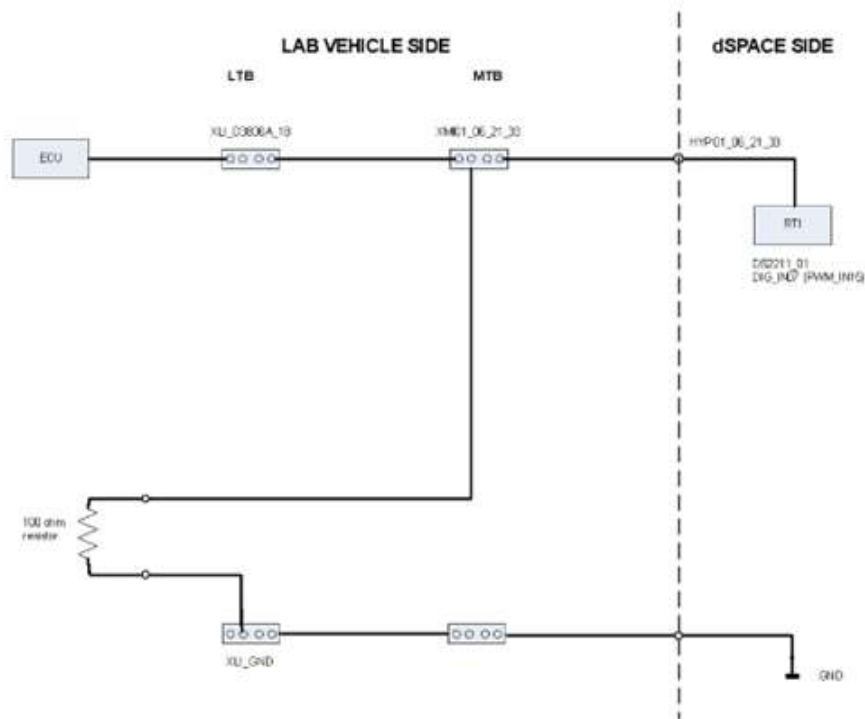


Figura 2.15 – Exemplo de integração sinal DIGOUT do lado do ECU com Carga e sem FIU

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

A conexão do simulador com as ECUs é discutida em [M. Zhang and Li \[2018\]](#). A proposta em utilizar sistemas automatizados com possibilidade de simular falhas, a conexão entre as ECUS é possível devido a estrutura entre os terminais.

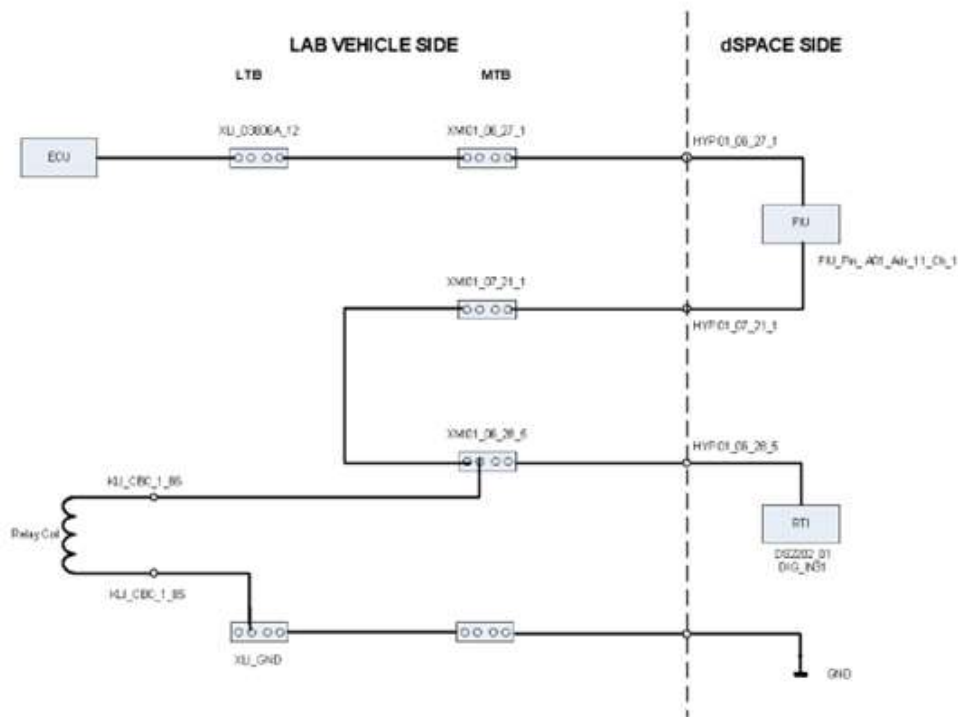


Figura 2.16 – Exemplo de sinal DIGOUT do lado da ECU com FIU e ligação Load adaptado.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

2.12 Rede de Comunicação CAN

O protocolo de comunicação automotivo é serial e síncrono, dentro das necessidades é considerado rápido, seguro e confiável entre as unidades de centrais eletrônicas e seus periféricos. O simulador HIL possui outros protocolos de comunicação com conexão ethernet, sua conexão CAN, sendo High e Low neste trabalho como cita [Y. Cao and Sun \[2018\]](#). A possibilidade de atribuir prioridades no envio e recebimento de mensagens é fator importantíssimo na indústria automotiva, ajudando a encontrar possíveis falhas e até mesmo melhorando o desempenho de algumas centrais.

O protocolo de comunicação veicular é baseado no padrão ISO 11898 que descreve o fluxo de transferência de dados entre os dispositivos, conforme figura 2.23 e 2.24 da rede respeitando o modelo OSI segundo [for Standardization. "ISO 11898:2015 \[2015\]](#).

1. Comunicação CAN

- a) Tempo máximo de latência garantidos;
- b) Sistema de consistencia de dados;
- c) Comunicação Multicast com sincronização orientada.

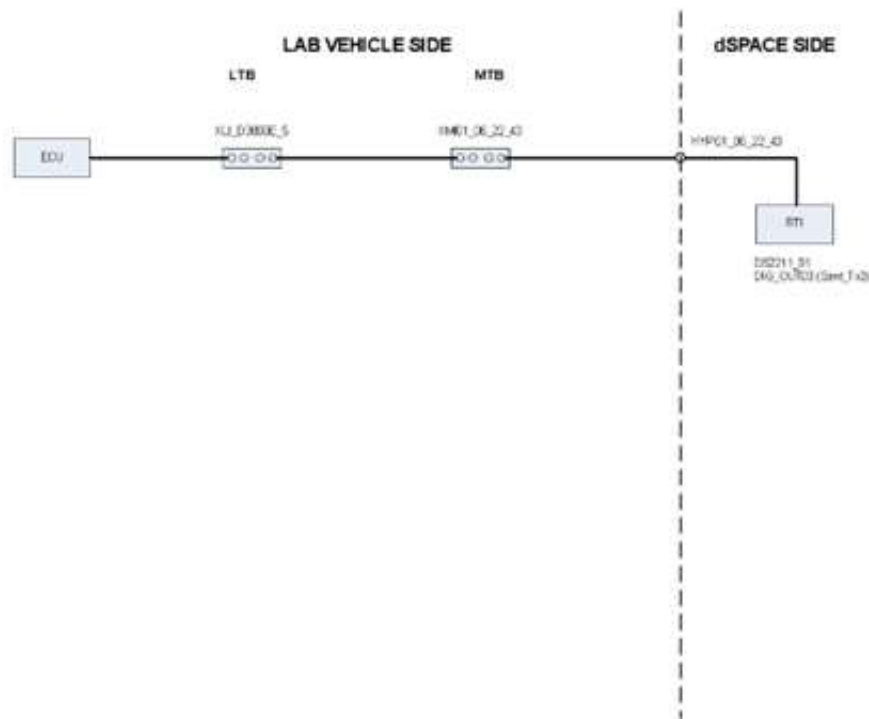


Figura 2.17 – Exemplo de sinal DIGIN do lado do ECU sem FIU adaptado.

Fonte: dSPACE [2019]

2.13 Softwares e ferramentas de validação HIL

A desenvolvedora de simuladores HIL a dSPACE disponibiliza os softwares para configuração e operação do banco de testes. Os dois *softwares* principais são a *configuration desk* e a *control desk*, responsável por integrar o modelo desenvolvido no Matlab/Simulink e demais ferramentas de entrada de dados, por exemplo Excel Z. Zhang and Shi [2065]. A *configuration desk* é uma ferramenta de configuração e implementação gráfica intuitiva, ideal para lidar com aplicativos desde pequenos desenvolvimentos de Prototipagem de Controle Rápido (RCP) até grandes testes de HIL baseados em hardware dSPACE em tempo real, como SCALEXIO ou PHSI, incluindo a implementação de modelos de comportamento e código de função de E/S dSPACE [2019].

O *configuration desk* fornece uma visão geral estruturada dos dispositivos externos disponíveis no simulador, por exemplo o BCM utilizado nesse projeto, hardware configurado em tempo real e os modelos de comportamento conectados.

Entre as funcionalidades presentes no *software* está a possibilidade de configurar aplicativos em tempo real graficamente, possibilitando a automatização de testes. O gerenciamento das inclusões e modificação dos sinais entre os dispositivos externos dado exemplo no capítulo anterior na configuração da estrutura física pelo time de hardware, com a interface de modelo desenvolvida pela equipe de modelagem dSPACE [2019].

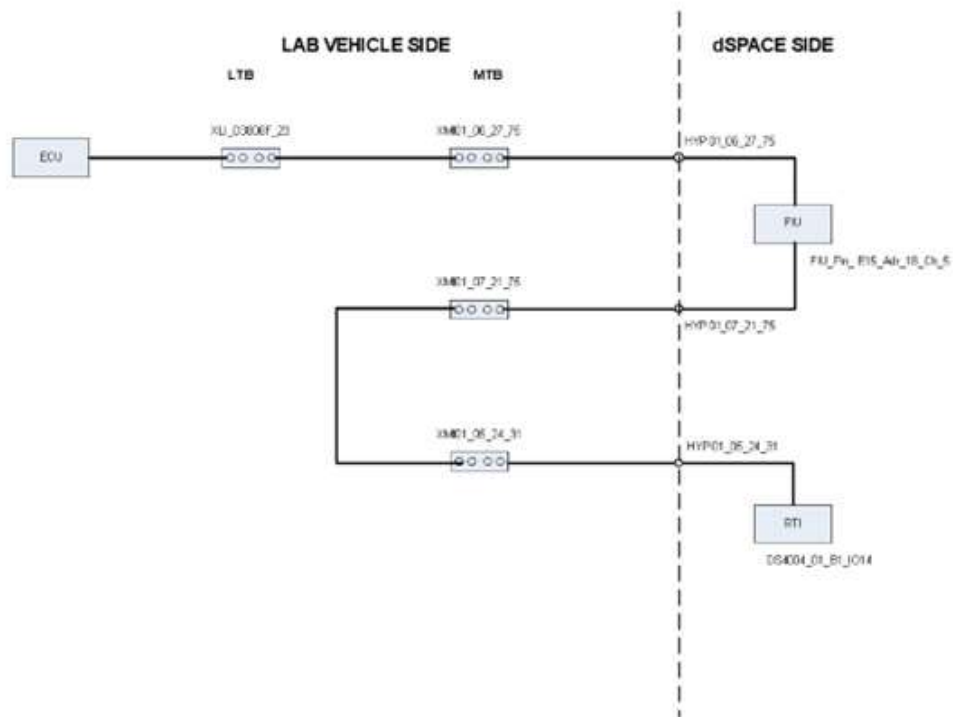


Figura 2.18 – Exemplo de sinal DIGIN do lado do ECU com FIU adaptado.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

A ferramenta *control desk*, responsável pelo controle do simulador onde integra toda informação de sinais e parâmetros do Configuration Desk, possibilitando ao time de validação realizar o seu trabalho onde são feitos os testes e análise do projeto [dSPACE \[2019\]](#). O *software* de visualização e experimento dSPACE, inclui funções de monitoramento de barramento Ethernet, suporte para novas placas SCALEXIO FPGA e recursos estendidos de diagnóstico de ECU. Além disso, os sinais de PDUs Ethernet UDP agora podem ser instrumentados e medidos em *layouts* usando o dispositivo de monitoramento de barramento ethernet e suporta duas novas placas FPGA para SCALEXIO [FASIH \[2006\]](#). Estas são a placa base FPGA DS6601 e a placa base FPGA DS6602. A versão atualizada também oferece suporte para barramentos CAN FD, além do suporte CAN para diagnósticos de ECU [dSPACE \[2019\]](#).

O desenvolvimento do simulador HIL é dividido entre os times de engenharia, sendo a equipe de *hardware* responsável pela gestão de estrutura física, requisitos da aplicação por determinado projeto, componentes e sistemas para tornar o banco de teste operacional e a equipe de software que será compartilhado nesse capítulo, responsável pelo desenvolvimento do modelo da plataforma, pela gestão de ferramentas e bibliotecas compartilhada pelos fornecedores, responsável pela integração com o software de cada ECU e demais atualizações do veículo [FASIH \[2006\]](#). As ferramentas utilizadas durante o desenvolvimento e operação do simulador são definidas por aplicação xIL e pela fase de implementação do projeto

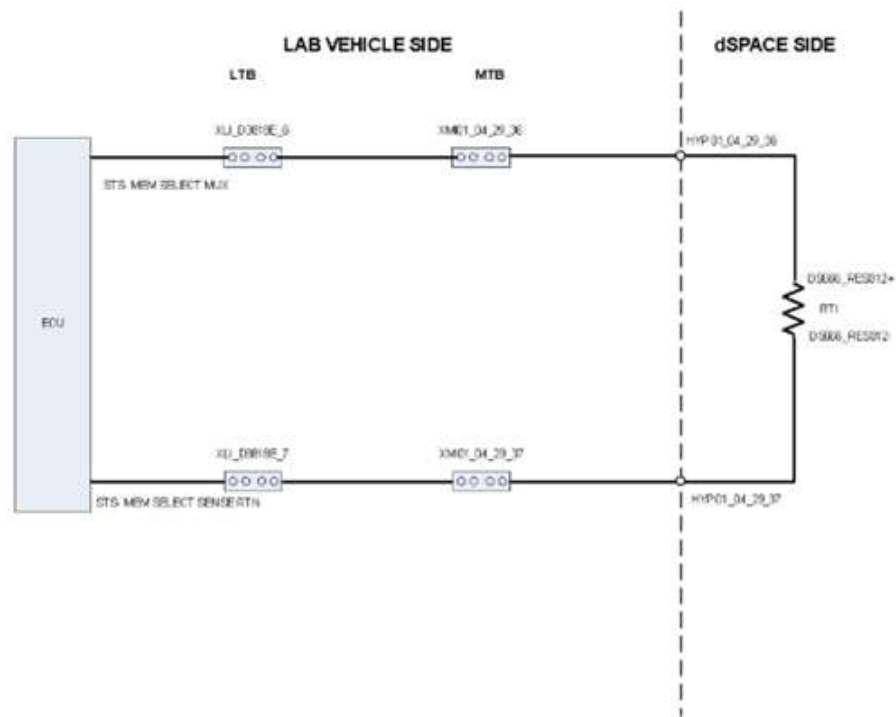


Figura 2.19 – Exemplo de sinal de entrada Resistivo do lado da ECU sem FIU adaptado.

Fonte: dSPACE [2019]

L. Gao and Wang [2013]. A principal ferramenta de desenvolvimento atualmente é o Matlab/Simulink onde todos os modelos são desenvolvidos e integrados ao software da dSPACE, fabricante do simulador. O software de implementação possui integração com linguagens de programação entre elas C/C++, Python e APIs para importação de dados e exportar em configurações padrões possibilitando liberdade aos desenvolvedores implementar seus códigos para cada aplicação e plataforma específica. O projeto descrito neste documento utilizou a ferramenta de modelagem Matlab/Simulink e os softwares do fornecedor *configurantion desk* e *control desk* S. V. Nikam and Chava [2002].

A *MathWorks* responsável pelo desenvolvimento da ferramenta de alta performance e processamento dados conforme figura 2.25, cálculo matemático, geração de gráficos entre diversas bibliotecas automotivas o Matlab/Simulink tem papel fundamental na evolução da indústria automotiva, possibilitou os time de engenharia criar modelos de plataforma HIL escaláveis, impulsionou a automatização de testes e o trabalho colaborativo. O MATLAB® e Simulink® permitem à indústria automotiva acelerar os processos de desenvolvimento de veículos e entregar veículos que atendam às exigências do mercado global com segurança, conforto, economia de combustível e desempenho. A demanda por novos métodos de verificação e validação na indústria automotiva com a evolução da eletrificação e o surgimento de funções e sistemas inteligentes no veículo requer bibliotecas para executar os testes e cumprir as normas AUTOSAR e ISO 26262 for Standardization.

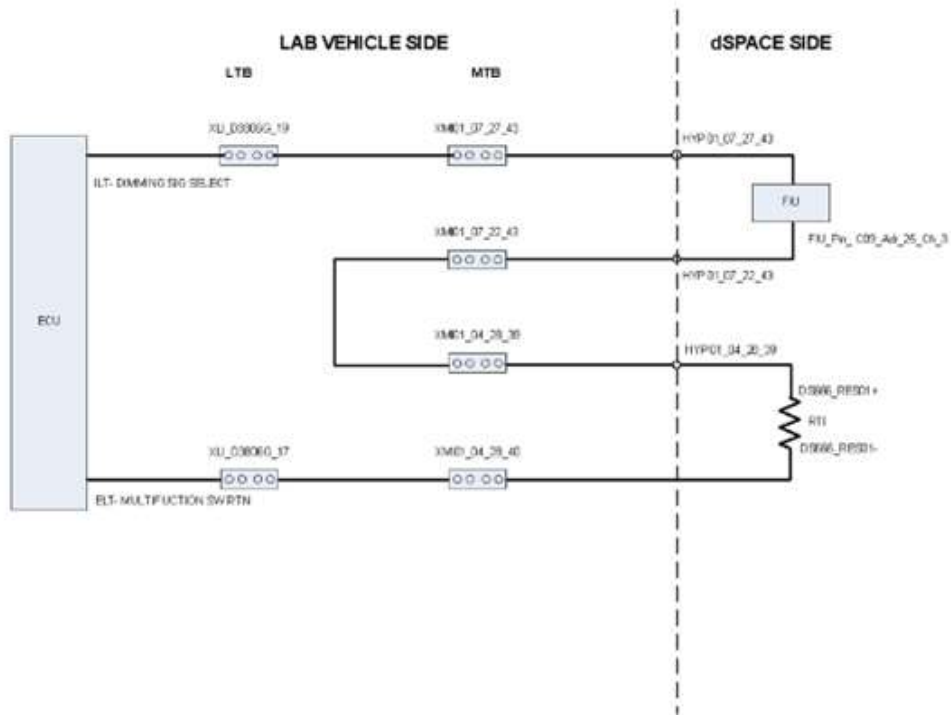


Figura 2.20 – Exemplo de sinal de entrada Resistivo do lado da ECU FIU adaptado.

Fonte: dSPACE [2019]

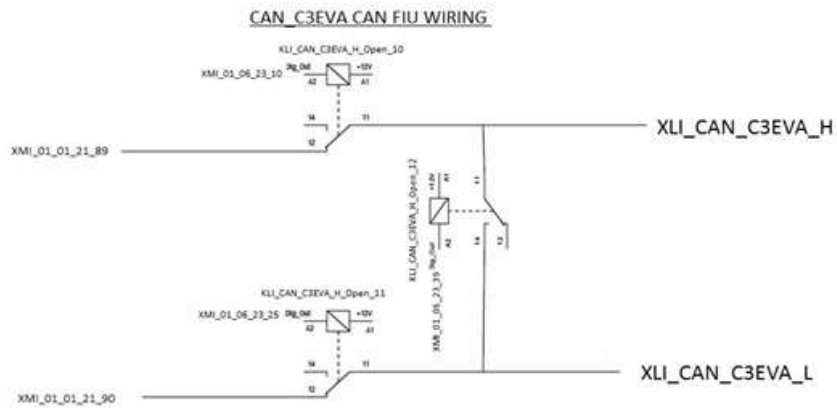


Figura 2.21 – Exemplo de sinal de rede CAN com FIU adaptado.

Fonte: dSPACE [2019]

"ISO 11898:2015 [2015].

O *software* responsável pela instrumentação e desenvolvimento de experimentos modulares aplicada a unidades de controle eletrônico ECU está disponível na figura 2.26, a principal função deste software está em aproximar o operador do simulador ao hardware,

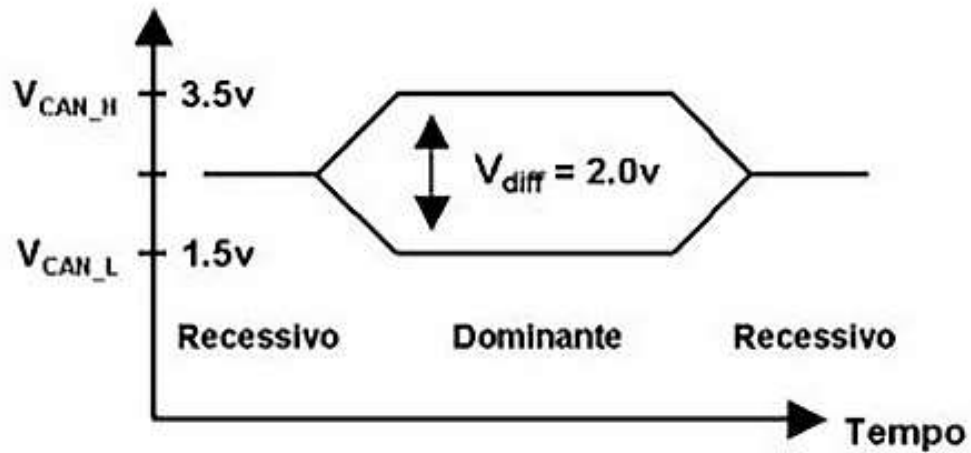


Figura 2.22 – Bits dominantes e recessivo na rede CAN

Fonte: GmbH [2007]

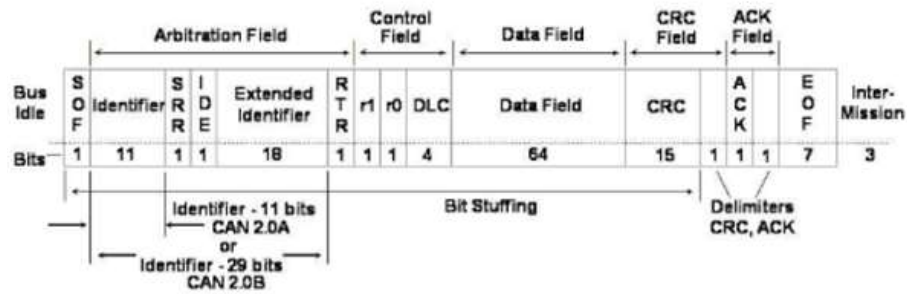


Figura 2.23 – Quadro de dados Mensagem CAN

Fonte: for Standardization. "ISO 11898:2015 [2015]



Figura 2.24 – Software de desenvolvimento e simulação de Modelos

Fonte: L. F. Mendes and da Silva [2018]

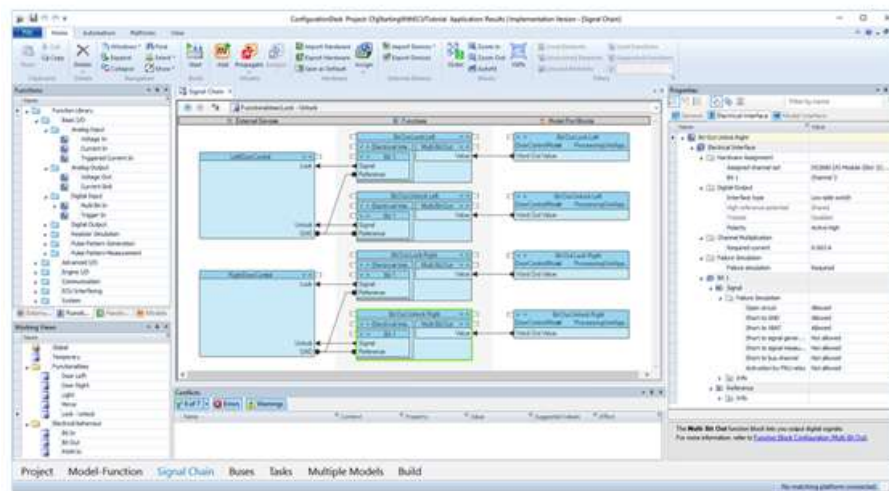


Figura 2.25 – Software de configuração entre o hardware e o simulador

Fonte: dSPACE [2019]

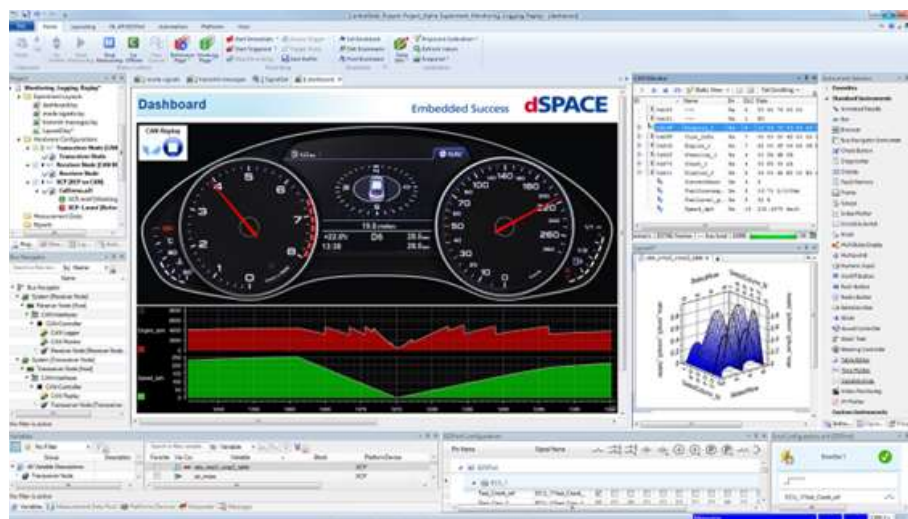


Figura 2.26 – Software para operação

Fonte: dSPACE [2019]

possibilitando total controle do simulador desde o início do comissionamento onde é realizado os testes de alimentação e função, até a execução de loop de testes onde o time de validação realiza os seus testes.

A aplicação envolve a opção de aquisição de dados realizando medição, calibração e diagnóstico da ECU, o acesso à rede CAN, funcionalidade importante do Control Desk conforme figura 2.27 e a aplicação da plataforma SIL na validação virtual com VEOS L. Gao and Wang [2013]. Todos os agentes envolvidos na criação, desenvolvimento, implementação ou disponibilidade do simulador para realização da validação do sistema ou componente estão interessados no prazo de conclusão e qualidade do meio de prova.

Isto porque a cobrança do cliente por veículos completos e funcionais é cada vez mais pronunciada em canais de informação impactando diretamente a indústria [S. V. Nikam and Chava \[2002\]](#). Além disso, esses mesmos distúrbios de imagem podem causar prejuízos incalculáveis através de cancelamentos de desenvolvimento e interferências da gestão no time de desenvolvimento, por motivos de falhas. Tais distúrbios contribuem para um qualidade indesejada do trabalho, uma vez que esses distúrbios afetam prazos de entrega do veículo e gera desconforto aos consumidores e, conseqüentemente, o funcionamento do simulador em operacional [Bosch \[2009\]](#).

A qualidade de teste é muito importante e requer investimento para obter sucesso. No Brasil, existem mais de 13 montadoras de veículos pelos estados aumentando a ocorrência pela qualidade e performance [GmbH \[2003\]](#). Temos referência industrial na área da aviação aplicando xIL e como exemplo deste trabalho na indústria automotiva [Vargas and Calafate. \[2013\]](#). A consolidação das normas e sua representatividade é extremamente importante para que seja possível definir as responsabilidades de todos os envolvidos no processo de criação de testes, desde fornecedores de softwares, fabricantes de simuladores e hardware para testes, além de incentivar a utilização correta das normas e fiscalizar.

Assim como a ISO definiu a qualidade de verificação e validação pela norma IEC 61000-4-30 como as funções de testes em loop para unidades de controle eletrônico de testes stress, avaliadas em relação a um conjunto de parâmetros técnicos de referência ["Li and Li. \[2012\]](#). Por outro lado, o IEEE a definiu no IEEE 100 [GmbH \[2003\]](#) como possibilidade de realizar testes de funcionalidade e vida útil do componente. Entretanto, isto é melhor expresso ultimamente como a possibilidade de prever erros futuros, levando o componente a testes extremos e requisitando informações de funcionamento e análise de falhas ["Vargas and Calafate. \[2013\]](#).

O processo de configuração do *software control desk* conectando os sinais presentes no veículo conforme figura 2.26. A importância de estar alinhado com o time de desenvolvimento, facilita o acesso a documentação atualizada e completa. Entretanto, como o início da utilização depende de todo o processo de preparação do banco de teste, esta configuração de hardware também pode ser vista indiretamente no menu do software. Uma plataforma de teste com alta capacidade de controlar o simulador, gerar sinais, inserir falhas e manipulação de sinais da rede CAN/LIN significa um sistema rígido, uma rede forte e segura. Isso significa que a implementação dos testes e suas modificações para versões de projetos é muito pequena, então as alterações de sinais físicos ou virtuais são pequenas. Isso significa que o sistema terá pouco impacto sobre atualizações futuras. O seguinte é um exemplo que ilustra como gerar sinais para realizar trabalhos de validação, exemplo de inserção de falhas para colocar o sistema a condições de falhas e a comunicação do sistema de rede [Li and Li. \[2012\]](#).

É possível verificar a ferramenta de inserção de falha FIU disponível no software,

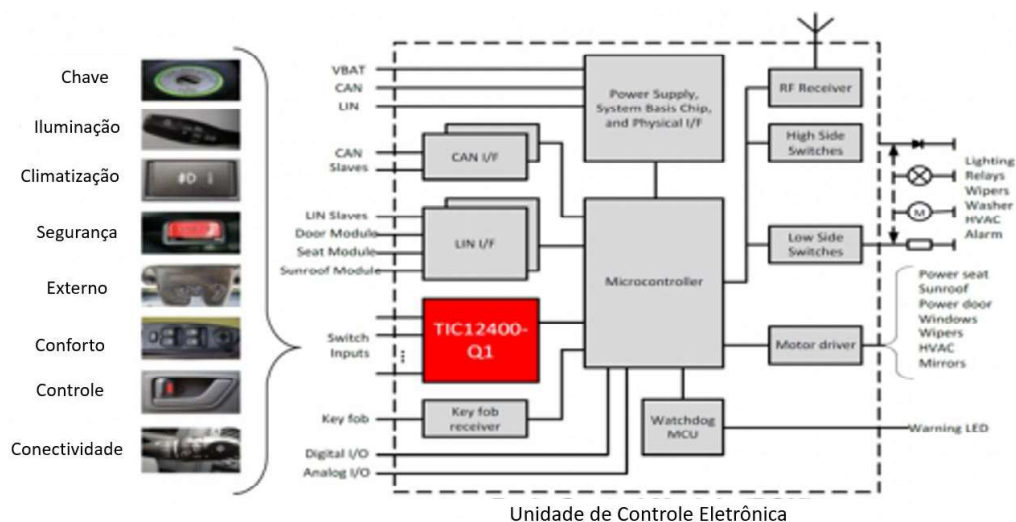


Figura 2.27 – Integração modelagem e software

Fonte: Guo and Zhao [2008]

existem 4 tipos de falhas para aplicar nos testes utilizando o simulador disponível na figura 2.14 Yu and Sun. [2010]. A opção curto para bateria, curto para o terra, circuito aberto. Assim, mesmo que o componente esteja em fase de protótipo não será por motivo de falhas recorrentes que o produto irá ser aprovado Zhang and Zhang [2015]. Esta análise de falha será durante ou na fase de validação dependendo da magnitude da corrente drenada pela carga não linear e dependendo do valor absoluto da entrega de software pelo time de desenvolvimento. Se esta peça for aprovada, é realizado o teste sistemático e, portanto, mais falhas serão testadas.

2.14 Softwares e aplicações VEOS

A recomendação em não depender de ferramentas externas para testar as soluções e executar validação e verificação não exigindo o uso de hardware físico antes de se envolver com o design baseado em modelos, as quais estão estabelecidas e difundidas em todos os sistemas.

A plataforma de simulação VEOS é representada na figura 2.29 sendo uma metodologia de teste independente de hardware e estrutura física disponível, uma vez que são virtualizados e requer menor dependência de componente físico. No caso de uma conexão entre o usuário e o sistema a utilização dos softwares configuration desk e control desk possibilita autonomia ao usuário e facilidade de execução. Tudo isso e o fato de haver sinais gerados de identidade do sistema, funções e estados de operação para tornar o sistema operacional Han and Guo [2016]. Sucessivamente, os sistemas de VEOS tornam base no desenvolvimento do projeto para outras plataformas de simulação em presença

de condutores e transformadores neutros pelo mesmo motivo anterior. Em resumo, HIL e VHIL, quanto mais completo o desenvolvimento virtual, mais fácil será a integração com as outras plataformas e o tempo de desenvolvimento é gasto em outras aplicações. Quanto mais completo um sistema VEOS, mais seguro é o teste realizado e sua reutilização em outras plataformas possibilitam ganho de tempo reoresentado na figura 2.28 [Kato and Tsukamoto \[2016\]](#).

A solução de teste economicamente mais viável atualmente é a SIL devido a sua flexibilidade de aplicação e independência de estrutura física de hardware robusto, além da utilização remota em qualquer lugar para executar as atividades de testes. O desenvolvimento de plataformas VEOS tem a intenção de criar um caminho alternativo para validação de unidade de controle eletrônico, evitando atrasos devido a falta de componente pelo fornecedor, e executando testes iniciais para prever falhas futuras de projeto. Em geral, os sistemas VEOS são compostos de model based design de cada ECU, sensores e atuadores do veículo, dimensionados de forma que o modelo fique mais próximo do real resultante de um trabalho em equipe entre time de softwares, modelagem e fornecedores [He and Zhao. \[2009\]](#).

2.15 Model based design - Hardware in the loop

A modelagem do sistema é fundamental para o funcionamento de qualquer plataforma utilizada sendo MIL, SIL - HIL e depende de inputs gerados pelo time de projeto conforme figura 2.31. É composta de bibliotecas e funções de cada unidade de central eletrônica, sensores e atuadores são representados virtualmente com suas características e sinais de alimentação, controle e comunicação de rede CAN. Em [Kato and Tsukamoto \[2016\]](#). é proposta a aplicação de modelos de propulsão veicular, controlados com simuladores xIL em [He and Zhao. \[2009\]](#). é utilizada esta mesma técnica para controlar sistemas de interiores veicular com o exemplo a aplicação deste trabalho o controle da unidade de central eletrônica BCM.

A criação do sistema de modelagem representada na figura 2.30 consiste na virtualização de componentes reais do veículo, transformando-os em blocos de controle. Esses blocos incluem o bloco de alimentação, onde, por exemplo, são configurados os sinais de tensão do componente em relação à bateria; o bloco de comunicação, onde é configurada toda a informação sobre protocolo de comunicação e o caminho de envio e recebimento de mensagens entre as centrais; e o bloco de veículo dinâmico, responsável pela implementação dos softwares e calibração das ECU's, simulando suas funcionalidades e estados de operação. Nesse caso, qualquer atualização e implementação é realizada nesse bloco. Para isso, é utilizado o GitHub como ferramenta de padronização entre as equipes, em que cada alteração é documentada na plataforma de repositório e o modelo é acessado

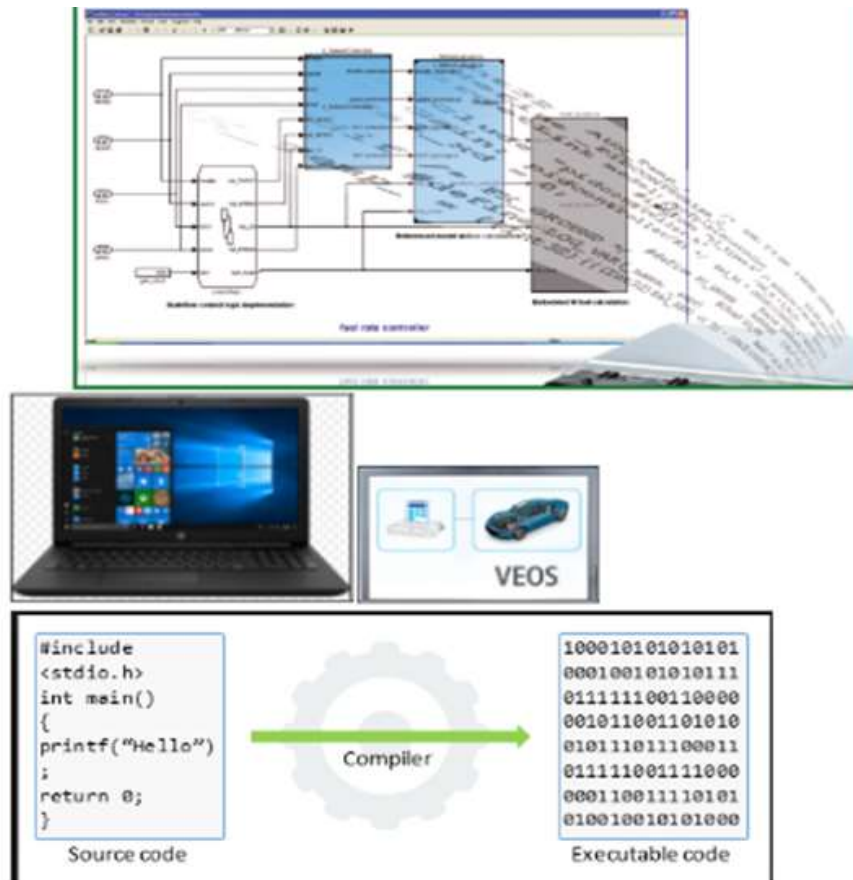


Figura 2.28 – Virtualização de testes SIL

Fonte: Han and Guo [2016]

por múltiplas plataformas Han and Guo [2016].

A praticidade de inserir um novo componente no modelo e realizar essas alterações é necessário o sistema esteja parametrizado para que ele tenha o desempenho desejado, pois ele se torna modular. É importante ressaltar que a utilização dessa ferramenta tem muita versatilidade e pode, portanto, facilitar a execução de atualizações simples, ou em determinado modo mais complexa Guo and Zhao [2008]. Ela dependerá basicamente da necessidade do time da validação devido o surgimento de algum problema por erros de projeto ou mesmo em caso de que o componente é totalmente novo e atualizações são necessárias para o seu melhor funcionamento Lazzarin and Cavallo. [2017]. No caso de um novo projeto é realizado um estudo de impacto, e revisado toda documentação necessária para efetuar o trabalho.

Esta metodologia pode fornecer uma multiplicidade de aplicações e com citado o modelo pode ser aplicado em plataformas xIL diferentes. No presente estudo, o benefício verificado foi a melhoria dos testes HIL utilizando uma estrutura modular LoadBox através do gerenciamento de simulação na integração do modelo. É interessante determinar uma

estratégia para definir dinamicamente os valores de referência de todos os circuitos da unidade de central eletrônica, com base no documento disponível para desenvolvimento e conexão com os times presentes no projeto. Obviamente, o modelo deve ser configurado de tal forma que a sua utilização possa reutilizá-la entre plataformas diferentes em que esteja dentro dos parâmetros de configuração do simulador [Liu and Song. \[2017\]](#).

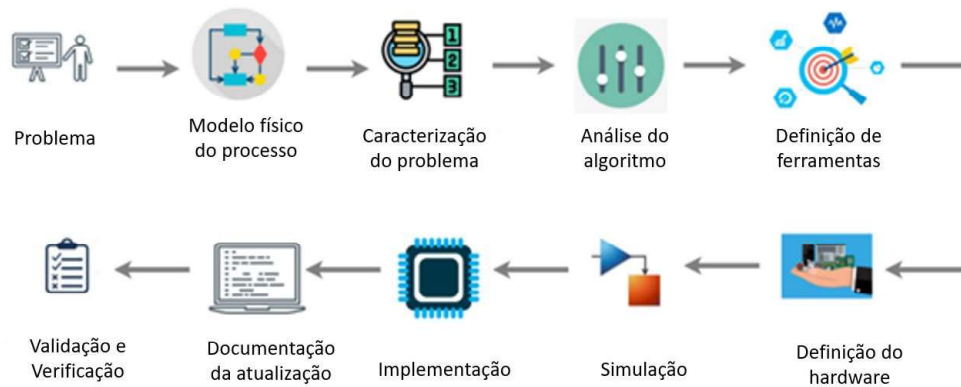


Figura 2.29 – Ciclo de desenvolvimento MDB

Fonte: [Liu \[2008\]](#)

É possível analisar na figura ?? o ciclo de desenvolvimento do MDB, a sua versatilidade devido a sua característica modular e claro, a integração com sistemas multi-acesso facilita sua implementação em tempo real. O modelo é desenvolvido no software Matlab/Simulink onde é feita a integração com as ferramentas da DSPACE, responsável por desenvolver os simuladores [Zhu and Liu \[2017\]](#).

A possibilidade de interagir com outros APIs é uma flexibilidade presente nos modelos desenvolvidos trabalho durante este trabalho, em determinados casos as requisições são realizadas por fornecedores diferentes e utilizam outras linguagens e/ou ferramentas locais, para atender todas atualizações de bibliotecas ou funções é possível verificar na imagem 2.29 para conhecer melhor o processo. A partir daí, as modificações são realizadas e incluídas no modelo a fim de melhorar o sistema para validação e operação [Dong and Wang \[2020\]](#).

Alguns detalhes sobre a aproximação matemática de um modelo de planta são discutidos abaixo antes da avaliação específica do modelo do veículo. O modelo matemático é uma representação simplificada de um sistema com uma estrutura de conceitos mentais e/ou experimentais. Além do objetivo conhecido de teste e validação de sistemas de controle, ele pode ser usado como ferramenta com o objetivo de:

O alvo de um sistema de modelos xIL são as unidades de controle eletrônico.

As aplicações powertrain são a unidade de controle do motor, unidade de controle da transmissão, unidade de controle híbrido powertrain e/ou a unidade de controle do *powertrain*. Assim, o sistema HIL fornece o ambiente de circuito fechado usando uma planta virtual. Tem como base fundamental da técnica xIL os modelos de planta HIL devem satisfazer o comportamento dinâmico necessário para testar, verificar e validar as aplicações de Hardware e Software em um ambiente virtual controlado [Chen and Tan. \[2019\]](#).

Alguns detalhes sobre a aproximação matemática de um modelo de planta são discutidos abaixo antes da avaliação específica do modelo do veículo. O modelo matemático é uma representação simplificada de um sistema com uma estrutura de conceitos mentais e/ou experimentais. Além do objetivo conhecido de teste e validação de sistemas de controle, ele pode ser usado como ferramenta com o objetivo de:

1. Fluxo de desenvolvimento de modelagem automotiva
 - a) Projeto do sistema e previsão de impactos para a ação ou modificação;
 - b) Entender e prever o comportamento dinâmico para melhorar a proposta;
 - c) Menor tempo e recursos para realizar a análise de um sistema modelado quando comparado com o sistema experimental;
 - d) Viabilidade da análise de sistemas e objetos que não seriam possíveis através de experimentos;
 - e) Informações mais detalhadas do sistema podem ser obtidas através da combinação de experimentos e modelos matemáticos;
 - f) Operação nos limites extremos do sistema;
 - g) Repetibilidade de testes com pequenas variações para comparação e análise.

2.16 Integração do Modelo ao Hardware

Os componentes presentes no modelo da planta são os mesmo descritos no documento de hardware conforme modelo reduzido presente na figura 2.34 e 2.35, criado no início do projeto, cada unidade de central eletrônico tem o seu bloco de configuração onde está presente a característica do hardware físico e suas configurações para virtualização [Dong and Wang \[2020\]](#). A interface de conexão entre Hardware e software é definida pelos requisitos do projeto e elaborado o modelo da planta que é composta por centrais e possíveis sensores/atuadores, transformadores sinais físicos em sinais simulados, e pode haver mais de um caminho para conexão entre as redes CAN, sendo configurado para transmitir informação em tempo real referente ao funcionamento do veículo. No caso dos blocos de interface, um dos caminhos iniciais no desenvolvimento é a configuração das portas relacionadas às placas do HIL e [S. M. Szwabowski \[2014\]](#).

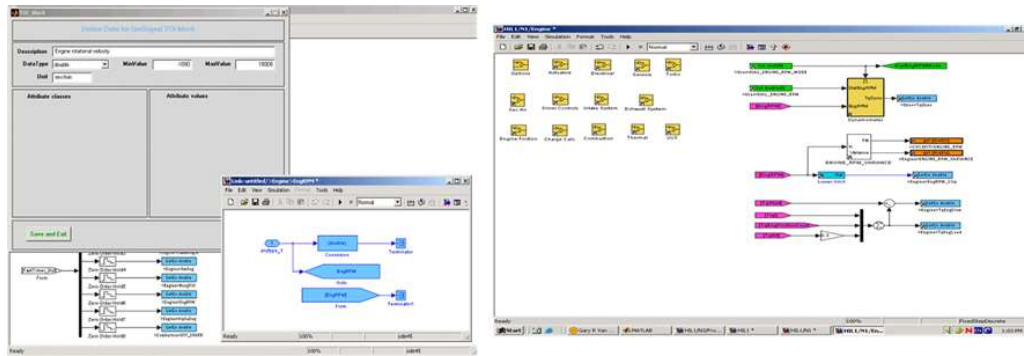


Figura 2.30 – Desenvolvimento de bibliotecas

Fonte: Adaptado do modelo utilizado no HIL Componente

Uma aplicação interessante e importante é a possibilidade de padronizar as topologias aplicadas no modelo, observada na figura 2.32, com a definição de cada bloco de função, alimentação, E/S e comunicação é possível visualizar a identificação nos blocos do MDB Liu [2008].

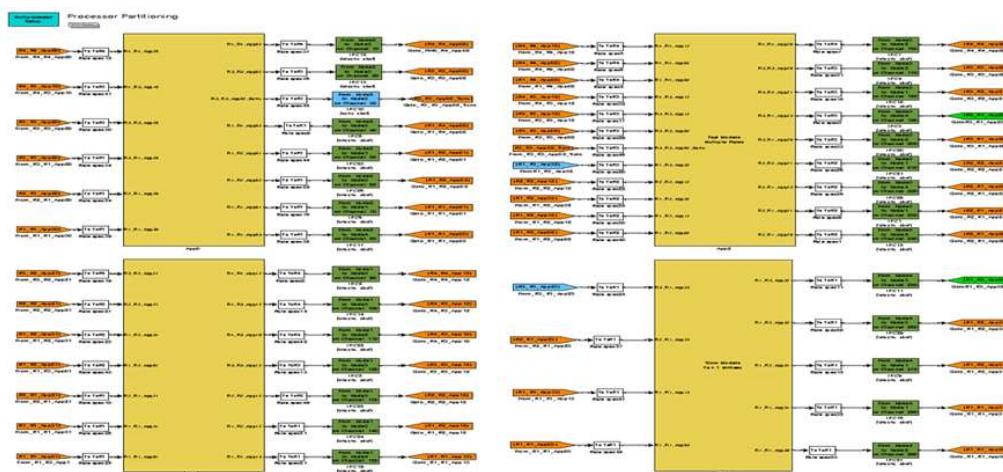


Figura 2.31 – Bibliotecas do modelo da planta

Fonte: Adaptado do modelo utilizado no HIL Componente

Neste caso, a conexão é definida internamente no simulador escolhendo o tipo de sinal e resistência para simular demais cargas reais presente no modelo da planta conforme figura 2.36 e conseqüente identificando as portas disponíveis para aplicações Zhu and Liu [2017]. Além disso, as portas de alimentação são produzidas nos barramentos com a identidade de cada ECU e nomeada o nível de tensão.

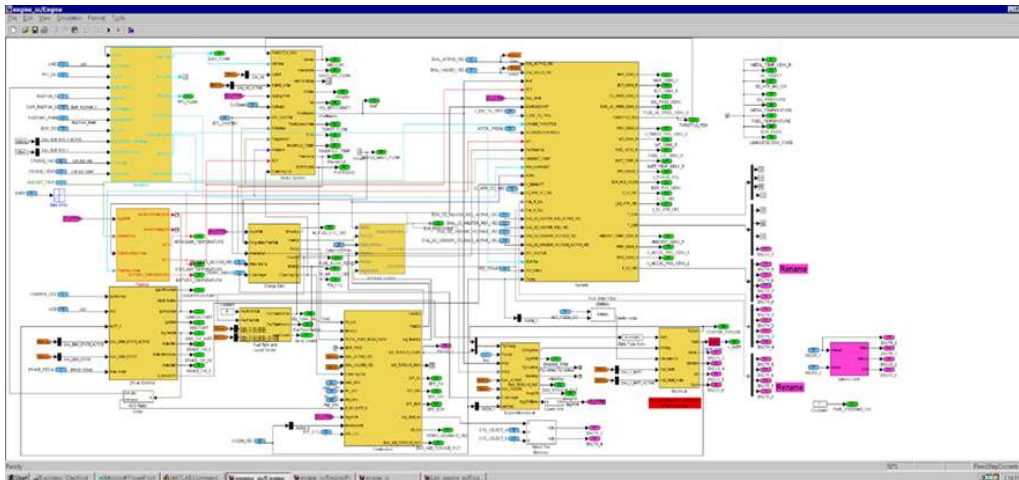


Figura 2.32 – Interface modelo da planta

Fonte: Adaptado do modelo utilizado no HIL Componente

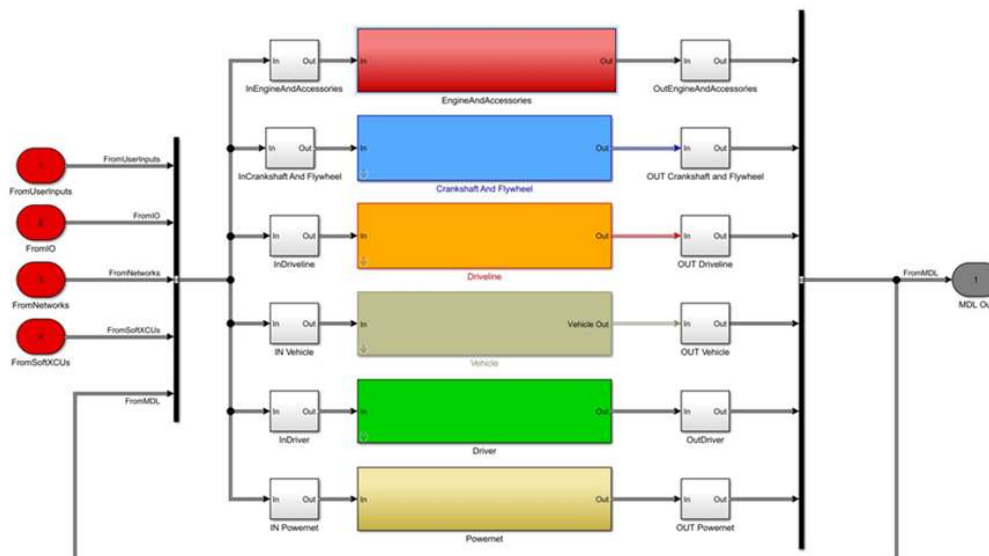


Figura 2.33 – Estrutura do modelo da planta

Fonte: Adaptado do modelo utilizado no HIL Componente

2.17 Conclusões

Neste capítulo foi analisado o contexto recente das plataformas xIL inicialmente abordado fatores positivos e negativos, dado uma ideia preliminar do estado da arte e referências de aplicação das ferramentas xIL, seja no mundo ou no Brasil, com exemplos de aplicação em algumas áreas, não apenas automotiva. Em seguida, foram definidas as classificações diferentes das plataformas, além de seus aspectos como periféricos internos e externos da plataforma, estrutura física de hardwares, softwares e sistemas para desenvolvimento e operação. Plataformas de testes bem estabelecidas são comparadas com novos meios de testes utilizando sistemas simulados totalmente virtuais como por exemplo o

VEOS e os desafios e benefícios que esta mudança está impactando na maneira de validar componentes e sistemas nas indústrias. Uma visão geral é feita sobre model based design e então o conceito de padronização do modelo dentro de uma topologia simplificada e compartilhada em multiacesso utilizando os diretórios do Github.

A validação de sistemas automotivos é uma etapa crítica no desenvolvimento de veículos, e pode envolver testes extensos em condições variadas. Nesse contexto, simuladores HIL surgem como uma ferramenta fundamental para a validação de sistemas eletrônicos e de controle em um ambiente seguro e controlado. Os simuladores HIL permitem a simulação em tempo real de componentes e sistemas eletrônicos, bem como de variáveis ambientais e mecânicas, permitindo que os engenheiros possam realizar testes mais precisos e abrangentes de um sistema, em uma variedade de condições. Além disso, esses simuladores permitem que as equipes de engenharia validem sistemas antes de sua implantação, reduzindo os riscos e custos associados a falhas ou atrasos na produção.

Para utilizar simuladores HIL de maneira eficaz, é importante desenvolver um modelo da planta modular. O modelo da planta modular é um modelo matemático que descreve o comportamento do sistema a ser validado, permitindo a simulação de diferentes condições de operação. Esse modelo é importante para que os engenheiros possam testar diferentes configurações e ajustes do sistema, bem como para entender melhor o comportamento do sistema em situações de falha ou de carga elevada. Além disso, o modelo da planta modular pode ser utilizado para desenvolver estratégias de controle e para otimizar o desempenho do sistema. Em resumo, o uso de simuladores HIL em conjunto com modelos da planta modular é essencial para a validação de sistemas automotivos, permitindo que os engenheiros possam realizar testes precisos e abrangentes, de forma segura e controlada, antes da implantação do sistema em um veículo real.

A escolha da plataforma de testes esta vinculada a aplicação e qual componente foi planejado testar no período definido. A possibilidade de alterar entre aplicações ou reaproveitar modelos da planta é o principal benefício da virtualização, ganhando tempo de projeto, reduzindo custo de engenharia e confirmando a qualidade e confiabilidade do meio de prova. O sistemas virtuais nem sempre esta vinculado a uma plataforma fisica em alguns casos podemos ter um simulador virtual rodando em um software do fornecedor, onde o seu modelo da planta é o mesmo utilizado em plataformas fisicas com componentes reais. A necessidade de possuir *hardware* conectado é também uma demanda de projeto, mas que tem impactor muito relevante no tempo de desenvolvimento do projeto, fatores como a entrega do componente pelo fornecedor e versões diferentes podem impactar todo o processo, o seu desenvolvimento de *software* tem que estar alinhado com o tempo de disponibilidade do *hardware*, caso ocorra atrasos ou possíveis erros de projeto durante o desenvolvimento, é necessário planejar novamente uma estratégia de testes.

Afim de criar sistemas confiáveis e eficientes é necessário calcular todo o tempo

de desenvolvimento calculando o tempo de atualização e possíveis problemas encontrados durante o processo.

Capítulo 3

Unidade de Controle eletrônica - BCM

O Módulo de Computador de Corpo (BCM) é um componente central no controle e na comunicação entre outras unidades eletrônicas em um veículo, permitindo análises sobre seu funcionamento. Entre suas funções, está o monitoramento de sistemas como a iluminação interna e externa, a recepção de mensagens da central ECU e possivelmente o controle dos drives das lâmpadas. Ele é responsável pelo gerenciamento de toda a comunicação entre as unidades, incluindo o gerenciamento de ignição, acesso ao veículo, nível de combustível e configurações de segurança e conforto. As conexões com as outras unidades são feitas por meio de cabeamento e as comunicações entre as redes CAN/LIN são realizadas por cabeamento trançado especial.

O BCM é considerado um dos principais dispositivos de controle do veículo, pois gerencia a troca de informações entre outras unidades na rede CAN, controla a parte eletrônica do veículo conectada aos relés de proteção e configuração entre a bateria e os demais circuitos. Ele é composto por hardware complexo, incluindo circuitos integrados, memória de dados, circuitos de proteção e unidades de processamento. A indústria automotiva considera o BCM como o "cérebro" do veículo devido à sua importância no controle e funcionamento do veículo, desde o acionamento até as luzes internas e externas, informações de temperatura, ADAS e conectividade [A. König \[2015\]](#).

A Figura 2.28, mostra de forma esquemática a conexão das centrais virtuais e suas cargas elétricas que vão ser demonstradas e discutidos neste capítulo e posteriormente aplicado no banco de teste loadbox e conectado no HIL de componente.

3.1 Gerenciamento da Iluminação Interna e Externa

A tecnologia de iluminação veicular está passando por atualizações nos últimos anos não apenas pelo design e mudança de simplificação de circuitos eletrônicos, mas pensando no consumo eficiente e sustentabilidade [T. J. Kulp \[1996\]](#). Em adição, o uso de leds contribuiu com a integração de hardware em placas compactas de baixo

consumo energético, facilitando o seu controle de acionamento, por intensidade ou lógica de comando. A eficiência luminosa é considerado fator importantíssimo na indústria automotiva, influenciando também no design do carro e sua representação física, pode ser visto em [e J. M. Miller \[1997\]](#).

A sinalização dos veículos automotores especificamente na indústria automotiva envolve a conversão de energia elétrica em luz. Na literatura esse fenômeno se caracteriza pela eficiência luminosa, dada em lumens/watts, sendo a relação entre a luz produzida e o consumo necessário a esta produção. No contexto da eficiência energética, o objetivo do produto é a da máxima redução consumo, devido a importância e segurança que entrega a luz em volta do seu funcionamento o seu estado ativo ou em alerta é programado para receber inputs a todo momento. Sendo um componente fundamental no veículo, a fonte luminosa é prioridade de desenvolvimento pelo time de engenharia. Dentro dos componentes disponíveis atualmente na indústria automotiva, é possível encontrar lâmpadas de filamento, lâmpadas de descarga a gás e LEDs, dentro das possibilidades visuais e segurança as lâmpadas internas e externas são, compostas por faróis principais e auxiliares, e os dispositivos de sinalização, composto por lanternas traseiras, dianteiras e laterais e as centrais representada na figura 3.1.

Dentro das possibilidade de aplicação por grupos de fonte luminosas tende a utilizar processos técnicos e físicos diferentes, é possível notar em veículos atuais a utilização em massa de leds como principal fonte de iluminação Esta é uma das razões que justifica a grande evolução industrial no seu desenvolvimento e crescimento tecnológico no segmento de desenvolvimento de produto e, dentre suas vantagens, pode-se destacar a eficiência energética com foco na sustentabilidade, sob as características de baixo consumo e durabilidade. Em paralelo, o mercado automotivo tem buscado alternativas de novos componentes para desenvolvimento de produto, podendo representar as demandas físicas sem comprometer o desempenho e qualidade [Balaban \[2008\]](#).

O BCM tem a função de controlar os *drives* das luzes internas e/ou externas estão associadas aos sistemas, com base na tensão e corrente de operação e além disso fazer a gestão de funcionamento identificando possíveis falhas, quando ocorre-las gerenciar a ocorrência e gravar o estado do erro, as Resoluções do CONTRAN e as normas da ABNT são as referências nacionais para ter como base a aplicação de veículos presentes no Brasil. Complementarmente, considerando o estado da arte onde estamos localizado no desenvolvimento de Leds automotivos, a necessidade ainda está no custo benefício do desenvolvimento, razão pela qual a difusão da tecnologia se dá comumente em mercados pioneiros e em veículos de primeira linha. Com base neste fato é necessário analisar em testes com muito cuidado todo o andamento do desenvolvimento dos leds aplicado no veículo, considerando a compatibilidade com a central de controle, BCM e sua influência na integração com outras centrais presentes no veículo [J. Li \[2016\]](#).

3.2 Gerenciamento de Consumo Energético da iluminação

Em conformidade com os requisitos de cargas da ECU disponível na figura 3.2, foi elaborado um circuito elétrico reduzido, utilizando somente de cargas resistivas para possibilitar a emulação dos sensores e drivers de controle [Szwabowski \[2012\]](#). O circuito elétrico desenvolvido para emular os sensores utiliza resistência e para os drivers os microcontroladores, com objetivo de atender os requisitos reais de funcionamento do veículo, atendendo a demanda do fornecedor. Os sinais de modulação para controle de intensidade ou endereçamento de ativação foram gerados através de saídas PWM da board dedicada pelo simulador, definida pela plataforma de entrada e saída de dados do HIL.

A tensão de acionamento das cargas é determinada pelo tipo de farol ou lanterna, gerenciado pela central BCM para realização de testes foi definido a tensão 12V, e corrente de 1,5A para realização dos ciclos de controle das cargas.

Na 3.1 é possível visualizar o esquemático do circuito reduzido das cargas luminosas e a conexão da alimentação da central BCM na figura 2.32. Optou-se em utilizar uma fonte de 12V/20A para aproximar o mais real possível do funcionamento do veículo, considerando o alto consumo das cargas que são conectadas ao BCM. Para o gerenciamento do consumo foi manipulado as variáveis geração e aquisição dos sinais, pré-requisito fundamental para o funcionamento do sistema simulado.

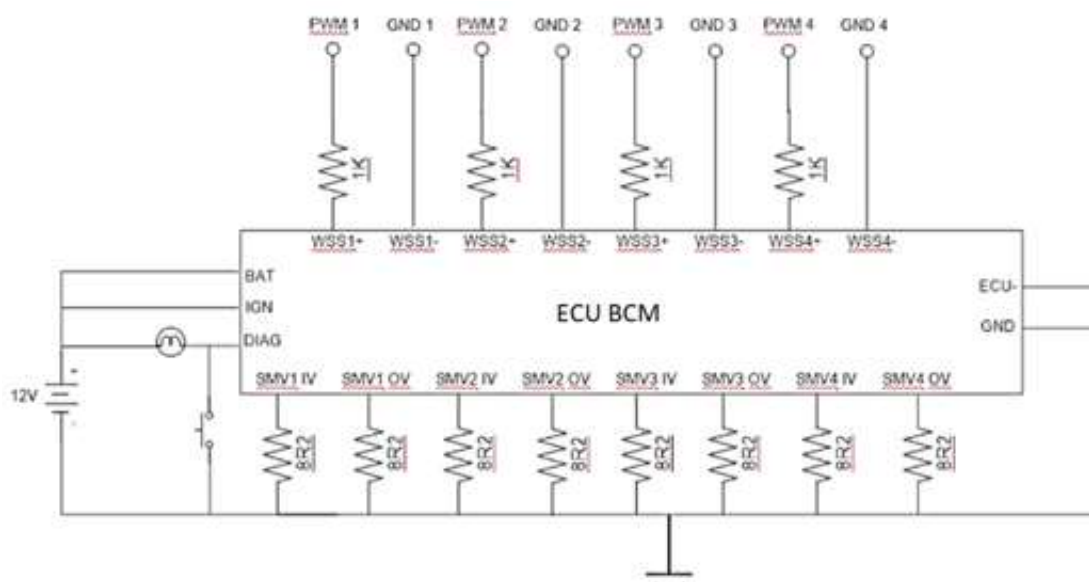


Figura 3.1 – Esquema elétrico BCM reduzido.

Fonte: [Instruments \[2017\]](#)

A Unidade de Controle Eletrônico IBS propõe a fornecer informações sobre a

bateria, referente ao estado de carga SOC, temperatura da bateria e Estado de Função SOF com o objetivo de garantir a integridade da bateria e o seu funcionamento correto, sistemas como Start e Stop, gestão de informação do Alternador inteligente AIM e o descarregamento de carga são gerenciamento importantes para o funcionamento do veículo isso é gerenciar o funcionamento da bateria do veículo a partir da corrente disponível, o seu estado de operação e funcionalidade, as informações são compartilhadas na rede com a ECU BCM que possibilita a manipulação de dados e funcionalidades do sistema de iluminação. O seu consumo e fidelidade dos parâmetros definidos pelo fornecedor é criticamente testado e validado pelo time de engenharia, possibilidade de falhas reais devido ao controle e hierarquia do BCM [Weber \[2002\]](#).

3.3 Modelos de Simulação para a Central (BCM)

A virtualização é o atalho da indústria automotiva, possibilitando redução de custos e equidade de qualidade em curto ou médio tempo. Com a evolução de ferramentas e softwares modernos a aplicação de conceitos antes em fase de validação, atualmente é realidade e vem-se tornando necessidade. Ainda hoje os custos de desenvolvimento de softwares são tão importantes quanto o comparativo com os custos de hardware, porém o fator insumo é excluído e tornando mais vantajoso em alguns casos.

A metodologia de simulação virtual surge como solução útil e eficaz para solucionar a estratégia de controle automotivo, análise de funcionalidade e diagnósticos. A redução de custo e o fator sustentabilidade são variáveis que alimentam a necessidade de investimento em plataformas de testes xIL, considerando a possibilidade de repetições de testes até a sua falha, sem gasto energético físico com combustíveis ou até mesmo mão de obra humana. A incorporação dos componentes são feitas em ambiente virtual em um sistemas de simulação com ambiente analítico e funcional, parâmetros são levados em consideração como referência o componente real de desenvolvimento e as análises são criteriosas em relação aos resultados [Balaban \[2008\]](#).

A estratégia no desenvolvimento dos modelos e implementação utilizada nesse trabalho considerou dividir em dois sistemas os modelos HIL Propulsão e HIL Elétrica, metodologia que facilita o entendimento da aplicação e melhor detalha o processo.

1. Estrutura base dos subsistemas ePT
 - a) Motor e acessórios;
 - b) Transmissão e Driveline;
 - c) Dinâmica de veículos;
 - d) Comunicação;
 - e) Interface e configuração de E/S;

f) Operação nos limites extremos do sistema;

1. Estrutura subsistemas Eletrica

- a) Motor e acessórios;
- b) Energia;
- c) Infotainment e Conectividade;
- d) Comunicação;
- e) Quadro de Instrumentação;
- f) Body e Chassis;

A dinâmica veicular compõe informações que são carregadas para o desenvolvimento do modelo do sistema, onde todos os parâmetros tem como base a engenharia.

(i) Veiculo

- a) Muitos DOFs (Grau de liberdade);
- b) Mass na suspensão e Sprung;
- c) Pneus;
- d) Suspensão;
- e) Estrada;

(i) Modelo

- a) 1 DOF (Grau de liberdade);
- b) Movimento Linear Para frente e para trás;
- c) Modelo Similar utilizado no Dyno Rolls cell;
- d) Estrada;

Lei Secundária do Movimento de Newton: A força líquida sobre um objeto é igual à taxa de tempo de mudança de seu momento linear em um quadro de referência inercial.

$$F = dp/dt = d(mv)/dt \quad (3.1)$$

No caso em que a massa é constante, a massa pode ser tomada fora do operador de diferenciação pela regra do fator constante na diferenciação. Assim, a massa pode ser levada para fora do operador de diferenciação pela regra do fator constante na diferenciação.

$$F = m * dv/dt = ma \quad (3.2)$$

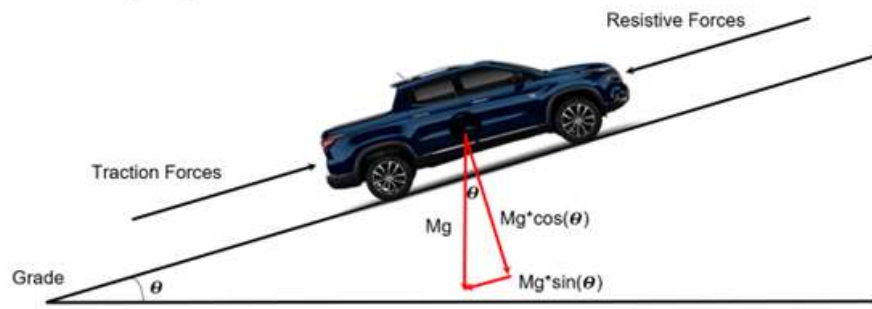


Figura 3.2 – adaptada do Diagrama de corpo livre.

Unidade de força: 1 Newton = $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

Modelagem e simulação do sistema de energia elétrica do veículo facilitam o projeto e a análise eficientes de veículos Onoda [2002]. Diferentes pacotes de software estão disponíveis para análise de sistemas de energia veicular. Para se avaliar sistemas e necessário criar estratégias de desenvolvimento e validação.

O primeiro bloco à esquerda contém a dinâmica veicular das saídas em azul e dada a velocidade, distância entre outros resultados é possível observar na figura 3.5. A resistência ao rolamento e a força de frenagem são simuladas como uma força de fricção em nosso modelo de veículo. A fricção é a resistência oferecida ao movimento de uma carroceria passando por outra com a qual ela está em contato descrito na figura 3.4.

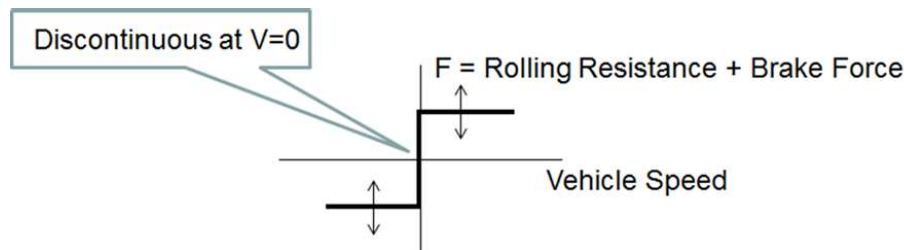


Figura 3.3 – Força de Fricção.

Fonte: GmbH [2007]

3.4 Protocolo de Comunicação CAN/LIN

O modelo da software CAN e o hardware associado, é usado para possibilitar a comunicação do modelo de meio físico para virtual com outras ECUs do veículo que não estão conectados ao sistema HIL em modo de circuito aberto onde esta representado na figura 3.7. O protocolo CAN simula o conjunto mínimo de mensagens de ônibus de veículos necessário para manter a ECU do HIL Powertrain funcional para testes. A intenção do modelo CAN não é simular a rede completa de ônibus CAN do veículo e o comportamento

dinâmico de cada ECU que se comunica no ônibus CAN. Distribuição de recursos para outras ECUs que requerem operação em circuito fechado/dinâmica.

É possível verificar o modelo de topologia de rede veicular na figura 3.8.

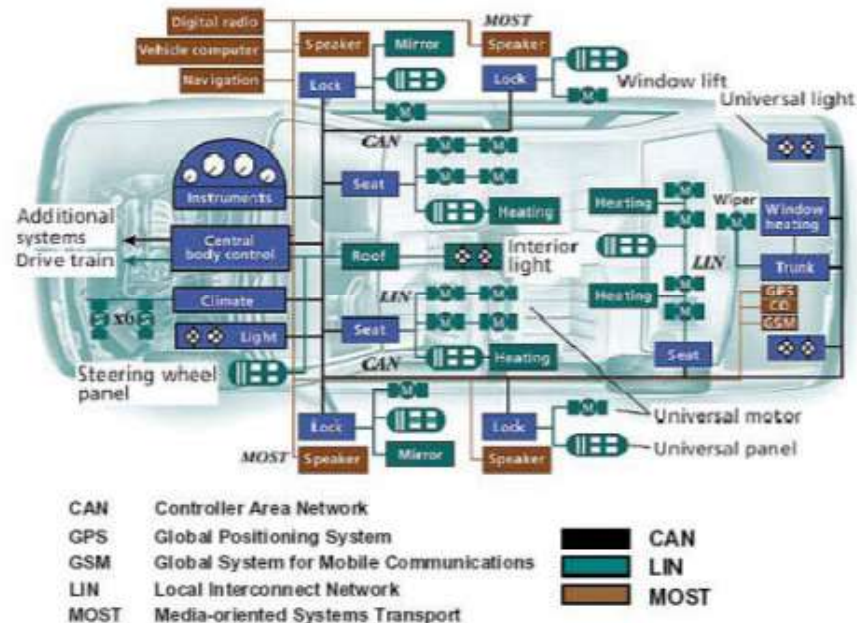


Figura 3.4 – Protocolo de Comunicação - ver se posso utilizar essa imagem

Fonte: GmbH [2007]

Em geral, a rede CAN é uma tecnologia de multiplexação em veículos onde um canal comum é usado para transmissão e recepção de dados entre várias estações. CAN é um protocolo de comunicação em série carregando as informações do DBC, presente na figura 3.12.

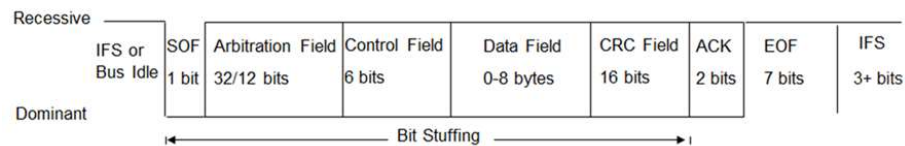


Figura 3.5 – Protocolo de Dados

Fonte: GmbH [2007]

1. Configuração de recebimento e envio de dados

- Espaço Inter-Frame (IFS): Um nó pode começar a transmitir uma moldura de dados;
- Início da moldura (SOF): Os receptores se sincronizam na vanguarda;

- c) Campo de Arbitragem: A arbitragem é baseada na identificação da mensagem;
- d) Campo de Controle: Define a estrutura Data/RTR e o comprimento dos dados;
- e) Campo de dados: 1-8 bytes de dados;
- f) Campo de Verificação de Redundância Cíclica (CRC): CRC de 15 bits + delimitador;
- g) Campo de Reconhecimento (ACK): Reconhecimento de 1 bit + delimitador;
- h) Fim do Campo de Moldura (EOF): 7 pedaços recessivo;
- i) Espaço entre quadros (IFS): 3+ / 11+ bits;

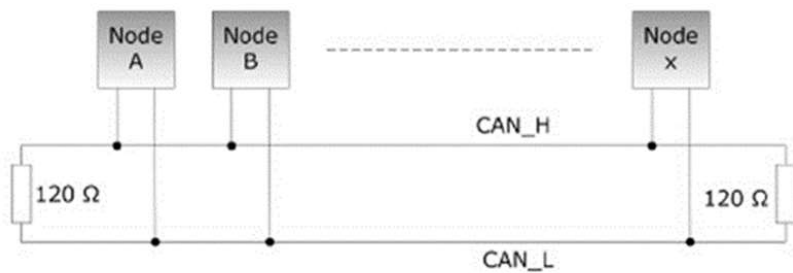


Figura 3.6 – Topologia da Rede

Fonte: GmbH [2007]

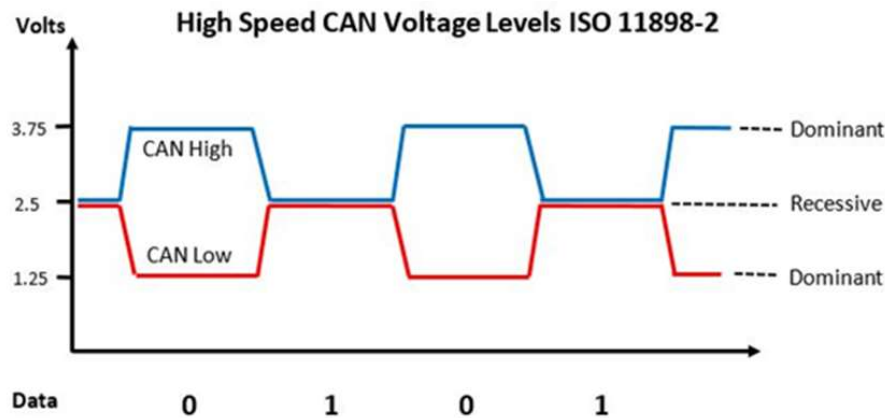


Figura 3.7 – Nível de Tensão

Fonte: GmbH [2007]

3.5 Modelagem CAN/LIN

RTICANMM Bloco Principal de comunicação - Construído utilizando o arquivo CAN DBC, disponível na figura 3.11.

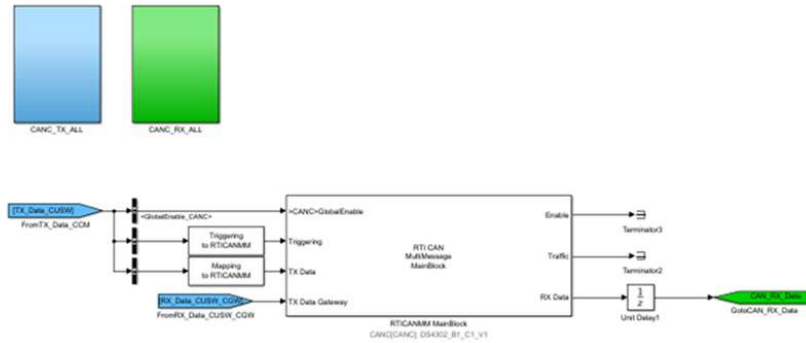


Figura 3.8 – Configuração da CAN

Fonte: dSPACE [2019]

Name	ID	ID-Format	DBC (Byte)	ID-Method	Cycle Time	Transmitter	Comment	GenBy2	GenTime	TrTs	Gen	Gen...
ADS_A1	0x3A	CAN Standard	2	cycleAndSpont...	1000	ADCH	0000	0*	2	20	0*	
ADS_A2	0x24F	CAN Standard	8	cycle	20	ADCH	FFFFFFFFFFFFFF...	0*	2	20	0*	
APLS_A1	0x326	CAN Standard	2	cycleAndSpont...	1000	APLS	0000	0*	2	20	0*	
APRE_TEMP_DSP	0x329	CAN Standard	4	cycle	1000	DBC	FFFFFFFF	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_75BN	0x75B	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_75CH	0x75C	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_75DN	0x75D	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_75DM	0x607	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_APLS	0x6E8	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_AH4M	0x6E9	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_ASDM	0x6E8	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DSC	0x6C1	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DASH	0x6D3	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DTCM	0x6C8	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DTCM	0x6F8	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_ELSD	0x6F0	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_EPB	0x6D9	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_EPHM	0x6DF	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_EPS	0x6DA	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_ESC	0x6C7	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_ESM	0x6C9	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_FDCM	0x6C2	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_H4P	0x6E4	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_IC	0x6C2	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_ITBM	0x6D4	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DTCM	0x6DE	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_DRC	0x6C4	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_PTS	0x6E2	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_PBT_DR	0x6C5	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	
APPL_ECU_PBT_PASS	0x6C6	CAN Standard	8	spontant	0	Diagnost	000000000000...	0*	2	20	0*	

Figura 3.9 – CAN DBC Mensagens

Fonte: dSPACE [2019]

CAN Power Up/Down Em alguns casos, o modelo HIL CAN não simula a sequência de subida/descida do veículo. HIL CAN enviado com base no estado da chave de ignição ou, em alguns casos, no interruptor de habilitação remota. Retardo fixo na queda de energia. Se uma sequência de power up for necessária para um teste - Um script poderia ser usado para habilitar Nós por requisitos de teste. dSpace/HIL: Se houver erros elétricos no barramento CAN, o HIL será desligado, solução é reiniciar o modelo para colocar o barramento CAN em linha.

LIN: Informações de fundo

O LIN (rede local de interconexão) é um sistema de comunicação serial de baixo custo para sistemas eletrônicos distribuídos em automóveis segundo a figura 3.14. A LIN é

um padrão aberto sendo projetado para conectar sistemas eletrônicos com baixos requisitos de comunicação, onde a largura de banda e a versatilidade da CAN não são necessárias.

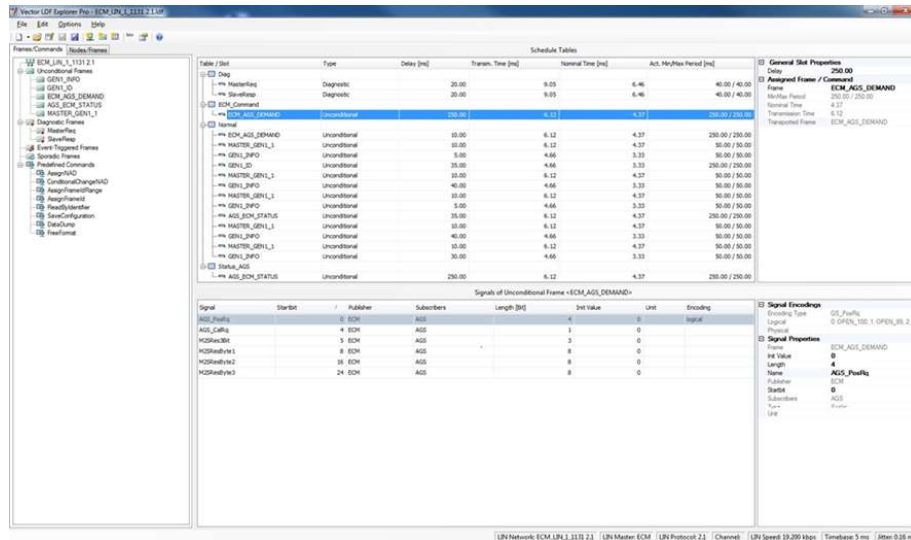


Figura 3.10 – Configuração LIN

Fonte: dSPACE [2019]

O alvo de um sistema HIL são as unidades de controle eletrônico, nas aplicações powertrain são a unidade de controle do motor. J. Li [2016]. Assim, o sistema HIL fornece o ambiente de circuito fechado usando uma planta virtual Szwabowski [2012]. Assim, como base fundamental da técnica Hardware-in-the-loop, os modelos de planta HIL devem satisfazer o comportamento dinâmico necessário para testar, verificar e validar as aplicações de Hardware e Software em um ambiente virtual controlado. O modelo de planta de uma aplicação Powertrain consiste em uma aproximação matemática de vários subsistemas de veículos que podem ser estruturados de diferentes maneiras, dependendo de como este simulador será utilizado. Os principais subsistemas são: E/S, Motor, Transmissão, Driveline, Dinâmica Veicular, Redes de Comunicação e ECUs.

A virtualização possibilita algumas vantagens quando comparada com sistemas físicos que demanda estrutura e coletividade de entregas, o uso de modelos no processo de desenvolvimento da autonomia de tempo e recursos para realizar a análise de um sistema modelado quando comparado com o sistema experimental, traz a viabilidade da análise de sistemas e objetos que não seriam possíveis através de experimentos. As informações são mais detalhadas do sistema, possibilitando a função de ser obtidas através da combinação de experimentos e modelos matemáticos, a capacidade de verificar o comportamento do sistema com mais facilidade e segurança em casos em que existe situações anormais de operação; ou operação nos limites extremos do sistema; e claro a repetibilidade de testes com pequenas variações para comparação e análise Weber [2002].

3.5.1 Internal Lights

A introdução de sistemas luminosos nos veículos é requisitada desde o início da produção dos veículos automotores no final do século XIX, a necessidade de locomoção noturna seria a real demanda dessa aplicação que futuramente estudos revelam diversas funcionalidades tanto para o condutor e para o pedestre conseqüentemente. A principal função das luzes internas é justamente iluminar a parte interna do veículo, permitindo ao condutor e os seus integrantes visualizar e interagir com os acessórios, tratando como item de segurança é também um item de conforto e comodidade aos usuários, facilitando a utilização de determinados itens presentes no carro [Sangiovanni-Vincentelli \[1993\]](#).

O avanço tecnológico possibilitou o surgimento de novos componentes eletrônicos, no início do século XX tivemos a criação das lâmpadas incandescentes, mudando totalmente a manufatura de produção dos faróis e lanternas automotivos, dando ao condutor mais desempenho e facilidade de utilização e sucessivamente o surgimento das lâmpadas de LEDs que hoje é a principal aplicação na indústria automotiva, trazendo a eficiência energética como aliada entregando um menor consumo de potência para iluminação mais intensas, menores placas e drives de desenvolvimento, maior durabilidade e vida útil entre a possibilidade de aplicação de PWM, RGB entre outros controles.

3.5.2 External Lights

Os veículos atuais possuem diversas luzes externas que cumprem diferentes funções é possível analisar na figura 3.15 as luzes disponíveis no veículo, como indicar a posição do carro, iluminar a estrada, sinalizar mudanças de direção e alertar outros motoristas sobre situações de emergência. Desde o surgimento dos primeiros veículos motorizados, a evolução dessas luzes tem sido constante, e atualmente as tecnologias mais avançadas têm sido utilizadas para garantir a segurança e o conforto dos motoristas e passageiros [Konrad \[1997\]](#).

Uma das principais evoluções das luzes externas dos veículos foi a substituição das lâmpadas bulbo por lâmpadas de LED (diodo emissor de luz). Essa tecnologia trouxe diversas vantagens em relação às lâmpadas tradicionais, como uma maior eficiência energética, um tempo de resposta mais rápido, maior durabilidade e uma maior variedade de cores disponíveis. Além disso, os LEDs permitem que as luzes dos veículos possam ser personalizadas de acordo com as preferências do motorista, o que tem se tornado cada vez mais comum em modelos de carros mais modernos.

Nos dias atuais, a modernidade das luzes externas dos veículos tem alcançado níveis impressionantes. As luzes agora podem ser controladas por computadores e sensores, permitindo que elas se adaptem automaticamente às condições da estrada e do trânsito. Por exemplo, alguns carros possuem faróis que podem ajustar automaticamente o ângulo

do feixe de luz de acordo com a velocidade do veículo e o ângulo do volante. Além disso, as luzes de sinalização também têm se tornado cada vez mais sofisticadas, com as luzes de freio piscando rapidamente em caso de frenagem brusca e as luzes de seta piscando em uma sequência dinâmica que indica a direção que o veículo irá tomar. Tudo isso contribui para uma experiência de direção mais segura e confortável para o motorista e para os passageiros Liu [2008].

O problema de usar esta abordagem é que é necessário detalhes da operação e *design* do componente a ser simulado, no qual os fabricantes automotivos geralmente não publicam, como a funcionalidade e a operação das tecnologias de veículos elétricos / HEV (mesmo o protocolo CAN de cada veículo é criptografado) L. Su and Zhang [2019]. Por exemplo, alguns detalhes como a potência para motores e inversores são frequentemente publicadas, mas não incluem informações sobre a capacidade de energia em toda a faixa de operação, a duração pela qual essa energia pode ser mantida, a eficiência em toda a região de operação e muitas outras características importantes que são necessárias para desenvolver modelos quase estáticos precisos.

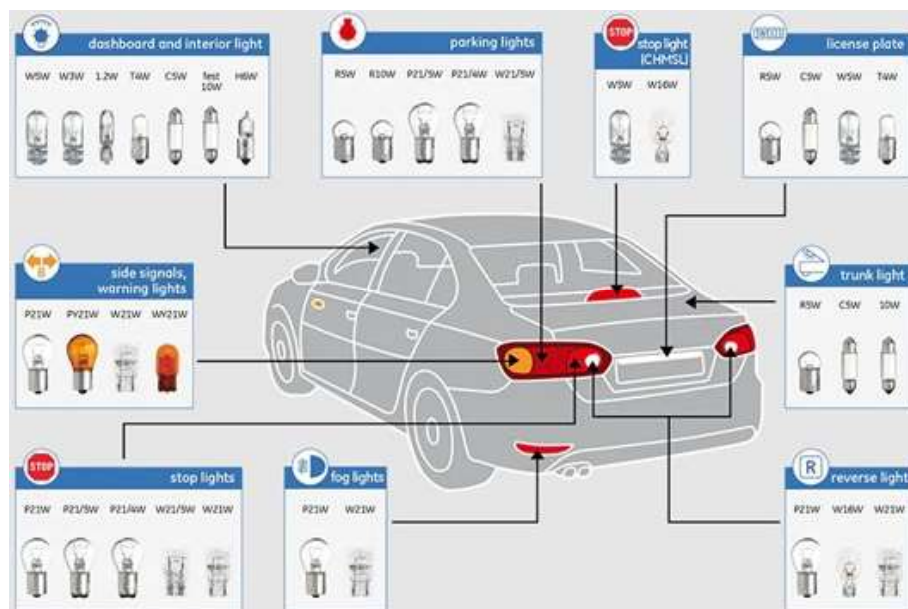


Figura 3.11 – Luzes internas e externas do veículo.

Fonte: GmbH [2007]

3.6 Conclusões

Neste capítulo, foi explicado como funciona a unidade de controle eletrônico BCM, sua função no sistema veicular e características técnicas, que são fundamentais para o funcionamento do veículo, a importância e a dependência do seu bom funcionamento. A comunicação da ECU entre as outras centrais e sensores/atuadores é exposta neste capítulo,

com objetivo de clarear o entendimento de sistemas eletrônicos aplicados na indústria automotiva, o protocolo de comunicação CAN e LIN é compartilhado para determinar o critério de hierarquia e definir processos de diagnose para o meio de prova.

Para a configuração do veículo foi discutido de forma genérica a estrutura base do veículo, dividindo em dois lados, iniciando tratando do lado de propulsão identificando as centrais e componentes que possibilitam o funcionamento correto do motor, e do outro lado a elétrica analisando todos os sensores e atuadores presentes no veículo. É mostrado em detalhes todo o processo de virtualização das centrais utilizado neste trabalho, suas equações e modelos no matlab. O ponto de partida foi utilizar as bibliotecas da própria plataforma, disponível na Dspace e realizado as adequações necessárias para aplicação. O próximo passo, foi apresentar as cargas que serão conectadas a ECU, durante o desenvolvimento optou-se em definir como luzes internas e luzes externas.

Esta estratégia é para facilitar a realização de testes, e análise das funções implementadas no simulador. Em seguida, é mostrada a evolução dos leds, seus benefícios e limitações. Finalmente, é implementado o simulador para realizar os testes. O HIL é estudado, portanto, completando a verificação e validação dos testes. Destaca-se a referência de virtualização de testes automotivos, assim como sua respectiva eficiência e como ela é fundamental nos dias de hoje na indústria. No final, é feita uma demonstração de sistema unidade de centrais virtuais bem como suas possíveis aplicações futuras.

O controle da ECU é realizado diretamente pelos comandos do simulador, onde a estrutura física possui os IOs configurados para determinada aplicação e os modulos de controle são cadastrados referentes as placas que estão sendo utilizadas no meio de prova. A sua configuração é realizada em partes, a etapa de modelagem carrega todas as informações presentes no componente que normalmente é disponibilizada na documentação técnica do *hardware*, possui dados de alimentação referente a tensão de entrada e saída e o limite de segurança, as portas de controle digitais e analógicas para automatização e controle de processos e as portas de comunicação referente a troca de informação entre as redes.

A possibilidade de carregar as informações do *hardware* facilita a configuração do modelo da planta onde é parametrizado toda informação fornecida pela documentação e importado os valores das variáveis de controle e toda informação da dinâmica veicular necessária para o seu funcionamento entre as plataformas. Com a possibilidade em alterar em sistemas reais e virtuais a realização de um comissionamento completo contribui com adiantamento dos próximos testes da aplicação, A ECU virtual carrega a maioria das informações da real, em certos casos o modelo é limitado devido a complexidade em desenvolver sistemas matemáticos no entanto as ferramentas de modelagem atualmente vem colaborando muito com bibliotecas modulares e simulações rápidas.

A indústria automotiva é a principal beneficiada por esse progresso devido o

curto tempo que possui para cumprir as atividades e acompanhar o mercado global.

Capítulo 4

Case Study Load Box

O presente estudo de caso trata do desenvolvimento de uma Loadbox, que visa ser um banco de teste para validação da central BCM por meio da criação de testes automatizados utilizando cargas reais. A *Loadbox* é uma plataforma HIL, que consiste em um sistema eletrônico embarcado conectado à central BCM e suas cargas luminosas.

O processo de definição dos requisitos para o desenvolvimento da estrutura começa na fase de aprovação do projeto, onde é elaborado um documento técnico com as cargas presentes na Loadbox, em conformidade com o simulador. Os valores de entrada e saída de dados são parametrizados com as placas disponíveis no HIL, determinando as medidas e características dos materiais utilizados na construção, conforme resumido na Tabela 4.1. Cada insumo é definido de acordo com a respectiva necessidade da aplicação, permitindo o controle de gastos e reutilização dentro dos interesses do projeto. A estrutura da Loadbox é fabricada em alumínio e suas conexões são móveis, permitindo a desmontagem para transporte ou adaptação para novo setup.

Tabela 4.1 – Informação do Hardware

Configuração	Características
ScalexIO	DS5386 HV 127/220 V ; 60 Hz;
Processador	DS6001 AMD Opteron 2.2 GHz
Sinais	DS6202 Placa Digital I/O
Rede	DS2671 BUS CAN FD/LIN - POWERNET - Ethernet
Controle	DS6121 Multi I/O Placa de controle eletrônico
FIU	DS2642 FIU Power Switch

4.1 Estrutura

A construção do setup de teste para validação é um processo crucial na criação de ambientes de teste confiáveis e realistas. A utilização de estruturas metálicas proporciona estabilidade e resistência necessárias para suportar os equipamentos e componentes utilizados nos testes HIL, garantindo a integridade e segurança do sistema. Além disso, essas estruturas permitem a organização adequada dos dispositivos de hardware, facilitando a conexão e interação entre os diferentes elementos do sistema HIL. A construção de estruturas metálicas personalizadas também oferece flexibilidade para acomodar variações de tamanho e layout, atendendo às necessidades específicas de cada projeto HIL.

A praticidade e flexibilidade na utilização da *loadbox* desempenham um papel fundamental na confiabilidade e eficácia dos testes. A escolha de materiais duráveis e resistentes, como aço ou alumínio, garante a estabilidade e durabilidade da estrutura, suportando o peso e vibração dos componentes eletrônicos e mecânicos. É possível verificar na figura 4.1. Além disso, a construção cuidadosa das estruturas e suas conexões leva em consideração a dissipação de calor adequada, minimizando o risco de superaquecimento dos dispositivos. A montagem precisa e robusta das estruturas metálicas também facilita a manutenção e reconfiguração do sistema HIL, permitindo ajustes e atualizações conforme necessário.

Em suma, a construção de setup de testes utilizando a *loadbox* requer planejamento e execução, fatores importantes e essenciais para garantir a confiabilidade, segurança e eficiência dos testes HIL quando conectadas a central, proporcionando um ambiente de desenvolvimento robusto e confiável para realizar validação de sistemas automotivos e eletrônicos.

Tabela 4.2 – Materiais para Construção da Estrutura

Chapa de Acrílico	700x700x4mm	1
Conector Universal 40	junção 90	12
Parafuso Chipboard	4.5x16mm	12
Parafuso Chipboard	6x16mm	6
Perfil de Alumínio	700x40x40mm	4
Perfil de Alumínio	620x40x40mm	15
Perfil de Alumínio	320x40x40mm	4
Rodízio Giratório	100mm-65kg	4
Suporte BCM	190x140x30mm	1
Canaleta PVC	50x50x660mm	4
Canaleta PVC	50x50x570mm	4

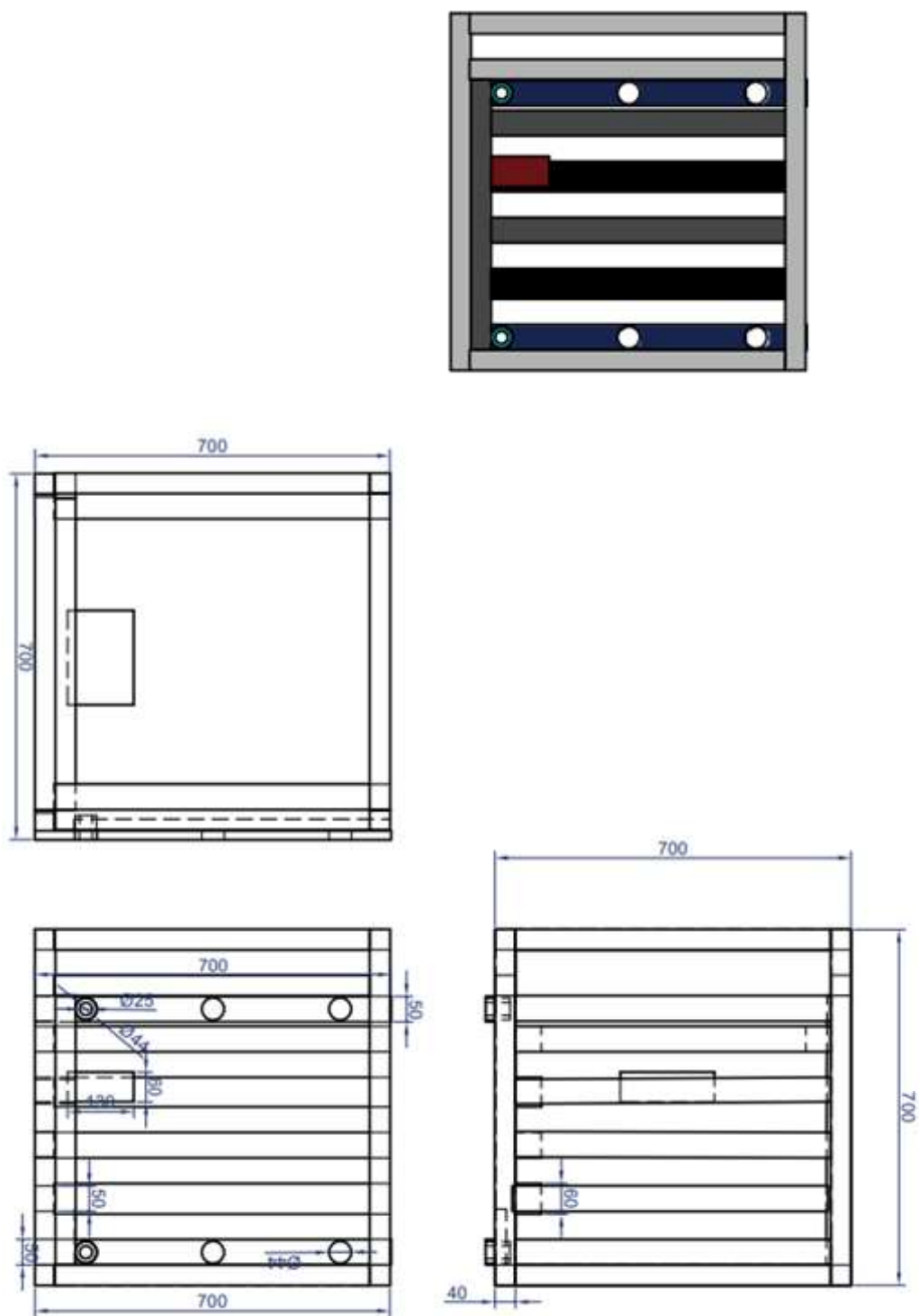


Figura 4.1 – Vistas ortogonais em escala 1:6 mm;

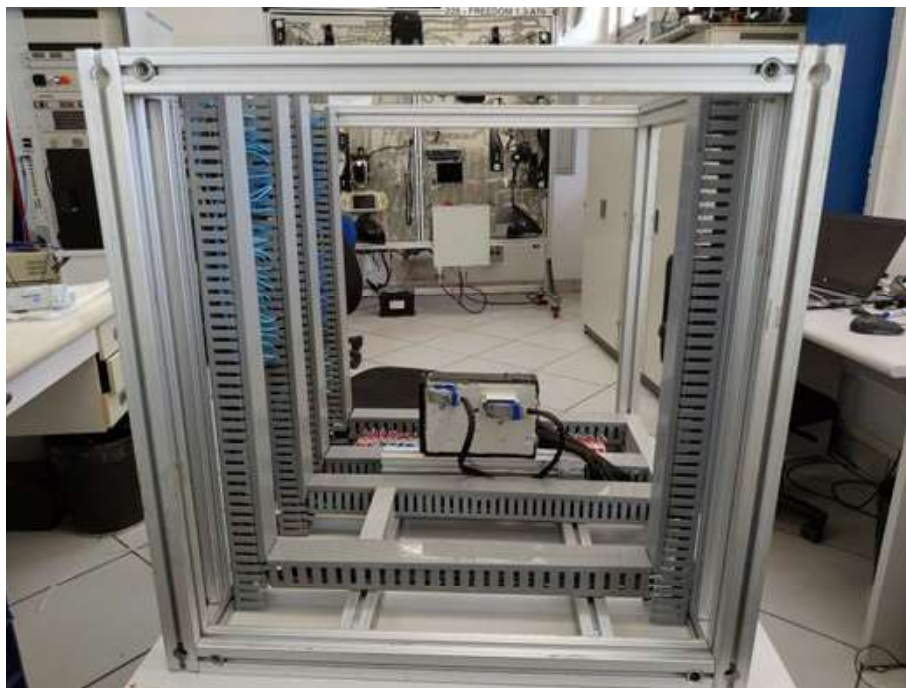


Figura 4.2 – Estrutura montada

A figura 4.2 é referente ao protótipo da loadbox, no centro está fixado a ECU, é possível verificar as canaletas presas na horizontal e vertical, aplicação que será explicada na área de conexão e cabeamento.

4.2 Conexão e Cabeamento

A documentação técnica que possui o mapeamento das conexões para a montagem dos chicotes e posteriormente a conexão do terminal na loadbox é chamada de signal list, essa planilha reescreve o esquema elétrico do simulador com todas as suas placas de alimentação, entra e saída analógica ou digital, sinais de comunicação CAN/LIN e os sinais da ECU com seus respectivos sensores e atuadores. O detalhamento aqui considerado leva em conta a parte interna da caixa e os chicotes que a conectam ao HIL de componente.

Sobre a colocação e divisão dos fios nas canaletas, zelando pela organização e robustez, os cabos foram fixados para evitar a menor perda de comprimento possível, e como compartilhado na figura 4.3 as bitolas foram de 1.5 e 0.5 mm, via a via onde o tipo de material e quantidade utilizada está presente na tabela 4,3.

As ferramentas para crimpagem e isolamento de todos os cabos é parte da praticidade e eficiência do tempo de construção e conclusão do trabalho. A utilização de manta térmica para isolar conexões evitando curtos e ou problema de aquecimentos é fundamental para garantir a segurança do desenvolvedor, e de todo o material disponível no setup de teste.

Tabela 4.3 – Componentes da Estrutura LoadBox.

Material	Especificação	Quantidade
Cabo Flexível	1mm ²	250m
Cabo Flexível	0.5mm ²	150m
Espiral Incolor	25mm	1m
Espiral Colorida	15mm	3m
Malha Trançada Expansível	18mm	18m

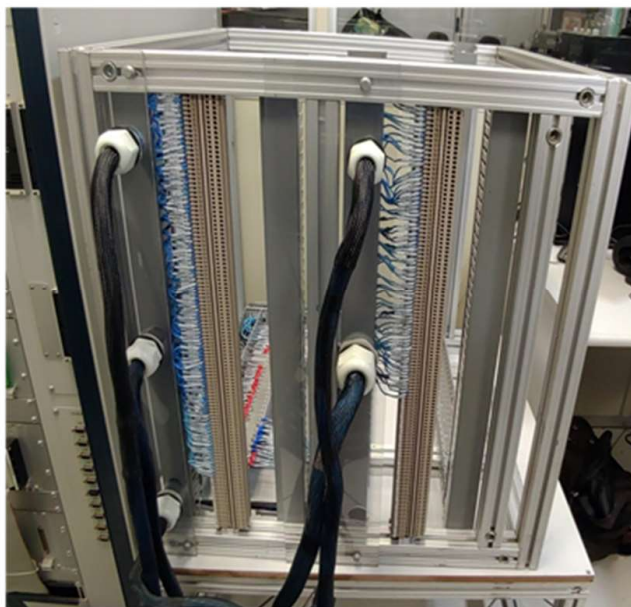


Figura 4.3 – Cabeamento frontal Load Box.

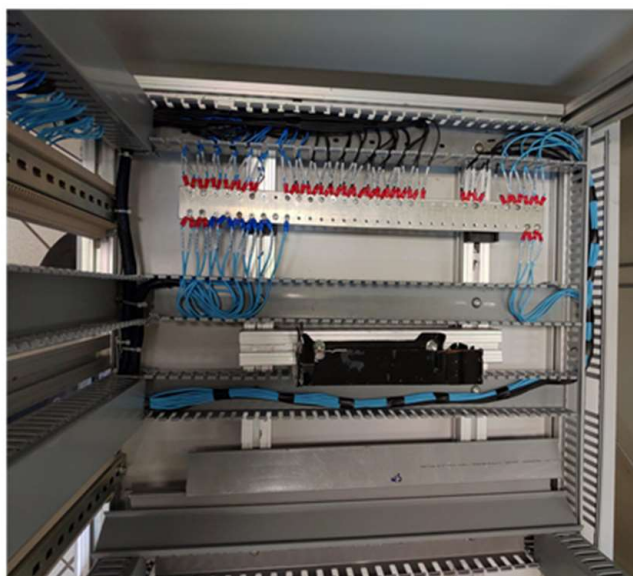


Figura 4.4 – Cabeamento vista interna e régua de borne

É possível verificar as conexões realizadas no projeto nas figuras 4.3 e 4.4, destaque na figura direta os chicotes de conexão com o simulador conectado frontal e a direita a conexão entre a ECU e as suas respectivas cargas luminosas.

4.3 Montagem da Loadbox

A construção da loadbox é dividida em partes, estrutura, conexão e acabamento, os locais de posição dos componentes eletrônicos é definido pela quantidade de pinos conectados, onde todas pontas do cabeamento são devidamente isoladas e os terminais pino tubular colocados para garantir melhor conexão aos bornes e terminais da fabricante dSPACE possibilitando a fixação dos conectores. As conexões do BCM são feitas por conectores advindos de chicotes próprios do projeto.

A montagem da estrutura é modular visando um melhor acesso a parte interna da box disponível na figura 4.5, melhor configuração de espaçamento do cabeamento e dimensionamento de altura referente a ergonomia para uso do validador, foi elaborado uma mesa para melhorar a sua localização e proximidade para eventuais manutenções O Tronco foi planejado para ficar na face oposta à citada, voltado para a mesa do operador.

Os chicotes têm a finalidade de conectar as entradas e saídas do HIL com a Loadbox. O seu desenvolvimento requereu atenção nas medidas de cabeamento, crimpagem correta dos contatos, identificação das pontas com etiqueta, isolamento e proteção dos cabos com malha expansível. O processo de fabricação desses chicotes foi artesanal, realizado na seguinte ordem: recorte de cada via na medida especificada pela equipe de montagem, crimpagem, alocação no conector hypertonic dSPACE, identificação, aninhamento dos cabos, passagem da malha expansível, travamento do chicote e por fim, a conexão das pontas da outra extremidade dos chicotes na lightbox.

O desafio de alocar todo cabeamento, a unidade de controle eletrônica e as cargas luminosas foi algo trabalhado durante todo o percurso, a idealização do sistema modular partiu dos desafios encontrados para diminuir o aquecimento interno e melhorar a mobilidade para eventuais manutenção ou atualização de *hardware*. Isso foi considerado em todas as etapas do projeto, desde o fluxo de cabo dividido entre os módulos laterais até a quantidade e bitola de cabos utilizado em cada extremidade.

As cargas luminosas não foram fáceis de posicionar, devido a não padronização dos conectores de saídas e as diferentes formas presentes no projeto, é importante ressaltar que cada carga possui suas características desde a presença de drive ou a controladores virtuais. A sua aplicação tem que ser levada em consideração até onde irá ser fixada, desde as luzes menores que emitem menor luz dificultando a visualização e as com intensidade forte, podendo causar danos aos validadores, neste caso é aconselhado a utilização de filtros externos para diminuir a intensidade da luz naquele ambiente.

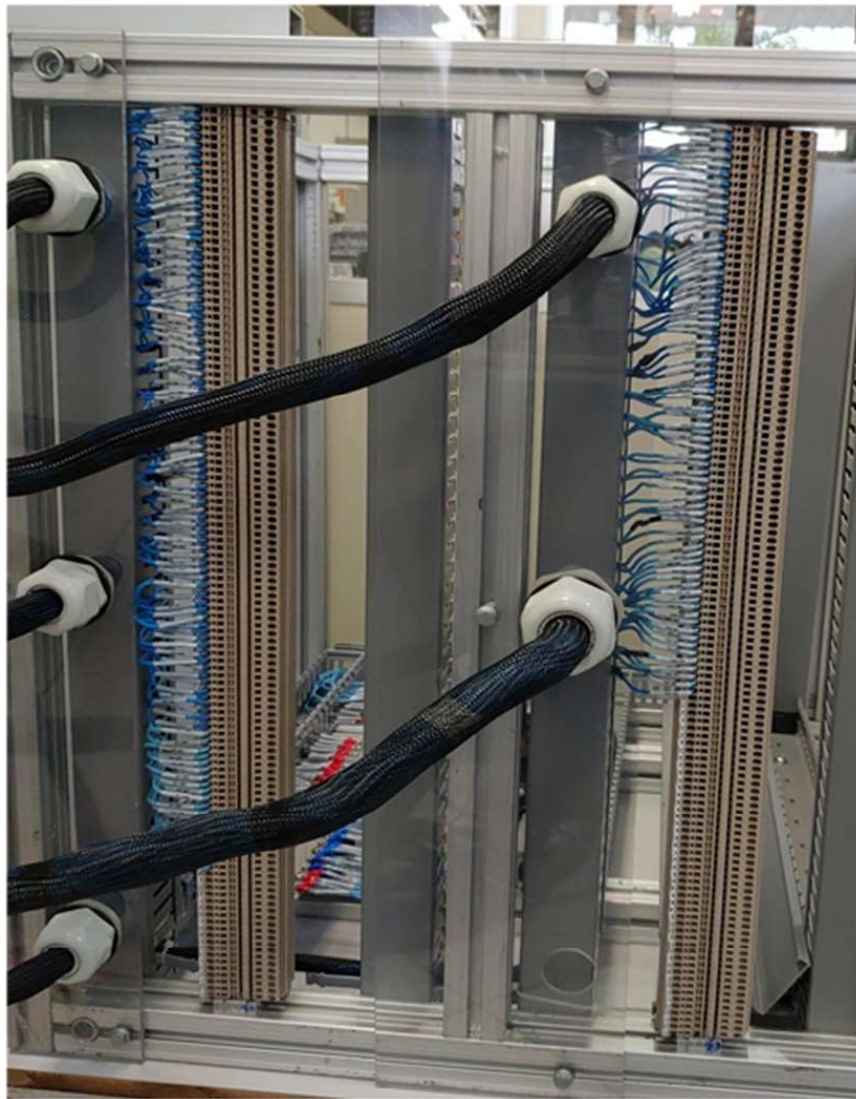


Figura 4.5 – Conexão frontal

4.4 Cargas Luminosas

Cada projeto tem sua característica, tornando uma nova aplicação sempre um desafio para projetar a Loadbox, funções físicas de dimensionado tem como base a quantidade e tipo de cargas que serão utilizadas sendo possível verificar na tabela 4.4. Este é o principal parâmetro a ser levantado antes de se iniciar a construção do meio de teste. Nesse caso levou-se em conta um veículo do ano 2017 para definir as especificações das cargas e desenhar o painel de cargas.

A tabela 4.4 contém todas as cargas luminosas sendo internas e externas aplicada neste projeto para análise e testes utilizando a plataforma HIL, as cargas utilizadas são reais respeitando as especificações do projeto do veículo.

Tabela 4.4 – Luz Interna e Externa do Veiculo

Carga	Potência	Qtde
DRL - FL	17.5W	1
CEILING LIGHT - INT	5W	1
FOG LIGHT - FL	35W	1
CEILING LIGHT - INT	5W	1
HIGH BEAM - FL	55W	1
APPROACH LIGHT - INT	3W	1
LOW BEAM - FL	55W	1
ID LIGHT - INT	5W	1
POSITION LIGHT - FL	1.75W	1
CHMSL - RC	2W	1
TURN LIGHT - FL	24W	1
PLATE LIGHT - RC	5W	2
DRL - FL	17.5W	1
STOP LIGHT - RL	21W	1
FOG - FR	35W	1
BACKUP LIGHT - RL	0.5W	1
HIGH BEAM -FR	55W	1
STOP LIGHT - RL	21W	1
LOW BEAM -FR	55W	1
TURN LIGHT - RL	16W	1
POSITION LIGHT - FR	1.75W	1
BACKUP LIGHT - RR	21W	1
TURN LIGHT -FR	24W	1
POSITION LIGHT - RR	0.5W	1
SBMT - INT	5W	1
TURN LIGHT - RR	21W	1
CEILING LIGHT - INT	5W	1
APPROACH LIGHT - RR	3W	1
CARGO LIGHT - INT	5W	1
ID LIGHT - RR	5W	1
TOTAL DE CARGAS LUMINOSAS INTERNAS E EXTERNAS		33

Os diagramas das figuras 4.6 e 4.7 representam a conexão das cargas a ECU, possibilitando visualizar as potências consumidas individualmente, características importantes para realização dos testes de validação e verificação.

É importante analisar nos dois diagramas a disposição das cargas referente a localização real do veículo, isso facilita ao projetar uma estrutura da loadbox e contribui com a realização dos testes, a sua posição tem influência tanto no consumo e na representação visual do escopo.

Os nomes das cargas podem ser alterados, no exemplo foi utilizado nomes genericos para identificação, no entanto em média todo veículo possui entre 33 - 35 cargas luminosas presentes na tabela 4.4, considerando as luzes internas e externas.

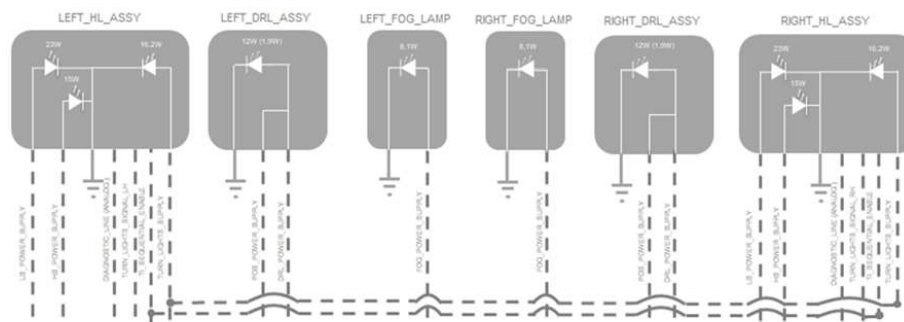


Figura 4.6 – Cargas luminosas frontais

Fonte: GmbH [2007]

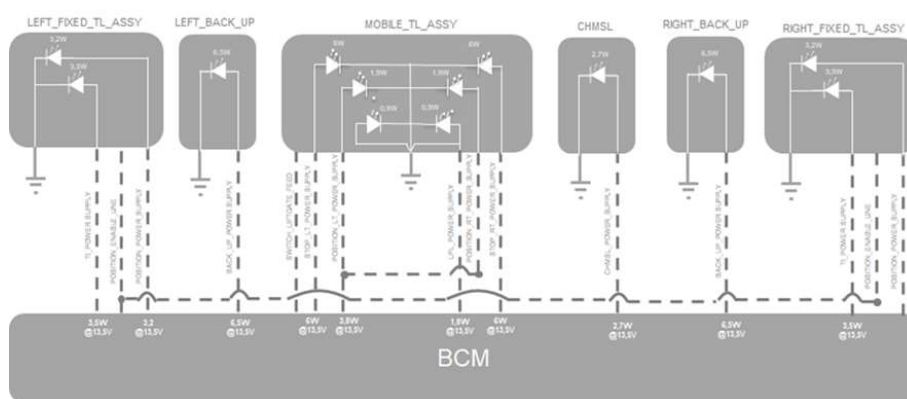


Figura 4.7 – Cargas luminosas traseiras

Fonte: GmbH [2007]

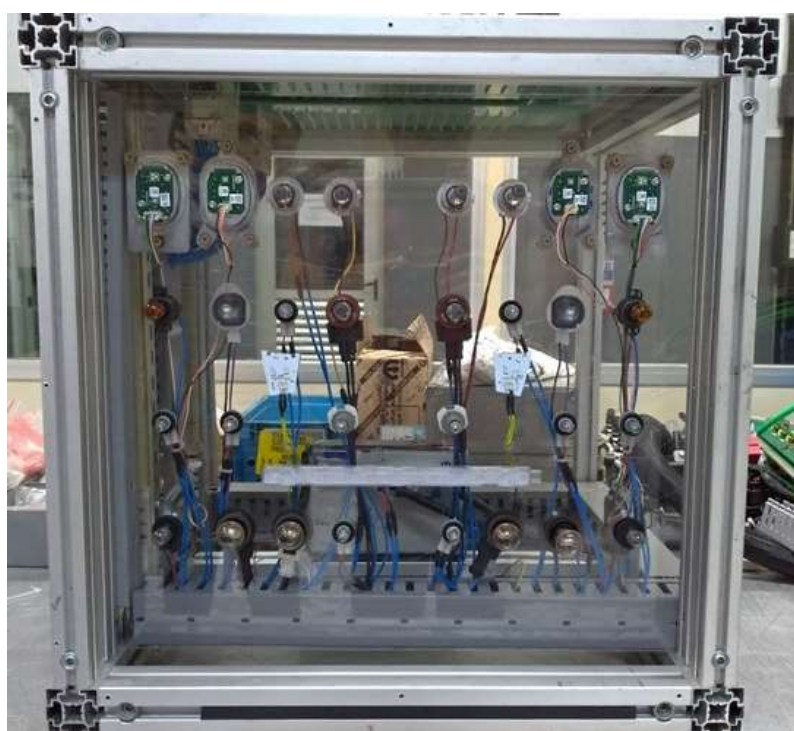


Figura 4.8 – Visão frontal do painel de cargas luminosas do Projeto

A distribuição das cargas luminosas são conectadas seguindo a sua posição no veículo, é possível analisar as cargas frontais e traseiras nas figuras 4.6 e 4.7. A abordagem de empregar cargas reais possibilita o cumprimento dos requisitos requeridos pela equipe de validação, incluindo o controle dos drives e a adequada alimentação e comunicação na rede. Conforme os estudos e as figuras apresentadas, é notável que a inclusão de cargas reais disponível na figura 4.8, em um teste específico com o uso do HIL aprimora significativamente os resultados alcançados.

A localização da carga interna ou externa do veículo é refletida na instalação da caixa de carga, toda a sua estrutura leva em consideração os requisitos para atender o conforto visual e físico do projeto. O plano de mobilidade flexível para uma manutenção rápida e eficiente também é considerado no escopo do projeto, devido às condições de aquecimento dos drives e sua disposição de conexão com a plataforma. O seu funcionamento é intermitente podendo implicar em testes longos e ocasionando aquecimentos inesperados.

4.5 Comissionamento

A etapa de verificação física de todas as conexões e também análise da integração do software e modelo de aplicação é realizada na fase de comissionamento, todos os sinais são testados a fim de verificar possíveis curtos de contato ou ligação realizada incorretamente. O processo de análise segue o modelo da figura 4.9, o código realiza a varredura de todos os sinais conectados e fiscaliza interrupções de tensão ou pela rede CAN, a fase de teste é importante para analisar a funcionalidade do software para possíveis revisões e futuramente atualização de hardware.

É nessa etapa que encontra-se os primeiros desafios após a montagem, onde é feito a varredura de todas as conexões presentes no setup de testes e no simulador, são centenas de conexões até milhares dependendo da aplicação, e isso contribui com possíveis erros de montagem ou esquecimento de conexões. Ao analisar o funcionamento ideal, é possível ter certeza que as conexões estão corretas, analisando testes de medição de tensão e corrente, e ou sinal de comunicação. O sistema é muito robusto e possibilita a troca de cabos defeituosos sem muito prejuízo à estrutura devido à forma de planejamento de canaletas presentes na estrutura e sua divisão entre as posições diferentes.

O fluxograma detalha todo o processo de desenvolvimento da estrutura de teste definida no projeto, a etapa de elaboração de toda documentação técnica, que será utilizada como referência para a montagem da estrutura e para a estruturação dos testes a serem realizados utilizando o simulador.

São dois documentos-chaves desenvolvidos nessa etapa, o primeiro é a lista de sinais, este documento é desenvolvido com base na documentação passada pelo fornecedor do simulador, contendo todos os dados das placas disponíveis no sistema, suas informações de funções e seus dados para endereçamento. Este documento possui a visão total de tudo que está conectado internamente no simulador, possibilitando o desenvolvedor a poder utilizar o máximo desempenho do *hardware* disponível. O segundo documento é a lista de componentes, esse documento é focado no que tem disponível na central eletrônica, contendo as informações reais do veículo, possibilitando o entendimento sobre atuadores, sensores e demais drives instalados na aplicação.

A base desses dois documentos é utilizada como manual de montagem e durante o desenvolvimento tem como aplicação de consulta de informação técnica atualizada. Em sequência no fluxograma verificamos o desenvolvimento de chicotes, sendo os responsáveis por fazer conexão entre o simulador e a unidade de teste, a estrutura o painel de carga e os cabeamentos são construídos nessa sequência e definidos a partir da necessidade de cada aplicação e projeto. O fechamento do comissionamento é feito após toda análise e verificação de conexão, instalação de *software* e integração com o modelo da planta, enfim arquivado toda documentação para suporte e revisão de novas versões.

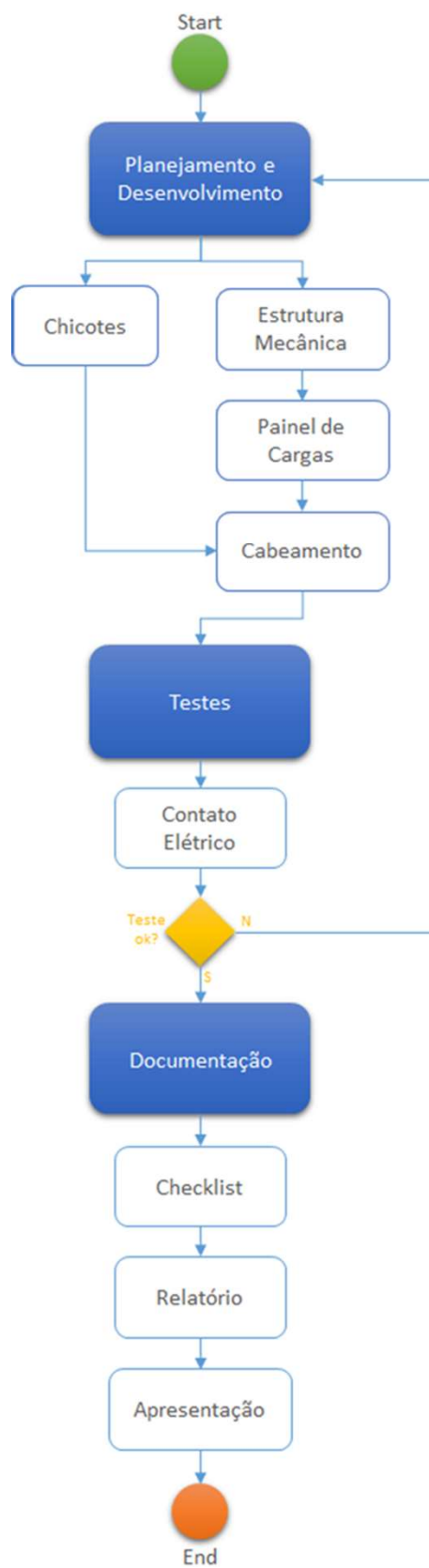


Figura 4.9 – Fluxograma do processo

O ciclo do comissionamento analisa toda informação do projeto desde a documentação técnica a relatórios de desenvolvimento, o fluxograma acima direciona algumas etapas para facilitar a varredura para possíveis erros encontrados.

4.6 Software configuração

O desenvolvedor do simulador xIL, a dSPACE, fornece o software para configuração e operação dos simuladores. Os dois softwares utilizados nesta proposta são o Configuration Desk e o Control Desk, responsável pela integração do modelo desenvolvido no Matlab/Simulink e outras ferramentas de entrada de dados, por exemplo o Excel. O Configuration Desk é uma ferramenta gráfica intuitiva de configuração e implementação, ideal para o manuseio de aplicações de pequenos Protótipos de Controle Rápido (RCP) a grandes testes HIL baseados em dSPACE em tempo real hardware como o SCALEXIO ou PHS, incluindo a implementação de modelos de comportamento e código de função I/OS.R. [2018].

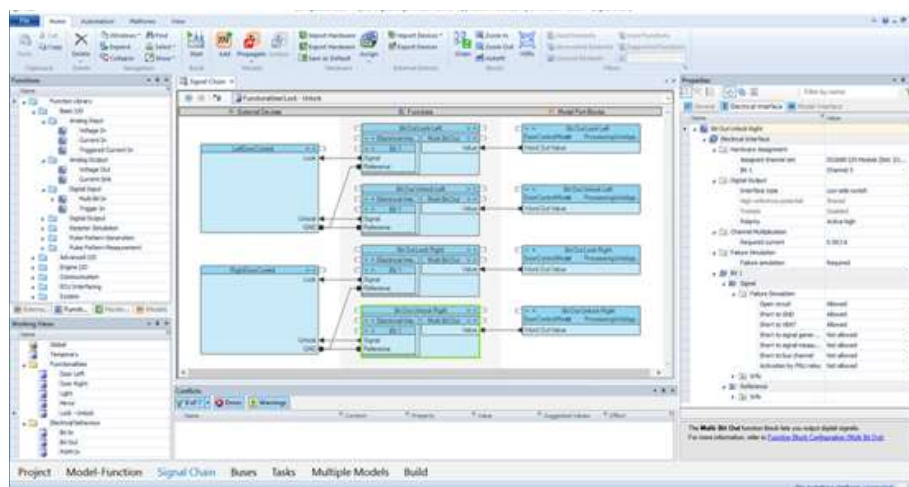


Figura 4.10 – Software Configuration Desk.

Fonte: dSPACE [2019]

O *configuration desk* fornece uma visão geral claramente estruturada de dispositivos externos presente no simulador conforme figura 4.10, a proposta do projeto foi utilizar o BCM neste projeto, hardware configurado com todos os sinais e funções. Entre as funcionalidades presentes no software está a possibilidade de configurar aplicações em tempo real graficamente, permitindo a automação de testes. A gestão da inclusão e modificação de sinais entre os dispositivos externos dado o exemplo no capítulo anterior na configuração da estrutura física do sistema integrado com hardware fazendo interface com modelo desenvolvido para aplicação deste artigo. A ferramenta Control Desk, responsável por controlar o simulador onde integra todas as informações de sinais e parâmetros de

Configuração, permitindo que a equipe de validação realize seu trabalho onde são realizados os testes e análises do projeto.

4.7 Software Operação

A ferramenta responsável por controlar o simulador e fazer a ponte entre o operador e a plataforma é o *control desk* na figura 4.11 é possível ver a tela de controle. É possível analisar todas as informações de sinais e parâmetros configurados anteriormente na aplicação, permitindo que a equipe de validação realize a validação componente ou sistema dos testes e análises do projeto. O software Control Desk utilizado neste trabalho foi na versão 7.0, essa ferramenta do fornecedor dSPACE entrega ao operador a possibilidade de visualização e experimentação do modelo, ampliando a capacidade de diagnóstico da ECU. O ControlDesk suporta plug-ins Wireshark para decodificação em rede de monitoramento por ethernet. Além disso, os sinais da UDP Os PDUs Ethernet podem agora ser facilmente instrumentados e medidos em layouts usando o dispositivo de monitoramento de Barramento Ethernet e suporta placas FPGA.

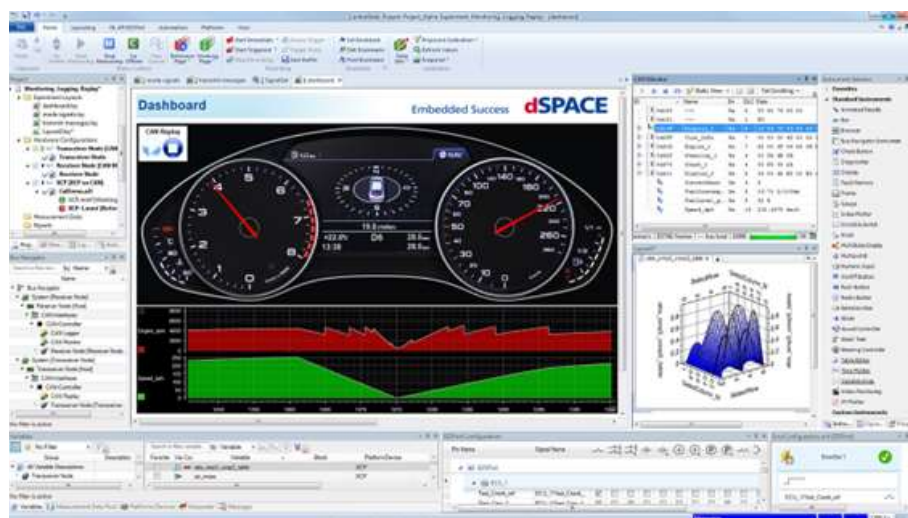


Figura 4.11 – Software Control Desk.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

O software responsável pela instrumentação e desenvolvimento de experiências modulares aplicadas à ECU, a principal função desta é aproximar o operador do simulador do hardware, permitindo o controle total do simulador desde o início de comissionamento onde são realizados testes de potência e função, até a execução do loop de teste onde a equipe de validação realiza seu testes. A aplicação envolve a opção de aquisição de dados realizando medição, calibração e diagnóstico da ECU, acesso à rede CAN, importante funcionalidade o Control Desk é a aplicação da plataforma SIL na validação virtual.

4.8 Validação e Verificação

A qualidade e agilidade de testar uma aplicação é um assunto que tem sido cada vez mais estudado e buscado soluções na indústria automotiva. A consolidação das normas e sua representatividade é extremamente importante para que seja possível definir as responsabilidades de todos os envolvidos no processo de criação de testes, desde fornecedores de softwares, fabricantes de simuladores e hardware para testes, além de incentivar a utilização correta das atribuições e cobrar a aplicação de penalidades para aqueles que não cumprirem com estas normas. Por exemplo, a ISO definiu a qualidade de Verificação e Validação pela norma IEC 61000430 como as funções de testes em loop para unidades de controle eletrônico de testes stress caso apresentado neste trabalho.

Na figura 4.12 é possível analisar a representação do setup de teste do componente HIL, a conexão entre a ECU e a Loabox com o simulador, fazendo interface com o software de operação.

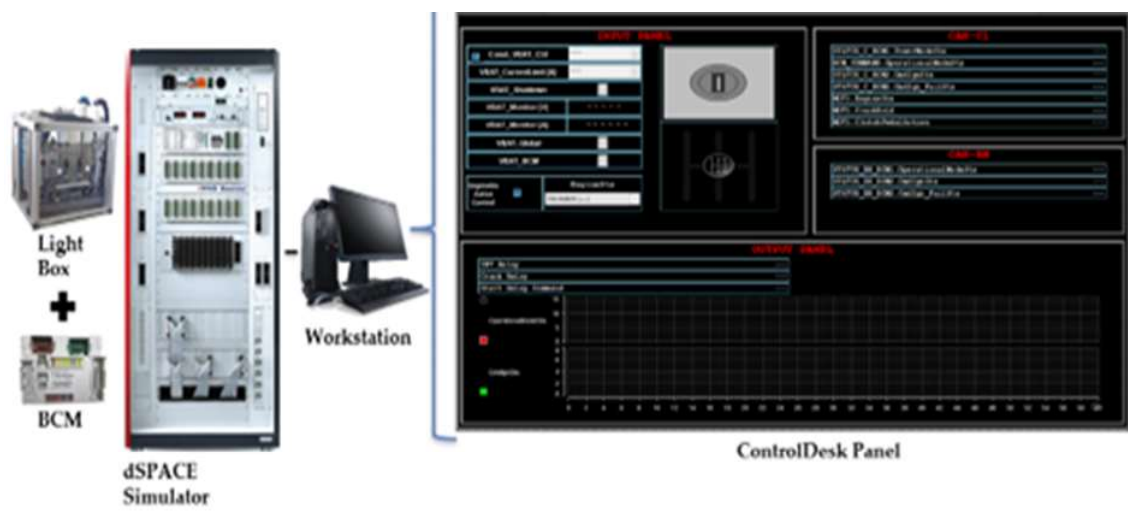


Figura 4.12 – Banco de teste HIL.

Em suma, o uso de simuladores HIL para a validação e verificação de centrais automotivas BCM é uma estratégia altamente vantajosa. Ele proporciona maior eficiência, segurança e economia de recursos, ao mesmo tempo em que garante a qualidade e confiabilidade dos sistemas embarcados em veículos automotivos. Com avanços contínuos na tecnologia de simulação, espera-se que os simuladores HIL desempenhem um papel ainda mais significativo no aprimoramento e na inovação dos sistemas automotivos no futuro.

Os simuladores HIL também facilitam a colaboração entre equipes de desenvolvimento e validação, permitindo a integração de diversos sistemas e componentes em um único ambiente.

4.9 Loop de testes

Estudo de caso de rotina de teste automático

O código descrito tem a finalidade de controlar cargas externas do veículo, conforme documentação técnica e rotina projetada pelo fornecedor. A sua atuação esta dentro dos requisitos ideais de funcionamento, afim de verificar e analisar possíveis falhas durante integração ou durante o seu funcionamento.

A liguagem utilizada é descritiva e não um script de rotina de teste, todos os comentarios são com base aos blocos lógicos disponível no software para modelagem do código.

- 2° Loop (4X) = 20 min → seta direita acionada - 20 min → seta esquerda acionada / DRL Off + Low Beam On; Monitorar sinais: (ParkingLightFault=1 / LHTurnLightFault=1 / RHTurnLightFault=1);
- 3° Loop (4X) = 20 min → seta direita acionada - 20 min → seta esquerda acionada / DRL Off + Low Beam On + High Beam On; Monitorar sinais: (ParkingLightFault=1 / LHTurnLightFault=1 / RHTurnLightFault=1);
- 4° Loop (4X) = 10 seg → seta direita acionada - 10 seg → seta esquerda acionada / DRL On; Monitorar sinais: (ParkingLightFault=1 / LHTurnLightFault=1 / RHTurnLightFault=1);
- 5° Loop (4X) = 10 seg → seta direita acionada - 10 seg → seta esquerda acionada / DRL Off + Low Beam On; Monitorar sinais: (ParkingLightFault=1 / LHTurnLightFault=1 / RHTurnLightFault=1);
- 6° Loop (4X) = 10 seg → seta direita acionada - 10 seg → seta esquerda acionada / DRL Off + Low Beam On + High Beam On; Monitorar sinais: (ParkingLightFault=1 / LHTurnLightFault=1 / RHTurnLightFault=1).

Os procedimentos de teste de estresse foram realizados no componente *turn Light* para avaliar possíveis falhas ou desvios no desempenho. A plataforma de teste escolhida foi o xIL Turn Light na versão esquerda, a qual se trata de uma peça protótipo. Devido a esse fato, para garantir um diagnóstico adequado, o teste foi conduzido somente com o Turn Light correspondente.

O Primeiro teste realizado atendeu as configurações do sistema, durante o seu primeiro ciclo foi analisando o período de ligado e desligado conforme os requisitos propostos na documentação, em sequência foi integrado outras cargas para verificar o seu funcionamento em coletivo, conforme a figura 4.13.

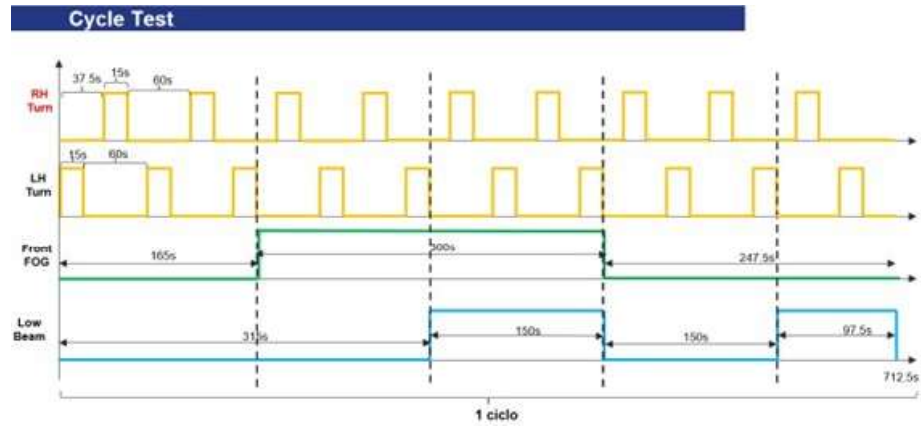


Figura 4.13 – Ciclo de teste de liga e desliga.

Fonte: Rocha [2022]

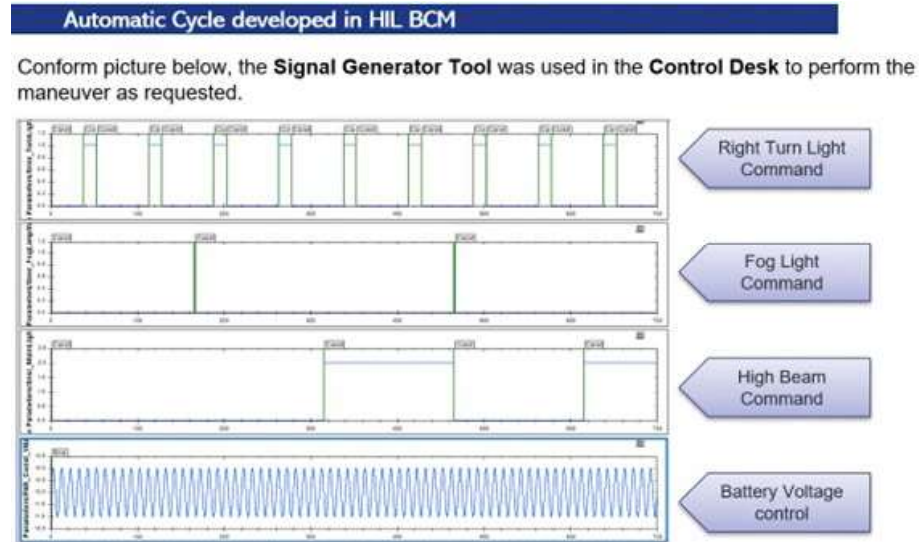


Figura 4.14 – Ciclo de teste de repetição.

Fonte: Rocha [2022]

Em sequência foi colocado a carga em seu funcionamento extremo, em ocasiões de não conformidade com o seu funcionamento ideal, com a ideia de pegar possíveis falhas e testar a durabilidade da carga em determinados estados, é possível observar na figura 4.14.

No teste seguinte foi adicionado mais cargas durante o funcionamento, e manteve o ciclo de stress por um periodo maior, fato que colabora com a investigação de possíveis falhas de integração, devido ao elevado numero de cargas presentes no veículo, teste presente na figura 4.15.

No ultimo ciclo de teste presente na figura 4.16 foi analisado o comportamento energetico do veículo quando colocado em situações diferentes do ideal, alterando a

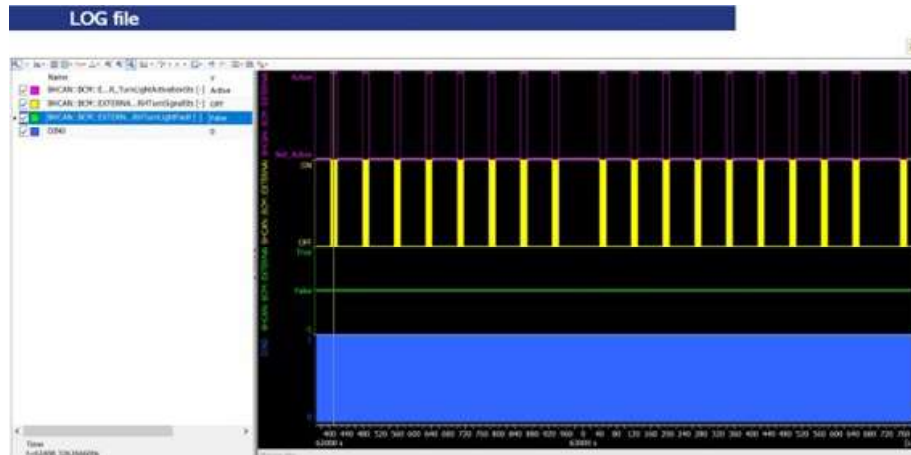


Figura 4.15 – Análise de teste por falha

Fonte: Rocha [2022]



Figura 4.16 – Análise de teste por falha e repetição.

Fonte: Rocha [2022]

frequência de funcionamento do sistema, possibilitou pegar algumas interferências durante o teste e analisar possíveis soluções para proteger componentes sensíveis a frequências altas.

4.10 Virtualização

A simulação da plataforma virtual fornece uma visão de teste que é independente do hardware e da estrutura física disponível, uma vez que é virtualizada e requer menos dependência de componentes físicos. No caso de uma conexão entre o usuário e o sistema, o uso de mesa de configuração e software de mesa de controle traz ao usuário autonomia e facilidade de execução. Tudo isso e o fato de que existem sinais gerados de identidade do sistema, funções e estados operacionais para tornar o sistema operacional.

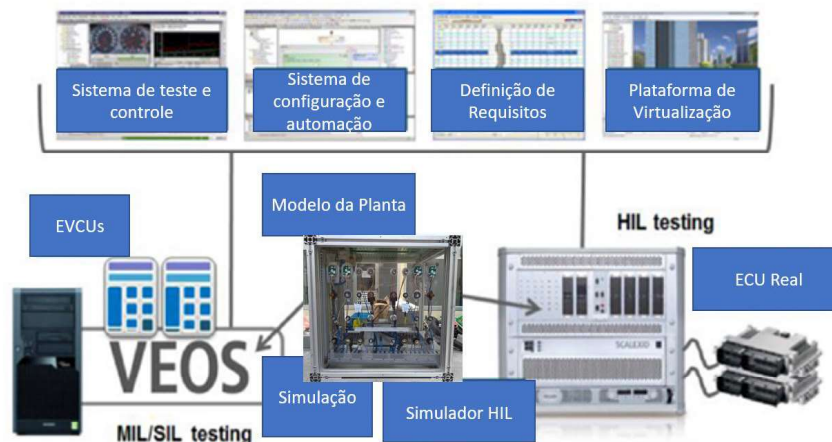


Figura 4.17 – Virtualização de sistemas industriais.

Fonte: S. V. Nikam and Chava [2002]

Sucessivamente, os sistemas VEOS tornaram-se a base no desenvolvimento do projeto para outras plataformas de simulação na presença de condutores neutros e transformadores pelo mesmo motivo anterior. Em resumo, HIL e Veículo no loop (VHIL), quanto mais completo o virtual desenvolvimento, quanto mais fácil for a integração com as outras plataformas e o tempo de desenvolvimento é gasto em outras aplicações. Quanto mais completar um sistema VEOS é, quanto mais seguro for o teste e sua reutilização em outras plataformas economiza tempo. A solução de teste quando comparada com outras economicamente mais viáveis hoje é SIL devido a sua flexibilidade de aplicação e independência de estrutura física robusta do hardware, além do uso remoto em qualquer lugar para realizar as atividades de teste. O desenvolvimento de As plataformas VEOS têm como objetivo criar um caminho alternativo para validação da unidade de controle eletrônico, evitando atrasos devido ao componente escassez de fornecedores, e realizando testes iniciais para prever o futuro de falhas de projeto. Em geral, os sistemas VEOS são compostos de um modelo projeto baseado em cada ECU, sensores e atuadores do veículo, dimensionado de forma que o modelo esteja mais próximo do real como um resultado de um trabalho em equipe entre software, modelagem e fornecedor equipes. A figura 5 traz um exemplo que ilustra a alocação de plantas virtuais vistas pelo sistema.

Neste teste, a corrente da bateria é sempre positiva e a corrente que está absorvendo está diminuindo devido à alteração em sua aceitação da carga. Embora a simulação da bateria não seja o foco deste trabalho, este é um parâmetro importante a ser observado na simulação do balanço energético. A diferença entre o estado de carga calculado e o medido é de 2%, um erro ligeiramente maior que a abordagem quasi-estatic.

4.11 Análise de funcionamento – Configuração e teste de falha.

O desenvolvimento de testes HIL utilizando a ferramenta *control desk* é uma abordagem eficiente para verificar o desempenho de sistemas embarcados em tempo real. O software oferece um ambiente de desenvolvimento integrado para projetar, configurar e executar testes de HIL, permitindo a interação com o hardware em tempo real e a simulação do comportamento do sistema. Alguns pontos positivos dessa abordagem são a redução de tempo e custo de testes, a detecção precoce de falhas e a capacidade de testar sistemas complexos em um ambiente controlado e seguro. Além disso, o Control Desk oferece recursos avançados de análise de dados, permitindo a visualização e o registro de resultados de testes em tempo real, facilitando a análise e solução de problemas. Em resumo, a utilização do Control Desk para desenvolver testes HIL pode ser uma solução eficaz para verificar o desempenho de sistemas embarcados em tempo real, oferecendo diversos benefícios para o processo de desenvolvimento.

Os testes HIL aplicado ao BCM são essenciais para garantir que os dispositivos eletrônicos estejam funcionando adequadamente. Eles permitem a simulação de condições de operação em um ambiente controlado e seguro, possibilitando a detecção precoce de falhas e o aumento da confiabilidade do sistema. Ao rodar um loop de teste stress em um componente, é possível verificar a sua resposta a situações extremas de operação, como alta carga de trabalho ou variação de temperatura, por exemplo. Esses testes são importantes porque fornecem informações sobre a capacidade de desempenho e a resistência dos componentes, além de ajudar a identificar possíveis problemas de compatibilidade com outros componentes do sistema. Com base nas respostas de teste obtidas, é possível realizar ajustes ou aprimoramentos no design do componente, visando melhorar o seu desempenho e aumentar a sua vida útil. Em resumo, os testes HIL de componentes, incluindo os loops de teste stress, são uma ferramenta valiosa para a validação de dispositivos eletrônicos e para garantir a sua qualidade e confiabilidade. Em análise do teste de farol com a inserção de falhas utilizando simuladores HIL é uma abordagem eficiente e confiável para avaliar o desempenho e a confiabilidade dos sistemas de iluminação automotiva. Ao simular condições de falha controladas e realistas, os simuladores HIL fornecem uma representação precisa do ambiente de teste, permitindo a identificação de possíveis problemas antes da produção

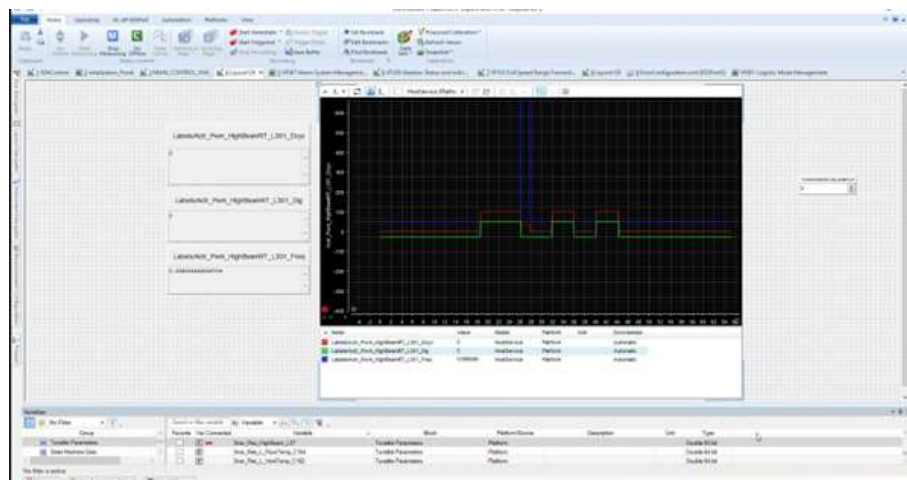


Figura 4.18 – Teste farol com inserção de falha

Fonte: dSPACE [2019]

em massa. Ao longo do teste, disponível na figura 4.18, destacamos os benefícios do uso de simuladores HIL para testes de sistemas de iluminação automotiva. Esses simuladores permitem que os fabricantes de veículos e fornecedores de componentes simulem falhas específicas, como lâmpadas queimadas, curtos-circuitos e mau funcionamento de sensores, de uma maneira segura e controlada. Identificamos também os principais desafios enfrentados no desenvolvimento e implementação dos testes de farol com falhas. A complexidade dos sistemas de iluminação automotiva, a diversidade de modelos de veículos e as diferentes normas e regulamentações são fatores que exigem uma abordagem abrangente e flexível para garantir a eficácia dos testes. No entanto, apesar dos desafios, os resultados obtidos por meio dos testes de farol com inserção de falhas utilizando simuladores HIL demonstram que essa metodologia é altamente confiável e precisa. A capacidade de repetir testes, alterar parâmetros de teste e simular diferentes condições de falha proporciona uma compreensão mais aprofundada do comportamento do sistema de iluminação automotiva em situações adversas. Além disso, o uso de simuladores HIL para testes de farol com falhas contribui para a redução de custos e tempo de desenvolvimento, uma vez que é possível identificar e corrigir problemas potenciais ainda na fase de prototipagem, evitando retrabalhos e melhorando a qualidade final do produto.

A utilização de simuladores xIL para testes de lanterna com inserção de falhas em sistemas de iluminação automotiva colabora com os fundamentos de validação e verificação. O teste presente na figura 4.19 e 4.20 permite simular falhas controladas e realistas, proporcionando uma avaliação precisa do desempenho e da confiabilidade do sistema. Ao identificar e corrigir problemas potenciais ainda na fase de prototipagem, os simuladores HIL contribuem para a redução de custos e tempo de desenvolvimento, além de garantir a conformidade com as normas e regulamentações aplicáveis. Recomenda-se, portanto, a adoção dos simuladores HIL como uma parte essencial dos processos de teste e validação

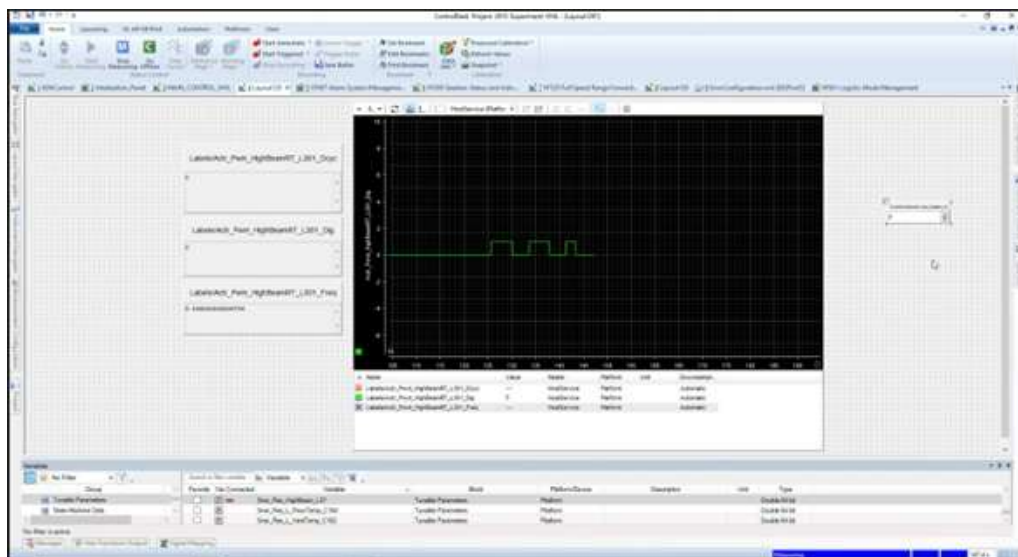


Figura 4.19 – Teste Lanterna com inserção de falha

Fonte: dSPACE [2019]

de sistemas de iluminação automotiva, visando aprimorar a qualidade e a segurança dos veículos.

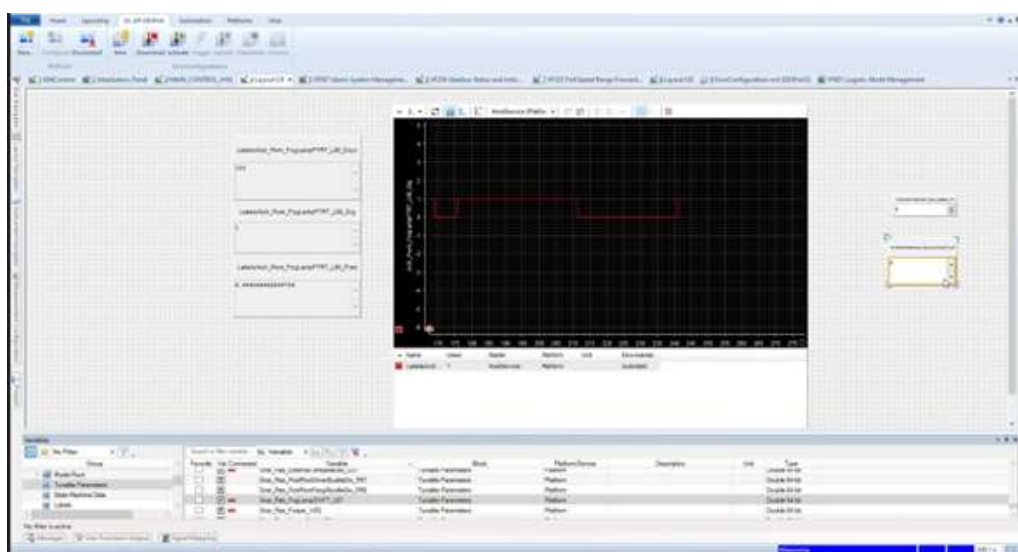


Figura 4.20 – Teste farol com ciclo de chave

Fonte: dSPACE [2019]

Os testes de farol com ciclo de chave utilizando simuladores automotivos, tanto no ambiente de Simulação em SIL quanto no HIL, demonstraram ser uma abordagem eficiente e abrangente para avaliar o desempenho e a confiabilidade dos sistemas de iluminação automotiva. Esses simuladores permitem simular condições reais de operação do veículo, incluindo o ciclo de chaveamento, fornecendo uma representação precisa do comportamento do sistema. Ao realizar testes controlados e repetíveis, os simuladores SIL e HIL permitem

identificar e corrigir problemas potenciais relacionados ao farol, garantindo a qualidade e a segurança dos sistemas de iluminação automotiva. Recomenda-se, portanto, a adoção desses simuladores como parte integrante dos processos de teste e validação, a fim de garantir a conformidade com as regulamentações e proporcionar uma experiência confiável aos usuários finais visualizado na figura 4.21.

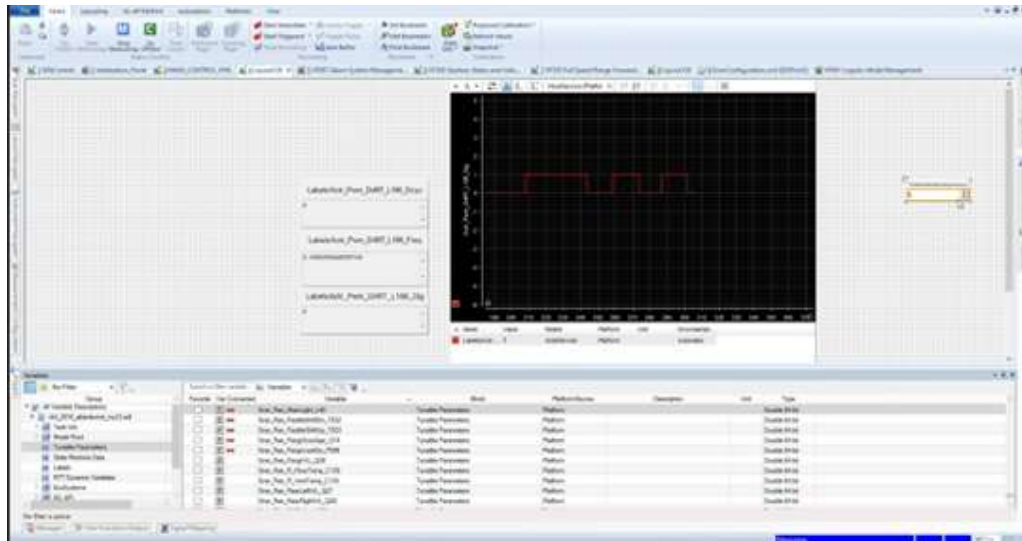


Figura 4.21 – Teste Farol com carga real conectada

Fonte: dSPACE [2019]

Os testes de farol com carga real conectada e outras centrais automotivas no loop, utilizando simuladores automotivos HIL, capaz de avaliar o desempenho e a integração dos sistemas de iluminação automotiva. A conexão de carga real e outras centrais automotivas nos simuladores HIL permite simular condições de funcionamento reais, proporcionando uma avaliação abrangente e precisa do sistema de iluminação em conjunto com outros componentes do veículo. Essa metodologia permite identificar possíveis problemas de compatibilidade, interações indesejadas e otimizar o desempenho do sistema como um todo. Ao realizar testes, como exemplo da figura 4.22 em um ambiente controlado e repetível, os simuladores HIL oferecem aos fabricantes de veículos a oportunidade de aprimorar a qualidade, a confiabilidade e a segurança dos sistemas de iluminação automotiva, garantindo uma experiência satisfatória aos usuários finais. Recomenda-se, portanto, a adoção desses simuladores como uma parte essencial dos processos de teste e validação, visando garantir o funcionamento adequado e a conformidade com os requisitos regulamentares.

O teste de lanterna em ciclo longo utilizando simuladores HIL observado na figura 4.23, contribui diretamente no desenvolvimento do produto e eleva o desempenho e a durabilidade das lanternas automotivas em condições de uso prolongado. Os simuladores HIL permitem simular ciclos de operação realistas, reproduzindo condições de carga contínua nas lanternas ao longo de um período prolongado. Isso possibilita identificar

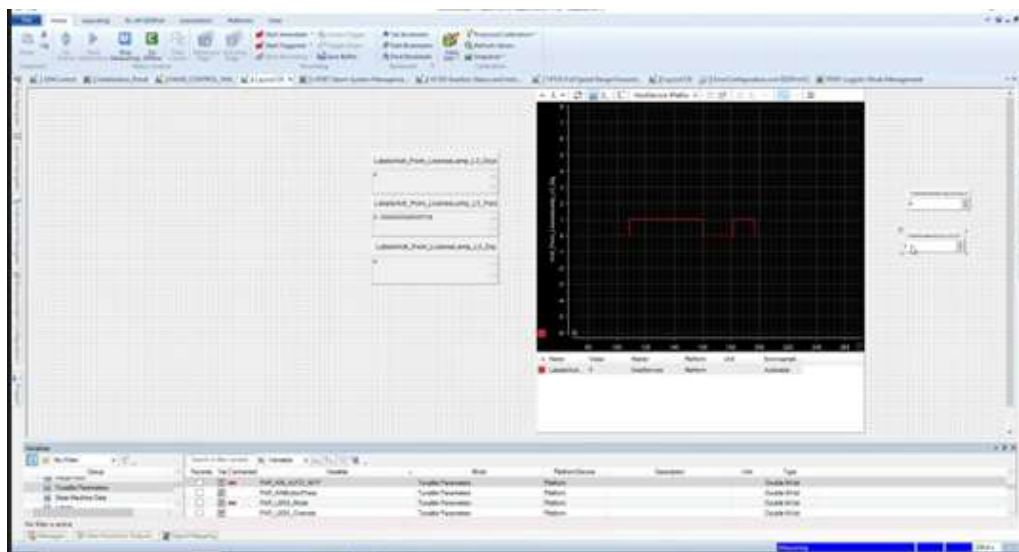


Figura 4.22 – Teste Lanterna ciclo longo.

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

possíveis problemas de aquecimento, desgaste e falhas prematuras, garantindo a qualidade e a confiabilidade das lanternas em situações de uso intensivo. Ao realizar esses testes em ambiente controlado, os fabricantes de veículos têm a oportunidade de otimizar o projeto e os materiais das lanternas, aumentando sua vida útil e reduzindo a necessidade de substituição precoce. Recomenda-se, portanto, a utilização de simuladores automotivos HIL para testes de lanterna em ciclo longo, a fim de assegurar a durabilidade e a funcionalidade das lanternas automotivas sob condições reais de uso.

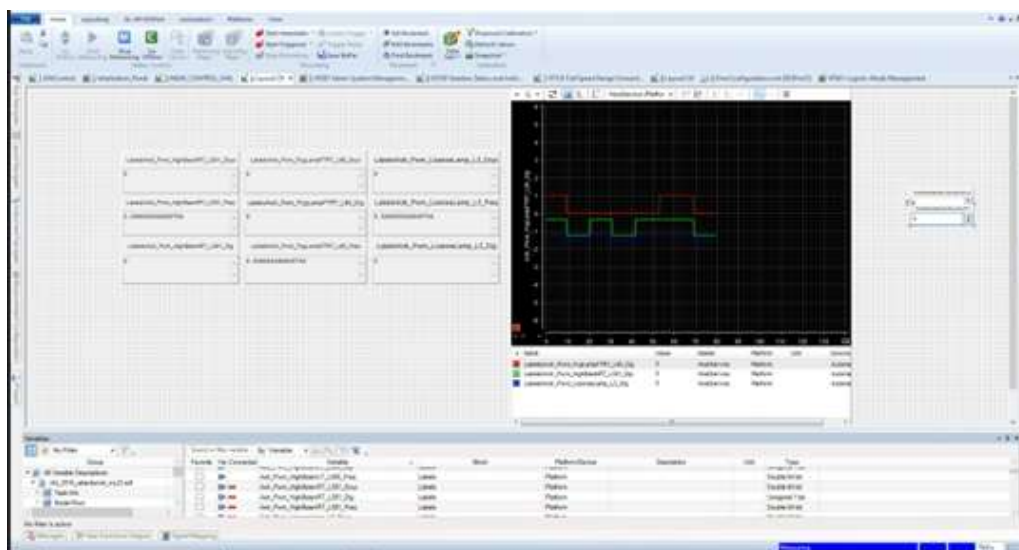


Figura 4.23 – Teste Lanterna com inserção de falha

Fonte: [dSPACE \[2019\]](#)

Os resultados mostram que os testes de farol e lanterna utilizando simuladores

HIL podem ser eficaz para verificar o desempenho desses componentes em condições reais de operação. Esses testes simulam o comportamento elétrico do veículo e o ambiente de operação, permitindo a avaliação do desempenho do farol e da lanterna em diversas condições, como luz do dia, luz da noite, chuva, neblina, entre outras. A importância desses testes reside na garantia de que os faróis e lanternas estejam funcionando adequadamente e cumprindo as normas de segurança, aumentando a visibilidade do veículo e reduzindo o risco de acidentes. Ao analisar os resultados dos testes, é possível identificar possíveis falhas ou comportamentos inadequados do farol ou da lanterna, permitindo a correção desses problemas antes da produção em massa. Além disso, a figura 4.19 da uma análise dos resultados pode fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de melhorias ou inovações nos componentes, visando aumentar ainda mais a segurança e a eficiência do veículo. Em resumo, os testes de farol e lanterna utilizando simuladores HIL são essenciais para garantir a qualidade e a segurança dos componentes e do veículo como um todo.

4.12 Conclusões

Neste capítulo, foi desenvolvido um estudo de caso com o sistema HIL conectado na loadbox. Primeiro, a metodologia definida partiu da simplificação entre hardware e software, a fim de demonstrar o desenvolvimento do sistema de teste e posteriormente rodar um loop de teste de componentes. Com a ECU e o simulador conectado, foi possível determinar o teste case atendendo os requisitos propostos no escopo da pesquisa. Em seguida, foram definidos as cargas utilizadas para teste, e a lógica de controle. Em seguida, foram determinados os ciclos de testes, considerando o simulador conectado às cargas reais, ambos utilizando componentes protótipos, porém próximo do componente de produção, além de uma análise de funcionamento, foi aplicado teste de estresse para verificar a vida útil do componente. O estudo foi bem sucedido, ou seja, o uso de simuladores xIL, possibilita ganho no desenvolvimento do veículo, devido às possibilidades de realizar testes funcionais e sistêmicos em diversas fases do projeto. Finalmente, esse estudo é a chave de validação de ferramentas automatizadas para executar testes automotivos, compartilhando os desafios de integração e o seu desempenho.

Capítulo 5

Conclusões Finais

A ascensão da era digital impulsionou a indústria automotiva a atender às expectativas dos clientes por veículos mais seguros e especializados. Como resultado, os testes virtuais, incluindo xIL, ganharam popularidade como forma de lidar com a complexidade da produção de veículos, afetando não apenas as equipes de engenharia, mas todos os setores tecnológicos. Essa mudança de metodologia de testes pode trazer inovações e aumentar a qualidade do produto, além de reduzir o tempo e o custo de produção. Nesse contexto, este trabalho apresentou um estudo de caso sobre a otimização dos testes realizados com o BCM central e a luz interna/externa do veículo, utilizando HIL. Foi desenvolvida uma caixa de carga para realizar estudos de caso que definiram cada etapa da pesquisa de criação, estrutura, montagem e validação. Testes foram realizados para verificar a atuação da lâmpada, inserção de falhas e integração com outras usinas ou funções.

A comparação dos tempos de teste utilizando uma bancada sistêmica versus um componente HIL mostrou que o HIL era mais eficiente, permitindo a automação de testes e simulação de usinas não presentes na bancada de teste; por outro lado, não foi possível realizar os mesmos testes na bancada. No entanto, o desenvolvimento do HIL é uma aplicação direta à ECU do BCM, e as cargas leves do veículo são apenas uma parte dos testes realizados na validação do veículo durante todo o processo de desenvolvimento.

A utilização de simuladores HIL para validar centrais automotivas traz inúmeros benefícios para a indústria automotiva, como a redução do tempo e do custo de desenvolvimento, além de permitir a realização de testes mais rigorosos e abrangentes em um ambiente controlado e seguro. A adoção dessa tecnologia possibilita o teste de componentes em estágios iniciais de desenvolvimento, evitando problemas futuros e garantindo a qualidade do produto final.

A demais, a utilização de simuladores HIL aumentou eficiência dos testes de validação, já que é possível simular diferentes cenários e condições de funcionamento do veículo, incluindo situações extremas que seriam impossíveis ou perigosas de serem reproduzidas em testes físicos ou em bancadas não dinâmicas. Além disso, a utilização

de HIL permite a integração de diferentes sistemas e componentes do veículo, tornando possível avaliar o desempenho da central em um ambiente mais próximo da realidade. Portanto, a adoção de simuladores HIL é fundamental para atender às demandas cada vez mais rigorosas do mercado automotivo, garantindo a segurança e a qualidade dos veículos produzidos.

5.1 Propostas de continuidade

A partir das atividades realizadas até aqui, pretende-se avançar no seu desenvolvimento seguindo a seguinte linha de trabalho:

- (i) Ampliação dos testes realizados: o trabalho atual focou na validação da BCM e da luz interna/externa do veículo. Uma possível proposta de continuidade seria expandir os testes para outras funcionalidades e sistemas do veículo, como o sistema de som, os sensores de estacionamento, entre outros.
- (ii) Desenvolvimento de novos módulos HIL: outro caminho seria criar novos módulos HIL para realizar testes em outras partes da BCM ou de outros sistemas do veículo, aumentando a abrangência dos testes realizados.
- (iii) Integração com outros simuladores: a integração dos simuladores HIL com outros tipos de simuladores, como simulação de tráfego e de ambiente, pode fornecer uma visão mais ampla do desempenho da BCM e do veículo em diferentes cenários.
- (iv) Estudo de desempenho: uma proposta seria avaliar o desempenho da BCM em diferentes condições de uso, como diferentes climas, tipos de terreno, ou altitudes elevadas, utilizando os simuladores HIL.
- (v) Análise de dados: por fim, um possível caminho seria desenvolver técnicas de análise de dados a partir dos resultados dos testes realizados com o simulador HIL, permitindo identificar padrões e tendências, e obter informações valiosas para aprimorar a BCM e outros sistemas do veículo.

Referências

- F. B. A. B. . Härrri, A. Al-Khatib and M. Törngreny. Simulation-based testing of advanced driver assistance systems: From software-in-the-loop to hardware-in-the-loop. *I IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9:58–71, 4 2017.
- M. F. I. . T. Islam and A. V. Savkin. Hardware-in-the-loop simulation of electric vehicle charging with battery storage. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 12:209–218, 2 2016.
- e. S. E. A. König, T. Kaufmann. Validation of automotive electronic control units: A case study on the use of model-based testing and rapid control prototyping. *Proceedings of the 10th International Workshop on Software Engineering for Automotive Systems,..*, 2015.
- J. M. M. Ali Emadi, Mehrdad Ehsani. *Vehicular Electric Power Systems*. MARCEL DEKKER, INC, 2004. ISBN 0-8247-4751-8.
- allpar.com. allpar.com. <https://www.allpar.com/eek/alternators.html>, 10 2019.
- R. M. Almeida. Simulation-based design of automotive control systems using hil, sil, and mil. 04 2017.
- M. Arcaç and H. Khalil. Backstepping control for an automotive electronic throttle. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 10, 2003.
- Y. F. B. Xie and X. Jiang. Development of a hardware-in-the-loop simulation platform based on dspace for the development and verification of anti-lock braking system control strategy. *IEEE Access*, 2020.
- M. P. Balaban. Model-based development and testing of automotive electronic control units,. *Proceedings of the 17th IFAC World Congress*, 2008.
- R. Bosch. Controller area network (can) for high-speed communication in automotive applications. *International Journal of Control*, 2009.
- M. H. . P. Brochet. Modeling of a claw-pole alternator using permeance network coupled with electric circuits. *IEEE Transactions on Magnetics*, 31(3):2131 – 2134, 5 1995.

- J. Chen and R. Tan. Development and application of hils for testing vehicle driving control system. *International Conference on Electrical, Control and Automation Engineering (ECAE)*, pp. 222-225. *IEEE, 2019.*, 2019.
- J. Y. A. S. V. D. V. M. J. A. R. A. Chiniforoosh, S; Jatskevich. Definitions and applications of dynamic average models for analysis of power systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2010.
- L. A. B. T. D. D. S. S. Teixeira and J. P. F. Trovão. Hardware-in-the-loop simulation of a fuel cell vehicle. *IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2016.
- H. J. P. D. J. Kim and H. J. Kim. Performance evaluation of automotive electrical power components using simulation. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Dearborn, MI, USA, 2016.
- P. H. J. N. D. V. Dolk and W. L. Kling. Modeling and simulation of automotive embedded systems using hardware-in-the-loop and software-in-the-loop techniques. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54:3204–3214, 12 2007.
- R. H. A. S. . J. E. A. R. E. A. da Silva. Hil, sil, and mil simulation for the design of a battery management system for electric vehicles,. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 64(2):3266–3275, 3 2017.
- D. M. L. P. E. A. da Silva ;J. G. de Sousa. Mil, sil, and hil simulation for the design and validation of a throttle control system for an automotive engine. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(5):5556–5564, 9 2015.
- F. A. C. S. R. R. D. E. A. da Silvas. Mil, sil, and hil simulation for the design and validation of a traction control system for an electric vehicle,. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 68(4):815 – 865, 7 2014.
- C. Dallmann, Tim; Façanha. Modeling and simulation of automotive embedded systems using hardware-in-the-loop and software-in-the-loop techniques. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*,, 12 2007.
- F. V. B. de Souza ; M. A. B. do Nascimento. Modeling and simulation of a battery management system for electric vehicles using mil, sil, and hil techniques,. *IEEE Latin America Transactions*, 16(2):1465–1472, 5 2018.
- J. Y. K. Z. H. D. Dong, Jing and N. Wang. Design and validation of a hils test platform for automated driving systems. *IEEE Intelligent Vehicles*, 2020.
- dSPACE. dspace. www.dspace.com, 10 2019.

- Y. C. W. H. Du J, Wang W. Hardware-in-the-loop simulation approach to testing controllers of sequential turbocharging systems. *Proceedings of the IEEE international conference on automation and logistics*, pages 3–6, 6 2007.
- T. D. G. e J. M. Miller. A design-for-testability approach for automotive electronic control systems,. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1997.
- G. N. e Pieter J. Mosterman. *Model-Based Design for Embedded System*. Elsevier Science, 1 edition, 2011. ISBN 978-0849379290.
- J. T. B. e S. M. Szwabowski. The use of simulation in the development of automotive electronic control systems. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, 2014.
- J. R. P. e T. J. Kulp. The development of an integrated automotive electronic control unit (ecu) test system,. *Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, 1996.
- G. S. V. F. C. Costa and A. F. Leão. Desenvolvimento de um simulador hil para testes de motores de combustão interna,. *Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*,, 2018.
- A. P. F. I. Doyle and J. A. O'Reilly. H-infinity control of an electro-hydraulic braking system. *Control Engineering Practice*, 2005.
- A. FASIH. Modeling and fault diagnosis of automotive lead-acid batteries. Master's thesis, The Ohio State University, 222 W Lane Avenue, 1007 Columbus, OH 43201, 4 2006. An optional note.
- I. O. for Standardization. "ISO 11898:2015. Road vehicles – controller area network (can)."geneva, switzerland: Iso,, 2015.
- R. F. S. G. M. Coelho and D. D. Dalmolin. Modelo de simulação hil para teste de módulos eletrônicos automotivos. *impósio Brasileiro de Automação Inteligente*, 2016.
- R. B. GmbH. *Alternators and Starter Motors*. Robert Bosch GmbH, 1 edition, 2003. ISBN 0444528822, 9780444528827.
- R. B. GmbH. *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics*, volume 5. Springer Vieweg, 2007. ISBN 978-3-658-01783-5.
- Z. L. Guo, Qi and K. Zhao. Platform for the distributed control system of electric vehicles. *Chinese Automation Congress (CAC)*, 2008.
- P. Guzzella. Model-in-the-loop simulation of hybrid electric vehicle powertrains. *IEEE Control Systems Magazine*, 1:76–86, 2 2011.

- J. Han and X. Guo. Hil simulation platform design for validation of distributed electric vehicle systems. *12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2016.
- C. H. He, Peng and Q. Zhao. Design and implementation of a hils test platform for vehicle electronic control units. *2nd International Conference on Industrial and Information Systems*,, 2009.
- T. H. Inc. Typhoon hil - power electronics hil simulation. 2023.
- T. Instruments. Body control modules – invisible but fundamental for every car. 2017.
- M. E. O. J. Gracia, L. Diaz and M. C. Garrido. Hardware-in-the-loop test bed for electric vehicle charging stations. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10:1276–1285, 5 2014.
- Y. L. J. Kang and H. Kim. Hardware-in-the-loop simulation for autonomous vehicle systems,. In *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 7, pp. 5531-5542, 2018.
- H. L. J. Lee and H. Ahn. Model-in-the-loop simulation for electric vehicle control system design. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11:956–967, 8 2015.
- e. L. S. J. Li, G. J. Minden. Compositional verification of automotive electronic control systems. *Proceedings of the 14th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*,, 2016.
- S. H. J. Song, Q. Yang and J. Chen. Hardware-in-the-loop simulation of electric vehicle powertrain based on real-time simulation,. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65:7121–7132, 11 2015.
- B. James Wollaeger. Its in energy management systems of phev’s. Master’s thesis, The Ohio State University, 2012.
- M. J. A. P. P. A. L. Jannuzzi. Development of a vehicle powertrain control system using mil, sil, and hil simulations,. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(14): 2533–2542, 7 2018.
- J. H. J. K. H. Kwon and B. S. Kim. Design of an h controller for a steer-by-wire system. 2012.
- T. S. T. M. Kato, Yusuke and T. Tsukamoto. Development of a virtual verification environment using a hils system for high-voltage battery packs in electrified vehicles. *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 2016.

- T. Kelemenová. Model-based design and hil simulations. *American Journal of Mechanical Engineering* 1.7 (2013), 6 2013.
- R. J. Konrad. A modular framework for verification and validation of automotive electronic control systems. *17th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, 1997.
- R. S. F. d. O. L. F. Mendes and E. A. B. da Silva. Design and implementation of a high-performance automotive electronic control unit. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Changchun, China*, 44(1):1467–1472., 2 2018.
- S. Y. L. Gao and X. Wang. "development of hardware-in-the-loop simulation system for vehicle electronic control unit based on dspace,". *SAE International*, 2013.
- Y. W. L. Lu and Y. Cheng. Research on the hil simulation platform of electric vehicle drive system. *International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation (EITRT)*, 2015.
- M. A. L. C. L. S. Santos, L. A. R. Gonçalves and F. R. Oliveira. Modelagem e implementação de um simulador hil para teste de módulos eletrônicos automotivos. *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2017.
- H. X. L. Su and Y. Zhang. Hardware-in-the-loop simulation for active suspension control of a semi-active suspension system. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16:58–77, 8 2019.
- J. Larsson. Electromagnetics from a quasistatic perspective. *American Journal of Physics*, 2007.
- G. M. R. A. B. Lazzarin, Marianna and D. P. Cavallo. Hil-based test-bench for the evaluation of advanced adas in realistic traffic scenarios. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2017.
- S. U. Lee. Real-time simulation and validation of automotive powertrain control systems using hil, sil, and mil. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2013.
- K. L. Li, Yafei and Z. Li. Design of automotive can bus monitoring system based on android platform. *2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, 2012.
- C. Liu. Modeling and simulation of electric vehicle powertrain system based on mil, sil, and hil co-simulation. *Applied Energy*, 178(1):49–61, 1 2016.
- Y. L. H. S. Liu, Xianda and Z. Song. Research on the hils test system of electronic stability program based on ni pxi platform. *IEEE International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, 2017.

- Z. Liu. Design and implementation of automotive fault diagnosis system based on can bus. *2nd International Conference on Industrial and Information Systems*, 2008.
- F. I. Lone, Jaffar Ali ; Bakhsh. Design and analysis of cascaded h bridge nine-level inverter in typhoon hil. In *Materials Science and Engineering*, 2020.
- J. C. B. d. A. Luiz G. G. Soeiro, Leandro R. Figueiredo. Simulation of the vehicle electric system. *SAE International*, 2011.
- R. V. P. M. J. Grimm and D. D. McFarlane. A study of h-infinity control techniques for active suspension systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2003.
- R. T. H. M. R. Hossain and M. Hasan. *Hardware-in-the-loop simulation of electric vehicle drive system*. International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), Cox's Bazar, Bangladesh,, 2017.
- E. . C. M. L. G. . G. S. L. . S. M. M. M. Sales, Luís Carlos ; P. Pacheco. Evaluation of the influence of an alternator with mechanical decoupling on energy consumption and co2 emission in a flex fuel vehicle. *SAE International*, 2017.
- F. L. M. Wu and Y. Li. Model-in-the-loop simulation for automotive powertrain control system development. *SAE International Journal of Engines*, 2011.
- X. X. M. Zhang and H. Li. Research on hardware-in-the-loop simulation system of vehicle stability control based on dspace,. *2018 3rd International Conference on Vehicle Engineering and Intelligent Transportation Systems (VEITS), Zhuhai, China*, 165(4): 296–301, 7 2018.
- P. Martin. Design and evaluation of automotive control systems using hardware-in-the-loop and software-in-the-loop techniques. *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, 1 2015.
- M. . H. A. Mihalič, Franc ; Truntič. Hardware-in-the-loop simulations: A historical overview of engineering challenges. *Renew Sustain Energy*, 11:2412–2462, 6 2022.
- G. Ojas M. Fundamentals and classification of hybrid electric vehicles. *International Journal of Engineering and Techniques*, pages 178–198, 8 2017.
- S. . N. A. . E. A. Onoda, S. ; Lukic. A psim-based modeling tool for conventional, electric, and hybrid electric vehicles studies. In *Proceedings IEEE 56th Vehicular Technology Conference*, 2002.
- . P C Krause Associates, Inc. Automated state model generator (asmg) reference manual. www.pcka.com ,Automated State Model Generator (ASMG) Reference manual, 1 2023.
- pal RT Technologies Inc. Opal-rt for automotive. 2021.

- G. . L. D. Palladino, A. ; Fiengo. A portable hardware-in-the-loop (hil) device for automotive diagnostic control systems. *J Energy Storage*, 51:49–27, 6 2012.
- K. Popovici. *Real-Time Simulation Technologies: Principles, Methodologies, and Application*. Elsevier Science, 2 edition, 2000. ISBN 978-1447150762.
- L. P.T, Rodrigo; M.O. A história da indústria automobilística e o impacto na sociedade atual. *Journal of Power Source*, pages 80–95, 7 2019.
- M. V. d. O. R. A. Araújo and E. M. L. Faria. "simulador hil para testes de sistemas de controle de veículos elétricos. In *Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2020*., 2020.
- R. O. R. Rojas and J. G. Romero. Robust control of an automotive electronic throttle using h-infinity synthesis. *Control Engineering Practice*, 10(1):345–353, 3 2002.
- J. B. L. S. M. C. S. T. K. Robyn A. Jackey, Wanjae Shin. Two-staged modeling of alternator. *14th Asia Pacific Automotive*, 2007.
- D. Rocha. Test engineer, for stellantis, validation of automotive power plants. 2022.
- S. R. S. Dutt and D. D. Gajski. Systemc-based co-simulation for hardware-software codesign,. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*., 21:1175–1185, 10 2002.
- A. K. C. S. S. Mahapatra and R. K. Jena. Hardware-in-the-loop simulation of a dc motor drive for electric vehicle applications. *n 2017 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC), Thrissur, India*, 2017.
- C. T. S. Savaresi and A. Bemporad. control for a hybrid electric vehicle. *Control Engineering Practice*., 1 2005.
- A. S. J. S. V. Nikam and A. B. Chava. Design and development of a modular automotive electronic control unit,"in 2016 international conference on communication and signal processing (iccsp),. Master's thesis, IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications, 4 2002.
- Y. W. S. Yue, L. Zou and X. Zhang. Design and implementation of a hardware-in-the-loop simulation platform for vehicle electronic control system,"in journal of physics. In *Conference Series, vol. 1190, no. 1, p. 012023*.
- M. P. Salgado. "development of a fuel cell powertrain using mil, sil, and hil simulation. *International Journal of Hydrogen Energy*, pages 12577–12587, 2013.
- A. L. Sangiovanni-Vincentelli. Design methodologies for automotive electronic control systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1993.

- G. M. C. R. F. Schmid. Application of mil, sil, and hil simulation in the development of control strategies for a hybrid electric vehicle,. 273 2015.
- M. U. A. S. L. Shah. Hil, sil, and mil validation of engine control strategies for hybrid electric vehicles. 1 2016.
- H. B. . S. P. . J. T. . W. E. . D. B. . G. H. . M. H. . R. K. . S. Shields. Analytical derivation of a coupled-circuit model of a claw-pole alternator with concentrated stator winding. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2002.
- A. S.R., Willian; Da Silva. Projeto, validação e testes de leis de controle automático de voo auxiliado por plataforma hardware in the loop. *Energy*, pages 8–12, 9 2018.
- P. E. Steven. Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles. *Energy Policy*, pages 3843–3853, 10 2009.
- S. M. Szwabowski. Model-based testing of automotive electronic control systems. *SAE International Journal of Passenger Cars*, 2012.
- T. S. T. Matsushita and Y. Shiratori. Control design for a variable valve timing system using h synthesis,. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*., 2006.
- M. K. T. Yalcinoz and A. Aksoy. H-infinity control of an automotive active suspension systemr. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*., 23(2):633–645, 5 2015.
- J.-C. C. P. M. Vargas, Miguel and C. T. Calafate. A survey on the use of the can bus in automotive embedded systems. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2013.
- A. Vora. Development of a sil, hil, and vehicle test-bench for model-based design and validation of hybrid powertrain control strategies. In *SAE Technical Paper, 2014.*, 2014.
- W. D. Weber. Automotive electronic control systems,. *The Mechatronics Handbook*, pp. 29.1-29.20, 2002., 2002.
- Y. S. . H. L. . Q. Wu. Expansion application of dspace for hils. In *IEEE Electronic Library (IEL) Conference Proceedings 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*.
- Y. C. Y. Cao and Q. Sun. "research on hardware-in-the-loop simulation of anti-lock braking system based on dspace,. *IEEE 2nd Information Technology*, 2018.
- S. G. Y. Han, S. Ji and L. Zhang. Hardware-in-the-loop simulation of electric vehicle propulsion system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*., 10 2015.
- S. H. P. Y. S. Kim and S. H. Kim. *Model-In-The-Loop Simulation for Electric Vehicle Development*. SAE International Journal of Alternative Powertrain, 2015.

-
- L. L. Y. Zheng, Y. Chen and Y. Chen. Hardware-in-the-loop simulation for fuel cell vehicle powertrain system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2018:6571–6581,, 8 2018.
- Y. Yu and G. Sun. Design of a distributed fault diagnosis system for automotive can bus based on improved back propagation algorithm. *8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2010.
- F. C. Z. Zhang and J. Shi. "hardware-in-the-loop simulation for electronic stability program based on dspace,. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(5):33–36, 11 2065.
- J. L. Zachary. *Storage Batteries*. Hardware-in-the-Loop Testing: Design and Deployment of Flight Vehicle Systems", 1 edition, 1980. ISBN 978-1563477037.
- Y. W. L. T. Y. F. Zhang, Chao and H. Zhang. A hil test platform for the distributed control system of electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* ,, 2015.
- W. S. W. L. Zhu, Lihua and W. Liu. Research on a hils testing platform for electronic control braking systems of electric vehicles. *EEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2017.