

# PROJETO, PROTOTIPAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM COMUNICAÇÃO CAN PARA UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO DO TIPO FÓRMULA SAE

1<sup>st</sup> Bruno Eduardo Bender Martins  
*Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)*  
*Graduação em Engenharia Elétrica*  
 Santa Maria, Brasil  
 bruno.martins@acad.ufsm.br

2<sup>nd</sup> José Eduardo Baggio  
*Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)*  
*Departamento de Eletrônica e Computação (DELIC)*  
 Santa Maria, Brasil  
 jose.baggio@ufsm.br

**Resumo**—Um protótipo de veículo do tipo Fórmula SAE pode empregar diferentes tecnologias para validar o projeto, levando em consideração as restrições financeiras e as instrumentações acessíveis a cada equipe, normalmente composta por um time interdisciplinar de estudantes ou técnicos de diferentes áreas da engenharia. Um parâmetro fundamental em um carro é a suspensão, com influência direta na performance em pista durante competições. Nesse sentido, o presente trabalho descreve o projeto de um sistema de aquisição de dados de instrumentação do curso da suspensão e temperatura do fluido de freios, com comunicação por uma rede CAN, em que uma unidade de controle eletrônica acessa e armazena as informações em um *datalogger* interno para posterior análise dos projetistas de suspensão. Dispondo de um *software* para análise de *logs*, são analisados dados e definidos parâmetros que devem ser alterados para refinar a performance do veículo. Detalham-se os processos de desenvolvimento de *hardware*, *software* e os resultados atingidos após a prototipagem do projeto. Discutem-se dados de testes e conclusões com a implementação do protótipo de sistema de aquisição, nomeado como expansor CAN, pela característica de expandir a quantidade de entradas disponíveis para sensores com comunicação na rede CAN.

**Palavras-chave**—Fórmula SAE, instrumentação, suspensão, eletrônica, Formula UFSM.

## I. INTRODUÇÃO

A competição Fórmula SAE (FSAE) é organizada anualmente pela *Society of Automotive Engineers* (SAE), uma organização internacional, criada com o objetivo de fomentar o compartilhamento de conteúdos e informações na área de engenharia automotiva [1]. A competição começou a ser realizada no Brasil em 2004, visando formar engenheiros capazes de projetar e trabalhar com veículos de alta performance no país. Cerca de 6 anos depois surgiu a equipe Formula UFSM, formada por alunos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), propondo-se a aperfeiçoar conhecimentos teóricos em um ambiente prático - um protótipo do tipo FSAE [2].

Um sistema crucial em automóveis é a *Engine Control Unit* (ECU), responsável por controlar o funcionamento do motor, comandando os atuadores de acordo com os sinais enviados por sensores do protótipo. Atualmente, a equipe Formula UFSM conta com uma ECU da marca australiana Motec, modelo M800, disponível internacionalmente há mais de 20 anos, com comunicação integrada nos padrões RS-232 e *Controller Area Network* (CAN) [3].

Outro ponto de grande destaque em um veículo é a suspensão, um dos pilares para atingir alta performance, considerando a sua influência direta na dinâmica veicular [4]. Logo, é importante verificar se o sistema está trabalhando nas melhores condições e, nesse sentido, refere-se ao sub-sistema da equipe responsável pela elétrica e eletrônica, que garante a instrumentação confiável do protótipo para fornecer dados acerca do comportamento dinâmico do carro. Utilizando sensores analógicos e digitais, deseja-se encontrar meios para quantificar parâmetros do *setup* de suspensão e fornecer tais dados aos projetistas de suspensão. Esses têm o dever de analisar e, se necessário, ajustar passivamente parâmetros de suspensão como ângulo de *camber*, ângulo de *toe*, pré-carga de molas e balanço de frenagem do veículo.

Contudo, após mais de uma década de história da equipe na UFSM, as necessidades de instrumentação e aquisição de dados aumentaram, fazendo com que as entradas disponíveis na ECU sejam insuficientes para suprir a demanda. Diante desse contexto, tornou-se imprescindível obter um módulo expansor de entradas que atenda às necessidades de instrumentação, havendo então demanda pela pesquisa por dispositivos no mercado que sejam de fácil integração com a Motec M800.

Existem 2 módulos comercializados pela fabricante que satisfazem as necessidades e são compatíveis com a ECU - o *SVIM* e o *E888* - suficientes para processar sinais que compõem os requisitos de projeto, conforme [4] e [5]. Em pesquisas realizadas no primeiro semestre de 2023, encontraram-se preços de cerca de três mil e quatrocentos dólares americanos para o *SVIM* e mil e trezentos dólares americanos para o *E888*. Considerando o orçamento disponível, chegou-se à conclusão de que os valores apresentados pelos sistemas comerciais são impraticáveis no contexto da equipe Formula UFSM.

O presente trabalho descreve um sistema de aquisição de dados com comunicação CAN, ainda definido como um sistema de expansão de entradas de baixo custo, com funcionalidades bem definidas, visando o envio de dados confiáveis na rede CAN do protótipo, utilizando o protocolo de mensagens padrão da Motec M800. O objetivo do projeto é realizar a leitura de 4 termopares do tipo K, 4 sensores de curso da suspensão e 3 sinais digitais, alocando menos recursos do que um sistema comercial de expansão, sem perder a

confiabilidade nas leituras realizadas. Os sensores processados serão algumas das referências que a equipe do subsistema de suspensão terá disponível para verificar parâmetros de *setup* durante os testes dinâmicos do protótipo denominado como Galgo, veículo fabricado pela equipe para a 19ª Competição Fórmula SAE Brasil.

## II. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Para estabelecer um paralelo entre um sistema comercial e o projetado, é válido revisar os conceitos e tecnologias que serão empregados na aquisição de dados de temperatura e curso de suspensão. Na sequência, serão abordados os tipos de sensores e sinais processados, as interfaces de comunicação desses com o microcontrolador ATmega328p - escolhido para processar os sinais - e a integração do sistema com a rede CAN do veículo.

Para a leitura de temperatura tem-se diferentes opções, como termômetros, que utilizam a dilatação de líquidos ou sólidos e a pressão de gases ou vapor, termômetros de resistência, termopares ou pirômetros de radiação [7]. Na aplicação aqui descrita, as temperaturas lidas não serão abaixo de zero e nem acima de 600°C, nas quais geralmente são empregados os pirômetros de radiação. Pela sua aplicabilidade e disponibilidade em laboratório, os termopares serão o principal objeto de estudo, quando citadas as medições de temperatura.

Em [7], afirma-se que os termopares são uma junção de dois metais que unidos apresentam certas propriedades elétricas em função da temperatura. Geralmente, os elementos realizam tal medição estão distantes da central que processa o sinal e, assim, é importante que os fios que conectam ambos compensem perdas com a distância, variação de temperatura e interferências eletromagnéticas. Uma solução para evitar tais problemas é o uso de fios com as mesmas ligas metálicas do termopar, nesse caso o de tipo K, que conta com um *range* de temperatura adequado para a aplicação, é facilmente encontrado no mercado e, em relação a outros sensores, tem custo abaixo da média. Segue lista com as características técnicas dos termopares do tipo K, de acordo com [7]:

- Liga: (Cromel - Alumel/NiCrNi)
- Termoelemento positivo (KP): Ni90%Cr10%
- Termoelemento negativo (KN): Ni95%Mn2%Si1%A12%
- Faixa de utilização: -270°C a 1200°C
- FEM (*Força Eletromotriz*) produzida: -6,458 mV a 48,838 mV
- Características: suporta atmosferas inertes e oxidantes, não suporta atmosferas redutoras e sulfurosas. Em altas temperaturas e atmosferas pobres de oxigênio ocorrem desvios na curva de resposta.

Para medir a posição ou o curso da suspensão, existem duas opções amplamente utilizadas e encontradas no mercado: *linear variable differential transformers* (LVDTs) ou potenciômetros lineares. O primeiro possui maior precisão, por utilizar a indução eletromagnética. Contudo, os potenciômetros lineares são encontrados com maior frequência em lojas especializadas e possuem preços mais acessíveis. Assim, optou-se por potenciômetros lineares com curso de 150mm comercializados pela empresa Motec, nos quais a

resistência interna do componente varia de acordo com a distância das extremidades do sensor.

Para realizar a leitura e o processamento de sinais analógicos, os microcontroladores precisam de um conversor analógico-digital (AD) capaz de converter um valor analógico - que assume um valor dentro de um intervalo conhecido de tensão - em uma mensagem binária composta por  $n$  bits, de acordo com a resolução do conversor em questão. O microcontrolador ATmega328p tem um conversor AD de 10 bits que funciona por aproximações sucessivas, o que significa que a tensão recebida pelo conversor é comparada várias vezes com uma tensão de referência [8]. O processo acontece iterativamente, reduzindo e aumentando a tensão de referência até que ambos sejam iguais, de acordo com a precisão desejada para o sinal digital de saída. Quando o erro entre eles é inferior ao limite, o sinal digital correspondente é enviado e a conversão está finalizada [7]. Para se medir o curso da suspensão do veículo serão usados potenciômetros lineares ligados à suspensão, lidos no conversor AD de 10 bits do microcontrolador. Depois de processados, os sinais serão transmitidos para a ECU através do barramento de comunicação CAN.

O microcontrolador ATmega328p conta com as comunicações nativas *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), *Serial Peripheral Interface* (SPI) e *Inter-Integrated Circuit* (I2C) [8]. A comunicação entre os dispositivos do protótipo FU-23 se dá pelo protocolo CAN, em [9] é dito que o barramento CAN é composto por um par trançado de fios chamados de *can high/can low*, em que a comunicação acontece pela diferença de potencial entre ambos e os dados são representados por bits dominantes e recessivos. Todos os módulos conectados ao barramento podem ser mestres e enviar mensagens, graças à arbitragem *bit-a-bit* não destrutiva que evita a colisão entre mensagens. Assim, o bit dominante sobrepõe-se ao recessivo, criando prioridade entre as mensagens, nas quais a maior prioridade sobrescreve a menor. Considerando as características robustas do protocolo CAN, é importante o seu uso no sistema de aquisição, permitindo maior integração com o restante das unidades do veículo e maior confiabilidade na comunicação. A solução para tal será o uso de um módulo MCP2515, que recebe os dados usando o protocolo SPI do arduino em 10 MHz e os converte em mensagens no padrão CAN V2.0B, com velocidade de 1 MHz [10].

## III. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizados os mesmos moldes da metodologia de projeto da equipe Formula UFSM, adaptada de [11], com as fases informacional, conceitual, detalhado, manufatura e validação. O primeiro consiste em levantar os requisitos de projeto, usando *brainstormings* e reuniões para definir as prováveis funcionalidades dos sistemas que serão desenvolvidos na temporada. Essa fase se relaciona diretamente com a conceitual, que consiste em verificar quais as funcionalidades podem ser implementadas e quais os sensores e componentes devem ser aplicados para atingir a

performance planejada, dentro de rigorosos limites financeiros. As primeiras duas fases não serão profundamente abordadas neste artigo, basta destacar que as funcionalidades definidas para o expensor CAN foram as de leitura de 4 sensores de curso, ou posição, da suspensão, 4 termopares do tipo K e 3 sinais digitais de botões.

A fase de projeto detalhado consistiu em transformar os conceitos em *hardware* e *software*, com projeto eletrônico e mecânico. A manufatura incluiu a busca por patrocinadores com capacidade técnica para atender as especificações, para posterior montagem e soldagem de componentes na oficina da equipe, buscando entregar produtos confiáveis e de qualidade, com tempo suficiente para testes e validações futuras. A fase de validação foi a última, na qual o protótipo passou por testes detalhados, iniciando por testes individuais de componentes, os quais foram lentamente integrados ao sistema, culminando na versão final. Após finalizados os testes, a placa foi encapsulada e integrada ao chicote elétrico do protótipo Galgo, para ser usada em testes e provas dinâmicas.

A Tabela I mostra o cronograma das atividades desenvolvidas, destacando as fases de projetos, seus procedimentos e o período de execução de cada uma.

Tabela I  
CRONOGRAMA DE PROJETO

Fase de Projeto	Procedimentos	Período
Informacional	<i>Brainstorming</i>	Nov 2022
Conceitual	Requisitos e Componentes	Dez 2022/Jan 2023
Detalhado	Circuitos e Modelagem 3D	Fev/Maio 2023
Manufatura	Fresa e Impressão 3D	Mai/Abril 2023
Validação	Testes	Jun/Jul 2023

Nas próximas subseções, serão abordadas as fases de projeto detalhado, manufatura e validação.

### A. Projeto Detalhado

Após definir as funcionalidades possíveis de serem implementadas com o microcontrolador ATmega328p, os sensores e componentes necessários para o processamento, bem como as comunicações envolvidas nos diferentes processos do circuito, chegou-se ao diagrama da figura 1.

Antes de iniciar o projeto eletrônico e mecânico propriamente ditos, foram conduzidos testes de funcionamento dos sensores de curso linear e dos termopares do tipo K da equipe, com códigos genéricos de testes disponibilizados na biblioteca do módulo de leitura de termopares (modelo MAX6675), e as leituras analógicas padrões da plataforma Arduino *Integrated Development Environment* (Arduino IDE). As bibliotecas utilizadas foram: *SPI.h* e *max6675.h*, para leitura dos módulos MAX6675 com comunicação SPI, e as leituras analógicas usaram a função padrão *analogRead()*, amplamente utilizada em microcontroladores das placas Arduino. Dito isso, todos os componentes foram conectados em uma *proto board*, conforme esquemático da figura 2.

Após garantir o correto funcionamento dos sensores e demais componentes disponíveis, iniciou-se o projeto eletrônico, com o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso,

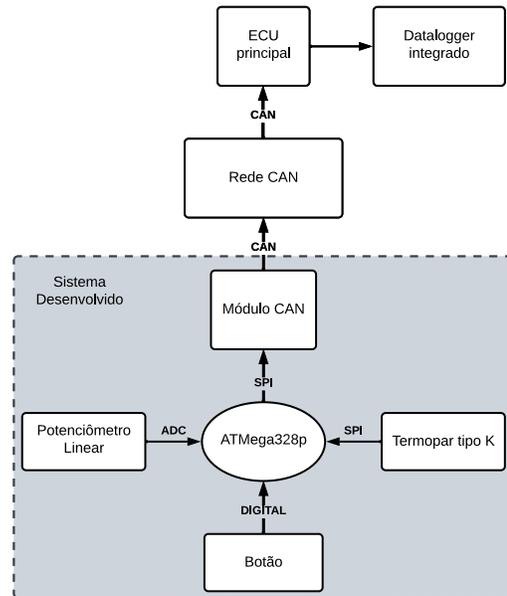


Fig. 1. Diagrama de Comunicação do Sistema.

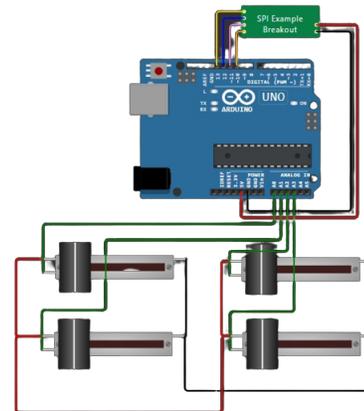


Fig. 2. Esquemático de testes para verificação de sensores.

ou *Printed Circuit Board* (PCB), responsável por encapsular o microcontrolador e os componentes que compõe o sistema de leitura e comunicação, além da modelagem 3D do sistema.

Como o sistema será projetado em uma PCB, visando maior confiabilidade, para chegar a um resultado leve e compacto, priorizou-se a escolha de componentes com menor massa, substituindo os do tipo *Pin Through Hole* (PTH) por *Surface Mounted Device* (SMD), por exemplo. A porção central do sistema é o ATmega328p, que demanda um *clock* de 16MHz proveniente de um cristal, que conecta-se aos pinos 9 e 10 com um capacitor de 22pF de filtragem em cada um dos terminais, sendo os capacitores acoplados a um plano de aterramento. Outro componente indispensável para a interface de comunicação é o módulo CAN MCP2515, que converte SPI do microcontrolador em CAN para envio dos dados, utilizando os pinos determinados no datasheet para essa funcionalidade.

Os veículos de combustão geralmente são equipados com

uma bateria de 12V, que nesse caso é a alimentação central do protótipo. Entretanto, como o microcontrolador e os sensores precisam de uma tensão de alimentação de 5V, é importante realizar a conversão dos 12V para 5V. Assim projetou-se um sistema de alimentação que utiliza um regulador de tensão linear do modelo LM7805, com filtros compostos por capacitores eletrolíticos e *smc*, que evitam oscilações na entrada e na saída de energia. As principais vantagens que motivaram a aplicação de um regulador desse tipo foram a sua massa e área reduzida, além da praticidade, visto que é um componente muito comum em projetos simples de eletrônica utilizando arduino. Porém, uma das suas desvantagens é a maior perda de energia em relação a outras alternativas, como conversores estáticos.

Para os sensores analógicos de curso da suspensão, utilizou-se do conversor AD interno do microprocessador, que conta com uma resolução de 10 *bits*, usando um sinal de *clock* entre 50kHz e 200kHz [8]. Os fios de sinal dos sensores vão para a placa de aquisição pelo chicote elétrico do veículo e chegam no conector da PCB, encontrando no caminho até o microcontrolador um filtro passa-baixa, com frequência de corte de 78 Hz, usando a frequência de Nyquist e um multiplicador *anti-aliasing* de 10 vezes para garantir um sinal confiável, considerando a frequência de oscilação da suspensão de 3,9Hz descrita em [12].

Para os termopares do tipo K, o sinal é processado nos módulos MAX6675, que convertem o sinal de tensão em sinal digital com uma resolução de 12 *bits*, equivalente a 0,25°C, usando comunicação SPI. O sinal entra por *bornes*, sendo conectados somente quando necessário em testes dinâmicos da equipe, geralmente para avaliar a temperatura do fluido de freios.

O sistema desenvolvido tem duas interfaces para realizar comunicação com componentes externos: uma porta USB e um conector automotivo de 12 pinos do tipo *Deutsch* que se conecta à rede CAN do chicote elétrico, na qual os dados coletados serão acessados pela ECU e armazenados no *datalogger* integrado. A porta USB serve para programar o *software* no microprocessador, e ainda possibilita o envio de mensagens seriais durante a fase de testes do projeto, que podem ser visualizadas pelo projetista com uso do monitor serial da Arduino IDE. A imagem da figura 3 mostra a versão final da PCB, projetada com o *software* de modelagem Proteus.

Outro componente de encapsulamento importante é uma caixa de proteção para a PCB, que deve garantir um correto encaixe do conector e da porta USB, para fácil conexão com dispositivos externos. Para tal, modelou-se uma caixa no *software* Solidworks 2021, com o objetivo de alcançar uma baixa massa agregada e, ao mesmo tempo, ser de fácil prototipagem. Assim, o material escolhido para o projeto foi o plástico ABS-M30 [13], visando uso da manufatura aditiva, com um filamento facilmente encontrado no mercado. A caixa, montada com a PCB, pode ser vista na figura 4.

### B. Manufatura

Para a manufatura da PCB existem diferentes opções: pode-se optar por realizar um processo de impressão do circuito de

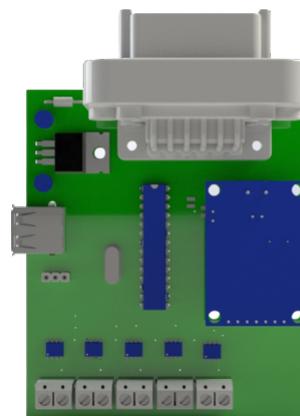


Fig. 3. PCB do sistema.



Fig. 4. Renderização da montagem completa do sistema no Solidworks 2021.

forma artesanal, com a corrosão do cobre em uma placa dupla-face para fazer trilhas de sinal, usar uma fresadora comercial disponível na universidade ou comprar de empresas especializadas na atividade, ainda nesse sentido, tem-se a opção dos patrocínios. Diante das opções, procurou-se julgar qual a melhor para garantir uma placa confiável, com camadas e planos de aterramento que funcionem corretamente, sem perder muito tempo durante o processo. Nesse sentido, buscando minimizar problemas futuros, optou-se por um patrocínio da empresa PCBWay, com produção centralizada na China, conhecida por fornecer PCBs de alta qualidade.

Após manufatura da placa, realizou-se o procedimento de soldagem de componentes na PCB, com uso de uma liga de estanho com chumbo para ligar os componentes às trilhas de cobre. A figura 5 mostra o resultado final atingido após a soldagem.

### C. Software

Para programação do ATmega328p, utilizou-se das ferramentas disponíveis no ambiente Arduino IDE, no qual escreve-se um arquivo de texto com a extensão *.ino*, chamado de *sketch* [14]. Para estruturar corretamente a *sketch* em questão, elaborou-se protótipos de código, com uso de diferentes bibliotecas. Inicialmente, implementou-se leituras nativas do ar-



Fig. 5. Resultado da manufatura da caixa e PCB com componentes soldados.

duino - digitais para os botões, e analógicas para os sensores de curso, com as funções *analogRead()* e *digitalRead()*. Depois, a comunicação SPI para os módulos MAX6675, com uso das bibliotecas *SPI.h* e *max6675.h*. E por fim, a comunicação CAN integrou-se ao sistema, com as bibliotecas *mcp\_can.h* e *mcp\_can\_dfs.h*, para comunicação com o módulo MCP2515.

Para garantir o funcionamento do projeto, avaliou-se os tipos de leituras realizadas, qual o tempo de amostragem necessário e quais ferramentas podem ser utilizadas durante a programação para o envio de dados confiáveis. Assim, definiu-se que a informação mais crítica e com maior impacto nos *setups* dinâmicos de suspensão é a que deve ser considerada prioridade na definição de taxas de aquisição, ou seja, a leitura dos sensores de curso da suspensão. Como a aquisição de dados desses sensores se dará na frequência de 78Hz, para atender o requisito, as interrupções internas do ATmega328p foram manipuladas através da função *interrupt* do timer denominado *timer1*, gerando interrupções a cada 12,82 milissegundos (*ms*).

Os dados de temperatura lidos pelos termopares são importantes, porém existem limitações internas do módulo MAX6675 que permitem uma nova leitura apenas a cada 220 *ms*. Com isso, lê-se corretamente o sinal somente após passado esse tempo, que é verificado em *pooling* no laço infinito do programa principal, conforme diagramado na figura 6 para facilitar o entendimento do *software* desenvolvido para o projeto.

Para a frequência de amostragem de 78Hz, o programa deve realizar uma interrupção a cada 12,82 *ms*, período em que os sinais dos sensores de curso devem ser lidos e enviados na rede CAN. Como os dados de temperatura não precisam - e nem são capazes - de serem aferidos nessa frequência, serão lidos no laço infinito do arduino, em aproximadamente 333ms, juntamente com os botões, lidos em uma velocidade mais rápida, devido a características dos pinos digitais do

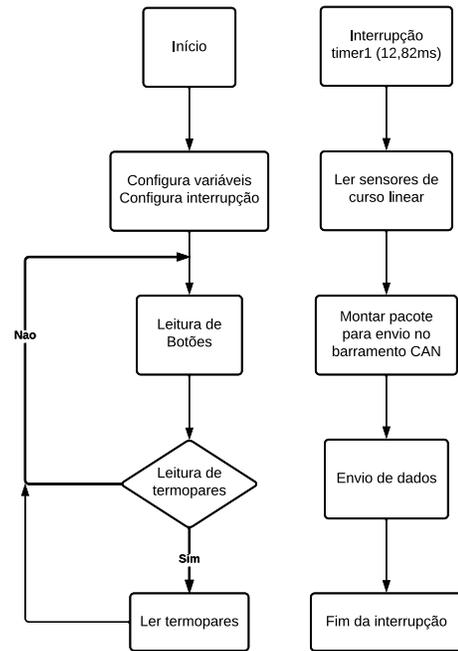


Fig. 6. Diagrama de *Software*.

ATmega328p, na ordem de 15 $\mu$ S [8], visto que o sinal não precisa ser convertido. Para envio, utilizou-se de parte da interrupção, com 3 diferentes palavras-código, conforme o padrão de mensagens CAN definidas pela fabricante da ECU da equipe, conforme a figura 7.

Byte							
0	1	2	3	4	5	6	7
Compound ID 00		Curso 1 (ADL1)		Curso 2 (ADL2)		2 Botões (ADL3)	
Compound ID 01		Curso 3 (ADL4)		Curso 4 (ADL5)		Temp 1 (ADL6)	
Compound ID 02		Temp 2 (ADL7)		Temp 3 (ADL8)		Temp 4 (ADL9)	

Fig. 7. Padrão de mensagens da ECU Motec M800.

#### IV. RESULTADOS

Para validação do projeto, verificou-se o tempo de aquisição e envio das palavras que compõe o pacote CAN, com intuito de evitar defasagens na forma de onda do deslocamento da suspensão - um dado crítico que pode influenciar toda a dinâmica de um veículo em pista. Caso o sinal seja lido na frequência necessária, é garantido o *anti-aliasing* e, conseqüentemente, a confiabilidade do sistema.

Dito isso, a análise dos resultados baseou-se no tempo de envio e aquisição dos dados, que deve respeitar a taxa de amostragem de 78Hz dos sensores de curso, garantindo que não ocorra sobreposição do sinal. A avaliação desse parâmetro pode ser realizada em um osciloscópio, onde verifica-se a forma de onda da saída do sistema, cujo tempo define-se principalmente pelas leituras analógicas e envio dos dados na rede CAN.

A figura 8 plota o comportamento do sinal de saída ao longo do tempo, obtida com um osciloscópio digital.

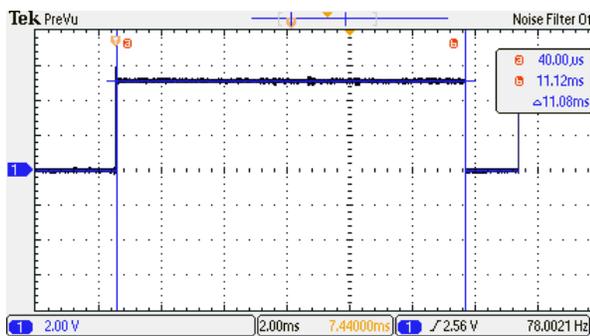


Fig. 8. Onda de saída do circuito.

Analisando o sinal plotado no osciloscópio, tem-se o tempo de aquisição e envio dos sinais de 11,08 ms, sendo que o tempo máximo na frequência de 78Hz é 12,82ms. Assim, conclui-se que o sistema realiza as leituras no tempo de aquisição adequado com envio de dados completo antes de iniciar uma nova interrupção, funcionando conforme o esperado.

Para verificar a integridade das medições, optou-se por dois métodos, baseados em comparações com medidas de temperatura de um multímetro digital, equipado com um termopar do tipo K, e medidas do valor real de curso dos potenciômetros lineares, comparando-o com o valor experimental calculado usando o sinal enviado à ECU. Dessa forma, chegou-se a um erro relativo abaixo de 10% nas medidas de temperatura e de aproximadamente 3% nas leituras de curso da suspensão. Outro teste importante para verificação e comparação dos valores medidos e enviados, consistiu em examinar em tempo real pela comunicação serial da ECU um mesmo sinal de leitura de sensor enviado em 2 protocolos diferentes do expansor CAN: serial e CAN. Para tal, utilizou-se do monitor serial da Arduino IDE e um software de análise de dados em tempo real da fabricante da ECU do veículo, chegando ao resultado almejado após adequações na programação do microcontrolador.

## V. CONCLUSÃO

Iniciou-se o projeto com os objetivos de criar um sistema leve, compacto e de baixo custo, que atendessem os pré-requisitos definidos. Foi construído um protótipo que implementa a aquisição dos sinais de temperatura do fluido de freio de um veículo do tipo fórmula. Nesse mesmo protótipo também se fez a aquisição dos sinais de extensão do curso da suspensão, que, após serem capturados, são enviados em um pacote para um datalogger, usando a rede CAN.

A partir de testes, verificou-se experimentalmente que os objetivos de funcionamento do projeto foram atingidos, considerando que os dados de instrumentação estão sendo enviados corretamente para análise e adaptação de parâmetros, influenciando positivamente na performance da dinâmica veicular. O projeto teve um custo total menor do que um sistema comercial, sendo prototipado com componentes disponíveis na oficina da equipe e manufaturado com apoio de parceiros,

chegando a um investimento inicial abaixo de 100 reais, ou seja, menos de 1% do custo de um sistema de expansão de entradas comercial.

Para concluir, possíveis desafios futuros do projeto podem estar relacionados ao aumento na quantidade de sensores processados no sistema de aquisição, cuja provável consequência seja a mudança do microcontrolador. A velocidade de clock ou a maior quantidade de portas digitais e analógicas de outro microcontrolador tem potencial para ser um ponto de partida na busca por somar sensores ao sistema de aquisição. Outro ponto a ser analisado é a modularização dos subcircuitos que compõe a PCB, um exemplo disso é o encapsulamento dos conversores MAX6675 em uma placa módulo, que seja facilmente retirada e substituída em caso de falhas.

## REFERÊNCIAS

- [1] SAE Brasil, "Fórmula SAE BRASIL". Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>.
- [2] Formula UFSM, "Formula UFSM Equipe". Disponível em: <https://formulaufsm.wordpress.com/>.
- [3] MoTeC, "Motec M400 M600 M800 M880 User Manual", Motec Pty Ltd, Australia, 2003. Disponível em: <https://www.motec.com.au/m800/m800downloads/>.
- [4] W.F. MILLIKEN; D.L. MILLIKEN. "Race Car Vehicle Dynamics". 1 edição. Warrendale: SAE International, 1995.
- [5] MoTeC, "SVIM Synchronous Versatile Input Module", Motec Pty Ltd, Australia, 2010. Disponível em: <https://www.motec.com.au/svim/ex-svim-ov/>.
- [6] MoTeC, "Motec E888/E816 User Manual", Motec Pty Ltd, Australia, 2005. Disponível em: <https://www.motec.com.au/ac-ex-e888/ex-e888e816-ov/>.
- [7] A. B. Fialho, "Instrumentação Industrial - Conceitos, Aplicações e Análises", 6 edição, Porto Alegre, RS, Brasil: Saraiva, 2010. [Online]. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536505190/pageid/229>.
- [8] Atmel Corporation, "ATmega328P Datasheet", Atmel Corporation, USA, 2015. Disponível em: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf).
- [9] A. A. Guimaraes. "Eletrônica Embarcada Automotiva". Porto Alegre, RS, Brasil: Editora Saraiva, 2007. E-book. ISBN 9788536518503. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788536518503/>.
- [10] Microchip. "MCP2515 Stand-Alone CAN Controller with SPI Interface", Microchip Technology Inc, 2018. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP2515-Stand-Alone-CAN-Controller-with-SPI-20001801J.pdf>.
- [11] L. N. Romano. "Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas". Tese de doutorado, Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, UFSC, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/86408>.
- [12] J. Kasprzak, "Understanding your dampers: a guide from Jim Kasprzak", Kaz Technologies. Disponível em: <https://www.kaztechnologies.com/wp-content/uploads/A-Guide-To-Your-Dampers-Chapter-from-FSAE-Book-by-Jim-Kasprzak-Updated.pdf>.
- [13] Stratasys, "ABS-M30 FDM Thermoplastic Filament", stratasys inc, 2022. Disponível em: [https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/abs-m30/mds\\_fdm\\_abs-m30\\_222a.pdf?v=49f2df](https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/abs-m30/mds_fdm_abs-m30_222a.pdf?v=49f2df).
- [14] Arduino, "Getting Started with Arduino Products", Arduino, 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide>.