

VALIDAÇÃO DE PARÂMETROS DINÂMICOS EM PROTÓTIPO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Taciana Soares Siqueira (IC) e Fábio Raia (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

O desenvolvimento de soluções inovadoras a fim de difundir o uso de veículos elétricos requer o uso de ferramentas e instrumentos que permitam caracterizar e validar o progresso em termos de metodologias avançadas de controle de movimento e funcionalidade. A aquisição automática de dados pode ser aplicada em outros setores industriais com a finalidade de obtenção de ganhos de produtividade. A validação dos sistemas de aquisição e controle se torna de extrema importância, permitindo análise e comparação de dados, buscando-se também estabelecer um bom sistema de rastreabilidade. Neste trabalho são validados parâmetros dinâmicos de eficiência energética do protótipo de carro elétrico da Escola de Engenharia, sendo eles: aceleração, velocidade, rotação, temperatura e corrente. Utilizou-se sistema automático de aquisição de dados ADS 1800 da Lynx Tecnologia, para calibração dos sensores e condicionamento do sinal e o gerenciamento da aquisição foi realizado pelo software específico AqDados 7.02. A análise dos sinais foi realizada por outro software, conhecido por AqAnalysis 7. Foram aferidos os sinais de cada sensor e determinadas as sensibilidades de cada um, utilizando-se os equipamentos do laboratório e ferramentas de compilação de dados, permitindo a comparação dos os valores medidos com valores de referência determinados. De posse dos dados de calibração, os sensores foram devidamente calibrados e suas medidas validadas para utilização em testes com o protótipo do carro elétrico.

Palavras-chave: Aquisição de dados. Validação. Parâmetros dinâmicos.

ABSTRACT

The development of innovative solutions to disseminate the use of electric vehicles requires the use of tools and instruments to characterize and validate progress in terms of advanced motion control and functionality methodologies. Automatic data acquisition can be applied in other industrial sectors for the purpose of achieving productivity gains. The validation of the acquisition and control systems becomes extremely important, allowing analysis and comparison of data, and also to establish a good traceability system. In this work, dynamic parameters of energy efficiency of the electric car prototype of the Engineering School are validated, being: acceleration, speed, rotation, temperature and current. The ADS 1800

automatic data acquisition system from Lynx Tecnologia was used for sensor calibration and signal conditioning and acquisition management was performed by the specific software AqDados 7.02. Signal analysis was performed by other software known as AqAnalysis 7. The signals of each sensor were measured and the sensitivities of each were determined by using the laboratory equipment available and data compilation tools, thus allowing the measured values and determined reference values. With measured calibration data, the sensors were properly calibrated and their measurements validated so that they can be used in tests with the electric car prototype.

Keywords: Data acquisition. Validation. Dynamic Parameters.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia moderna vem buscando cada vez mais a otimização de processos de aquisição de dados, acompanhada de um aprimoramento da análise dos mesmos. O sensoriamento de fenômenos físicos em veículos automotivos permite o estudo e a aplicação de melhorias em novos projetos, bem como a realização de ajustes em produtos já existentes, em busca de níveis maiores de qualidade, redução dos custos operacionais e maior desempenho de produção (SMAR, 2017).

Atualmente, os veículos elétricos apresentam um significativo desenvolvimento, sendo alvo de atenção e de investimentos de grandes empresas do ramo automobilístico, como a fabricante chinesa BYD, e de outros segmentos como a Google, a Itaipu Binacional, a CPFL e a Natura. Governos europeus estão introduzindo fundos estatais, a fim de, difundir o uso do veículo elétrico, bem como desenvolver infraestruturas para sua utilização (FERREIRA, 2010).

O desenvolvimento de soluções inovadoras nesta área requer o uso de ferramentas e instrumentos que permitam caracterizar e validar o progresso em termos de metodologias avançadas de controle de movimento e funcionalidade (SMAR, 2017). A aquisição automática de dados pode ser aplicada em outros setores industriais com a finalidade de obtenção de ganhos de produtividade.

Do ponto de vista econômico, pode-se observar na carta da Associação nacional dos fabricantes de veículos automotores (ANFAVEA, 2017), que o quesito inovação, com a eletrônica embarcada, tanto na área de segurança como de rendimento, cresce estatisticamente em todos os modelos de veículos.

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), a utilização e aperfeiçoamento de veículos elétricos apresenta perspectivas de crescimento tanto de mercado quanto em desenvolvimento tecnológico. No Brasil, as universidades e os institutos de pesquisa se empenham constantemente no preparo dos alunos de engenharia afim de promover o estudo e a inserção neste novo mercado, com desenvolvimento de projetos com destaque internacional.

Inicialmente o registro ou aquisição das grandezas era feito de forma manual por observação de indicadores analógicos. Atualmente a aquisição automática de dados está presente em vários segmentos que vão desde eletrodomésticos até o gerenciamento energético em sondas espaciais (SMAR, 2017).

Na área automobilística, na qual se espelha o projeto do carro elétrico, a coleta automática de dados desempenha um papel fundamental para o ótimo rendimento da máquina. Os veículos atuais são assistidos por controladores eletrônicos que realizam, por

meio de um sensoriamento sofisticado, um gerenciamento do sistema de injeção direta, freios *anti-lock braking system* (ABS), *air-bag* e outros (RÚBIO, 2012).

Do ponto de vista acadêmico, diversas atividades podem ser desenvolvidas utilizando-se a tecnologia aplicada em projetos temáticos. Dentre essas atividades, destacam-se: competição de robôs, projeto *aerodesign*, projeto carro econômico e outros.

A validação de dados é um requisito presente em todos os sistemas, desde os primórdios da computação. É de extrema importância garantir a segurança de uma aplicação por meio de uma correta validação (INMETRO, 2012).

A necessidade de validar qualquer método é garantir que a metodologia analítica seja exata, precisa, estável, reprodutível e flexível sobre uma faixa específica dos dados em análise. Precisa-se garantir que as análises de rotina reproduzam valores consistentes ao valor de referência. Com isso, temos que o método é considerado validado se suas características estiverem de acordo com os requisitos estabelecidos, ou seja, não existe diferença entre os experimentos que determinam os parâmetros estudados e a validação (INMETRO, 2012).

O presente trabalho visa aferir e validar parâmetros dinâmicos por meio de equipamentos existentes no laboratório da Escola de Engenharia. As grandezas aferidas são: aceleração, velocidade, rotação, temperatura e corrente, utilizando-se como referência as medidas realizadas em equipamentos calibrados, tais como: calibrador de aceleração, voltímetro padrão e amperímetro padrão, fonte padrão de temperatura e tacômetro digital.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A aquisição automática de dados surge na mesma época do início da era da informática popular, década de 1990, foi um período que os primeiros ensaios foram realizados (GONÇALVES, HEINRICH E SARTORELLI, 1991).

Ribas e Santos (1998), descrevem um sistema de aquisição de baixo custo, utilizando um conversor analógico digital (CAD), para ser utilizado através da porta paralela em um experimento relativo à física moderna. O mesmo processo pode ser visto, na extensão do raciocínio, uma aplicação, em experimentos de Química, descrito por Sousa, Sartori, Bell e Nunes (1998).

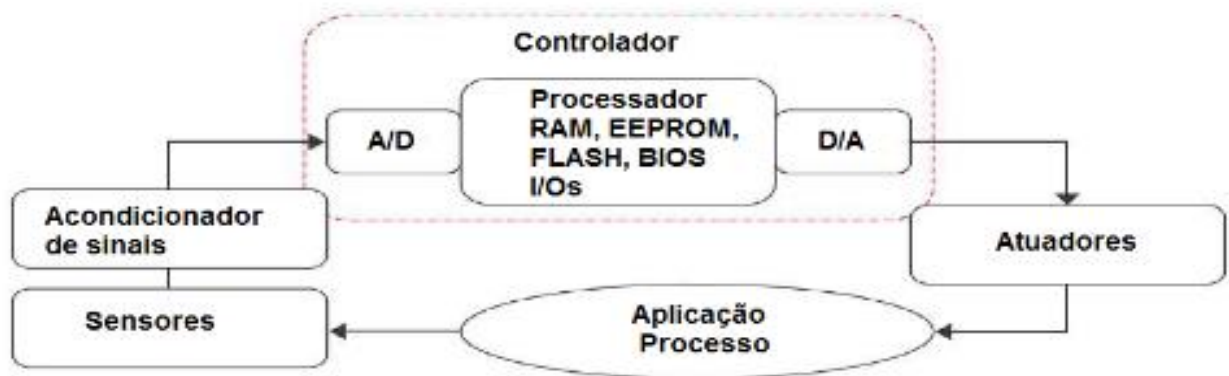
Os projetos acadêmicos têm como objetivo permitir ao aluno de graduação o despertar da vocação para a pesquisa científica e desenvolver um espírito de responsabilidade

profissional e auxiliar a formação e o aperfeiçoamento de pesquisadores e técnicos (BRASIL, 2017).

A busca pela eficiência energética exige a utilização de sistemas de aquisição de dados, os quais obtêm informações digitais através de medições de grandezas físicas (analógicas), tais como temperatura, pressão, densidade, pH, umidade, posição, etc. Tais sistemas vêm sendo incorporados por diversas vertentes, tanto industriais quanto científicas.

As grandezas são detectadas por sensores ou transdutores e então são convertidas em impulsos elétricos por condicionadores de sinais que levam os sinais até hardwares e os transformam em valores digitais (SMAR, 2017). Estes valores são processados por controladores e, segundo lógicas de controle, devolvem a resposta processada aos atuadores (elementos finais de controle), como na Figura 1.

Figura 1. Componentes de um sistema de aquisição de dados



Fonte: <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados>

Os valores medidos não são iguais ao da variável real, ou seja, o sistema de aquisição tem como entrada o valor real da variável e sua saída é o valor medido.

A aquisição automática de dados (*data acquisition* - DAQ) pode ser vista como a obtenção da informação do fenômeno físico sua visualização e respectivo armazenamento. As partes externas de um sistema de aquisição de dados incluem transdutores, que convertem o parâmetro medido em um sinal elétrico, cabos de ligação e protocolo de comunicação.

O equipamento de aquisição de dados é composto por um conjunto eletrônico formado por um sistema de condicionamento capaz de armazenar os dados coletados e outras funções que envolvem a atenuação do nível de sinal, linearização, casamento de impedância, filtragem, isolamento galvânica, amplificação e a conversão analógico-digital (realizada por um conversor analógico-digital conhecido como *Analog/Digital Converter* (ADC), que é responsável por traduzir o sinal elétrico analógico em uma representação numérica na forma

digital). Durante o processamento do sinal ele é digitalizado, quantizado e codificado de forma a permitir uma manipulação, por meio de uma metodologia matemática que irá torná-lo compatível com grandezas padronizadas.

O gerenciamento desse tipo de condicionador é frequentemente realizado por softwares que acompanham tais equipamentos ou pode se usar softwares generalistas, sendo os mais conhecidos LabVIEW® da National Instruments e o MATLAB® da Matworks, capazes de realizar não só controle, mas também o processamento do sinal.

Um sistema familiar de aquisição de dados, como mencionado acima, é a placa de som dos computadores pessoais. Nesse caso, o transdutor, aquele que traduz o fenômeno físico, seria o microfone, o condicionador seria a placa de som e o *software* de controle ou visualização da resposta sonora, baseado na plataforma Windows® ou LINUX, poderia ser feita por meio de um plugin do tipo media player. Quando se necessita maior confiabilidade, robustez e comportamento determinístico, os sistemas operacionais em tempo real, *Real-Time Operating Systems* (RTOS) são utilizados. Microcontroladores também podem representar um avanço na composição de experimentos que envolvem aquisição de dados devido à sua abrangência e flexibilidade. No entanto, isso iria exigir conhecimento prévio de programação, do acadêmico, dificultando o seu uso nas etapas iniciais.

A calibração dos dados consiste em verificar se os resultados de medição obtidos em determinado equipamento, utilizado para este fim, está de acordo com os padrões estabelecidos por órgão competente (WEBARTIGOS, 2017).

Para isso, a Rede Brasileira de Calibração contém listas das empresas e laboratórios que fazem parte da rede. Sempre que for necessária a realização desta verificação, é de extrema importância que a empresa contratada para a prestação deste serviço esteja de acordo com os parâmetros determinados (WEBARTIGOS, 2017).

Além da validação dos dados, procura-se também estabelecer um bom sistema de rastreabilidade, que é um elemento básico em planos de segurança e de gestão da qualidade em qualquer organização. Um bom sistema de rastreabilidade garante o controle sobre a complexidade de informações e dados dentro de uma operação, independente do volume (TEMPLUM, 2017).

Rastreabilidade é a capacidade de identificar matérias-primas, insumos, materiais ou componentes de determinado produto ou serviço nas etapas do processo (TEMPLUM, 2017). Um sistema projetado corretamente é a base eficaz e eficiente da documentação, responsabilidades, recursos, processos, produtos e serviços.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As grandezas medidas e validadas no presente trabalho são: aceleração, velocidade, rotação, temperatura e corrente. Para aferição dos dados foram utilizados os seguintes sensores: sensor de aceleração tipo ADXL335; sensor de rotação e velocidade; sensor de temperatura tipo PT100 e sensor de corrente ACS715T. Os sensores são representados nas Figuras 2, 3, 4 e 5 abaixo.

Figura 2. Acelerômetro ADXL335



Fonte: Autor

Figura 3. Sensor de temperatura PT100



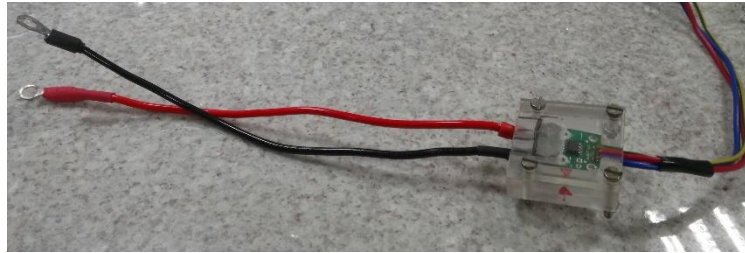
Fonte: Autor

Figura 4. Sensor de rotação e velocidade



Fonte: Autor

Figura 5. Sensor de corrente ACS715T



Fonte: Autor

Os sinais elétricos variam de forma analógica, sendo necessário o uso de um “tradutor” para fazer a conversão dos dados analógicos para digitais, de forma que o computador possa identificar esses dados. Isso é feito por um conversor analógico-digital (ADC). Utilizou-se sistema automático de aquisição de dados ADS 1800 da Lynx Tecnologia, disponível na Escola de Engenharia, para calibração dos sensores e condicionamento do sinal. A Figura 6 mostra o aspecto do condicionador.

Figura 6. Sistema de condicionamento e aquisição de dados ADS 1800



Fonte: http://www.lynxtec.com.br/prod_ads1800.htm

O gerenciamento da aquisição foi realizado pelo equipamento e um computador onde está instalado o *software* específico AqDados 7.02. A análise dos sinais foi realizada por outro *software*, também específico, conhecido por AqAnalysis 7.

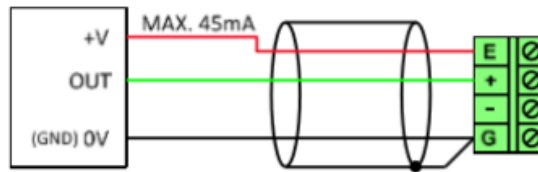
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Acelerômetro ADXL335

O ADXL335 é um acelerômetro de 3 eixos, de baixa potência, com saídas de tensão condicionada por sinal. O produto mede a aceleração com um intervalo mínimo de ± 3 g na

escala completa. Sua conexão no condicionador de sinal segue o recomendado pelo Manual do Usuário – ADS1800, conforme Figura 7 abaixo.

Figura 7. Conexão acelerômetro ADXL335



Fonte: Manual do Usuário – ADS1800.

A sensibilidade é um parâmetro que depende do fabricante. No caso em questão não foi possível ter acesso ao código do acelerômetro e tão pouco à sensibilidade do mesmo.

Para prosseguir com a calibração do sensor ADXL335, utilizou-se como referência um acelerômetro piezoelétrico ICP® Modelo 353B03, com sensibilidade conhecida e um *Shaker* PCB Modelo 344C06 para calibração de 1g RMS.

O procedimento de calibração segue o padrão sugerido no Manual de Operação de Acelerômetros Piezoelétricos ICP®, o qual descreve o esquema de montagem para comparação dos dados dos sensores. Diante da impossibilidade de fixação magnética, ou parafuso, o acelerômetro a ser medido foi fixado com cera sobre o acelerômetro de referência e este, por sua vez, fixado com cera na base do *shaker*, conforme Figura 8 abaixo.

Figura 8. Montagem do sensor ADXL335



Fonte: Autor.

Os dois sensores foram ligados ao sistema de aquisição. Como a vibração do *shaker* se mantém a um valor constante de 1g RMS, para uma frequência de 159,2 Hz, verificou-se que seria necessário alterar o valor registrado da sensibilidade no sistema, para que a aceleração fosse determinada corretamente. O valor da sensibilidade foi, então, alterado manualmente até se obter o valor mais próximo de 1g RMS. Este procedimento foi realizado para os três eixos “x”, “y” e “z” do acelerômetro ADXL.

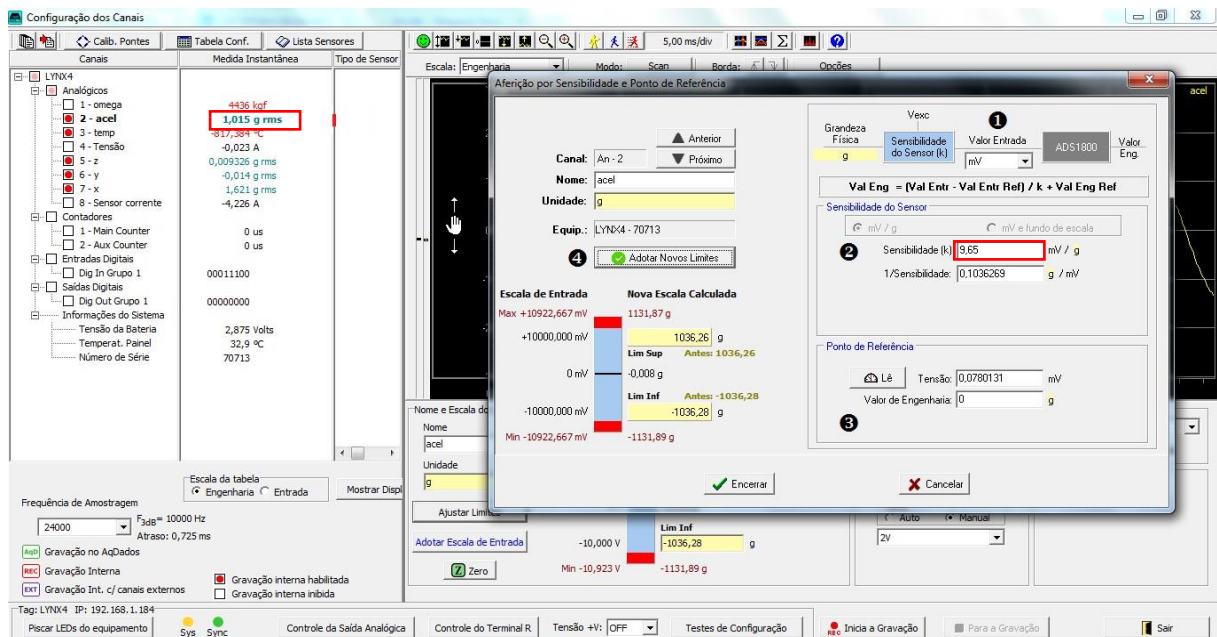
A sensibilidade do sensor de referência e do acelerômetro ADXL335 em cada eixo é mostrada na Tabela 1 e Figuras 9, 10, 11 e 12 a seguir:

Tabela 1 – Sensibilidade dos acelerômetros

Sensibilidade [mV/g]	
Acelerômetro ICP®	
9,65	
ADXL335	
x	760
y	722
z	625

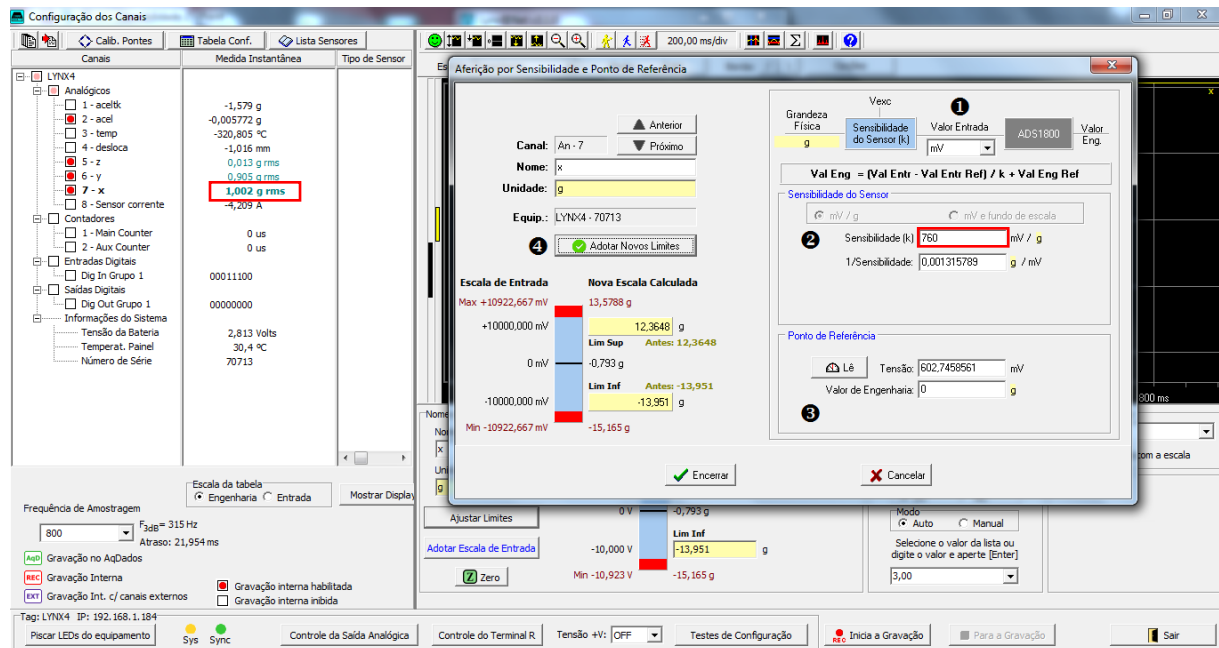
Fonte: Autor.

Figura 9. Sensibilidade do acelerômetro ICP®



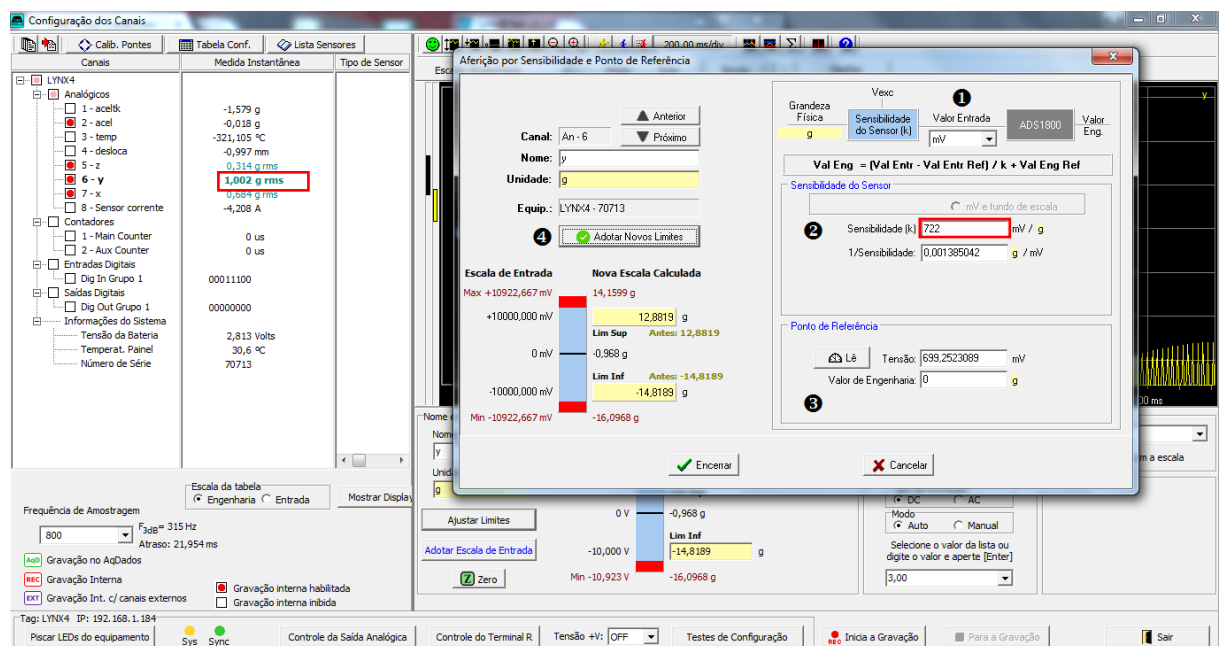
Fonte: Autor.

Figura 10. Sensibilidade eixo “x” do ADXL335



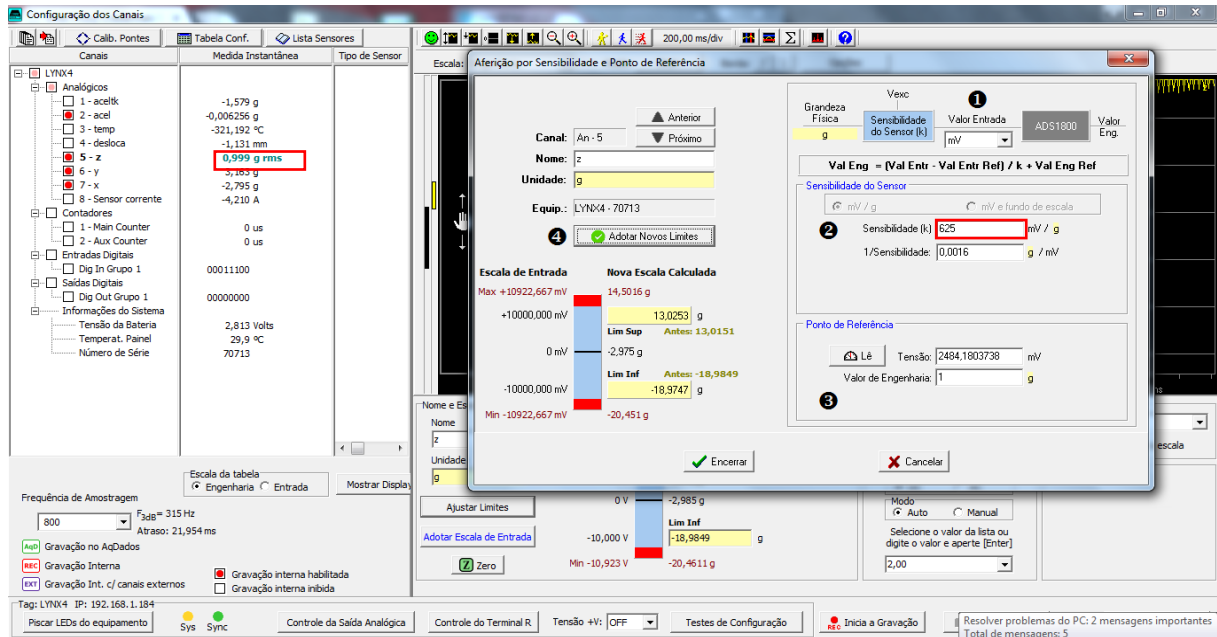
Fonte: Autor.

Figura 11. Sensibilidade eixo “y” do ADXL335



Fonte: Autor.

Figura 12. Sensibilidade eixo “z” do ADXL335

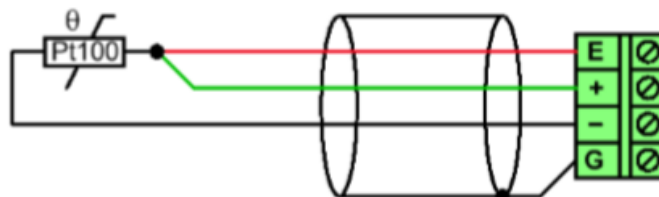


Fonte: Autor.

4.2. Sensor de temperatura PT100

Os sensores do tipo PT100 contêm um resistor ligado a uma ponte de que altera o valor da resistência conforme sua temperatura se altera. A conexão no sistema de aquisição foi realizada conforme indicado pelo Manual do Usuário – ADS1800, conforme Figura 13.

Figura 13. Conexão do sensor PT100.



Fonte: Manual do Usuário – ADS1800.

Para calibração do sensor de temperatura PT100 foi utilizado equipamento do fabricante Solotest para banho de imersão em água (Figura 14)., contendo um termômetro interno para referência, disponível no Laboratório de Química.

Figura 14. Equipamento para banho de imersão

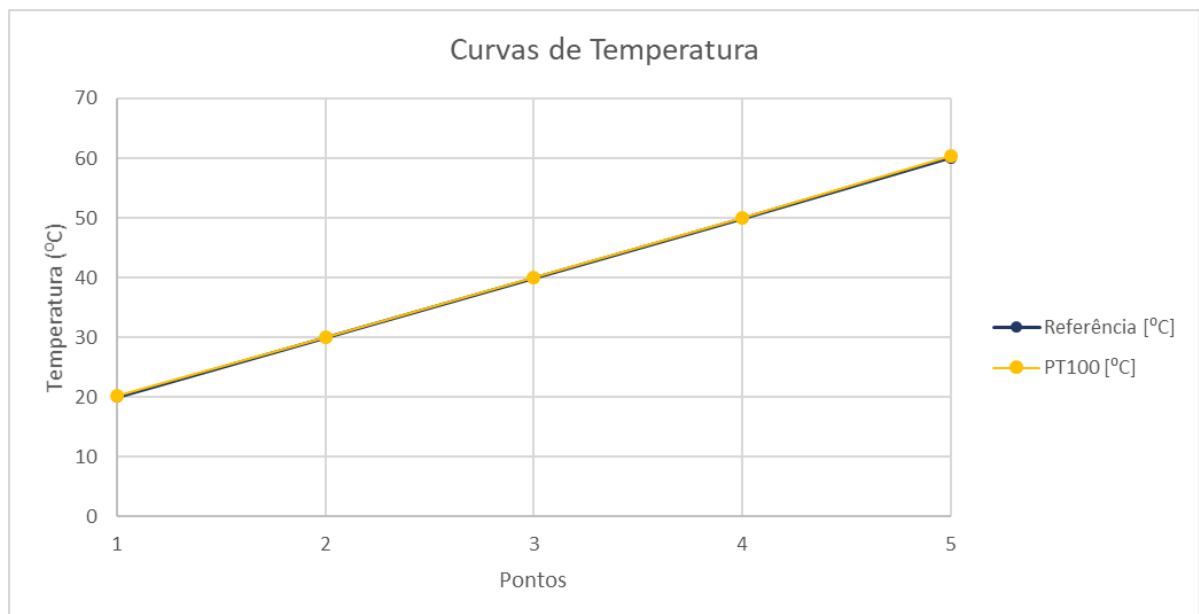


Fonte: Autor.

O sensor a ser aferido foi conectado ao sistema de aquisição e a temperatura foi alterada manualmente no equipamento de imersão, partindo de 20°C até 60°C. Foram elaboradas as curvas de variação de temperatura do sensor a ser calibrado e o de referência, para determinação do desvio em relação ao primeiro.

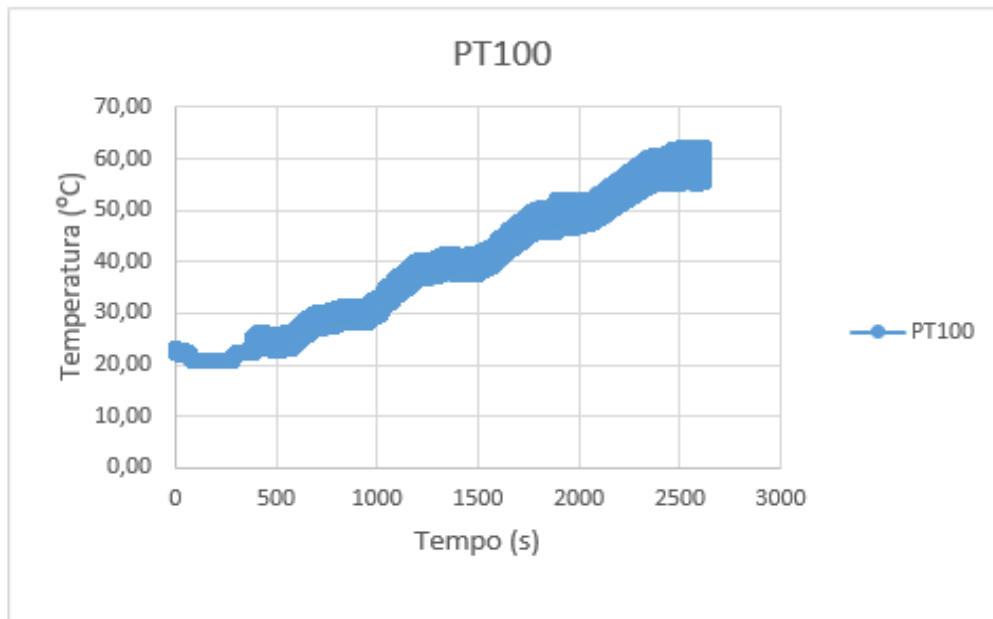
Os gráficos a seguir demonstram as curvas de temperatura por tempo do sensor PT100 e a comparação com os pontos registrados de temperatura de referência.

Gráfico 1 - Curvas de Temperatura



Fonte: Autor.

Gráfico 2 - Curva de Temperatura do PT100



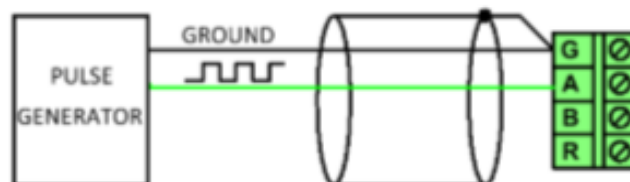
Fonte: Autor.

Observando-se a comparação entre os valores aferidos e os de referência, pôde-se verificar que o sensor estava devidamente calibrado e medindo as temperaturas adequadamente.

4.3. Sensor de rotação e velocidade

Este dispositivo funciona como um gerador de pulsos, composto pelo sensor e um ímã que aciona o primeiro por meio de uma chave *switch*. O sensor foi conectado ao sistema de aquisição como gerador de pulsos simples, conforme Figura 15 a seguir.

Figura 15. Conexão do sensor de rotação



Fonte: Manual do Usuário – ADS1800.

Este dispositivo foi calibrado utilizando-se um motor com rotação variável e um tacômetro digital para obtenção do valor de referência. O ímã de acionamento da chave do

sensor foi acoplado ao eixo do motor e o sensor afixado próximo ao eixo, conforme Figura 16 abaixo.

Figura 16. Montagem do sensor de rotação

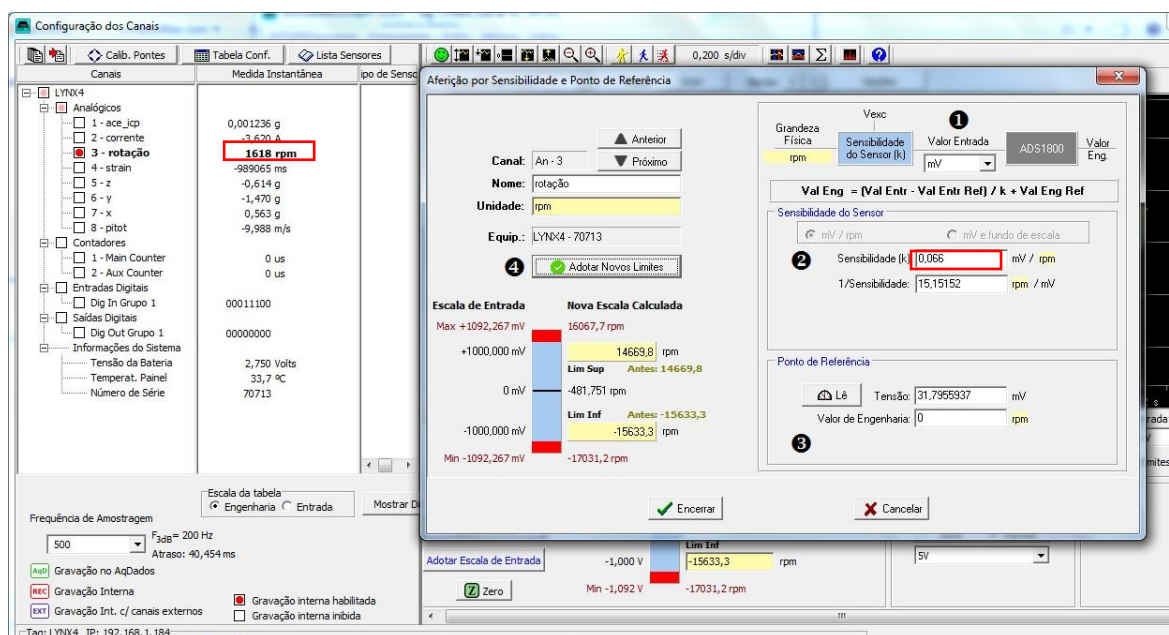


Fonte: Autor.

Tendo por base a rotação medida pelo tacômetro digital, ajustou-se a sensibilidade do sensor aferido por meio do sistema de aquisição para que apresentasse a mesma resposta em RPM.

A sensibilidade encontrada foi de 0,066 mV/rpm, conforme Figura 17 a seguir:

Figura 17. Sensibilidade do sensor de rotação



Fonte: Autor.

Para aferição de velocidade linear, o dispositivo deve ser instalado na roda do veículo em um diâmetro conveniente. A conversão dos pulsos em RPM para metros por segundo é calculada através da Fórmula 1 abaixo:

$$v = \frac{\pi \cdot \text{diâmetro} \cdot \text{RPM}}{60} \quad (1)$$

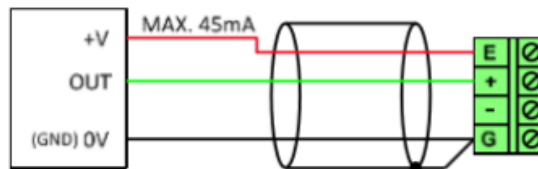
Calcula-se, dessa forma, a velocidade linear em metros por segundo, correspondente ao valor em rotações por minuto medido pelo sensor.

4.4. Sensor de Corrente ACS715

O sensor de corrente do tipo ACS715 consiste em um circuito Hall linear com um caminho de condução de cobre. A corrente aplicada que flui através deste cobre gera um campo magnético que é convertido em uma voltagem proporcional.

Este tipo de sensor é conectado ao condicionador de sinal como acelerômetro MEMS (Figura 18), conforme indicação do Manual do Usuário – ADS1800.

Figura 18. Conexão do sensor de corrente



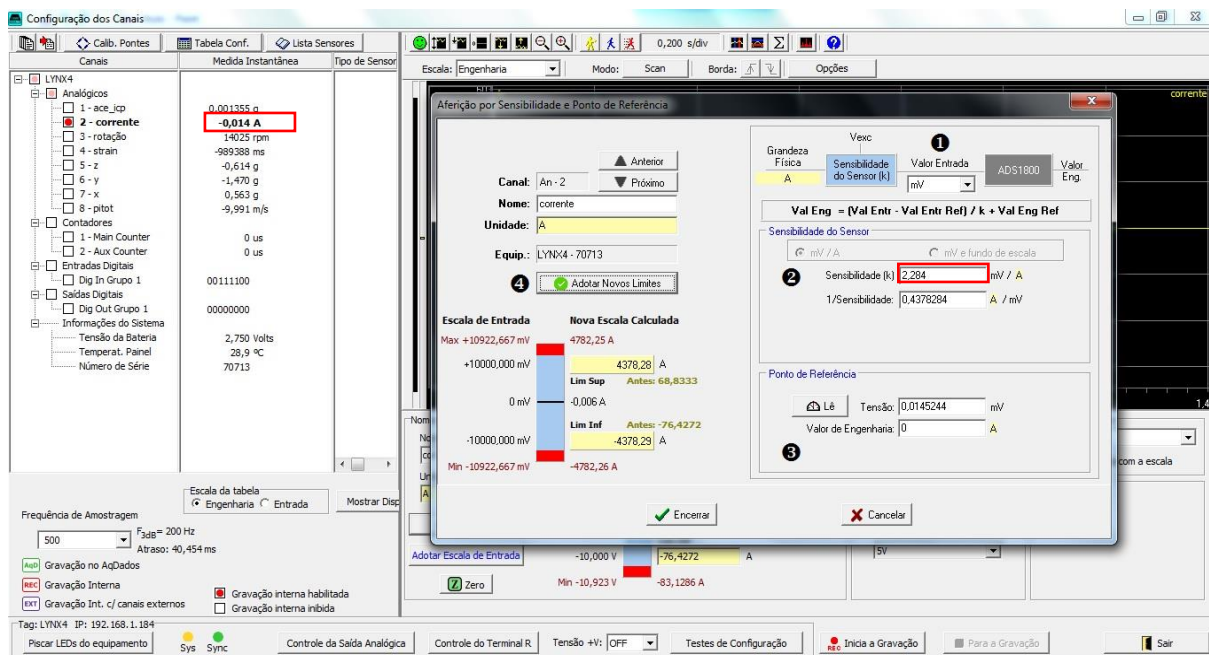
Fonte: Manual do Usuário – ADS1800.

Conectando-se o dispositivo a uma fonte de tensão e uma resistência conhecidos, é possível calcular a corrente correspondente por meio da Fórmula 2 a seguir:

$$U = R \cdot i \quad (2)$$

Dessa forma, a corrente apresentada é ajustada alterando-se a sensibilidade do sensor. A resposta encontrada foi de 2,284 mV/A, conforme Figura 19 abaixo:

Figura 19. Sensibilidade do sensor ACS715



Fonte: Autor.

Após a verificação do sinal dos sensores e determinação da sensibilidade dos mesmos, a configuração dos canais foi gravada no software do sistema de aquisição. Dessa forma, a realização de futuros testes no protótipo de veículo elétrico prescindirá de nova configuração.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu o estudo e análise de sistema de medição e aquisição de dados, de forma a compreender a importância da calibração da instrumentação, promovendo, desta maneira, dados confiáveis que servirão para conclusões científicas e tomadas de decisões.

O escopo principal teve por base a aferição e validação de dados de sensores de medição de diferentes parâmetros dinâmicos, visando a aplicação de conceitos de aquisição e análise de dados. A princípio, a validação dos dispositivos de medição permitiria a instrumentação do protótipo de eficiência energética para registro de desempenho, fornecendo medidas de comparação para trabalhos posteriores. Entretanto, devido a falhas técnicas no computador disponível para aquisição de dados, os testes no carro elétrico foram suspensos durante a execução deste trabalho.

Os dispositivos, no entanto, foram devidamente calibrados e a configuração dos canais consta registrada em arquivo, permitindo a utilização dos sensores em testes posteriores. Os procedimentos e resultados fornecidos neste projeto consistem, ainda, como base para validação de novos dispositivos e verificação de funcionamento dos já mensurados.

6. REFERÊNCIAS

ABVE. *Associação Brasileira do Veículo Elétrico*, 2017. Disponível em: <<http://www.abve.org.br>>. Acesso em 18 de março de 2017.

ANFAVEA. *Anuário da indústria automotiva Brasileira*, 2017. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/index.html>>. Acesso em 20 de março de 2017.

BRASIL. Lei n. 1310 de 15 de janeiro de 1951, cria o Conselho Nacional de Pesquisas. Art. 3, item c e d. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/1950-1969/L1310.htm>. Acesso em 15 de março de 2017.

GONÇALVES, W. M; HEINRICH, A.F; SARTORELLI, J. *Aquisição de dados com a porta de jogos de um microcomputador Apple*, Revista de ensino de física, v. 13, dez 1991, pag 63,76.

FERREIRA, J. M. A. D. *Sistema De Aquisição De Dados Para Um Veículo Elétrico*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

INMETRO. *Instituto Nacional de Pesos e Medidas*, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/>. Acesso em: 30 de março de 2017.

MANUAL DE OPERAÇÃO DE ACELERÔMETROS PIEZOELÉTRICOS ICP®. Disponível em: <<http://pcbmachining.com/ContentStore/mktg/Downloads/18405-NR%20Portuguese-Brazil.pdf>>. Acesso em 15 de março de 2017.

MANUAL DO USUÁRIO - ADS1800, Lynx Tecnologia. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/343089602/Manual-Do-Usuario-ADS1800-Rev9>. Acesso em 20 de setembro de 2017.

RÚBIO, A. *Eletrônica embarcada*. Revista CESVI, São Paulo, ano 15, n. 80, jul/ago,2012.

RIBAS, R. V; SOUZA, A, F. DE; SANTOS, N. *Um Sistema de Aquisição de Dados de Baixo Custo para o Laboratório Didático*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.20 n.3, set 1998.

SMAR. *Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados*, 2017. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados>>. Acesso em 20 de março de 2017.

SOUSA, D., F., DE; SARTORI, J.; BELL, M., J., V.; NUNES, L., A., O. *Aquisição de Dados e Aplicações Simples Usando a Porta Paralela do Micro PC*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n.4, dez 1998.

TEMPLUM CONSULTORIA Ilimitada. *A importância da rastreabilidade*, 2017. Disponível em: <<http://www.templum.com.br/>>. Acesso em: 30 de março de 2017.

WEBARTIGOS. *O que é calibração RBC*, 2017. Disponível em: <<http://webartigos.com/artigos/o-que-e-calibracao-rbc/97629>>. Acesso em: 30 de março de 2017.

Contatos: siqueira.taciana@gmail.com e fabio.raia@mackenzie.br.