

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Ana Helena Santos Stender

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA PARA TESTE DA RESISTÊNCIA INTERNA
DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO**

Santo André - SP

2024

Ana Helena Santos Stender

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA PARA TESTE DA RESISTÊNCIA INTERNA
DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior em Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, orientado pelo Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, como requisito parcial para a obtenção do título de tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André - SP

2024

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 de junho de 2024.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA PARA TESTE DA
RESISTÊNCIA INTERNA DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO” DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI _____

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO _____

SR. CIRILO SILVA _____

ALUNOS:

ANA HELENA SANTOS STENDER _____

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos, orientador e colegas de trabalho que me apoiaram e ajudaram na concretização de mais uma etapa da minha carreira profissional e vida. A todos, um sincero muito obrigado.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus pela proteção, saúde, discernimento e sabedoria que Ele me abençoa diariamente.

Agradeço à minha mãe pelo apoio em todos os momentos da minha vida, por nunca me deixar desistir de alcançar os meus objetivos e por estar presente em todos os momentos de conquistas e dificuldades.

Agradeço ao Professor Doutor Edson Caoru Kitani pela orientação do trabalho de conclusão e por todos os ensinamentos.

Além disso, agradeço aos meus colegas de trabalho que me doaram alguns minutos para explicar um tópico relacionado ao projeto que eu tinha dificuldade ou não possuía conhecimento.

Por último e não menos importante, agradeço a mim por acreditar no meu potencial.

*“Descobrir consiste em olhar para o que
todo mundo está vendo e pensar uma
coisa diferente”*

Roger Von Oech

RESUMO

A necessidade de modernização de veículos devido a questões de conforto, legislação, segurança e concorrência no mercado, trouxe consigo a elevação da quantidade de acessórios que dependem de uma fonte de energia para operar. Embora o alternador seja o principal provedor de energia para os sistemas eletrônicos e bateria de um veículo, ele depende da carga presente na bateria para ser iniciado. Por se tratar de um dispositivo químico, as baterias possuem vida útil determinada, que diminui a cada utilização. A má eficiência de uma bateria, além de comprometer o desempenho de sistemas elétricos, podem causar danos ao próprio alternador. O presente Trabalho de Conclusão de Curso, visa apresentar o objetivo, metodologia e resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto intitulado “Desenvolvimento de Plataforma para Testes da Resistência Interna de Baterias Chumbo-Ácido”. O objetivo deste projeto é testar e avaliar as condições de operação de baterias veiculares a partir do consumo de uma carga eletrônica conectada em série. Baseado nos dados desta simulação, será possível estimar, através de um programa criado no LabVIEW, o estado de saúde da bateria e assim analisar se ela continua apta para uso ou se já não entrega mais o desempenho necessário para alimentar o sistema.

Palavras-chave: LabVIEW. Teste Eletrônico de Baterias. Carga Eletrônica. Simulação.

ABSTRACT

The need to modernize vehicles for regulation, legislation, safety, and market competition has increased the number of accessories that depend on a power source to operate. Although the alternator is the leading supply of energy to a vehicle's electronic systems and battery, it depends on the charge present in the battery to start. When treating a chemical device, the batteries have a predefined and limited life, which reduces at each use. The greater efficiency of a battery and better performance of electrical systems can cause damage to the alternator itself. This Undergraduate Thesis aims to present the objective, methodology, and results obtained throughout the project entitled "Development of a Platform for Testing the Internal Resistance of Lead-Acid Batteries." This project aims to evaluate and evaluate the operating conditions of vehicle batteries based on the consumption of an electronic load connected in series. Based on the data from this simulation, it will be possible to estimate the battery's health status using a program created in LabVIEW and thus analyze whether it remains suitable for use or no longer delivers the performance required by the system.

Keywords: LabVIEW. Electronic Batteries Test. Electronic Load. Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração das partes encontradas no Museu Nacional de Bagdá. Especula-se que sejam partes de um tipo de célula eletroquímica.	17
Figura 2: Detalhes bateria chumbo-ácido.....	19
Figura 3: Curvas de descarga da bateria de lítio íon para várias taxas C	21
Figura 4: Gráfico da relação entre capacidade e resistência interna de baterias	23
Figura 5: Bancada de teste de alternadores	26
Figura 6: Driver de controle após atualizações	27
Figura 7: Microcontrolador PIC18F4550 da Microchip.	28
Figura 8: Amostra de uma tela com uma aplicação desenvolvida em linguagem LabVIEW.	29
Figura 9: Diagrama de blocos simplificado da aplicação proposta.	30
Figura 10: Etapa do circuito de condicionamento dos sinais de tensão da bateria e corrente consumida.	31
Figura 11: Circuitos dos filtros Passa Baixa para os sinais de controle da Carga Eletrônica e Inversor de Frequência.....	32
Figura 12: Circuito da Interface de condicionamento de sinais de tensão e corrente conectado na CPU FATEC.....	33
Figura 13: Diagrama de blocos simplificado do funcionamento do programa	34
Figura 14: Aba “dashboard” do painel de controle criado via LabVIEW	35
Figura 15:Diagrama de blocos do sistema de resistência interna	36
Figura 16: Primeiro bloco – inicialização das variáveis	37
Figura 17: Segundo bloco - inicialização do arquivo	38
Figura 18: Terceiro bloco - cálculo da tensão nominal	39
Figura 19: Quarto bloco: Leitura e escrita de sinais	40
Figura 20: Gráfico do comportamento da resistência interna da amostra (1) e (2) em relação ao tempo.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação dos objetivos alcançados entre as duas monografias referências	25
Tabela 2: Resultados primeiro teste com amostra (1).....	43
Tabela 3 Resultado teste com amostra (2).....	44
Tabela 4: Comparação entre trabalho desenvolvido e correlatos	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amperes
Ah	Amper-hora
CARSIM	<i>Car simulation</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAQ	<i>Data acquisition</i>
Dr. (a)	Doutor/ doutora
ECU	<i>Eletronic Control Unit</i>
ESP	<i>Espressif Sistem Platform</i>
FATEC	Faculdade de Tecnologia
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
LED	<i>Light-Emiting Diode</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
mV	Mili-volts
NI	<i>National Instruments</i>
OCV	<i>Open Circuit Voltage</i>
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
Prof. (a)	Professor / professora
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RC	<i>Reserve Capacity</i>
RPM	Rotação por minuto
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
V	Volts
VI	<i>Virtual instrument</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω

Ohm

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivo e Metas	15
1.2 Organização.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 História das Baterias	17
2.2 Conceito de Baterias Veiculares	18
2.3 Propriedade das Baterias.....	21
2.3.1 Capacidade Nominal	21
2.3.2 Capacidade Reserva	22
2.3.3 Tensão de Circuito Aberto	22
2.3.4 Tensão Nominal.....	22
2.3.5 Resistência Interna	22
2.4 Trabalhos Correlatos.....	23
3 DESENVOLVIMENTO.....	26
3.1 Bancada de teste de alternador	26
3.2 PIC 18F5550	28
3.2.1 PIC18F4550 versus concorrentes	28
3.3 LabVIEW	29
3.4 Estrutura do sistema	30
3.5 Desenvolvimento do Software de Análise	34
4 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4.1 Resultados obtidos.....	43
4.2 Comparação entre Sistema Desenvolvido e Trabalhos Correlatos.....	46
5 CONCLUSÃO	48
5.1 Propostas futuras	48
6 REFERÊNCIAS	50
7 APÊNDICE 1	52
8 ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A constante implementação de novas funcionalidades nos veículos é impulsionada pela necessidade de oferecer diferenciais tecnológicos que visam não apenas o conforto, mas também conectividade e segurança, contribuindo para o aumento da autonomia do veículo e atendimento das exigências legislativas. Essas melhorias são cruciais para atrair o cliente final em um mercado automobilístico cada vez mais competitivo.

Um dos elementos fundamentais para garantir o funcionamento adequado dessas tecnologias é o sistema de carga do veículo, responsável por alimentar todos os seus componentes elétricos e eletrônicos. A partida do motor, essencial para iniciar esse sistema, depende da geração de faísca nas velas de ignição, que é fornecida pela bateria quando o motorista vira a chave de ignição ou pressiona o botão de partida.

Portanto, é evidente que, sem a inicialização do motor proporcionada pela bateria, nenhum sistema eletroeletrônico do veículo funcionaria. Logo, é de suma importância assegurar que a bateria esteja operando corretamente, pois uma falha pode comprometer o funcionamento de todos os sistemas veiculares dependentes de ação eletrônica.

Por fim, investir na análise de desempenho da bateria é essencial para garantir a confiabilidade e o desempenho do veículo em todas as condições de uso.

1.1 Objetivo e Metas

O objetivo do projeto é viabilizar a análise da condição de operação de baterias veiculares a partir da delimitação dos valores de resistência interna encontrados utilizando uma carga eletrônica para reproduzir diferentes níveis de consumo. Além disso, o projeto visa contribuir com a melhoria contínua da bancada de testes de alternadores da instituição, a partir do aumento da versatilidade do equipamento para fins didáticos.

Serão considerados como metas e resultados desejados nesta monografia:

- Melhorar o *layout* construtivo do sistema existente;

- Instalar um novo controle eletrônico utilizando a placa da CPU FATEC em comunicação com o software LabVIEW;
- Instalar um novo amplificador de tensão para o *shunt* de corrente;
- Criar um programa (VI) no LabVIEW que seja capaz de ler sinais de tensão e corrente provenientes de um microcontrolador e escrever valores de corrente de acordo com a necessidade;
- Prover dados de tensão, corrente e resistência interna no programa LabVIEW a fim de analisar o desempenho da bateria em teste;
- Criar sistema *Hardware in the Loop* (HiL) para baterias automotivas.

1.2 Organização

O presente conteúdo encontra-se dividido em capítulos. O capítulo “2” é destinado às revisões bibliográficas com objetivo de lembrar conceitos que serão abordados ao longo da monografia.

Em seguida, o capítulo “3” descreve o desenvolvimento do projeto, a partir de explicações sobre os componentes e dispositivos utilizados, além do detalhamento técnico do processo de criação, escolhas de materiais e fabricação do protótipo.

O capítulo “4” é destinado aos testes práticos do sistema e análise de resultados, onde serão apresentados os dados adquiridos e calculados pelo software, além das classificações de desempenho obtidas. Neste capítulo, foram utilizadas diferentes amostras de baterias para análise da precisão de todo conjunto construído.

O capítulo “5” aborda a conclusão do projeto a partir dos dados obtidos no capítulo anterior e possíveis melhorias do sistema.

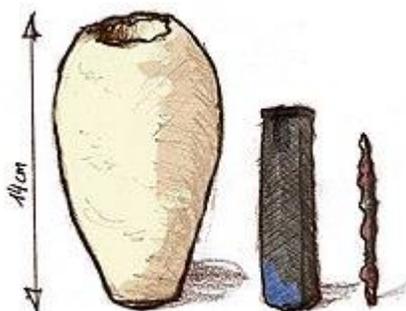
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As revisões presentes nesta monografia possuem objetivos de introduzir e relembrar os principais conceitos que foram empregados no desenvolvimento do projeto. Ao contextualizar e revisitar esses fundamentos teóricos, busca-se fornecer uma base sólida para a compreensão e análise do projeto em questão.

2.1 História das Baterias

Os primeiros indícios do surgimento da bateria iniciaram-se há dois milênios, entre 150 a.C. e 650 d.C., quando o povo iraquiano que, a partir da utilização de jarros de argila formados internamente de cilindro de cobre, um bastão de ferro e um líquido ácido, criaram uma fonte de energia conhecida como a Bateria de Bagdá (BATTAGLIN & BARRETO, 2011, P. 50). A figura 1 representa este artefato.

Figura 1: Ilustração das partes encontradas no Museu Nacional de Bagdá. Especula-se que sejam partes de um tipo de célula eletroquímica.



Fonte: extraído de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_de_Bagd%C3%A1>.

Os próximos estudos e experimentos baseados na criação de possíveis baterias seriam abordados apenas séculos depois. Em 1800, o físico italiano Alessandro Volta apresentou uma nova unidade de armazenamento. A pilha voltaica consistia em discos de zinco e prata alternados, separados por um papelão embebidos em água salobra, formando, literalmente, uma pilha. Após essa criação, outras invenções como as Pilhas de Daniel e as de Grove, intensificaram a crença de que tais protótipos se tornariam

popularmente conhecidos e utilizados devido aos resultados positivos em suas aplicações.

Em 1859, a primeira bateria recarregável funcional, nomeada chumbo-ácido, foi criada pelo físico francês Gaston Planté. Tal modelo, consistia em duas lâminas de chumbo separadas por tiras de borracha e enroladas em espiral. O tamanho da invenção capacitava o armazenamento de uma grande quantidade de energia.

Outro modelo bastante popular atualmente foi criado pelo químico americano Michael Stanley Whittingham e aperfeiçoado ao longo dos anos pelo físico americano John Bannister Goodenough e pelo químico japonês Akira Yoshino. Uma placa positiva composta por óxidos de cobalto e lítio, um material de alto potencial eletroquímico, sob uma lâmina de alumínio e outra placa negativa de carbeto de lítio depositada em uma lâmina de cobre envolvida com uma solução de sais de lítio formariam o que se conhece atualmente como bateria lítio-íon.

Os processos de desenvolvimento e aplicação das diferentes maneiras de se produzir baterias foram essenciais para o que se conhece hoje, principalmente para atender a demanda de produtos altamente tecnológicos lançados pelos diferentes ramos industriais que dependem do fornecimento de energia, a fim de mercantilizar conforto, eficiência e segurança.

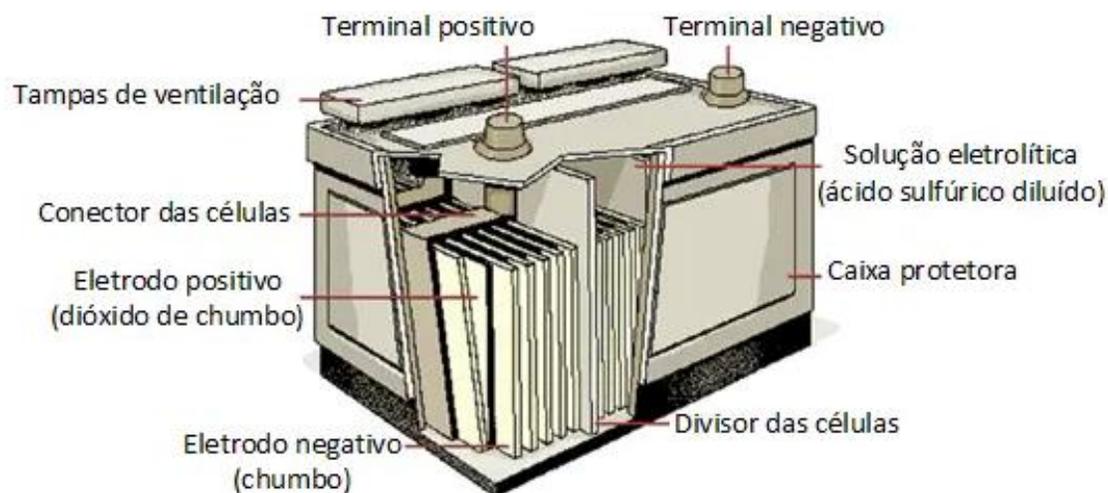
2.2 Conceito de Baterias Veiculares

A bateria veicular é uma unidade de armazenamento eletroquímica que possui a função de armazenar energia para alimentar o sistema eletroeletrônico do veículo quando o alternador não está em operação e, principalmente, auxiliar a partida do motor.

Internamente, uma bateria é constituída por células conectadas em série e formadas por blocos polares, sendo o lado positivo formado por dióxido de chumbo e o negativo por chumbo puro, mergulhados em uma solução eletrolítica que facilita a condução de corrente elétrica, normalmente chumbo-ácido ou lítio, e separadas por grades isolantes.

Durante a descarga da bateria de chumbo-ácido, ocorre o processo de oxidação do chumbo presente no terminal negativo, este material perde seus elétrons transformando-se em íons de chumbo. O processo libera os elétrons que são utilizados para alimentar cargas conectadas em série com a bateria. A seguir, a figura 2 representa os detalhes de uma bateria chumbo-ácido.

Figura 2: Detalhes bateria chumbo-ácido



Fonte: extraído de *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 8, p. 74–91, dez. 2014.

No acumulador chumbo-ácido, a reação de redução produz sulfato de chumbo a partir de dióxido de chumbo (CARNEIRO et al., 2017). Esse processo ocorre em conjunto com a liberação de íons de hidrogênio no eletrólito.

Já no processo de recarga, ocorre o inverso da descarga. Quando a bateria é conectada a uma fonte de corrente contínua, a corrente flui no sentido oposto, revertendo as reações. Os íons de chumbo são reduzidos, formando dióxido de chumbo, enquanto o chumbo oxidado é convertido em sulfato de chumbo. O processo é reversível e a operação de carga e descarga pode ser executada centenas de vezes (BOSCH, 2007). Nos veículos, a recarga ocorre a partir de uma peça comumente pertencente ao veículo chamada alternador.

A função principal do alternador é gerar energia para alimentar constantemente a bateria e ao mesmo tempo, alimentar todos os equipamentos eletroeletrônicos conectados no veículo. O alternador pode ser considerado como um conversor de energia mecânica para elétrica, pois ele atua no controle da tensão de entrada, níveis de operação e alimentação de sistemas com a finalidade de preservar o estado atual da bateria e aumentar o tempo de vida útil.

O modelo de bateria a ser utilizado em um veículo depende da sua necessidade. Veículos pesados necessitam de mais carga do que veículos leves, conseqüentemente, necessitam de um sistema com maior fornecimento de energia suprir com a demanda. A tensão nominal das baterias de partida é de 12V. Para formar os 24V necessários para sistemas elétricos de caminhões são necessárias duas baterias em série (BOSCH, 2005).

As baterias automotivas descarregam sendo consumidas ou não. Este fenômeno é conhecido como descarga espontânea e se origina por causa das reações eletrolíticas que ocorrem internamente como resultado do uso de antimônio, composto utilizado para endurecer as grades de chumbo, o que influencia no tempo de vida útil e possibilidade de recarga via alternador. Existem outros fatores que podem influenciar no tempo de vida da bateria, sendo eles: a composição das grades das placas, a temperatura, a idade da bateria e a umidade.

A vida útil de uma bateria automotiva é de aproximadamente dois anos. Existem sinais que indicam a melhor hora ideal de trocá-la, tais como: a dificuldade de dar partida no veículo, diminuição na intensidade dos faróis e movimentação lenta os vidros elétricos.

Como as substâncias que compõem a bateria são tóxicas e quando descartadas de maneira incorreta prejudicam o meio-ambiente. A gestão do descarte de baterias é realizada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução 401 de 2008 que deixa explícito o descarte como responsabilidade dos fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes do produto, a partir de coletas seletivas e destinação correta (CONAMA, 2022).

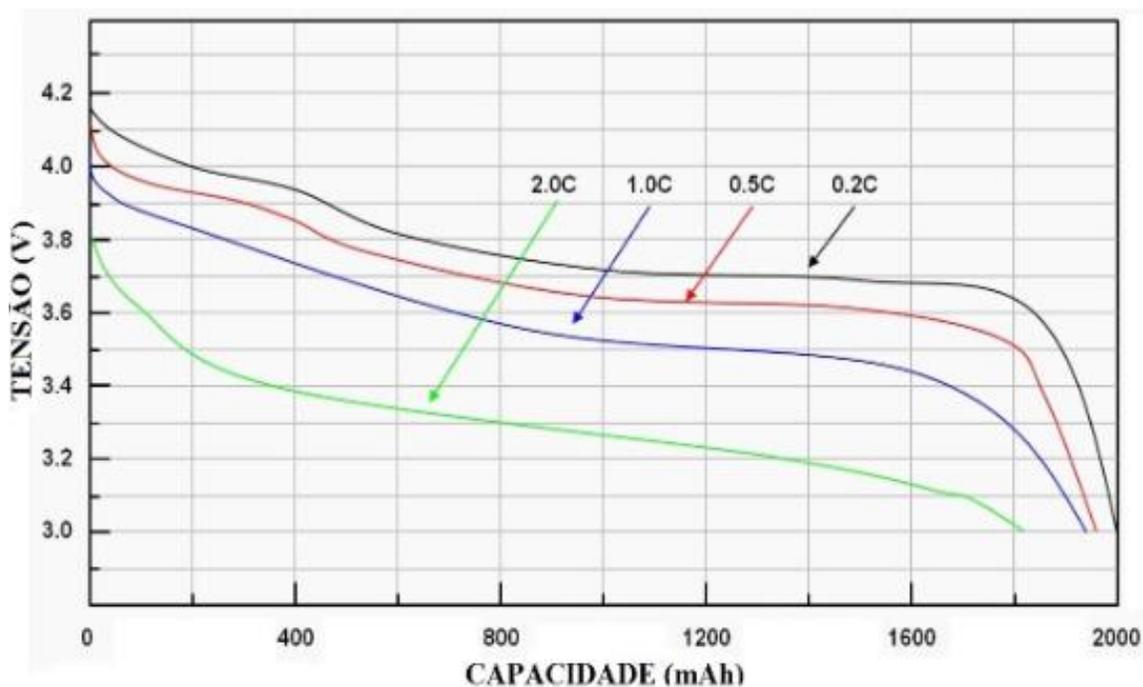
2.3 Propriedade das Baterias

As características operacionais das baterias são definidas pelas suas propriedades intrínsecas. Através da análise dessas propriedades, é possível determinar tanto os padrões de funcionamento, quanto possíveis anomalias. A seguir, destacam-se algumas dessas propriedades:

2.3.1 Capacidade Nominal

É a carga elétrica que a bateria consegue fornecer em determinadas condições. Esse valor é medido em Ampère-hora (Ah) (BOSCH,2007). A capacidade nominal pode ser classificada a partir da taxa *C-rate* que indica a capacidade de fornecimento de corrente durante um intervalo de tempo. A figura (3), indica as curvas de descarga da bateria de lítio-íon para várias taxas C.

Figura 3: Curvas de descarga da bateria de lítio íon para várias taxas C



Fonte: extraído de <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/como-descarregar-as-baterias-de-litio-ion>>

2.3.2 Capacidade Reserva

Conhecido como RC – *Reserve Capacity*, é o período tempo em minutos durante o qual uma bateria, completamente carregada, pode fornecer 25 A em 27°C, mantendo uma tensão de terminal de 1,75V ou maior por célula, 10,5V para uma bateria de 12V (BOSCH, 2007).

2.3.3 Tensão de Circuito Aberto

A tensão de circuito aberto, *Open Circuit Voltage* (OCV), como o próprio nome sugere, é o valor da tensão nos terminais nenhuma carga é aplicada (MIT, 2008).

2.3.4 Tensão Nominal

A tensão nominal da bateria como um todo resulta da multiplicação das tensões das células individuais pelo número de células conectadas em série. A tensão nominal das baterias de partida é de 12 V. (BOSCH, 2007).

2.3.5 Resistência Interna

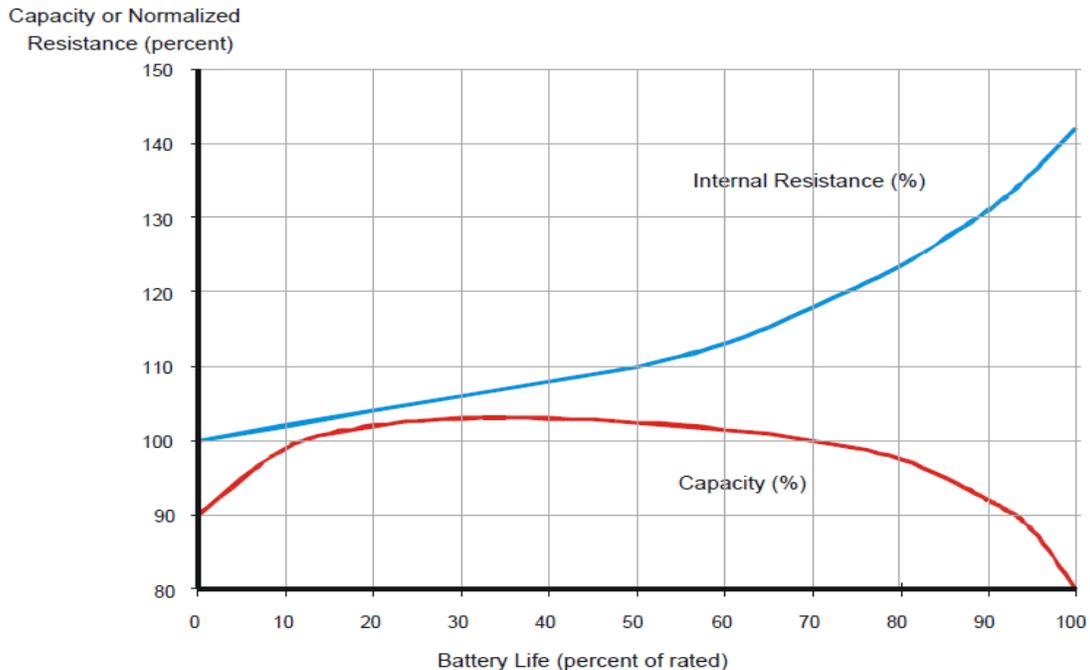
A resistência interna ou impedância de uma bateria, é um fator determinante no seu desempenho e conseqüentemente, na sua vida útil (CARNEIRO et al., 2017). Quanto menor essa resistência, mais eficiente é a transferência de energia da bateria para o dispositivo ou carga conectada a ela.

Diversos fatores podem influenciar este valor ôhmico, como a idade da bateria, seu nível de carga, temperatura e condições de uso. Uma resistência interna elevada pode resultar em perda de energia sob a forma de calor durante o carregamento e descarregamento da bateria, além de diminuir sua capacidade de fornecer corrente elétrica de maneira eficaz. Isso pode, conseqüentemente, afetar negativamente o desempenho da bateria e de sua vida útil.

A figura 4 ilustra graficamente a relação entre a capacidade da bateria e sua resistência interna ao longo do tempo. Nota-se que, à medida que a bateria se aproxima de 10% do seu percentual sua vida (*battery life*), ocorre um fenômeno inversamente proporcional entre a capacidade e a resistência interna. Conforme a capacidade diminui,

a resistência interna tende a aumentar refletindo uma eficiência reduzida no fornecimento de energia

Figura 4: Gráfico da relação entre capacidade e resistência interna de baterias



Fonte: extraído de <https://pt.linkedin.com/pulse/an%C3%A1lise-da-vida-%C3%BAtil-de-baterias-atrav%C3%A9s-resist%C3%Aancia-interna-rampazo>

2.4 Trabalhos Correlatos

O projeto trata da implementação de uma nova funcionalidade na bancada de testes que, a priori, foi resultado do desenvolvimento de dois projetos acadêmicos cujos temas estavam indiretamente relacionados com baterias de chumbo ácido.

O primeiro trabalho consultado foi proposto por (ARAÚJO & ZAVAN, 2014), onde foi desenvolvida uma carga eletrônica para atuar na bancada de testes de alternadores, substituindo o processo original puramente manual. A carga criada por (ARAÚJO & ZAVAN, 2014), constituía-se de dois grupos de transistores controlados em paralelo, projetados para emular duas resistências de carga ativa, e controlados por um DAQ NI USB-6009 conectado a uma máquina com um programa criado pelos autores no *software*

LabVIEW. Devido ao correto funcionamento da carga eletrônica e o êxito na *interface* entre *software* e *hardware* (carga eletrônica e inversor de frequência), foi possível submeter o alternador a diversos regimes de rotação e carga em tempos pré-determinados (ARAÚJO & ZAVAN, 2014).

No estudo conduzido por (OLIVEIRA, 2017), houve um refinamento do trabalho inicialmente realizado por (ARAÚJO & ZAVAN, 2014), resultando na otimização do tamanho da carga eletrônica e integração de um sistema de arrefecimento destinado à própria carga, visando evitar o superaquecimento dos transistores. Como objetivo principal do projeto foi desenvolvido um programa em LabVIEW capaz de realizar testes de forma manual ou automática em alternadores, a partir do controle da rotação do eixo e demanda de carga. Assim como em (ARAÚJO & ZAVAN, 2014), o controlador DAQ foi utilizado como interface de comunicação entre placa e programa. Contudo, para facilitar a interpretação dos sinais, foram acrescentados dois circuitos de leitura. O circuito de leitura de corrente foi utilizado para amplificar a corrente lida no resistor de *shunt* do circuito de potência. Esse resistor possui resistência de $750 \mu\Omega$ gerando uma tensão 75mV a cada 100 amperes, assim é necessário amplificar o sinal (OLIVEIRA, 2017). Já o circuito de leitura de tensão, foi utilizado um divisor de forma a respeitar os limites de leitura do DAQ.

Os trabalhos consultados deram a base conceitual e técnica necessárias para o desenvolvimento do projeto proposto nesta monografia. Entre os pontos relevantes que foram considerados para o projeto são:

- a. Capacidade de controle da carga eletrônica a partir de um driver sincronizado com os parâmetros solicitados em um programa criado via LabVIEW;
- b. Uso de *driver* de potência e um circuito de leitura de sinais de tensão e corrente;
- c. Desenvolvimento de um *software* apropriado para realizar o processamento das informações coletadas pelo *hardware*. Neste caso, deve-se definir qual linguagem utilizar para criar uma aplicação para rodar em um computador.

Por último, a tabela (1) a seguir apresenta uma comparação entre os objetivos e métodos empregados entre as duas monografias referências:

Tabela 1: Comparação dos objetivos alcançados entre as duas monografias referências

	ARAÚJO & ZAVAN,2014	OLIVEIRA, 2017
Objetivo do projeto	Desenvolver um sistema de teste de alternadores	Automatizar o sistema de teste de alternadores
Ferramentas disponibilizadas no projeto	Ensaio em diferentes faixas de rotação e consumo da carga (ARAÚJO & ZAVAN,2024)	Controle da rotação do eixo do alternador e demanda de carga imposta.
Aquisição de dados	Interface DAQ modelo USB6009	Interface DAQ modelo USB6009 conectada aos circuitos de leitura de tensão e corrente
Algoritmos de análise	Rotação, corrente, tempo	Rotação do alternador, tensão nominal e corrente nominal do alternador,
Modelagem de dados	Criado via LabVIEW. Leitura de tabela desenvolvida com valores de RPM e corrente em texto, conversão dos valores e envio para DAQ.	Criado via LabVIEW. Plataforma de ensaio manual e automático. Forma manual aplica carga a partir da escolha das cargas que serão aplicadas através da seleção de botões. Já a automática realiza o teste de todas as cargas

Fonte: Autor, 2024

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo, serão abordados os materiais empregados no projeto, destacando suas características particulares, e a esquematização do sistema, fornecendo uma compreensão da sua arquitetura e funcionamento.

3.1 Bancada de teste de alternador

Devido a disponibilidade de uma carga eletrônica, um *driver* de controle e a preparação para recepção de uma bateria pré-existentes, a bancada de teste de alternador modelo ECB 120A-12/24, figura 5, também foi utilizada no presente projeto assim como nos trabalhos correlatos. Para viabilizar a integração com o sistema de testes de baterias chumbo-ácido, foram necessárias algumas atualizações no conjunto.

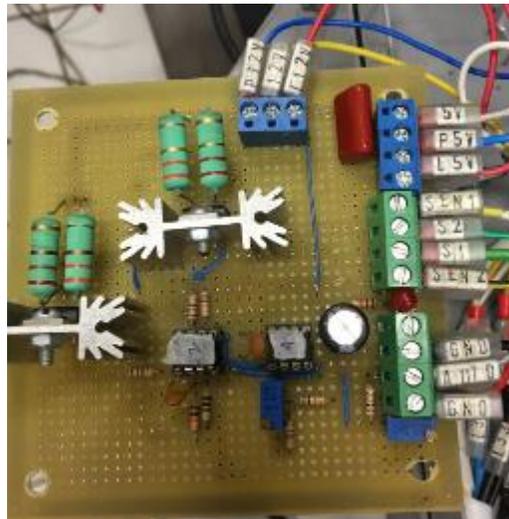
Figura 5: Bancada de teste de alternadores



Fonte: Autor, 2024

Como forma de melhorar o *layout* do *driver* de controle, os terminais positivos e negativos, que antes sobrecarregavam os bornes, foram separados. Um LED vermelho foi acrescentado a placa a fim de sinalizar a alimentação 12V. A oxidação do cobre ocasionou na substituição de alguns cabos e, por fim, todo o cabeamento foi novamente identificado. A Figura 6 apresenta o *driver* de controle após as atualizações.

Figura 6: Driver de controle após atualizações



Fonte: Autor

A fim de garantir o funcionamento dos componentes já existentes na bancada, os potenciômetros para controle manual de carga e chaves seletoras do modo manual e automático que estavam gastos foram alterados. Além disso, foi adicionada uma tomada para facilitar a comunicação com o *driver* de controle da carga situado dentro do painel da bancada.

Por último, para melhoria da carga eletrônica, foram corrigidos os vazamentos do sistema de arrefecimento, além de alterados a bomba e o próprio líquido de arrefecimento.

3.2 PIC 18F5550

O PIC18F4550, figura 7, é um microcontrolador de baixo custo utilizado em projetos de Internet das Coisas e desenvolvido pela empresa multinacional americana e conhecida pela diversidade de componentes no seu portfólio, *Microchip Technology*. Esta família de dispositivos oferece as vantagens de todos os microcontroladores PIC18 - ou seja, alto desempenho computacional a um preço econômico - com a adição de uma memória de programa *Flash* aprimorada de alta resistência (MICROCHIP, 2009).

Figura 7: Microcontrolador PIC18F4550 da Microchip.



Fonte: extraído de <https://www.microchip.com/en-us/product/pic18f4550>.

Para o projeto, o microcontrolador foi utilizado como intermediário de comunicação entre o circuito e a plataforma de análise de dados, a partir da conexão do *chip* via USB com a máquina onde o *software* se encontra. Em suma, aplicado no projeto, o PIC18F4550 possibilita a aquisição de dados provenientes da bancada e publicação de dados originários do programa LabVIEW.

3.2.1 PIC18F4550 versus concorrentes

Atualmente, o mercado global possui uma abundância de microcontroladores. A aplicação de cada modelo depende da demanda do projeto que se pretende aplicar o dispositivo. Em comparação com o PIC18F4550, os modelos que se destacam são os produtos Arduino Nano 33, *Raspberry Pi Pico* e ESP 32.

Devido a disponibilidade imediata e objetivo de aplicação, o PIC18F4550 foi escolhido como principal microcontrolador deste projeto.

3.3 LabVIEW

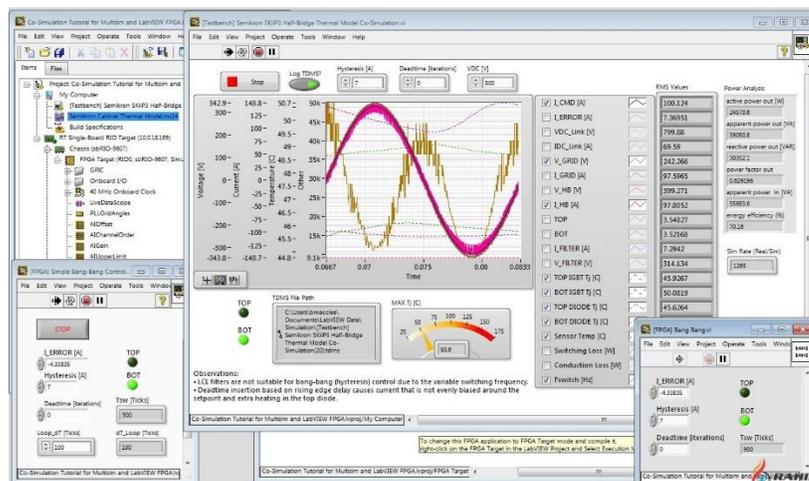
Criado pela *National Instruments*, o *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*, comumente conhecido como LabVIEW, é um *software* utilizado para desenvolver programas de forma visual utilizando blocos que representam funções ao invés de extensas linhas de código. Os programas são desenvolvidos conectando-se os blocos em um diagrama, criando assim um fluxo de dados.

Além de possuir uma *interface* lúdica, o LabVIEW é capaz de se integrar com uma ampla variedade de *softwares* e *hardwares*, como ECUs, multímetros e osciloscópios, possuindo diversas bibliotecas para comunicação com estes dispositivos.

Em relação ao presente projeto, a utilização do LabVIEW como ferramenta de programação proporcionou a otimização de linhas de código, possibilitou a criação de um painel de configurações que interage com o usuário e a análise dos dados de forma clara e sucinta.

A figura 8 representa a amostra de uma tela com uma aplicação desenvolvida em linguagem LabVIEW.

Figura 8: Amostra de uma tela com uma aplicação desenvolvida em linguagem LabVIEW.



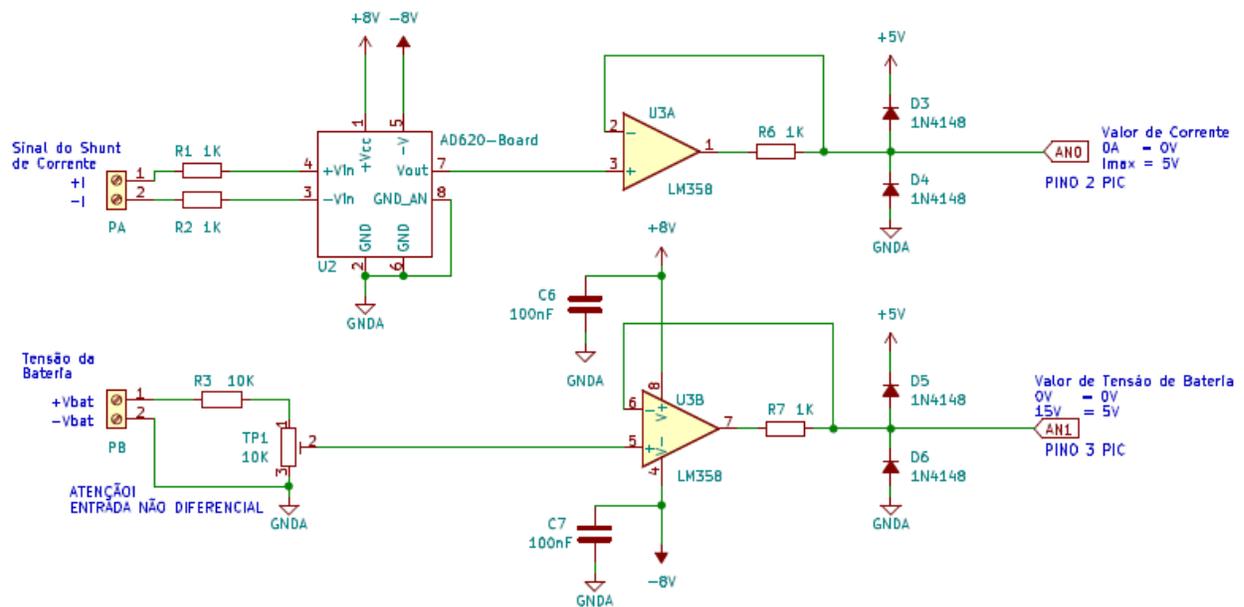
Fonte: extraído de LabView 2016 *Free Download* - Rahim soft (rahim-soft.com).

Como limite de tensão é de 5V, houve uma atenuação para medição da tensão de modo que os 5V na entrada analógica (AN1) representem 15V e 5V na entrada analógica (AN0) representem 100A. É importante destacar que, no caso da medição de tensão da bateria, foi implementado um atenuador e, para medição da corrente foi necessário desenvolver um amplificador, pois ela é medida indiretamente através de um resistor *shunt*, cuja relação é de 100A para 75mV.

A figura 11 ilustra a etapa do amplificador do sinal da corrente (U2) e atenuador de tensão (R3, TP1). Observa-se que foi implementado em ambos os casos um seguidor de tensão (U3A e U3B) para que garantir o casamento das impedâncias e o limite de tensão na saída através de um grampeador. Além disso, o próprio seguidor de tensão garante na saída a mesma tensão de entrada.

Abaixo figura 10 representa o diagrama de circuito de condicionamento dos sinais de tensão da bateria e corrente.

Figura 10: Etapa do circuito de condicionamento dos sinais de tensão da bateria e corrente consumida.

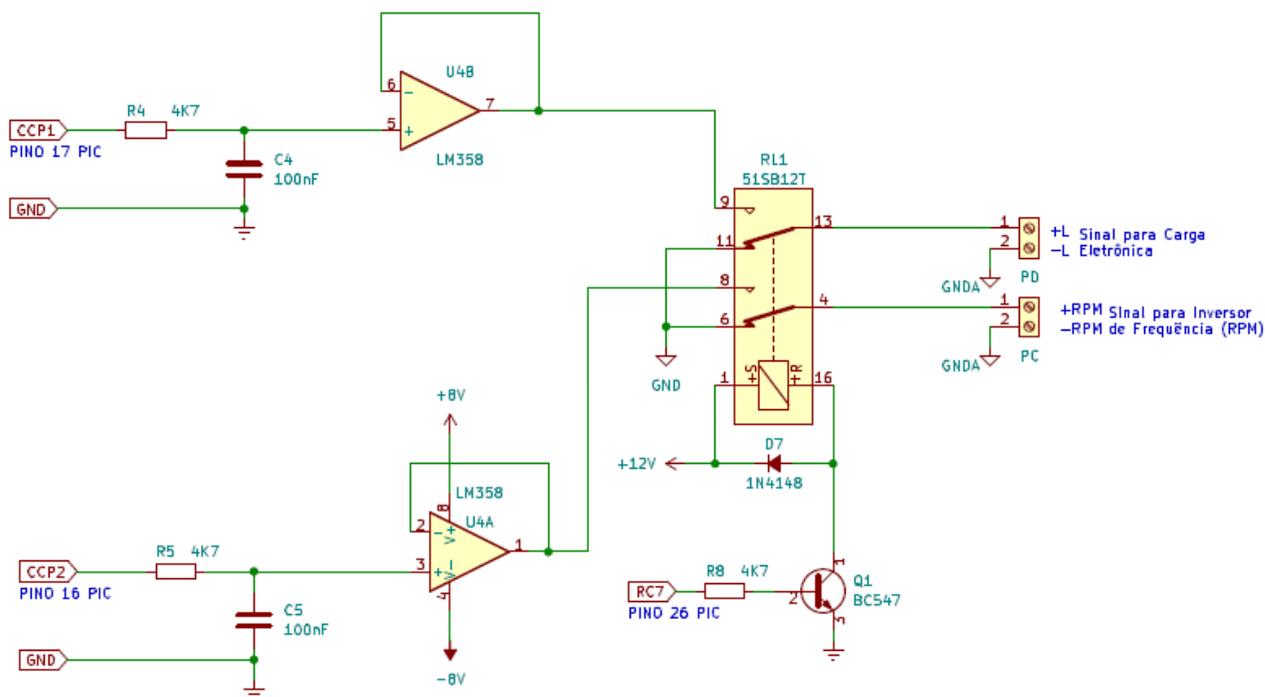


Fonte: Autor.

O controle da carga eletrônica, desenvolvido previamente por (OLIVEIRA, 2017), foi implementado via sinal de PWM vindo da CPU FATEC. Na *interface* que foi desenvolvida temos o circuito de um filtro passa baixa que extrai o nível de tensão propor

cional à 0 – 5V para um controle de consumo de corrente de 0 – 100 A. O sinal de tensão filtrado saindo do U4B passa por um relé de liberação e vai para o borne de saída para ser ligado na carga eletrônica da bancada de testes. A figura 11 ilustra a fonte de alimentação simétrica para alimentar os amplificadores operacionais. O esquema completo encontra-se no Apêndice I.

Figura 11: Circuitos dos filtros Passa Baixa para os sinais de controle da Carga Eletrônica e Inversor de Frequência.



Fonte: Autor

É importante destacar que, neste projeto, o controle do Inversor de Frequência não foi implementado como nos projetos correlatos, pois não há necessidade para o projeto de teste de baterias, mas foi instalado o *hardware* para projetos futuros.

A figura 12 ilustra montagem final da *interface* sobre a CPU-FATEC já em funcionamento.

Figura 12: Circuito da Interface de condicionamento de sinais de tensão e corrente conectado na CPU FATEC.



Fonte: Autor

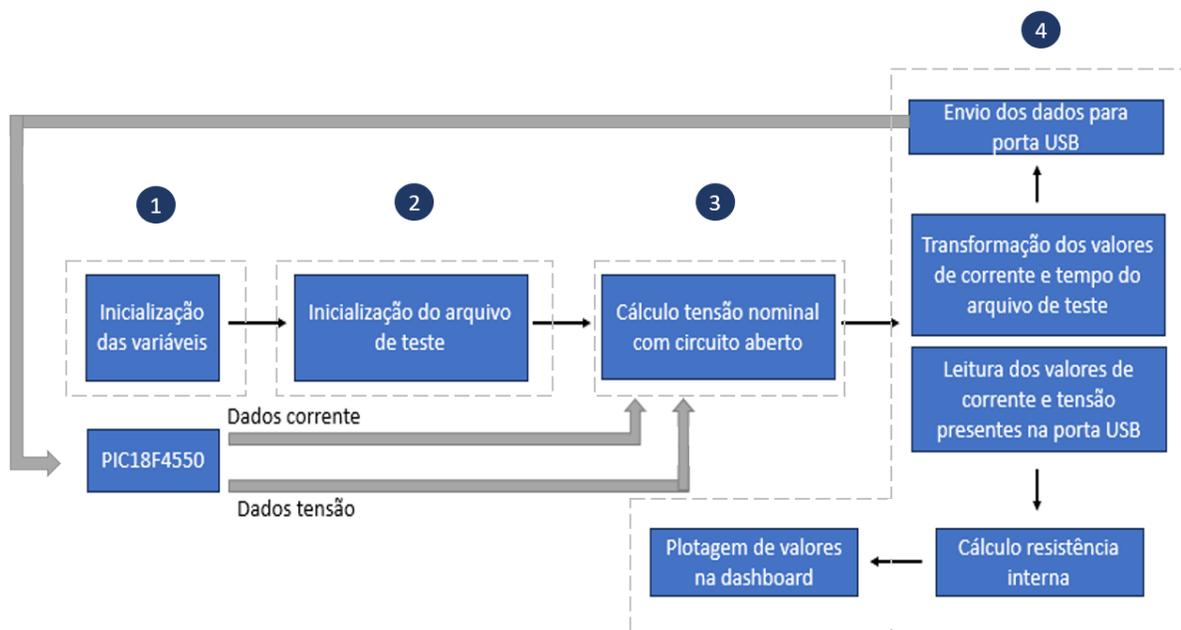
Por fim, o último bloco (3) é destinado à análise e apresentação dos dados obtidos utilizando o LabVIEW. Devido a disponibilidade de uma versão gratuita e didática, utilizando o *software*, foi possível criar um programa que realiza a leitura dos dados recebidos pelo PIC via USB, converte os *bits* em representações numéricas de tensão e corrente, apresenta de forma gráfica as informações adquiridas e envia para a carga através de sinais o valor de corrente desejado para simulação.

3.5 Desenvolvimento do Software de Análise

Conforme previamente mencionado, o *software* para controle da carga eletrônica foi desenvolvido utilizando o LabVIEW. Seu propósito é avaliar o desempenho de uma bateria a partir do controle do consumo de corrente de uma carga eletrônica pré-definida, conforme as exigências configuradas pelo usuário. Além disso, o programa coleta dados de propriedades relevantes sobre o desempenho da bateria, calcula a resistência interna e gera gráficos que representam a evolução dessas variáveis ao longo do tempo e conforme a variação da corrente.

A figura 13 representa em um diagrama de blocos o funcionamento simplificado do programa.

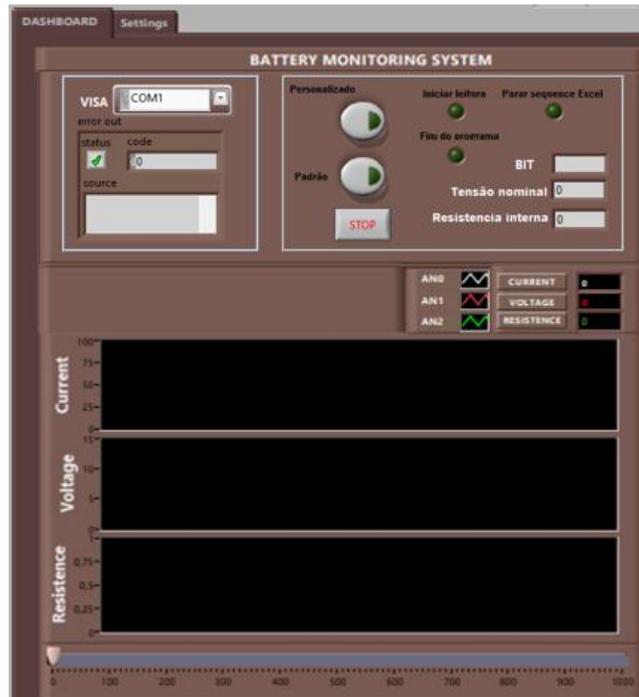
Figura 13: Diagrama de blocos simplificado do funcionamento do programa



Fonte: Autor.

A Figura 14 refere-se ao painel principal criado no *software* e que pode ser administrado pelo usuário. Na aba “*dashboard*”, é possível configurar o programa de acordo com as preferências e acompanhar os valores que estão sendo enviados e adquiridos.

Figura 14: Aba “*dashboard*” do painel de controle criado via LabVIEW



Fonte: Autor

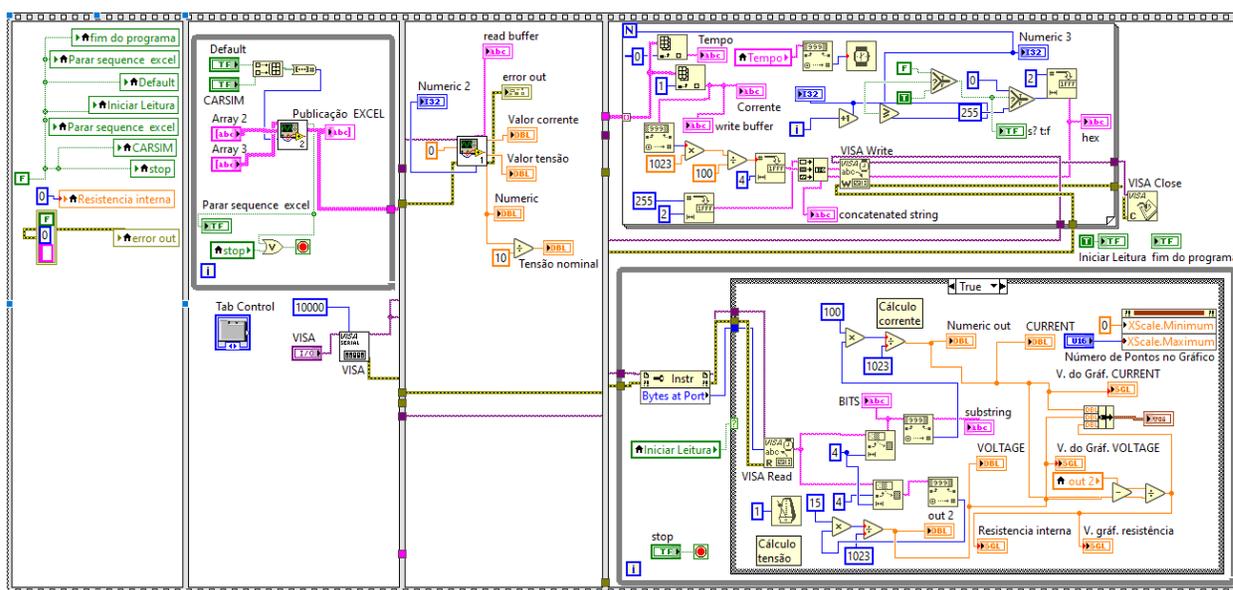
A configuração do programa inicia-se a partir da escolha da porta serial correta (VISA) onde o PIC encontra-se conectado via USB com o computador. Caso a porta informada não seja a de acordo, uma mensagem de erro aparecerá no campo “Mensagem de erro”.

Em seguida, deve-se escolher entre os botões “Personalizado” ou “Padrão” que são responsáveis pelo início do programa. A explicação sobre a diferença entre botões será abordada ainda neste capítulo. O botão “*stop*”, caso pressionado, interrompe a execução do código a qualquer momento.

Os gráficos plotam os dados aqisitados pelo microcontrolador em segundos. É importante salientar que estes dados passam por um tratamento para conversão em grandezas legíveis, uma vez que as mensagens são recebidas entre 0 a 1023 *bits*. A barra no final do painel controla a escala de tempo dos gráficos.

Para que esta *interface* de controle funcione, é necessário que um programa desenvolvido através da conexão de blocos seja executado. Na figura 17, é possível visualizar o programa que controla o painel. O diagrama pode ser encontrado em maior escala na seção Apêndice.

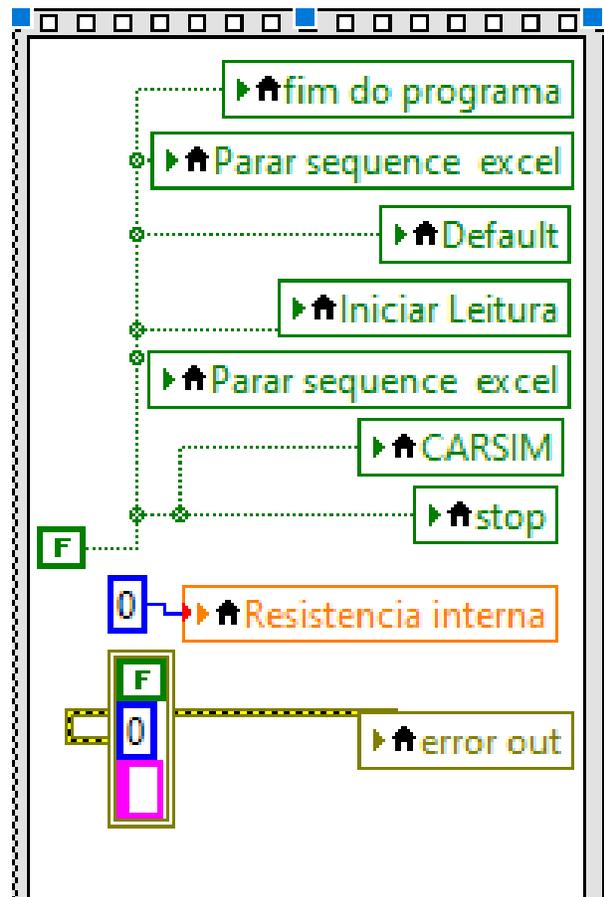
Figura 15:Diagrama de blocos do sistema de resistência interna



Fonte: Autor

O programa consiste em uma sequência de 4 blocos principais. A figura 16 apresenta o primeiro bloco (1) que é destinado a inicialização das variáveis locais presentes no programa. Neste caso, todas iniciam nulas.

Figura 16: Primeiro bloco – inicialização das variáveis



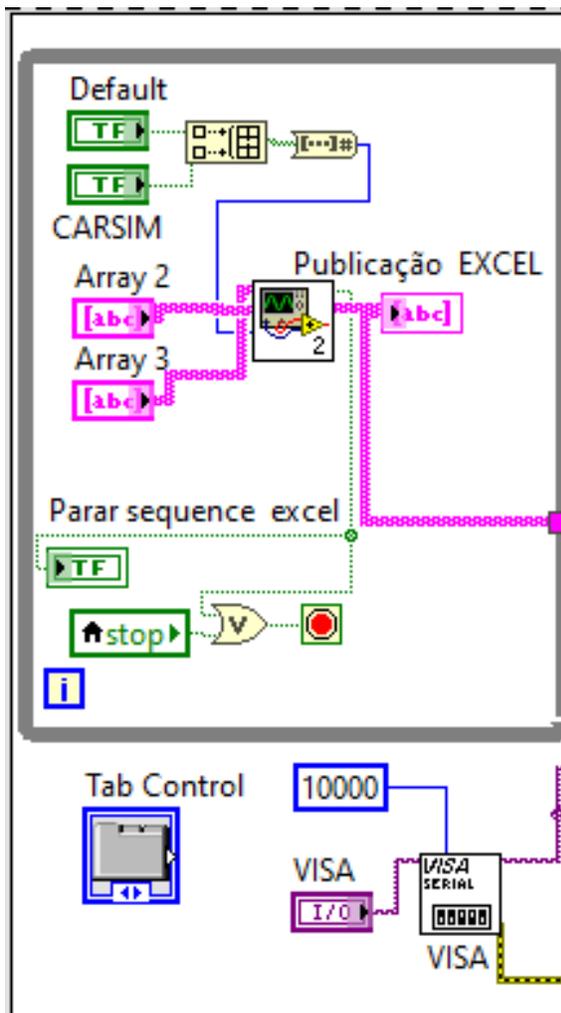
Fonte: Autor.

O segundo bloco (2) é destinado à execução do arquivo contendo o tipo de simulação desejada pelo usuário no painel frontal. Neste caso, existem duas opções disponíveis. A opção “Personalizado” possibilita a personalização dos valores de corrente e tempo que serão aplicados na carga a partir de uma planilha Excel. Ao pressionar o botão, o programa pedirá para o usuário escolher o arquivo onde estes dados se encontram, após esta etapa, o arquivo será disponibilizado no LabVIEW.

Já na opção “Padrão”, os valores já se encontram previamente configurados, não sendo possível a personalização dos valores de tempo e corrente. Caso o segundo botão seja pressionado, o programa não solicitará diretório para algum arquivo.

A figura 17 representa o segundo bloco. Por questões de otimização de espaço, o diagrama de blocos responsável pela disponibilização dos arquivos foi reduzido a uma Sub-VI que também poderá ser encontrada na seção “Apêndice” desta monografia.

Figura 17: Segundo bloco - inicialização do arquivo

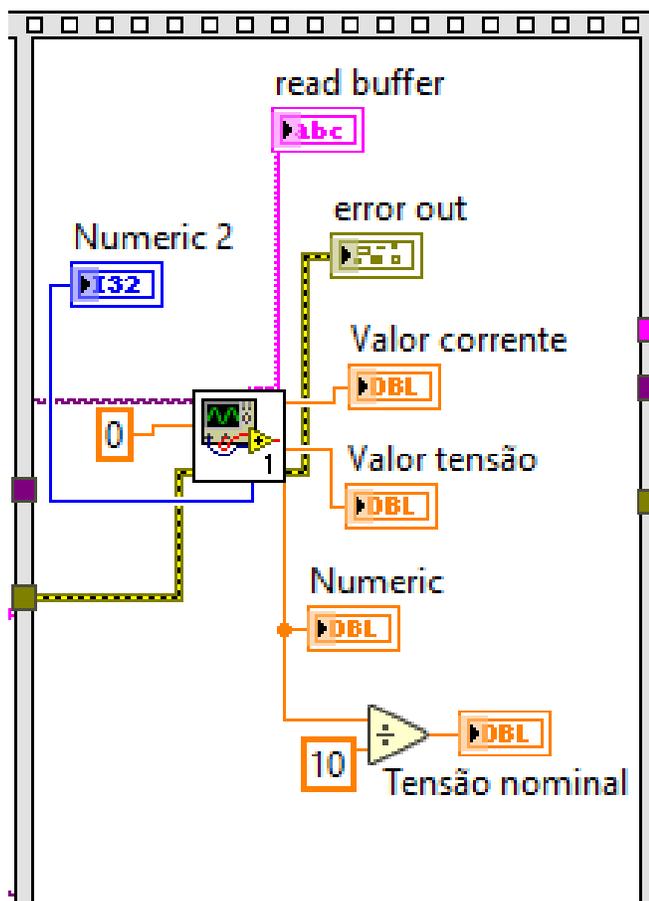


Fonte: Autor

A conversão de *bits* para tensão ocorre propositalmente no terceiro bloco (3), figura (19), a fim de se calcular o valor atual da tensão nominal com o circuito aberto, ou seja,

sem a influência de uma carga, de modo a servir como parâmetro para o cálculo da resistência interna nos blocos posteriores, conforme as equações descritas na página 42.

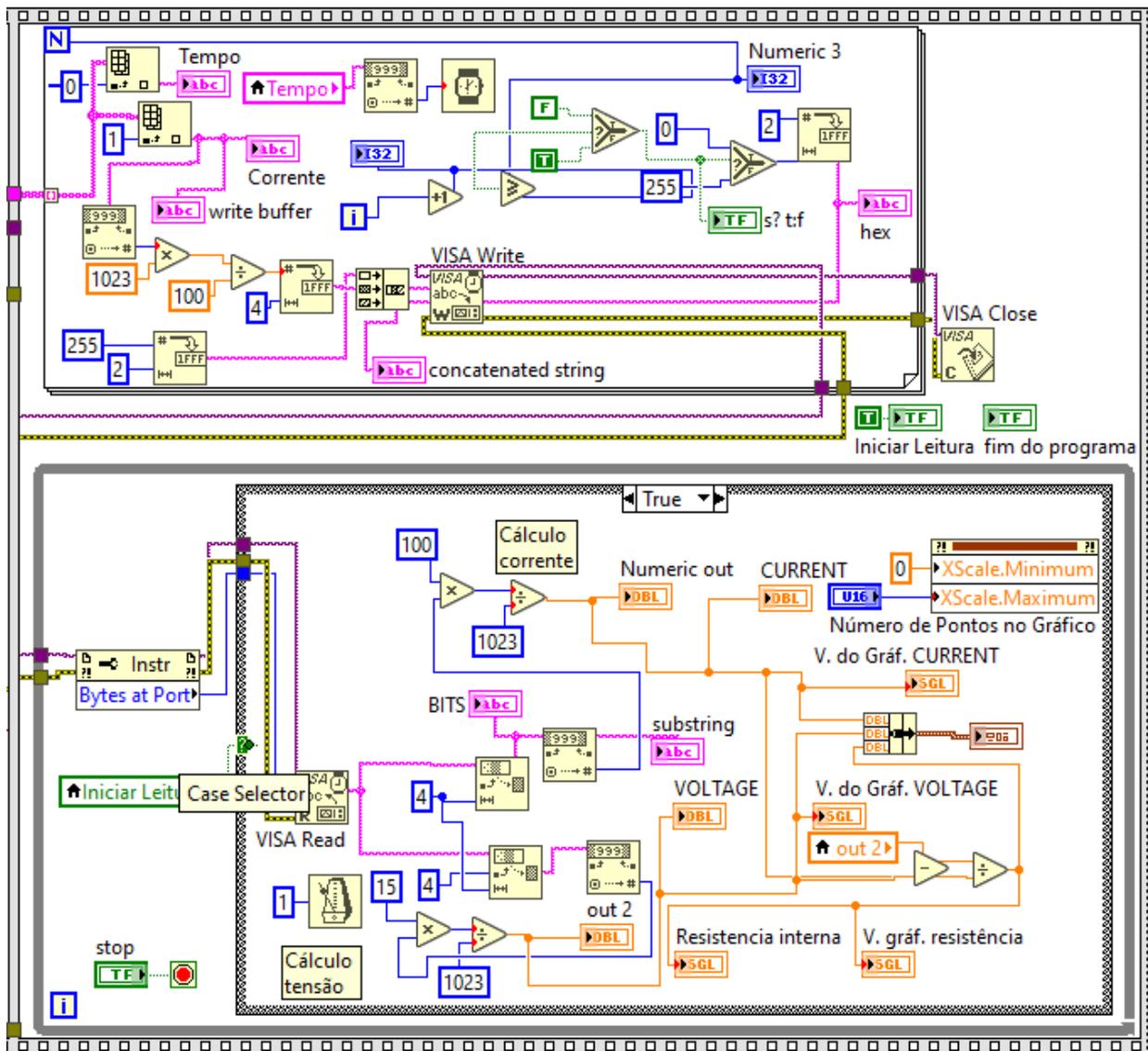
Figura 18: Terceiro bloco - cálculo da tensão nominal



Fonte: Autor.

No quarto e último bloco (4) são iniciados um laço *for* e um *while* ao mesmo tempo. O laço “*for*”, primeiro quadrante da figura 19, realiza a leitura e separação dos valores de corrente e tempo presentes no arquivo de acordo com o botão pressionado pelo usuário na inicialização do teste. É importante salientar que independente dos arquivos, os dados estão em formato decimal e o microcontrolador não é capaz de ler esta grandeza. Logo, a conversão para hexadecimal é necessária antes de escrever o dado.

Figura 19: Quarto bloco: Leitura e escrita de sinais



Fonte: Autor

Após a conversão, os valores são concatenados em uma *string* de 8 *bytes* e enviados para serem escritos na porta USB (*VISA Write*). Os dois primeiros *bytes* são destinados aos LEDs da CPU FATEC, estes LEDs não são diretamente relacionados ao programa, porém é necessário enviar alguma informação para eles. O segundo e terceiro *byte* são destinados aos valores de tensão e corrente que serão escritos sequencialmente para que o microcontrolador possa realizar a leitura e controle de carga. Os últimos *bytes* são destinados a ativação e desativação do PWM. Ao iniciar a escrita de variáveis, o PWM é ativado e desativado após a publicação do último valor. A quantidade de dados a serem convertidos e publicados é diretamente proporcional a quantidade de valores disponíveis no arquivo escolhido pelo usuário.

Já o laço *while* é destinado a leitura dos sinais da carga. Os dados enviados pelo microcontrolador são adquiridos a partir da porta serial configurada. Em seguida, os *bits* são separados, convertidos em corrente e tensão, e enviados para plotagem nos gráficos presentes no painel principal. Em paralelo, a resistência interna é calculada e transposta para cada ponto de tensão e corrente aquisitados a partir da fórmula:

$$R_{in} = \frac{\Delta v}{i},$$

A equação da Lei de Ohm ajustada para medir a resistência interna resultará em:

$$R_{in} = \frac{T_{bat} - T_{aquisitado}}{I_{Load}},$$

onde:

- T_{bat} – Valor da tensão nominal simulado em circuito aberto e calculado no bloco 2 do programa utilizando como referência sete medidas.
- $T_{aquisitado}$ – Valor da tensão aquisitada em relação ao valor de corrente enviado.
- I_{Load} – Valor de corrente enviado pelo último bloco do programa e de acordo com as especificações do usuário.

4 TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como parte do pré-teste, uma fonte de alimentação de bancada foi conectada ao sistema, desempenhando o papel de carga. O objetivo primordial foi verificar a operação integrada do *hardware* e do *software* em ação, garantindo que o conjunto funcionasse conforme planejado. Os resultados foram evidenciados pela observação da variação dos valores de corrente, conforme solicitado, no visor da fonte e assim confirmando funcionamento pré-adequado do sistema

Para conduzir os testes dinâmicos utilizando a carga, foram empregadas duas amostras de baterias chumbo-ácido de 12V e 60A, cada uma apresentando diferentes comportamentos de desempenho. A amostra (bateria usada) denota uma bateria com desempenho mediano, enquanto a amostra (bateria nova) caracteriza uma bateria com alto desempenho devido ao seu estado de conservação.

O modo de teste utilizado para os dois casos foi o “Personalizado”, onde os valores de tempo e corrente são configurados pelo próprio usuário. Para o teste em questão, foram configurados sete pontos de tempo e corrente em uma planilha Excel. Devido a limitação ao valor máximo de corrente suportada pela bateria, foram escolhidos valores de corrente até 60A. Em relação ao tempo, para evitar lentidão do sistema, foram utilizados valores até no máximo 10 segundos.

4.1 Resultados obtidos

Para o primeiro teste, a amostra (bateria usada) foi escolhida para ser conectada ao sistema. Em relação a captação do valor da tensão nominal em circuito aberto, foi registrado um valor médio de 12,25V. Já o valor da resistência interna em relação a carga aplicada via programa variou entre 0,014625Ω e 0,044 Ω, valores de resistência considerados baixos para os parâmetros aquisitados. A tabela 2 apresenta todos os resultados obtidos no primeiro teste com a amostra (bateria usada).

Tabela 2: Resultados primeiro teste com amostra (bateria usada)

Teste	Corrente Aplicada	Tensão nominal	Tensão bateria	Resistência interna
1	80	12,42	11,25	0,014625
2	70	12,43	11,36	0,015286
3	60	12,45	11,46	0,0165
4	50	12,46	11,60	0,0172
5	40	12,49	11,72	0,01925
6	30	12,53	11,85	0,022667
7	20	12,53	12,04	0,0245
8	10	12,63	12,19	0,044

Fonte: Autor, 2024.

O segundo teste foi conduzido utilizando a amostra (bateria nova). A leitura da tensão nominal registrou aproximadamente 12,65V, um valor superior ao registrado no primeiro teste devido ao estado de conservação da bateria, uma vez que nunca havia sido aplicada em um sistema. Já os valores de resistência interna variaram entre 0,013625 Ω e 0,035 Ω , conforme apresentado na tabela (3).

Tabela 3 Resultado teste com amostra (bateria nova)

Teste	Corrente Aplicada	Tensão nominal	Tensão bateria	Resistência interna
1	80	12,66	11,57	0,013625
2	70	12,67	11,65	0,014571
3	60	12,67	11,76	0,015167
4	50	12,67	11,89	0,0156
5	40	12,67	11,99	0,017
6	30	12,67	12,12	0,018333
7	20	12,69	12,25	0,022
8	10	12,79	12,44	0,035

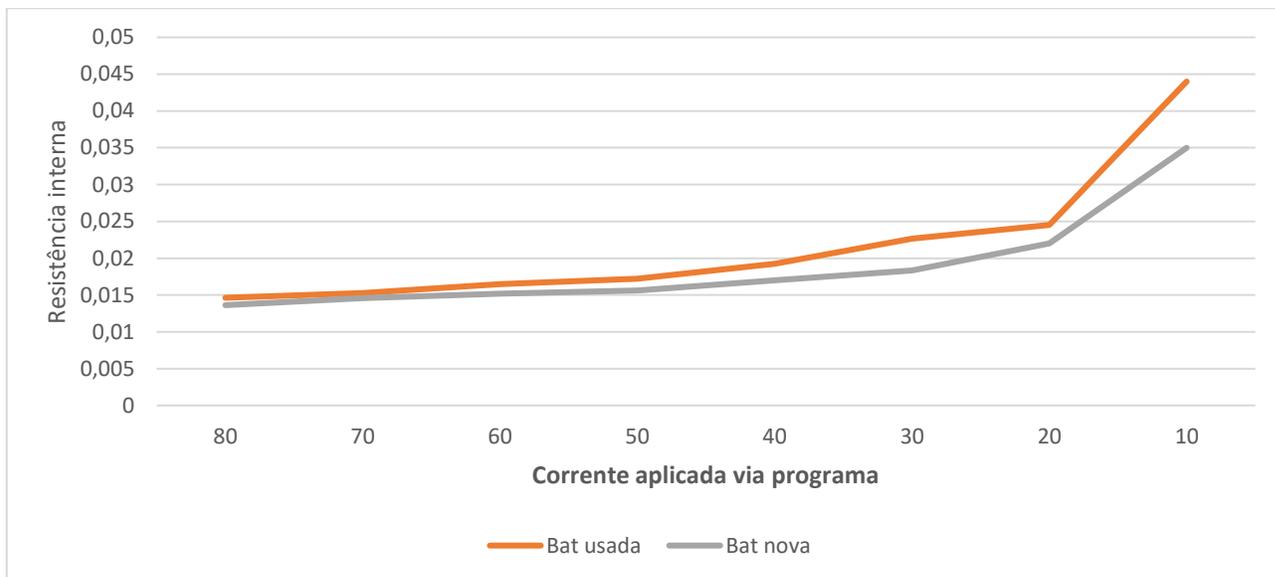
Fonte: Autor, 2024

Diante dos valores obtidos e apresentados nas tabelas anteriores, é possível observar que mesmo com a aplicação dos valores de corrente sendo iguais nos dois testes, houve uma diferença no valor da resistência interna para cada ponto, ocasionada pela diferença de tensão fornecida por cada bateria em relação ao seu grau de desgaste.

Foram obtidos como resultados a confirmação da maturidade do sistema devido a distinção do desempenho de cada bateria a partir da aplicação de diferentes valores de corrente na carga eletrônica.

Utilizando como métrica a resistência interna de uma bateria ideal, valor igual a zero, a figura 20 apresenta o comportamento da resistência interna entre as duas amostras, a linha laranja representa a bateria com meia vida, enquanto a cinza representa a bateria nova.

Figura 20: Gráfico do comportamento da resistência interna da amostra (1) e (2) em relação ao tempo



Fonte: Autor, 2024.

4.2 Comparação entre Sistema Desenvolvido e Trabalhos Correlatos

A tabela 4 apresenta um comparativo das metas e resultados alcançados dos trabalhos, propostos para melhorar um sistema, que era completamente manual, a partir da aplicação de eletrônica embarcada para aumentar recursos e automação do equipamento.

Tabela 4: Comparação entre trabalho desenvolvido e correlatos

	ARAÚJO & ZAVAN, 2014	OLIVEIRA, 2017	STENDER, 2024
Objetivo do projeto	Desenvolver um sistema de teste de alternadores	Automatizar o sistema de teste de alternadores	Desenvolver um sistema de teste de baterias
Ferramentas disponibilizadas no projeto	Ensaio em diferentes faixas de rotação e consumo da carga (ARAÚJO & ZAVAN, 2024)	Controle da rotação do eixo do alternador e demanda de carga imposta.	Controle da corrente fornecida a carga, leitura do comportamento da tensão da bateria, cálculo da resistência interna e plotagem de gráficos.
Aquisição de dados	<i>Interface</i> DAQ modelo USB6009 conectada aos circuitos de leitura de tensão e corrente	<i>Interface</i> DAQ modelo USB6009 conectada aos circuitos de leitura de tensão e corrente	Microcontrolador PIC18F4550 conectado aos circuitos de leitura de tensão e corrente
Algoritmos de análise	Rotação, corrente, tempo	Rotação do alternador, tensão nominal e corrente nominal do alternador.	Tensão nominal e fornecida, corrente nominal e fornecida, tempo, resistência interna da bateria

Modelagem de dados	Criado via LabVIEW. Leitura de tabela desenvolvida com valores de RPM e corrente em arquivo texto; conversão dos valores e envio para DAQ.	via	Criado via LabVIEW. Plataforma de ensaio manual e automático. Forma manual aplica carga a partir da escolha das cargas que serão aplicadas através da seleção de botões. Já a automática realiza o teste de todas as cargas	Criado via LabVIEW. Plataforma de ensaio automático. Parâmetros escolhidos pelo usuário aplicados na carga. Dados comportamentais aquisitados e convertidos em um valor de resistência interna.
---------------------------	--	-----	---	---

Fonte: Autor, 2024.

5 CONCLUSÃO

Ao longo desta monografia, exploramos o processo de desenvolvimento de uma plataforma de testes de resistência interna de baterias chumbo-ácido, um componente crucial na indústria automotiva que desempenha um papel fundamental para garantir a eficiência e segurança de todos os sistemas veiculares.

O desenvolvimento do projeto foi dividido em etapas. A primeira foi dedicada a esquematização do sistema seguida pela melhoria do sistema de controle e finalizada com o desenvolvimento do *software* de análise.

Para validar a correta operação, foram realizados testes com duas amostras de baterias com distintos desempenhos de operação. Ao final dos testes, pode-se concluir que sistema atendeu às especificações e requisitos estabelecidos inicialmente, uma vez que, a sua utilização torna capaz de distinção entre baterias em condições de boas de fornecimento de energia das gastas, a partir do parâmetro de resistência interna calculado com dados aqusitados via programa.

O diferencial entre o trabalho proposto em relação aos trabalhos correlatos, foi a expansão da versatilidade de testes que podem ser realizados na bancada de “Teste de Alternadores” a partir da sua estrutura pré-existente. A aplicação de uma “Plataforma de Testes de Resistência Interna de Baterias Chumbo-Ácido” ampliou a análise e simulação dos componentes veiculares responsáveis pela geração de energia elétrica para praticamente todo o conjunto, com exceção da atividade responsável pelo motor de combustão interna.

5.1 Propostas futuras

O campo do desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de bateria está em contínua evolução, impulsionado pela demanda por soluções mais eficientes e sustentáveis. Abaixo, são apresentadas algumas sugestões para aprimoramento do projeto descrito nesta monografia:

1. Integrar o sistema de monitoramento de alternadores com o de bateria na bancada de teste de alternadores;

2. Alterar o microcontrolador PIC18F4550 para o ESP32 a fim de sanar a dependência do cabo USB.
3. Criar um aplicativo de celular para controle da bancada de forma remota;
4. Criar uma câmara fria para testes de bateria em diferentes temperaturas a partir dos valores estipulados em normas técnicas.

6 REFERÊNCIAS

AKINYELE, D. O.; RAYUDU, R. K. Review of energy storage technologies for sustainable power networks. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 8, p. 74–91, dez. 2014.

ARAÚJO, C. N.; ZAVAN, R. A. (2014) **Plataforma Automatizada Para Ensaio Dinâmicos Em Alternadores**. SANTO ANDRÉ, v. 1, p. 30-45, 2014.

BATTAGLIN, P. D. & BARRETO, G. (2011). **Revisitando a história da engenharia elétrica**. Revista de Ensino de Engenharia. v. 30, n. 2, p. 49-58, 2011.

BOSCH (2007). **Manual de Baterias Bosch**. Disponível em: <br.boschautomotive.com/media/parts/download_2/baterias/Manual_de_Baterias_Bosch_6_008_FP1728_04_2007.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2023.

BOSCH, Robert. **Alternadores, Motores de Partida e Principais Componentes**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/country_specific/br/downloads_19/pdf_9/catlogo_rm_completo_2019.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

BRITANNICA, The Editors of Encyclopaedia. "**Gaston Planté**". Encyclopedia Britannica, 18 Apr. 2024. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Gaston-Plante>> Acesso em: 28 abril 2024.

CARNEIRO, R. L. et al. **Essential Aspects of Lead-Acid Batteries and Physical-Chemical and Thermodynamic Principles of its Operation**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 3, p. 889–911, 2017.

CONAMA. **Pilhas e baterias**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/pilhas-e-baterias#:~:text=A%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Conama%20n%C2%BA%20401>>. Acesso em: 2 jan. 2024.

CYRNE, Luciano; SOUZA, Caio; DOXA, Guilherme; MEIRELES, Paulo. **Sistema de Monitoramento de Baterias**. 2015. Dissertação (Fiat Chrysler Automobiles) - Bluncher Engineering Proceeding, [S. l.], 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**História das pilhas**"; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/historia-das-pilhas.htm>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2024.

FREITAS, A. C. (2019) **Nobel da Química para a promessa de “um mundo recarregável” com lítio**. Disponível em: <https://www.publico.pt/2019/10/09/ciencia/noticia/nobel-quimica-1889369#google_vignette>. Acesso em: 5 mar. 2024

FROOD, A. (2012, March 20). **Riddle of 'Baghdad's batteries'**. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2804257.stm>>. Acesso em: 8 mar. 2024

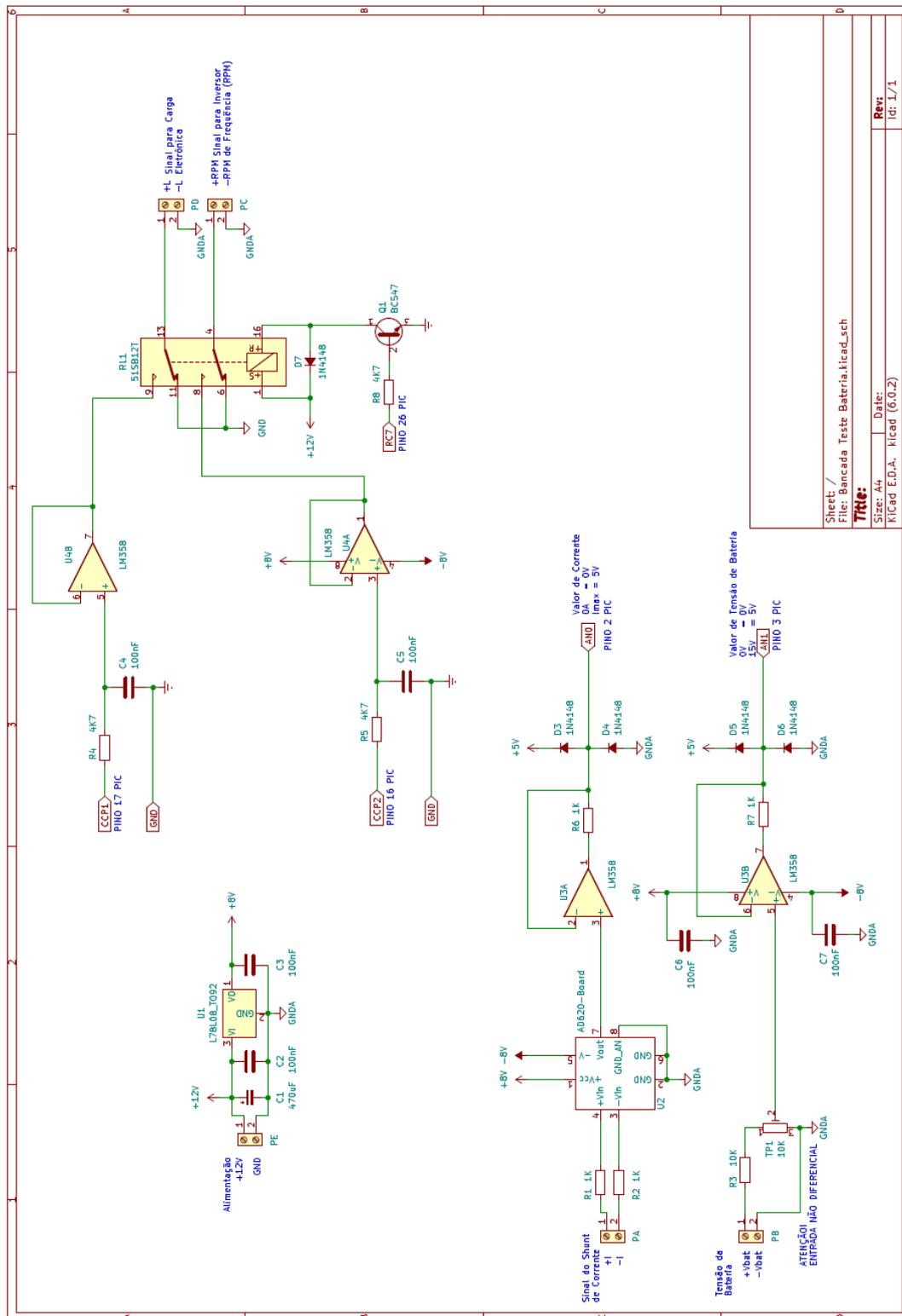
MICROCHIP (2006) **PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet**. Disponível em: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2024.

OLIVEIRA, H. D. (2017). **Sistema Hardware In The Loop Para Teste Dinâmico de Alternadores Automotivos**. SANTO ANDRÉ, v. 1, p. 23-40, 2017

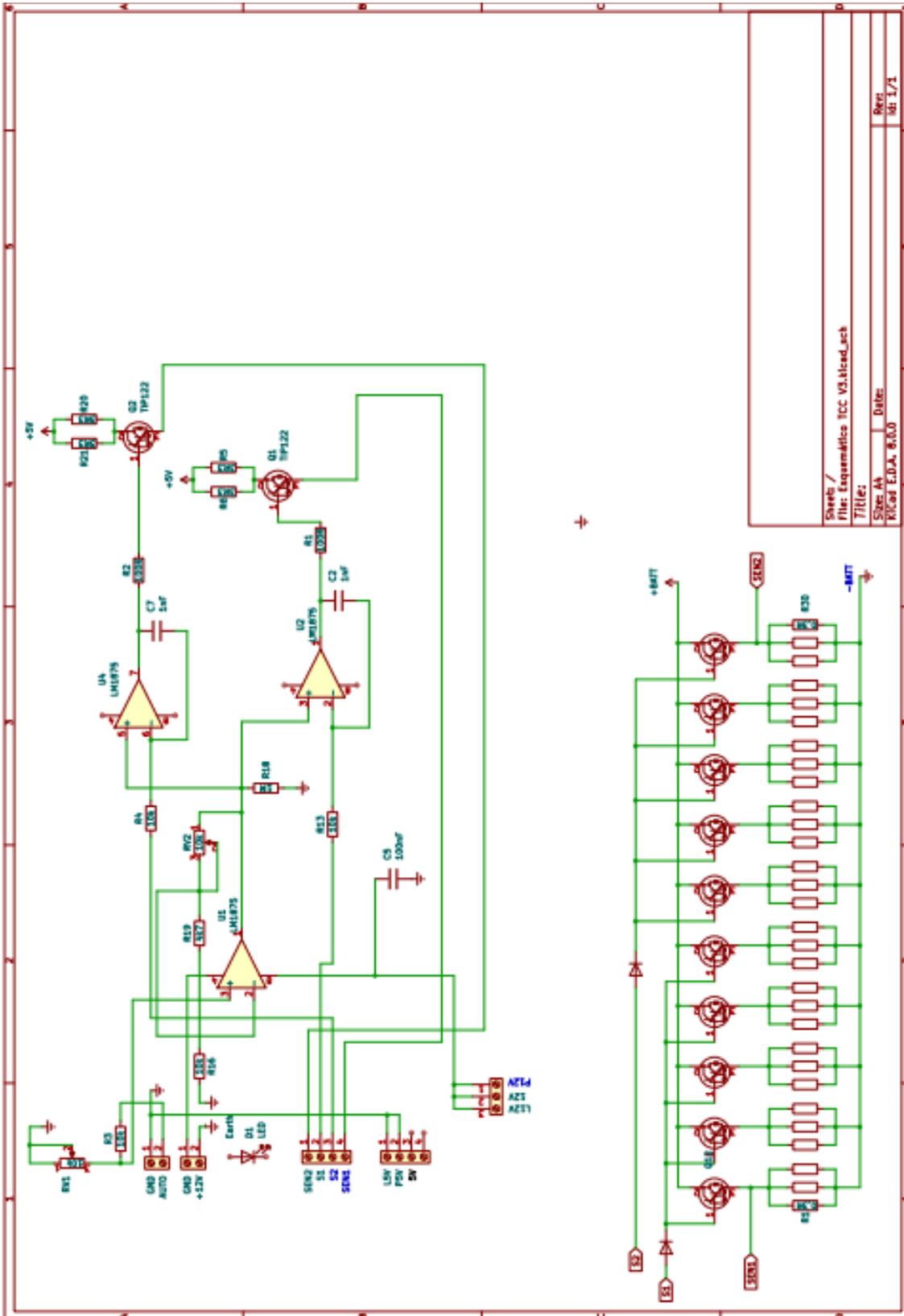
PAULA, A. G. DE et al. **A pilha de Bagdá e as epistemologias do sul e do norte: uma revisão narrativa**. Research, Society and Development, v. 9, n. 7, p. e332974269, 14 maio 2020.

7 APÊNDICE 1

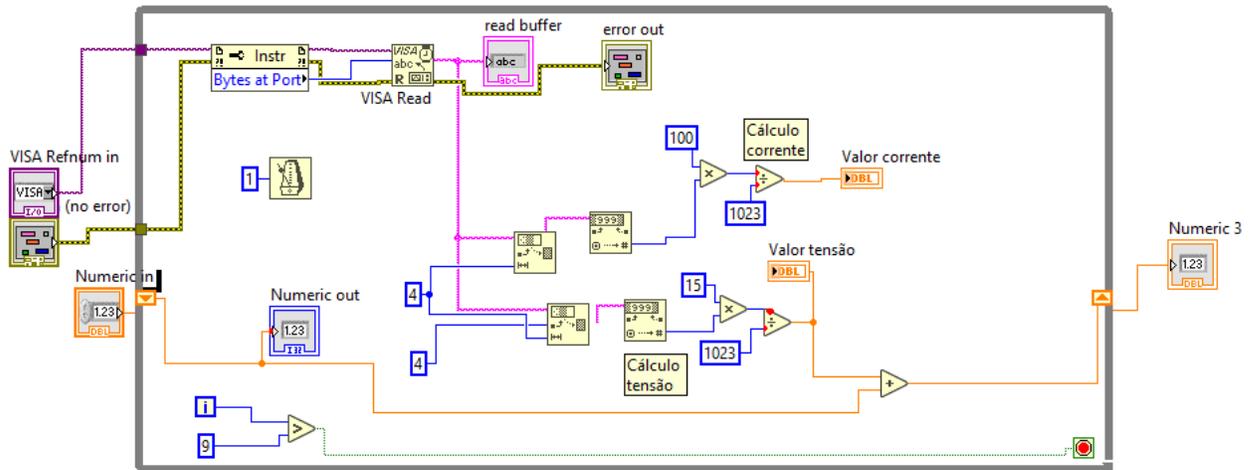
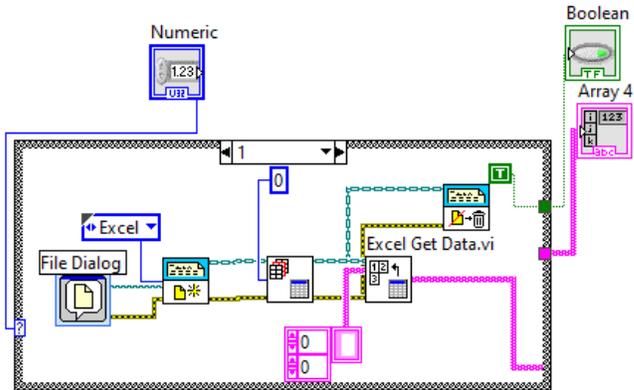
Circuito completo de condicionamento e filtro passa-baixa.



Diagramas dos circuitos de leitura de tensão, corrente e controle de carga



Sub-VI responsável pela execução do arquivo com valores que serão impostos à carga:



8 ANEXOS

Tabela de dados técnicos básicos das baterias Mouras utilizadas nos testes. Modelo M70KD.

MODELOS	TENSÃO NOMINAL (V)	CAPACIDADE NOMINAL C20 (Ah)	RC (min)	CCA: (A)	PESO (kg)	COMP. (mm)	LARG. (mm)	ALT. (mm)	POLARIDADE
M40FD	12	40	55	270	10,86	210	175	175	DIREITO
M40SD	12	40	55	260	10,63	197	130	225	DIREITO
M40SE	12	40	55	260	10,63	197	130	225	ESQUERDO
M40SR	12	40	55	260	10,63	197	130	225	DIREITO
M40SL	12	40	55	260	10,63	197	130	225	ESQUERDO
M48FD	12	48	65	330	12,00	210	175	175	DIREITO
M48FE	12	48	65	330	12,00	210	175	175	ESQUERDO
M50ED	12	50	70	340	12,64	210	175	190	DIREITO
M50JD	12	50	60	340	12,90	238	130	226	DIREITO
M50JE	12	50	60	340	12,90	238	130	226	ESQUERDO
M50JL	12	50	60	340	12,90	238	130	226	ESQUERDO
M60GD	12	60	90	460	14,10	242	175	175	DIREITO
M60GE	12	60	90	460	14,10	242	175	175	ESQUERDO
M60GX	12	60	90	460	14,10	242	175	175	DIREITO
M60AD	12	60	90	460	14,70	242	175	190	DIREITO
M70KD	12	70	115	500	16,66	282	175	175	DIREITO
M70KE	12	70	115	500	16,66	282	175	175	ESQUERDO
M75LD	12	75	120	550	17,50	282	175	190	DIREITO
M78LE	12	78	120	650	18,60	282	175	190	ESQUERDO

Modelo de bateria utilizado M70KD

