



**Eduardo Granich**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO  
DA TENSÃO DAS BATERIAS DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**

Horizontina-RS

2020

**Eduardo Granich**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO  
DA TENSÃO DAS BATERIAS DE UM VEÍCULO ELÉTRICO**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Controle e Automação da Faculdade Horizontina, sob orientação do professor Mauro Fonseca Rodrigues, Dr.

Horizontina-RS

2020

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA

CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO  
DA TENSÃO DAS BATERIAS DE UM VEÍCULO ELÉTRICO”

Elaborado por:

Eduardo Granich

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de  
Controle e Automação

Aprovado em: 14/12/2020

Pela Comissão Examinadora

---

Me. Mauro Fonseca Rodrigues

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Dr. Geovane Webler

FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Me. Alexandre Kunkel da Costa

FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meu pais pelo apoio e fortalecimento contínuo, ao meu irmão, ao meu filho por ser o motivo de toda minha persistência, aos meus avós que foram exemplo de amor incondicional e dedicação à família, a minha namorada pelo companheirismo e aos professores e colegas universitários por todo conhecimento partilhado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de armazenamento de energia.....	21
Figura 2 - Circuito de medição. ....	26
Figura 3 - organização do projeto.....	30
Figura 4 - Organização na área de eletroeletrônico. ....	31
Figura 5 - Fluxograma lógico de programação.....	33
Figura 2 - Circuito de medição. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 6 - banco de baterias para simulação e teste.....	36
Figura 7 - Fontes de alimentação.....	37
Figura 8 - Circuito montado em placa de ensaio com Arduino Leonardo.....	38
Figura 9 - Inclusão de bibliotecas.....	39
Figura 10 - Declaração de <i>display</i> LCD.....	39
Figura 11 - Declaração de variáveis para pinos do microcontrolador.....	39
Figura 12 - Declaração de variáveis de tensão. ....	40
Figura 13 - Declaração de variáveis do cálculo de tensão. ....	40
Figura 14 - Declaração das variáveis do <i>display</i> LCD.....	40
Figura 15 - Declaração do ciclador de leituras. ....	41
Figura 16 - Declaração de cálculo e amostragem no <i>display</i> LCD para Arduino. .	41
Figura 17 - Declaração de cálculo e amostragem no <i>display</i> LCD para STM32. ..	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo PIC .....	16
Quadro 2 – Comparativo ESP .....	17
Quadro 3 – Comparativo Arduino.....	19
Quadro 4 – Comparativo STM.....	20
Quadro 5 – Características de baterias .....	22
Quadro 6 – Características dos microcontroladores .....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Fahor	-	Faculdade Horizontina
E-racing	-	Nome do projeto do veículo elétrico
ADC	-	<i>Analogic/Digital Converter</i>
AMPOP	-	Amplificador Operacional
ARM	-	<i>Advanced RISC Machine</i>
CAN	-	<i>Controller Area Network</i>
CI	-	Circuito Integrado
CISC	-	<i>Complex Instruction Set Computer</i>
CPU	-	<i>Central Processing Unit</i>
CTMU	-	<i>Cognitive-Theoretic Model of the Universe</i>
EEPROM	-	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
FAHOR	-	Faculdade Horizontina
LED	-	<i>Light Emitting Diode</i>
PWM	-	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	-	<i>Random Access Memory</i>
RISC	-	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
SAE BRASIL	-	Sociedade dos engenheiros automotivos do Brasil
SPI/I <sup>2</sup> C	-	Interface de periféricos serializados
UART	-	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	-	Universal Serial Bus
PIC	-	Programmable Interface Controller

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de carga elétrica para baterias em um veículo elétrico. Para isso, foram traçados os objetivos de desenvolvimento do sistema embarcado das baterias para o projeto que é desenvolvido em conjunto do grupo de estudos para o veículo Fahor E-racing que participará de competições pela faculdade, agregando conhecimento e experiências únicas para todos os envolvidos. A gestão das baterias é essencial para monitorar a capacidade das mesmas, conseqüentemente sua autonomia e capacidade de potência durante as provas. Para isso, foi desenvolvido o monitoramento do banco de baterias, de forma individual. Com isso, será possível estabelecer os níveis necessários de carga e descarga. No entanto, há necessidade de ajustar esses níveis de acordo com os acumuladores empregados no veículo, o que será feito a partir dos resultados aqui obtidos e repassados ao sistema de controle central realizado por microcontrolador para visualização do piloto e da equipe.

**Palavras-chave:** monitoramento, baterias, microcontrolador, veículo elétrico.

## **ABSTRACT**

This work presents the development of an electric load monitoring system for batteries in an electric vehicle. For this purpose, the development objectives of the embedded battery system were outlined for the project, which is developed jointly by the study group for the Fahor E-racing vehicle, which will participate in competitions by the faculty, adding knowledge and unique experiences for all involved. Battery management is essential to monitor their capacity, consequently their autonomy and power capacity during the tests. For this, the monitoring of the battery bank was developed, individually. With this, it will be possible to establish the necessary levels of loading and unloading. However, there is a need to adjust these levels according to the accumulators used in the vehicle, which will be done based on the results obtained here and transferred to the central control system carried out by microcontroller for visualization of the pilot and the team.

**Keywords:** monitoring, batteries, microcontroller, electric vehicle.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	TEMA.....	9
3	PROBLEMA DE PESQUISA.....	9
4	HIPÓTESES .....	10
5	OBJETIVOS.....	11
5.1	Objetivo geral.....	11
5.2	Objetivos específicos .....	11
6	JUSTIFICATIVA.....	12
7	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
7.1	Sistema Embarcado.....	13
7.2	Microcontrolador .....	14
7.2.1	Pic.....	15
7.2.2	Esp32.....	17
7.2.3	ATMega .....	18
7.2.4	Stm .....	20
7.3	Baterias.....	21
7.4	Corrente, tensão e resistência .....	24
7.5	RESISTOR <i>SHUNT</i> .....	26
7.6	Controle de sistemas .....	26
7.7	Conversor Analógico Digital.....	28
8	METODOLOGIA .....	30
8.1	Sistema embarcado .....	32
8.2	Programação do sistema embarcado .....	32
8.3	Circuito elétrico .....	34
9	PROTÓTIPO E TESTES .....	36
9.1	Atividades de laboratório .....	36
9.2	Programa .....	39
9.3	Provas técnicas.....	42
10	CONCLUSÃO .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O controle com sistema embarcado é muito utilizado para fornecer ajustes necessários, segurança ao circuito e informação ao usuário conforme necessidade. O circuito elétrico dedicado e ajustado à necessidade de visualização de tensão, corrente ou resistência, fornece identificação visual das condições de funcionamento do conjunto eletroeletrônico.

Para efeitos de funcionamento e segurança adequados do projeto do veículo elétrico Fator E-racing, a parte elétrica é muito importante. A relativa quantidade de componentes e geração de corrente e tensão elétricas pelas baterias pode ocasionar em incêndio, assim levando em consideração, a visualização do comportamento de todo circuito fornece segurança para o piloto, principalmente, para o carro em si e todos seus componentes.

Este projeto busca explicar que, na montagem do conjunto elétrico do carro de fórmula elétrico SAE BRASIL, este deve ter controle de tensão e corrente das baterias a partir de um circuito embarcado para condizer com o regulamento da competição.

Dessa forma, será utilizado um sistema embarcado com medidor digital das grandezas de corrente e tensão conectado ao conjunto elétrico do veículo para segurança e eficiência, conforme regulamento da competição da SAE.

### 1.1 TEMA

Estudo e desenvolvimento do módulo para monitoramento de tensão da bateria para o veículo de fórmula elétrico E-racing.

### 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Conforme iniciado o projeto do veículo E-racing, foi percebida a necessidade de monitoramento e controle de tensão e corrente das baterias. Então, surgiu a dúvida de qual a melhor solução para manter o circuito em bom funcionamento e ter segurança visual da operação elétrica do veículo.

Poderia se utilizar um voltímetro ou desenvolver um *display* com circuito de controle, sendo que a primeira alternativa se mostra mais rápida e fácil, mas não oferece controle sobre os parâmetros, corrente e tensão.

Para realizar este projeto serão necessários alguns componentes elétricos e eletrônicos. Os itens que serão discutidos conforme qualidade e custo/benefício entre todos integrantes para decidir entre a melhor aplicação com custo acessível sem comprometer o projeto do carro ao todo.

Após a pesquisa das diferentes formas de monitoramento e controle de baterias foi determinado a utilização do sistema embarcado para a correta comunicação com os demais componentes do veículo e para obter o ajuste necessário.

Qual o melhor sistema para este dispositivo, levando em conta todos os fatores desde qualidade, efetividade, custo e benefício?

### 1.3 HIPÓTESES

Para todo projeto há maneiras diferentes de desenvolvimento e/ou construção do mesmo e a análise das alternativas é fundamental para deixar claras as diferenças de desenvolvimento e materiais, assim suceder as definições no decorrer do projeto.

Conforme discutido com a equipe, poderia ser feito o projeto via circuito elétrico de desarme do sistema ou sistema de monitoramento com microcontrolador para maiores ajustes, sendo o mais favorecido por fornecer melhor adaptabilidade e mais recursos de informação sendo que o conjunto deverá analisar todas as baterias.

O microcontrolador pode ser de variadas faixas de potência, várias portas de entrada e saída de comunicação, entre outras características. A melhor alternativa poderia ser um dispositivo mais popular, mas pelo custo e benefício tornou-se discutível a utilização do STM32F103C8T6 que tem as características necessárias, alguns recursos de comunicação melhorados e valor mais acessível comparado a outros dispositivos da família ARM.

O uso do microcontrolador abre uma faixa de utilização grande e com inúmeras alternativas de marcas e modelos com funções, programas e acessórios diferentes, cada um com sua característica individual conforme o fabricante.

A necessidade de monitoramento e controle do sistema elétrico do veículo E-racing, para a competição da SAE, faz surgir a possibilidade de construir um protótipo com microcontrolador que atenda as especificações mínimas de mostrador de corrente e tensão e, posteriormente, possa analisar outras grandezas envolvidas no veículo.

## 1.4 OBJETIVOS

### **Objetivo geral**

Desenvolver um sistema embarcado com microcontrolador para o monitoramento instantâneo de tensão e corrente de cada bateria para veículo E-racing.

### **Objetivos específicos**

Os detalhes que objetivam este projeto são definidos como necessidades construtivas para o melhor funcionamento do mesmo.

- Revisar a bibliografia sobre microcontroladores e sistemas embarcados.
- Recolher informações de utilização do veículo para estudo de materiais a utilizar.
- Desenvolver a metodologia para atender a hipótese apresentada.
- Definir os equipamentos, baterias e outros materiais necessários para construção do projeto.
- Elaborar o esquemático do mesmo.
- Montar o circuito elétrico com as baterias e o microcontrolador.
- Programar o microcontrolador para o sistema embarcado.
- Analisar o aproveitamento energético das baterias.
- Gerir o sistema com segurança nos valores de tensão e corrente em cada bateria.
- Possibilitar a identificação de falha de bateria individual ou falha de cabeamento.

- Sinalizar as medidas à plataforma de informações do piloto e se houver alguma falha sinalizar para evitar maiores danos aos outros componentes do sistema, por exemplo, aos motores elétricos.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A escolha do projeto de controle de tensão é por ser um requisito do projeto do veículo de fórmula elétrico da SAE Brasil por regulamento e segurança.

O projeto do veículo de fórmula elétrico da SAE necessita de tecnologia de mercado semelhante à de grandes montadoras automotivas que possuem veículos híbridos ou totalmente elétricos em produção, ambos devem ter um sistema de gestão eletroeletrônico por questão de segurança dos ocupantes.

O controle de tensão das baterias evita maiores riscos de incêndio ou inatividade de sistemas elétricos importantes do veículo como acionamento de airbag ou freio de emergência, sensores de posição e cinto de segurança, entre outros dispositivos.

As necessidades elétricas dos veículos tendem a aumentar com maiores dispositivos eletrônicos embarcados, exigindo maior potência carregada em forma de baterias e, com isso, o centro de monitoramento das mesmas vem agregado ao fator de conforto também, direção elétrica, ajuste de bancos, ar-condicionado digital, multimídia, *wi-fi*, entre outros. O controle é exigido para não danificar o funcionamento de tantos dispositivos e até mesmo das próprias baterias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O projeto de monitoramento de tensão e corrente das baterias do veículo elétrico passará por etapas de estudo, construção, manutenção, conclusão e evolução conforme o projeto cresce e a tecnologia inova levando em consideração a pesquisa referenciada de cada etapa do projeto.

### 2.1 SISTEMA EMBARCADO

O sistema embarcado é um módulo microprocessado no qual o computador é inteiramente encapsulado ou dedicado ao mecanismo que ele controla. Conforme Oliveira (2010).

“Os sistemas embarcados são compostos por uma unidade de processamento, que é um circuito integrado, fixado a um circuito impresso. Mas o que são sistemas embarcados? Podem ser definidos como sistemas que possuem uma capacidade de processamento de informações vinda de um software que está sendo processado internamente nessa unidade. ”  
(OLIVEIRA, ANDRADE, 2010, pg.25).

Distinto de computadores de finalidade comum, como o computador particular, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, comumente com requisitos específicos, já que o processo é devotado a tarefas específicas. Por vias de estudos de engenharia pode-se aprimorar o esquema reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto.

Os sistemas embarcados são utilizados na maioria das tecnologias atuais para captar, processar e transmitir dados sendo um dos caminhos para obter-se as análises necessárias em diversas utilizações eles podem exercer funções simples de tempo e relógio até funções complexas com cálculos extensos de velocidade, potência, coordenadas, entre outros, utilizados em máquinas como por exemplo:

- Automotivas: carros, motos, ônibus, caminhões;
- Aeronáuticas: aviões, espaçonaves, drones;
- Domésticas: forno elétrico, micro-ondas, televisão.
- Pessoais: smartphone, notebook, smartwatch.

## 2.2 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador serve para receber a programação do usuário conforme a necessidade e processar as informações recebidas dos seus sensores e outros periféricos, para registrar ou informar em uma tela ou computador e definir ações a partir dos dados recebidos enviando comandos para outros componentes do circuito que Segundo Peixoto.

“O microcontrolador é como um microprocessador que pode ser programado para funções específicas, em contraste com outros microprocessadores de propósito geral, como os utilizados em computadores.”- PEIXOTO.

Os dispositivos que podem ser agregados são de inúmeras utilizações, sensores de luminosidade, temperatura, magnético, entre outros.

“Os microcontroladores, em geral, possuem todos os periféricos necessários num único chip. Seu tamanho também é muito pequeno, mesmo contendo vários periféricos, como memórias, barramentos, timers, portas de comunicação, conversores de sinal analógico em digital etc. Eles possuem desempenho menor que os microprocessadores, mas são ideais em aplicações que necessitam de menores dimensões, tempo e custos.” (OLIVEIRA, ANDRADE 2010, pg.34).

O microcontrolador é utilizado para receber toda informação dos componentes periféricos, processar a informação conforme cada tipo de sensor ou atuador e determinar a partir do resultado da sua programação uma ação para as informações recebidas.

“Um microcontrolador pode incorporar uma grande variedade de dispositivos como: conversores analógico-digitais (ADC) e digital-analógicos (DAC), temporizadores, contadores, interfaces seriais, memória de instruções e/ou dados, controladores de interrupção, geradores de clock, controladores de DMA, etc. Por isso, é comum que não seja desenvolvido apenas um mas sim uma família de microcontroladores cada um apresentando um conjunto diferente de dispositivos, frequência de clock, potência consumida, faixa de temperatura suportada, encapsulamento e preços compatíveis com estas facilidades. Desse modo o projetista pode escolher o modelo que melhor se adapte aos seus requisitos técnicos e de custo. Além disso, quanto maior a família do microcontrolador mais vida útil o projeto terá visto que é mais provável encontrar processadores da mesma família que incorporem mudanças futuras do projeto.” (BARROS, CAVALCANTE).

Os dispositivos de processamento de dados microcontrolados são a porta de entrada do mundo digital no analógico, onde pode-se tornar viável a medição de valores reais por via de valores binários.

### **2.2.1 Pic**

Possui ferramentas de defesa habilitadas a reiniciar todos componentes internos, há um oscilador interno ajustável por software, memória flash, CPU RISC de alta performance entre outros que colocaram este componente como um dos mais utilizados em sistemas embarcados. O comparativo de microcontroladores PIC está no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo PIC.

	Arquitetura Básica	Arquitetura intermediária	Arquitetura intermediária melhorada	Arquitetura do PIC18
Quantidade de Pinos	6-40	8-64	8-64	18-100
Interrupções	Não possui	Capacidade de interrupção única	Capacidade de interrupção única com salvamento do contexto do hardware	Capacidade de interrupção múltipla com salvamento do contexto do hardware
Performance	5MIPS ( <i>Millions of Instructions Per Second</i> )	5MIPS	8MIPS	Até 16MIPS
Instruções	33, 12-bit	35, 14-bit	49, 14-bit	83, 16-bit
Memória de programa	Até 3KB	Até 14KB	Até 28KB	Até 128KB
Memória de dados	Até 138 bytes	Até 358 bytes	Até 1,5KB	Até 4KB
Hardware Stack	2 Níveis	8	16	32
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparador</li> <li>- ADC de 8 bits</li> <li>- Memória de dados</li> <li>- Oscilador Interno</li> </ul>	Em adição ao básico: <ul style="list-style-type: none"> <li>- SPI/I<sup>2</sup>C</li> <li>- UART</li> <li>- PWM</li> <li>- LCD</li> <li>- ADC de 10 bits</li> <li>- AmpOp</li> </ul>	Em adição ao intermediário: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Múltiplos periféricos de comunicação</li> <li>- Espaço de programação linear</li> <li>- PWMs com tempo base independente</li> </ul>	Em adição ao intermediário melhorado: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Multiplicador de hardware 8x8.</li> <li>- CAN</li> <li>- CTMU</li> <li>- USB</li> <li>- Internet</li> <li>- ADC de 12 bits</li> </ul>
Destaques	Custo mais baixo e menor tamanho	Melhor custo/benefício	Econômico com mais desempenho e memória	alto desempenho, otimizado para programação c, periféricos avançados
Número de acessórios	16	58	29	193
Famílias	PIC10, PIC12, PIC16	PIC12, PIC16	PIC12FXXX, PIC16F1XX	PIC18

Fonte: adaptado de (Embarcados, 2020).

### 2.2.2 Esp32

O modelo ESP32 é comumente utilizado para projetos de *IoT* (internet das coisas). Com toda necessidade de tecnologia no mundo é primordial a evolução dos dispositivos que compõem os sistemas de gestão eletrônica cada vez mais autônomos e com utilização de Inteligência Artificial, para que seja possível os componentes são cada vez mais poderosos, menos custosos, mais eficientes, mais abrangentes e de menor tamanho.

A maioria, se não todos projetos de *IoT* possuem um microcontrolador e normalmente associado a comunicação sem fio geralmente por WiFi. São inúmeros tipos de dispositivos disponíveis e cada um com características diferentes para diferentes utilizações.

O microcontrolador ESP32, lançado no mercado pela Espressif Systems em setembro de 2016 substituto do anterior ESP ESPEC promete ser uma ótima alternativa para aplicação IoT. Seu baixo custo e excelente performance tem chamado atenção de adeptos (ALLAFI; IQBAL, 2017).

Conforme a análise feita por Maier (2017) no quadro 2, pode-se verificar que os componentes e a capacidade de potência do microcontrolador é maior comparado ao PIC o qual pode-se visualizar no quadro 2.

Quadro 2- comparativo ESP.

Chip (Módulo)	ESP32 (ESP-WROOM-32)	ESP8266 (ESP8266-12E)	CC32 (CC3220MODSF)	Xbee (XB2B-WFPS-001)
<b>Detalhes:</b>				
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core e 160/240 MHz	Tensilica Xtensa LX106 32 bit e 80 MHz (máx 160 MHz)	ARM Cortex- M4 e 80 MHz	N/A
SRAM	520 KB	36 KB acessível	256 KB	N/A
FLASH	2MB (máx. 64MB)	4 MB (máx. 16MB)	1MB (máx. 32MB)	N/A
Tensão	2,2V à 3,6V	3,3V à 3,6 V	2,3V à 3,6 V	3,14 V à 3,46 V
Corrente de operação	80 mA average	80 mA average	N/A	N/A
Programação	Free (C, C++, Lua, etc.)	Free (C, C++, Lua, etc.)	C (SimpleLink SDK)	AT e API comandos
Código aberto	Sim	Sim	Não	Não
<b>Conectividade:</b>				
Wi-Fi	802,11 b/g/n	802,11 b/g/n	802,11 b/g/n	802,11 b/g/n
Bluetooth	4.2 BR/EDR + BLE	-	-	-
UART	3	2	2	1
<b>E/S:</b>				
GPIO	32	17	21	10
SPI	4	2	1	1
I2C	2	1	1	-
PWM	8	-	6	-
ADC	18 (12-bit)	1 (10-bit)	4 (12-bit)	4 (12-bit)
DAC	2 (8-bit)	-	-	-
<b>Tamanho</b>				
	25,5 x 18,0 x 2,8 mm	24,0 x 16,0 x 3,0 mm	20,5 x 17,5 x 2,5 mm	24,0 x 22,0 x 3,0 mm

Fonte: MAIER; SHARP; VAGAPOV (2017).

Levando em consideração que o ESP32 é um dispositivo relativamente novo no mercado, desde 2017, ele foi introduzido com uma utilização mais abrangente por possuir comunicação WiFi e Bluetooth facilitando a comunicação entre o usuário e o programa.

### 2.2.3 ATmega

Um dos mais conhecidos no mercado atual por oportunizar a maioria dos protótipos e oferecer certa gama generosa de periféricos e biblioteca aberta para estudos.

O ATmega328 pertence à família AVR da Atmel. Todos os modelos desta família compartilham uma arquitetura e conjunto de instruções básicas, particularmente os grupos tinyAVR (microcontroladores ATtiny), megAVR (os ATmega) e XMEGA (os Atxmega). Os primeiros modelos de Arduino usavam o ATmega8 (com 8K de memória Flash), que posteriormente foi substituído pelo ATmega168 (com 16K de Flash e maiores recursos de entrada e saída) e finalmente pelo ATmega328 (com 32K de Flash). A versão DIP destes três modelos compartilham a mesma pinagem (porém o ATmega168 e ATmega328 permitem alguns usos diferentes dos pinos). O Arduino Mega 2560 usa o ATmega2560 com 256K de Flash e uma capacidade muito maior de entrada e saída. (Caetano).

Pode-se verificar no comparativo do Quadro 3 os maiores diferenciais da família Arduino onde apresenta-se o comparativo entre alguns modelos de microcontroladores:

Quadro 3- Comparativo Arduino

	UNO	MEGA 2560	LEONARDO	DUE	ADK	NANO	PRO MINI	ESPLORA
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega32u4	AT91SAM3X8E	ATmega2560	ATmega168 (versão 2.x) ou ATmega328 (versão 3.x)	ATmega168	ATmega32u4
Portas digitais	14	54	20	54	54	14	14	-
Portas PWM	6	15	7	12	15	6	6	-
Portas analógicas	6	16	12	12	16	8	8	-
Memória	32K (0,5K usado pelo bootloader)	256K (8K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)	512K disponível para aplicações	256K (8K usado pelo bootloader)	16K (ATmega168) ou 32K (ATmega328) (bootloader: 2K)	16K (2K usado pelo bootloader)	32K (4K usado pelo bootloader)
Clock	16Mhz	16Mhz	16Mhz	84Mhz	16Mhz	16Mhz	8Mhz (modelo 3.3v) ou 16Mhz (modelo 5v)	16Mhz
Conexão	USB	USB	Micro USB	Micro USB	USB	USB Mini-B	Serial/Módulo USB externo	Micro USB
Conector para alimentação externa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Tensão de operação	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	3.3 ou 5V, dependendo do modelo	5V
Corrente máxima portas E/S	40mA	40mA	40mA	130mA	40mA	40mA	40mA	-
Alimentação	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	7-12Vdc	3.3-12V (modelo 3.3v) ou 5-12V (modelo 5v)	5V

Fonte: Adilson Thomsen, 2014.

O Arduino é conhecido mundialmente por possuir certas aplicações científicas tanto para ensino quanto para o mercado. Nos últimos anos teve maior concorrência e será assim pela demanda do mercado e inovação de outras fabricantes.

Os componentes periféricos são variados e sendo algumas placas já acompanhadas de muitos periféricos, mas cada projeto exige uma aplicação específica e o ATmega se apresenta competitivo por toda funcionalidade apresentada.

#### 2.2.4 Stm

Conforme evoluindo a pesquisa sobre qual o microcontrolador a ser utilizado, a dúvida parece em determinar qual o dispositivo ideal, qual dispositivo se apresenta mais confiável e possui melhor desempenho.

A família STM de microcontroladores apresentou-se como concorrente perante os outros, diluindo a informação de alto desempenho e grande abrangência de utilização o que mostra-se conforme *datasheets* no Quadro 4.

Quadro 4 – comparativo STM.

Família STM	STM8AF526	STM32F103	STM32H7
CPU	AEC-Q10 24MHz	Arm-M3 72MHz	Arm-M7 480MHz
SRAM	6kb	20kb	Até 1Mb
Flash	32kb a 128kb	64kb ou 128kb	Até 2Mb
I/Os	Até 68 pinos	Até 80 pinos	Até 168 pinos
CAN	1Mbit/s	1Mbit/s	1Mbit/s

Fonte: *Datasheet* ST.com

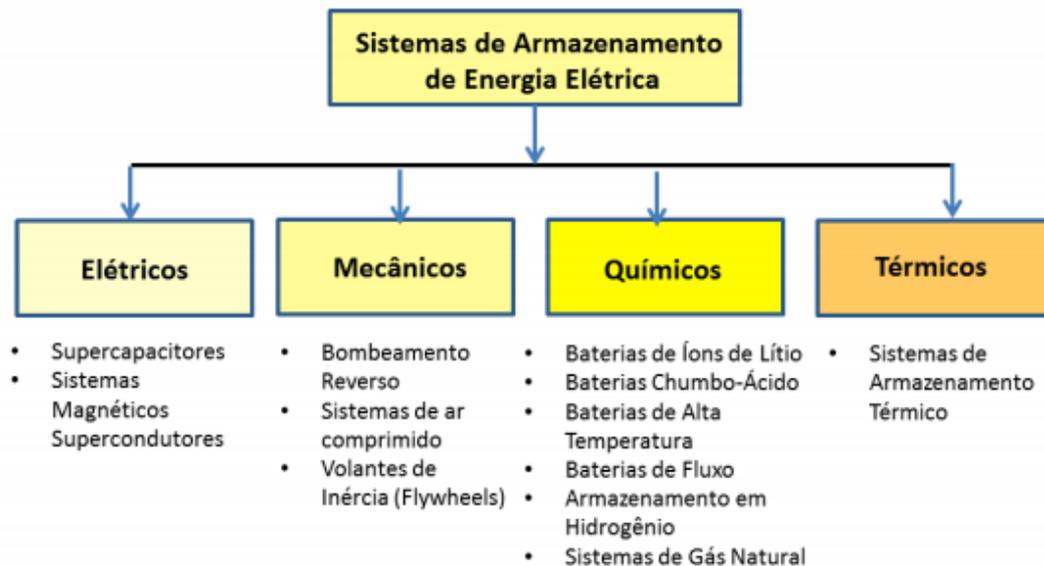
No *website* da fabricante há muitas opções de microcontroladores de diversos processadores e inúmeras aplicações, há diversas explicações e instruções, há também algumas sugestões de aplicação para cada tipo de microprocessador. São placas muito potentes com alta taxa de processamento e tem alta disseminação no mercado atual.

## 2.3 BATERIAS

Os Sistemas de armazenamento de energia são diversos conforme figura 1, levando em consideração que ao armazenar a energia sempre há uma perda seja ela térmica ou de condutância a melhor alternativa é destinar a energia disponível á sua utilidade.

Em alguns casos como do projeto de um carro elétrico, a alternativa é a utilização de baterias eletrolíticas para melhor aproveitamento de peso do veículo e da demanda de energia dos sistemas dele.

Figura 1 – Tipos de armazenamento de energia.



Fonte: BUENO, 2017.

As baterias são as fontes de alimentação do veículo. São de grande importância, pois geram a energia elétrica por meio de transformação química para ativar todos componentes do veículo. Assim Malvino explica:

“Uma fonte de tensão CC produz uma tensão constante na carga para diferentes valores de resistências da carga. Uma fonte de corrente CC é diferente. Ela produz uma corrente constante na carga para diferentes valores de resistências da carga. Exemplo de uma fonte CC é uma bateria...” (MALVINO, 2016, pg.10).

As baterias têm sido primordiais quando se fala sobre inovação tecnológica e autonomia elétrica nos veículos. Conforme maior capacidade potencial elétrica da mesma, geralmente maior massa e volume também.

A evolução das baterias é essencial para diminuir massa e volume de um veículo elétrico mantendo a capacidade da mesma, pois quando se trata de um veículo totalmente elétrico utiliza-se em maior quantidade conforme necessidade de maior autonomia e mais recursos eletrônicos analisando no Quadro 5.

Quadro 5 – Características de baterias.

	<b>Chumbo-ácido</b>	<b>Ni-Cad</b>	<b>NIMh</b>	<b>Lithium-ion</b>
<b>Custo inicial</b>	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
<b>Custo a longo prazo</b>	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
<b>Segurança</b>	<b>Boa</b>	<b>Boa</b>	<b>Boa</b>	<b>Boa</b>
<b>Impacto ambiental</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Médio/Alto</b>	<b>Médio/Baixo</b>
<b>Ciclos</b>	<b>200*</b>	<b>250</b>	<b>400-500</b>	<b>400-600</b>
<b>Tensão nominal (V)</b>	<b>2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>3.4</b>
<b>Densidade de energia (Wh/Kg)</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>80</b>	<b>120</b>
<b>Densidade de energia volumétrica (Wh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>200</b>	<b>280</b>
<b>Autodescarga por mês (%)</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;20</b>	<b>&lt;5</b>
<b>Efeito memória</b>	<b>Não</b>	<b>Sim</b>	<b>Pouco</b>	<b>Não</b>
<b>Temperatura de operação (°C)</b>	<b>-15° a +50°</b>	<b>-20° a +50°</b>	<b>-20° a +60°</b>	<b>-20° a +60°</b>
<b>Peso</b>	<b>Pesada</b>	<b>Leve</b>	<b>Leve</b>	<b>Muito leve</b>
<b>Tempo de carga</b>	<b>Longo</b>	<b>Médio</b>	<b>Médio</b>	<b>Curto</b>

\* dependente da profundidade da descarga

Fonte: Bastos, 2013.

Conforme muitos estudiosos estão em busca da fonte ideal de energia elétrica, outros estão em busca da fonte de armazenamento de carga para atender outras demandas dos dispositivos eletrônicos da atualidade.

As baterias Chumbo-Ácido são adequadas a sistemas que requeiram tempos de armazenamento curtos ou médios. Os maiores mercados para esta tecnologia são a indústria automotiva e os sistemas de back-up (nobreaks) para telecomunicações. Como o nome indica, utilizam em sua composição o chumbo (metal pesado tóxico) e o ácido sulfúrico, corrosivo. (Bueno e Brandão).

As baterias possuem diversas especificações para atender toda gama de necessidades energéticas no mundo que necessita cada vez mais desta particularidade para poder dar mobilidade e agregar na evolução tecnológica.

As baterias de Níquel-Cádmio, ao contrário das demais tecnologias de armazenamento, são mais adequadas para carga rápida e descarga em pulsos de potência. Não são adequadas a processos em que devem ser mantidas em flutuação, para uso ocasional por breves períodos. (Bueno e Brandão).

Cada composição utiliza materiais diferentes com fontes de matéria prima diferentes, causando alteração de características e valores, alterando o propósito de uso do material para atender as diversas demandas do mercado eletrônico.

Nas baterias de fluxo, o material ativo (onde a energia é armazenada) é um sal dissolvido em eletrólito fluido. O eletrólito é armazenado em tanques e, durante o processo de carga-descarga, bombeado através de eletrodos, onde ocorre a reação química que absorve ou libera a corrente elétrica. A capacidade de armazenamento de energia é, portanto, definida pelo tamanho dos tanques de armazenamento e a potência fornecida, determinada pela unidade de reação (reator onde estão os eletrodos). Neste tipo de baterias há, portanto, um desacoplamento entre energia e potência. (Bueno e Brandão).

As baterias de Lítio-íon são excelentes para o uso em automóveis elétricos conforme explica Luciana, “Baterias são dispositivos que transformam energia química em energia elétrica por meio de reações eletroquímicas. As baterias de íon lítio representam o “estado da arte” em sistemas de conversão de energia. As vantagens desta tecnologia são: a maior densidade de energia (Wh/g) e o baixo peso.”

As baterias de Íons de Lítio estão sendo empregadas nas mais diversas necessidades tecnológicas atualmente, desde pequenas aplicações em *smartphones* até grandes veículos de carga pesada, proporcionando cada vez mais estudos aquém tem sido mais utilizada para gradativamente oferecer maior capacidade energética com menores perdas e menores tamanhos físicos.

## 2.4 CORRENTE, TENSÃO E RESISTÊNCIA

O matemático e físico George Simon Ohm, em sua publicação “O circuito galvânico investigado matematicamente”, em 1827, explicou o comportamento das diferenças potenciais elétricas e a relação proporcional de corrente e tensão, apresentando a fórmula matemática conhecida por Lei de Ohm onde a Tensão (V) é igual a associação de resistência (R) e corrente (I), conhecida pela equação 1.

$$V = R \cdot I \quad (1)$$

Onde:

V – Tensão.

R – Resistência.

I – Corrente.

Em relação à medição de valores em base nas Leis de Ampere e Faraday, Bastos cita:

O princípio de funcionamento da bobina está fundamentado em duas leis da física: uma corrente elétrica produz um campo magnético entorno dela mesma e uma variação de um campo magnético produz um campo elétrico (diferença de potencial) que pode induzir correntes em um condutor. Assim, a função da bobina é ser sensibilizada pela variação do campo magnético produzido pela corrente a ser mensurada. As leis da física supracitadas são conhecidas como leis de Ampère e de Faraday. (Bastos, 2004).

Para fazer a medição dos potenciais elétricos de um circuito é geralmente utilizado um multímetro, mas na aplicação deste projeto se desenvolverá o controle dos valores juntamente com a medição por meio de um sistema embarcado com microcontrolador, será necessário montar um circuito elétrico que passe seguramente os valores coletados ao microcontrolador programado para mostrar estes dados e fazer a análise e correção requerida dos parâmetros.

Em todo desenvolvimento do projeto é considerado o estudo para o controle destas grandezas elétricas conforme cada etapa exigir, serão mencionados tanto quanto necessário. Assim Oliveira (2010) explica:

“Simplificando, tensão pode ser considerada o tipo de energia que precisamos, mais forte ou mais fraca, e corrente como a quantidade de energia que será consumida. A resistência (ou resistor), como seu nome diz, realiza uma oposição ao movimento dessa energia, dissipando-a através da conversão da energia elétrica em energia térmica. A resistência é dada em ohms (simbolizado por  $\Omega$ ). ” (OLIVEIRA, ANDRADE, 2010, pg.37).

Um dos parâmetros mais importantes para avaliar uma bateria é o SOC (*State Of Charge*, Estado de carga), este informa quanto de carga existe, o que evita sobrecargas ou descarregamentos excessivos, além disso, através desse parâmetro é possível o gerenciamento do processo de carga e descarga com mais precisão. O SOC pode ser determinado medindo as tensões em circuito aberto nos terminais das baterias (Chumbo-ácido) ou através da medição da acidez do eletrólito, o que é muito difícil pois as baterias são seladas (NG, K.-S., et.al., 2008).

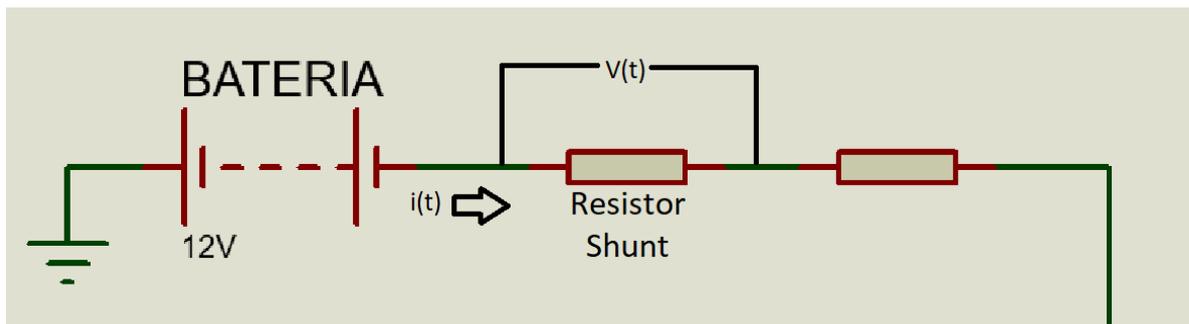
A tensão de circuito aberto de uma bateria chumbo-ácido quando está completamente carregada, está em torno de 2,12 a 2,15 V por célula ou 12,7 a 12,9

V por bateria. A 50% de carga ela possui 2,03 V por célula e 1,95 V quando, totalmente descarregada (0% de carga) (COELHO, 2001).

## 2.5 RESISTOR *SHUNT*

O processo mais utilizado de medida de corrente elétrica em um circuito é feito introduzindo-se uma resistência *shunt* em série com o mesmo. A intensidade de corrente é obtida pela lei de Ohm (equação 1) a partir da tensão medida na resistência *shunt* conforme a figura 2. Tal método apresenta alguns inconvenientes, como no caso da alta corrente que provoca um aquecimento do resistor, a tensão que causa problemas de isolamento elétrico do sistema de medida e a alta frequência que produz o Efeito Pelicular (*Skin*). (Higashi, 2006).

Figura 2 – Circuito de medição.



Fonte: autoria própria

O resistor *shunt* é primordial para obter-se a coleta de dados necessária neste projeto, com ele é possível identificar o local de medida, conectar os fios de coleta e o microcontrolador poderá processar os dados, gerir os cálculos necessários e fornecer as informações reais ao piloto.

## 2.6 CONTROLE DE SISTEMAS

O controle é a ferramenta para obter um método de análise de um sistema para poder monitorar ou modificar as especificações do projeto durante ou após o funcionamento do mesmo.

Um sistema de controle é definido como uma interconexão de componentes formando um sistema que produzira uma resposta desejada do sistema. Como a resposta desejada do sistema é conhecida, um sinal

proporcional ao erro entre a resposta desejada e a resposta real é gerado. A utilização desse sinal para controlar o processo resulta em uma sequência de operações em malha fechada que é chamada de sistema com realimentação (Dorf,2018).

Sistemas em malha fechada são ciclos onde valores de saída influenciam para regular os valores de entrada e manter o sistema em equilíbrio e bom funcionamento. Já o sistema em malha aberta recebe um sinal de entrada chamado também de sinal de perturbação, o qual influencia diretamente na saída sem realimentação, assim sendo altamente sensível somente aos valores de entrada, conforme Dorf (2010) cita:

Um sistema em malha aberta opera sem realimentação e gera diretamente a saída em resposta a um sinal de entrada. Um sistema em malha fechada usa uma medida do sinal de saída e uma comparação com a saída desejada para gerar um sinal de erro que é usado pelo controlador para ajustar o atuador (DORF, 2018).

Na história antiga já há aplicações de engenharia de controle nas mais variadas necessidades conforme Fonseca (2004) exemplifica:

Desde os primórdios, os sistemas de controle foram desenvolvidos para substituir a ação do homem em suas atividades. O relógio d'água com controle automático de nível do grego Ktesibio, ano 270 AC, é o sistema automático mais antigo que se tem conhecimento. Os sistemas de controle se iniciaram baseados em sistemas simples, basicamente engenhocas mecânicas. Estes sistemas foram evoluindo, passando sequencialmente por princípios mecânicos, pneumáticos, hidráulicos, elétricos, eletrônicos, microprocessados, biológicos e mais recentemente sistemas inteligentes (FONSECA, 2004).

Conforme as necessidades por novas tecnologias aumentam, as mesmas devem ser muito bem manipuladas e controladas para que não haja riscos ao ser humano, à natureza e tudo mais à volta, assim cita Dorf (2018):

“Os engenheiros criam produtos que auxiliam as pessoas. Nossa qualidade de vida é mantida e melhorada por meio da engenharia. Para realizar isso, os engenheiros se esforçam para compreender, modelar e controlar os materiais e as forças da natureza em prol da humanidade. Uma área fundamental da engenharia que se estende por muitas áreas técnicas é o campo multidisciplinar da engenharia de sistemas de controle. Os engenheiros de controle têm como função entender e controlar partes do seu ambiente, frequentemente chamadas de sistemas, que são interconexões de elementos e dispositivos com uma finalidade desejada. O sistema pode ser algo tão corriqueiro como um sistema de controle de velocidade em cruzeiro de um automóvel, ou algo tão extenso e complexo como uma interface direta entre cérebro e computador para controlar um manipulador. A engenharia de controle lida com o projeto (e implementação) de sistemas de controle, usando modelos lineares e invariantes no tempo, que representam sistemas físicos reais, não lineares e variantes no tempo, com parâmetros incertos e perturbações externas.” (DORF, BISHOP, 2018).

É responsabilidade do engenheiro controlar suas criações, manter o bom funcionamento e a integridade de ambos.

As relações entre homem e máquina aproximam-se cada vez mais e por isso o controle nos mais variados sistemas é essencial para o convívio mútuo, evitando riscos à vida e saúde do ser humano e a segurança dos ambientes de utilização.

## 2.7 CONVERSÃO ANALÓGICA DIGITAL.

A conversão analógica para digital é necessária para transformar uma medida obtida no microcontrolador, o dispositivo entende as medidas em sinais variados com ruídos, tenta estabilizar e amostrar parte do sinal conforme sua resolução e fornece esses dados em uma medida binária que deve ser calculada conforme a relação de resolução e capacidade de processamento em bits. Conforme Santos explica:

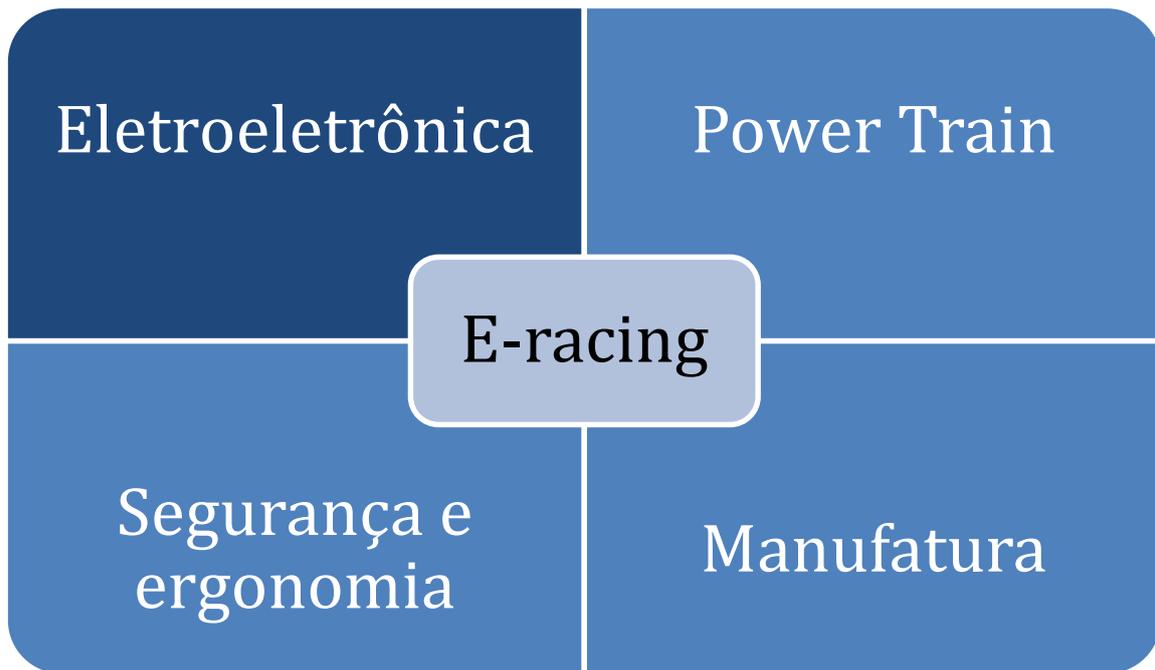
Devido à facilidade de cálculo e processamento dos sinais no sistema embarcado, há a necessidade de uma etapa de digitalização dos sinais provenientes do sensor de corrente. Última etapa envolvendo sinais analógicos no sistema de medição, o conversor ADC traduz sinais contínuos no tempo e em amplitude, para sequências numéricas discretas no tempo e em amplitude. Esta tradução é dividida em duas etapas de discretização: amostragem (no tempo) e quantização (em amplitude), as quais definem as mais importantes figuras de mérito de um conversor analógico-digital: taxa de amostragem e resolução, respectivamente. (Santos, T. – 2010)

A Conversão é feita pelo microcontrolador e suas funções de programação serão responsáveis por gerir e calcular o valor real e apresentar conforme a necessidade. A precisão do conversor é disposta conforme a resolução do microcontrolador.

### 3 METODOLOGIA

Iniciando o Projeto Fahor E-racing por setores de engenharia, no caso o eletroeletrônico que desenvolve a parte de controle e desenvolvimento dos sistemas elétricos e eletrônicos tanto com dispositivos programáveis quanto circuitos elétricos. A Figura 3 apresenta a organização dos subgrupos do projeto.

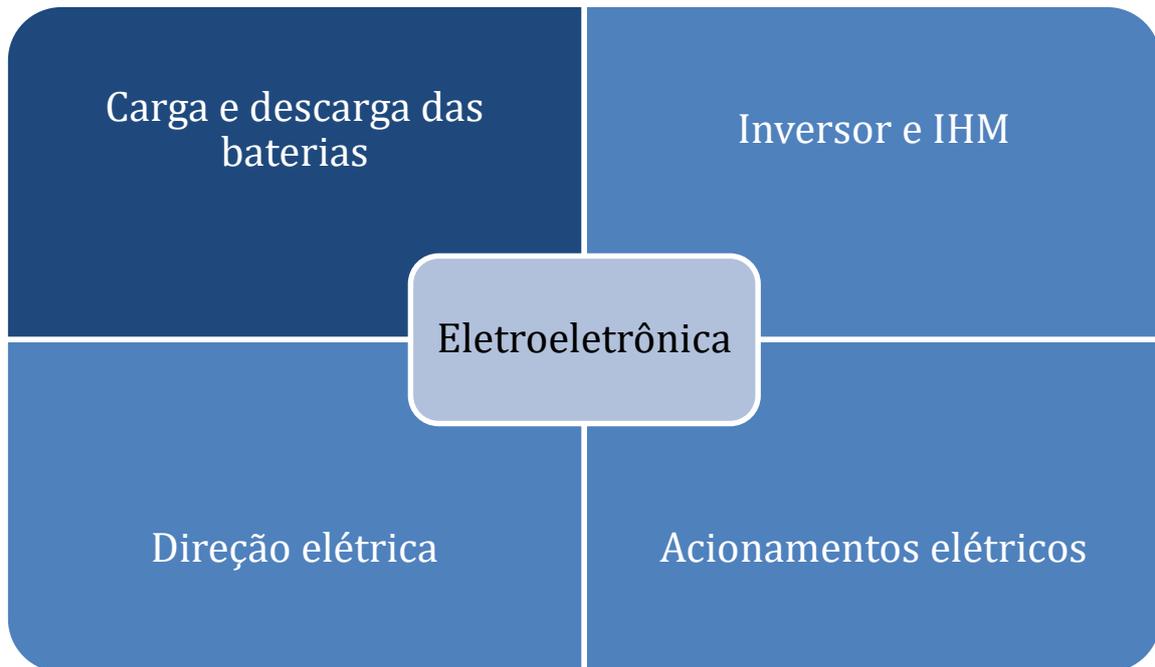
Figura 3 – organização do projeto.



Fonte: autoria própria.

Enquadrando o setor eletroeletrônico do projeto distribuído em subsetores com relações distintas, mas interconectados, pois, todo controle embarcado será visualizado pela central IHM ou por um computador conectado.

Figura 4. Organização na área de eletroeletrônico.



Fonte: autoria própria

Para desenvolver o controle de carga e descarga das baterias é necessário coletar o sinal das mesmas, controlar o sinal para obter estabilidade dos parâmetros, condicionando-os conforme a necessidade potencial do veículo por vias de controle e apresentando a situação real de trabalho ao piloto, com isso os processos iniciam no princípio do circuito onde o abastecimento de energia se dá por meio de um conjunto de baterias em série.

As definições de projeto começam a ser tomadas quando o início é definido entre as hipóteses aplicadas para que o projeto seja bem executado. Conforme discutido em reuniões do projeto do veículo elétrico E-racing, foi determinada a utilização de microcontrolador para melhor análise e controle dos dados e por vias de regra da competição.

Conforme o início do projeto, as principais decisões a serem tomadas são referentes aos materiais a serem utilizados, principalmente qual o microcontrolador que será utilizado para determinar os controles do sistema programável conforme a necessidade do circuito e do projeto ao todo.

### 3.1 SISTEMA EMBARCADO

Depois de realizado um comparativo de *datasheets* entre os microcontroladores comerciais disponíveis determinou-se a escolha do STM32 por ter maior estabilidade dos canais conforme testes feitos pela equipe E-racing e por apresentar melhores especificações técnicas como exemplo no quadro 6.

Quadro 6 – Características dos microcontroladores

	<b>STM32F103C8T6</b>	<b>Atmega328p</b>
<b>Velocidade CPU</b>	72MHz	16MHz
<b>Flash</b>	64KB	32KB
<b>SRAM</b>	20KB	2KB
<b>GPIO</b>	37	23
<b>Preço médio do chip</b>	\$1,80	\$2,80
<b>Periféricos</b>	SPI, I2C, USART, USB, CAN	SPI, I2C, USART
<b>ADC</b>	12-bit, 10 canais	10-bit, 8 canais

Fonte: (Bauermeister, 2018)

Uma das exigências do regulamento da competição SAE Brasil é utilização da rede CAN como transmissor de dados, então ficou cada vez mais direcionado a escolha do STM32 por ser mais eficiente e completo.

### 3.2 PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA EMBARCADO

O tipo de programação a ser utilizado será em linguagem “C/C++” por ser compatível com a maioria das interfaces de programação, a mais completa para suportar todas as funções do microcontrolador.

Sabendo a linguagem de programação a ser utilizado, podemos utilizar a *IDE* (*Integrated Development Environment*) do próprio Arduino para desenvolver o *software* que será utilizado no microcontrolador, o qual facilita qualquer alteração de microcontrolador durante o projeto ou durante a competição sem afetar a funcionalidade do programa.

O programa é responsável por orientar as portas do microcontrolador a receber, enviar dados das baterias ao IHM e fornecer acesso a dados gráficos. É discutível a necessidade de apresentar tantos dados ao piloto pois pode prejudicar a visibilidade e concentração no trajeto.

O programa possui bibliotecas de acesso a instruções básicas de programação com intuito de definir as operações referentes às portas do microcontrolador e conforme necessidade fazer operações matemáticas e *loopings* (ciclos) para controlar cada bateria e fornecer os dados corretamente conforme operação de síntese dos dados em linguagem que o microcontrolador tenha capacidade de trabalhar na sequência descrita na figura 5.

Figura 5 – Fluxograma lógico de programação.



Fonte: autoria própria.

Para a declaração dos dados e bibliotecas, conforme mostrado no fluxograma em cor dourada, são utilizadas as variáveis de declaração de algoritmos inteiros (*int*), decimais (*float*), tempo (*unsigned long*) e as bibliotecas de pinos (*wire.h*) e do *display* LCD (*LiquidCrystal\_I2C.h*) para inicializar a comunicação entre as baterias, o microcontrolador e o *display* LCD. Com a declaração das bibliotecas e variáveis, o microcontrolador estará pronto para receber os dados e comandos necessários do projeto.

Demonstrado no fluxograma em azul está o modo de apresentação dos valores definidos em sequência numérica conforme postadas as baterias na bancada de teste, para isso é utilizado um ciclo de apresentação com um atraso entre cada valor para mostrar um componente por vez no *display* organizado para poder ser apresentado em vários tamanhos de tela.

A coleta dos valores se dá por meio das portas conversoras de sinais analógicos e digitais recebidos pelos cabos de transmissão das baterias.

Conforme a sequência do fluxograma, em cor laranja, é realizado o cálculo de conversão do sinal analógico para digital conforme o conversor em bits do microcontrolador.

A equação de conversão é dada por um valor analógico em volt coletado pela entrada do microcontrolador dividido pela resolução de bits do mesmo dada pela equação 2 que Amauri cita fórmula de resolução para o número de bits de processamento da entrada do microcontrolador.

$$\text{Resolução} = \frac{V_{\text{fundo de escala}}}{2^n - 1} \quad (2)$$

Onde:

$V_{\text{fundo de escala}}$  – Tensão de alimentação do microcontrolador.

$2^n$ - capacidade de processamento em bits.

Conforme o valor de resolução é utilizado para multiplicar o valor de tensão desejado que resultará no valor real de tensão medido, a precisão da medição irá depender da entrada do microcontrolador, por este motivo a pesquisa de microcontrolador é tão importante, pois pode afetar na medição e clareza do valor e dependendo da utilização deste projeto pode prejudicar o funcionamento dos componentes seguintes do circuito.

### 3.3 CIRCUITO ELÉTRICO

Conforme os estudos com resistor *shunt* feitos durante a pesquisa de referencial teórico, utilizamos este método inicial por se tratar de um método popularmente conhecido na engenharia, que deve proporcionar o resultado esperado para o devido objetivo de medição e ser consideravelmente barato para o projeto em si.

“Esta metodologia convencional consiste em usar um divisor de tensão elétrica em que o elemento que se deseja conhecer a impedância ( $Z_t$ ) está em série com um resistor *shunt* ( $R$ ).” (Viana, 2016).

Para obter as medidas foi colocado um resistor *shunt* e após ele uma entrada de 5V do microcontrolador para coletar as informações de tensão. Calculando com a Lei de malhas para tensão o valor da segunda resistência em série e reproduzindo no programa os valores de tensão da bateria com um divisor de tensão por se tratar de uma bateria de 12V, que possui maior tensão que a entrada e alimentação do

microcontrolador, assim obtém-se o valor de tensão de cada bateria. A Figura 6 apresenta o circuito de medição simulado e utilizado na prática.

O diferencial de potencial causado pelo resistor é a referência de medida para o microcontrolador coletar o valor e na programação realizar o cálculo de medida real da bateria, transformando o valor binário em decimal conforme circuito da figura 2.

## 4 PROTÓTIPO E TESTES

### 4.1 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

Para atender a necessidade de carga elétrica do veículo, foi projetada 72 V e 200 Ah em baterias. Dessa forma, o conjunto de acumuladores de energia pode ser conectado para os testes de laboratório.

A Figura 6 apresenta a conexão das baterias para os testes de laboratório. Na montagem do protótipo foi utilizado como referência o circuito elétrico em paralelo das baterias para coletar os dados e verificar o programa do microcontrolador.

Figura 6 – banco de baterias para simulação e teste



Fonte: autoria própria

As baterias utilizadas para o teste de bancada conforme a figura 7, são de 12 V e 7 Ah, comumente utilizadas em *NoBreaks*. Conforme medições estavam descarregadas e por este motivo, foram utilizadas fontes de alimentação para constatar os valores de carga no microcontrolador.

Figura 7 – Fontes de alimentação

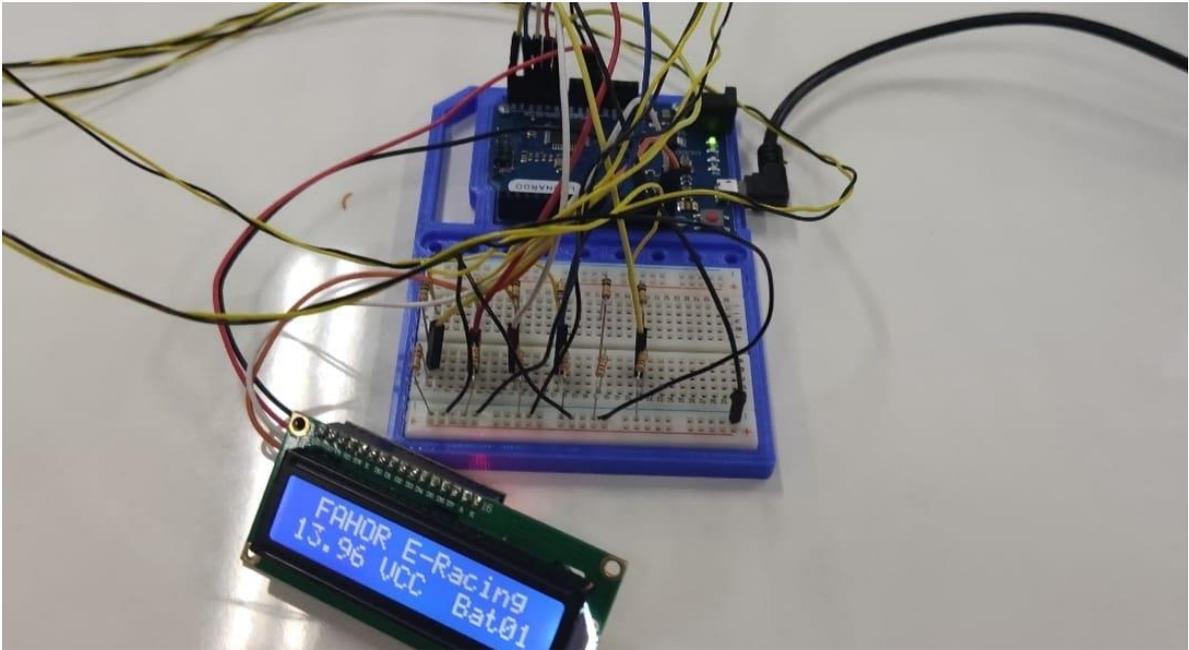


Fonte: Autoria própria.

Conforme visualizado na figura 8, as fontes foram configuradas em diferentes medidas para constatar alteração no *display* e poder identificar qualquer erro de programação ou de medida.

Para fazer o teste de bancada foi utilizado o STM32, Arduino Leonardo, Cabos, placa de ensaio, Resistências, baterias e fontes de alimentação. Estes materiais foram submetidos para testes de precisão entre o STM32 e o Arduino e para comparativos de materiais, onde a diferença de alimentação de 3,3 V e 5 V dos microcontroladores exigiu alteração nas resistências de teste e no cálculo do divisor de tensão.

Figura 8 – Circuito montado em placa de ensaio com Arduino Leonardo.



Fonte: Autoria própria.

Para todo caso foi alterado os valores no programa pra verificar a utilização de ambos microcontroladores para backup de emergência se necessário por algum periférico ou adaptação futura do projeto para controles diferentes.

Conforme visualização da imagem 9, o Arduino mediu valor de 13,96V para alimentação de 14V, onde a precisão significativa de 0,04V de acordo com a utilização pode funcionar, considerando o circuito estático.

Para montar o circuito, foram postadas as fontes na bancada e conectada cada fonte em uma bateria, seguindo para montagem da placa de ensaio com as resistências de 10 ohms (*shunt*) e 16,4k ohms para o Arduino e 10k ohms (*shunt*) e 24,8k ohms para o STM32, utilizando *jumpers* (*fios*) para as conexões e posicionando conforme a Figura 2.

As ligações entre a placa e o microcontrolador devem ser colocadas nas entradas conversoras de analógico/digital, conforme *datasheet* de cada um. Então conecta-se o microcontrolador a uma fonte de alimentação, neste protótipo foi utilizado uma porta USB do computador. Após carregar o programa no IDE do microcontrolador, pode-se ligar as fontes e determinar os valores de alimentação das baterias.

## 4.2 PROGRAMA

A programação do dispositivo microcontrolador, é feita em linguagem C, conforme já mencionado, de acordo com as bibliotecas de funções do próprio microcontrolador e seus periféricos que neste caso é somente o *display* LCD. A Figura 9 mostra as bibliotecas usadas no algoritmo.

Figura 9 - Inclusão de bibliotecas.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Fonte: autoria própria.

Iniciando o programa, deve-se primeiramente declarar as bibliotecas que serão utilizadas para o microcontrolador ter as funções disponíveis para utilização no programa, por exemplo o *display* LCD (Figura 10).

Figura 10 - Declaração de *display* LCD.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Fonte: autoria própria.

A funcionalidade do *display* e o tamanho devem ser declarados para informar o microcontrolador que está sendo utilizado este periférico com o tipo de comunicação e o tamanho conforme descritos na Figura 11.

Figura 11 - Declaração de variáveis para pinos do microcontrolador.

```
float PinoVolt01 = A0;
float PinoVolt02 = A1;
float PinoVolt03 = A2;
float PinoVolt04 = A3;
float PinoVolt05 = A6;
float PinoVolt06 = A5;
```

Fonte: autoria própria.

A declaração dos pinos de entrada do microcontrolador deve ser feito para informar ao microcontrolador onde está sendo posicionada cada informação que será coletada, Figura 12.

Figura 12 - Declaração de variáveis de tensão.

```
float tensao01 = 0;
float tensao02 = 0;
float tensao03 = 0;
float tensao04 = 0;
float tensao05 = 0;
float tensao06 = 0;
```

Fonte: autoria própria.

As variáveis de tensão são utilizadas para armazenar os dados analógicos coletados pelos pinos declarados anteriormente. A Figura 13 mostra as variáveis de tensão utilizadas.

Figura 13 - Declaração de variáveis do cálculo de tensão.

```
float Valtensao01 = 0;
float Valtensao02 = 0;
float Valtensao03 = 0;
float Valtensao04 = 0;
float Valtensao05 = 0;
float Valtensao06 = 0;
```

Fonte: autoria própria.

As variáveis do valor de cálculo são utilizadas para armazenar o valor da equação de transformação do valor analógico para digital. A Figura 14 apresenta a configuração do algoritmo.

Figura 14 - Declaração das variáveis do *display* LCD.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("Medidor");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}
```

Fonte: autoria própria.

As variáveis do *display* são necessárias para iniciar o mesmo de acordo com a amostragem que será apresentada. A Figura 15 mostra como o ciclo de leituras é realizado.

Figura 15 - Declaração do ciclo de leituras.

```
void loop()
{
  bateria01();
  delay(1000);
  bateria02();
  delay(1000);
  bateria03();
  delay(1000);
  bateria04();
  delay(1000);
  bateria05();
  delay(1000);
  bateria06();
  delay(1000);
}
```

Fonte: autoria própria.

O ciclo de leituras determina a sequência de amostragem dos valores de tensão das baterias e organiza ordem de apresentação das mesmas. A Figura 16 apresenta como o LCD mostra os valores.

Figura 16 – Declaração de cálculo e amostragem no *display* LCD para Arduino.

```
void bateria01()
{
  tensao01 = analogRead(PinoVolt01);
  Valtensao01 = ((tensao01 / 1023) * 14);

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(Valtensao01);
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("VCC Bat01");
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("FAHOR E-Racing");
}
```

Fonte: autoria própria.

A declaração das baterias é composta pelo armazenamento do valor coletado, pelo cálculo de transformação do valor analógico/digital e pela

amostragem do valor no *display* LCD conforme a resolução do microcontrolador, Figura 17.

Figura 17 - Declaração de cálculo e amostragem no *display* LCD para STM32.

```
void bateria01()
{
  tensao01 = analogRead(PinoVolt01);
  Valtensao01 = ((tensao01 / 4095) * 14);

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(Valtensao01);
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("VCC Bat01");
  lcd.setCursor(1, 0);
  lcd.print("FAHOR E-Racing");
}
}
```

Fonte: autoria própria.

A programação tem papel importante para definir o caminho do projeto, na programação está descrito como devem ser feitas as medições e como os valores lidos devem ser apresentados ao usuário.

### 4.3 PROVAS TÉCNICAS

Com este dispositivo será possível monitorar o sistema de energia do veículo elétrico (E-racing) de forma a acompanhar sua utilização nos eventos da SAE Brasil que são:

- Provas estáticas:
  - Apresentação de relatórios de custos e estudo de mercado.
  - Apresentação do relatório de design e aerodinâmica.
  - Apresentação do relatório de manufaturabilidade.
  - O carro deve permanecer parado em declive e aclive lateral e frontal de 45° e 60° sem utilizar força do motor, somente freios, para verificação de segurança sem apresentar vazamentos ou falhas e a estabilidade anticapotamento.
- Provas dinâmicas:
  - Prova de enduro e consumo: o carro deve percorrer 22 km provando sua capacidade performante no conjunto de desempenho e durabilidade.

- Prova de aceleração: o veículo percorre uma pista asfaltada de 75 metros em classificação de tempo, provando estabilidade de arrancada e performance.

- Prova de derrapagem: em um circuito em círculo ou em forma de 8 é testada a estabilidade e controle de tração do veículo, sendo uma prova classificatória por tempo.

- Prova de autocross: avalia características performantes de aceleração, frenagem e dirigibilidade em um trajeto estreito com percurso de ½ milha à velocidade média de 40 a 48 km/h.

## 5 CONCLUSÃO

A execução do projeto teve como resultado a construção de um protótipo de medidor de tensão e corrente para baterias. Para isso, apresentou o estudo inicial do funcionamento e seleção dos microcontroladores, que é o principal componente a ser utilizado no controle das baterias. Conforme o estudo foi sendo aprofundado foi possível identificar cada característica e assim fazer a escolha para atender os objetivos e garantir precisão nos valores coletados e assim fornecer segurança ao veículo e ao piloto.

O estudo do regulamento da competição SAE proporcionou algumas dificuldades que exigiram maior senso crítico com os materiais a serem utilizados, contribuindo com o desenvolvimento de um sistema mais exclusivo para a aplicação E-racing. Até o momento não foram definidas as baterias a serem utilizadas no veículo, mas o projeto atende as mais variadas possibilidades. Portanto foi utilizado o material que havia disponível em laboratório para montar o circuito elétrico e realizar a simulação. Para análise das baterias não foi possível realizar nenhuma experiência, pois as que haviam disponíveis não possuíam capacidade de carga. Contudo, nos testes executados, verificou-se que o microcontrolador apresentou a precisão necessária e esperada para o projeto. Assim, irá atender suficientemente as demandas de dados, resolução da entrada analógica e velocidade de clock.

Conforme o veículo elétrico entra em fase final de planejamento e avança na sua construção, pode-se alterar a programação para atender demandas relacionadas ao tipo de bateria e ao fornecimento das informações ao piloto. Esses avanços podem ampliar as possibilidades com uma IHM que, além de *display* LCD, possa usar escala de cores em lâmpadas LED ou outros sistemas mais avançados. O objetivo é atender as necessidades deste momento e as melhorias são feitas conforme se tem investimentos ou alguma aplicação necessária nova.

O protótipo desenvolvido é usado para monitorar o nível de carga das baterias e proporcionar o princípio de controle para garantir a melhor utilização das mesmas. O projeto provém de uma melhoria no sistema de gestão do veículo elétrico, proporcionando uma maior vida útil ao conjunto de baterias. A desvantagem de utilizar o sistema de monitoramento em paralelo é a limitação de tensão de alimentação. A equipe está em constante estudo de melhorias que podem acarretar em modificações deste projeto para melhor atender às necessidades de carga.

Com isso, pode-se afirmar que o projeto criou os meios necessários para propor uma constante evolução. Outras alternativas de monitoramento e controle estão sendo estudadas para acompanhar as necessidades do veículo e garantir uma melhor competitividade nas provas. O estudo realizado neste projeto foi concluído com êxito proporcionando a alternativa de controle com o monitoramento das baterias via microcontrolador visualizado por *display* LCD.

## REFERÊNCIAS

ALLAFI I.; Iqbal T., Design and Implementation of a Low Cost Web Server Using ESP32 for Real-Time Photovoltaic System Monitoring, IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8286184>>. Acesso em Ago/2020.

Assef, A. - Sistemas Digitais e Microcontrolados – fonte: [http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/sistemas-digitais/apresentacoes/Apresentacao\\_ADC\\_PIC16F877A.pdf/view](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/sistemas-digitais/apresentacoes/Apresentacao_ADC_PIC16F877A.pdf/view)

Bastos, J. P. A., Eletromagnetismo para Engenharia: Estática e Quase-Estática, Editora da UFSC, Florianópolis, 2004.

BASTOS, R. F. - <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-27032013-093519/publico/Bastos.pdf>

BARROS, Edna. CAVALCANTE, Sérgio. Introdução aos sistemas embarcados. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~vba/periodos/8th/s.e/aulas/STP%20-%20Intro%20Sist%20Embarcados.pdf>. Acesso em Jul/2020.

Bauermeister, G. - STM32 com IDE Arduino: Primeiros Passos, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/stm32-com-ide-arduino-primeiros-passos/>> Acesso em Jul/20.

BUENO, A.F.M. e BRANDÃO, C.A.L. VISÃO GERAL DE TECNOLOGIA E MERCADO PARA OS SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL. Disponível em: [http://abaque.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Estudo\\_Mercado\\_Armazenamento\\_Brasil.pdf](http://abaque.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Estudo_Mercado_Armazenamento_Brasil.pdf). Acesso em Set/2020

CAETANO, R. - ATmega328 - <https://sites.google.com/site/ronaldoeacaetano/microcontrolador/atmega328>. Acesso em: Set/2020.

COELHO, K.D. Estudo de uma fonte ininterrupta de corrente contínua de baixa potência gerenciada por um microcontrolador. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis, 2001.

*Datasheet* STM32 <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103t6.pdf>

David, M.A. B. Eletrônica - V1. Grupo A, 01/01/2016. 9788580555776. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776/>. Acesso em: Jul/2020

de, O.A.S.D.A.F. S. Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática. Editora Saraiva, 06/2010. 9788536520346. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520346/>. Acesso em: Jul/2020

FONSECA, M. O., CONSTANTINO, S. F., TORRES, S. (2004). Avaliação de desempenho e auditoria de malhas de controle. Intech Brasil 63.

GOMES CHAGAS, LUCIANA; URBANO, ALEXANDRE; SCARMINIO, JAIR; -  
Princípios Físicos e Químicos de Baterias de Íon Lítio -  
<http://www.uel.br/cce/fisica/sefis/xisefis/arquivos/resumos/r44.pdf>

H., DORF, Richard C.; BISHOP, R. Sistemas de Controle Modernos, 13ª edição. Grupo GEN, 2018. Acesso em: Biblioteca digital fahor.

H., D.R.C.B. R. Sistemas de Controle Modernos, 13ª edição. Grupo GEN, 04/2018. 9788521635147. Disponível em:  
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635147/>. Acesso em: Jul/2020

HIGASHI, E. M. Modelagem da Bobina de Rogowski para Medidas de Pulsos de Corrente Elétrica. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Univeridade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2006.

MAIER A.; SHARP A.; VAGAPOV Y. Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things, Internet Technologies and Applications (ITA), 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8101926>>. Acesso em: Jul/2020.

NG, K.-S. et al. State of Charge Estimation for Lead-Acid Batteries Based on Open-Circuit Voltage. Power and Energy conference, IEEE 2nd international, P. 2008.

PEIXOTO, Thiago Moratori. MACHADO, Tiago. CHAVES, Luciano Jerez, JULIO, Eduardo Pagan. Disponível em: <<http://www.lrc.ic.unicamp.br/~luciano/publications/smc12.pdf>>. acesso em 07/2020

Santos, T. L. - DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA MEDIÇÃO DE CORRENTE -  
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103307/281833.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SOUZA, F. Microchip – microcontroladores pic de 8 bits. Fonte: <https://www.embarcados.com.br/pic/> acesso em: Set/2020.

THOMSEN, ADILSON; <https://www.filipeflop.com/blog/tipos-de-arduino-qual-comprar/>. Acesso em Set/2020.

Viana, J. C.; Arnold, F.; Desenvolvimento de um sistema automatizado para medição de impedância elétrica -  
[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172017000200601&lang=pt#B11](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000200601&lang=pt#B11)