

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – CAMPUS FORMIGA
Bacharelado Em Engenharia Elétrica

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA MICROCONTROLADO
PARA REDUÇÃO DE PERDAS ASSOCIADAS AO PROCESSO
DE REFRIGERAÇÃO DO LEITE EM PEQUENAS
PROPRIEDADES**

Gabriel Ramos Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos

FORMIGA – MG

2018

GABRIEL RAMOS TEIXEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA MICROCONTROLADO PARA REDUÇÃO
DE PERDAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO DO LEITE EM
PEQUENAS PROPRIEDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Minas Gerais, como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos

FORMIGA – MG

2018

Teixeira, Gabriel Ramos.
621.3 Desenvolvimento de sistema microcontrolado para redução de perdas
 associadas ao processo de refrigeração do leite em pequenas propriedades
 / Gabriel Ramos Teixeira . -- Formiga : IFMG, 2018.
 69p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Arduino. 2. Fornecimento de Energia Elétrica. 3 GSM.
4. Resfriamento do Leite. 5. Sistemas Embarcados. I. Título.

CDD 621.3

GABRIEL RAMOS TEIXEIRA

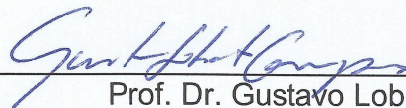
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA MICROCONTROLADO PARA REDUÇÃO DE
PERDAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO DO LEITE EM
PEQUENAS PROPRIEDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto
Federal de Minas Gerais como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

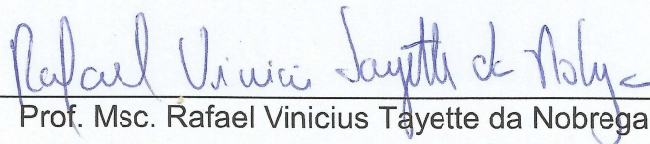
Avaliado em: 08 de Junho de 2018.

Nota: 100

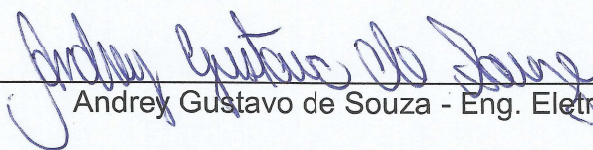
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos



Prof. Msc. Rafael Vinicius Tayette da Nobrega



Andrey Gustavo de Souza - Eng. Eletricista

Dedico este trabalho aos meus pais, Edgar e Angélica, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e incentivando.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades que me concedeu;

Aos meus pais, pelo amor e pelo apoio que me deram durante toda a minha vida;

Aos meus irmãos, João Paulo e Lucas, pelo carinho e companheirismo de sempre;

A minha avó Nazaré e minha tia Vitória, por me acolherem diariamente durante essa jornada;

Ao meu orientador, Prof. Gustavo Lobato, por sempre me auxiliar e incentivar;

Aos professores e funcionários do IFMG – Campus Formiga pela dedicação ao trabalho e pelo suporte que concedem;

Aos amigos de longa data e aos colegas de caminhada, por compartilharem os momentos de alegria e as dificuldades;

A todos que de alguma forma colaboraram para que esta etapa fosse concluída.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

O leite, produto muito perecível, usualmente deve ser mantido nas propriedades rurais por alguns dias após sua coleta para então ser recolhido pelos laticínios, e ou cooperativas. Desta forma é de fundamental importância que o mesmo seja armazenado em condições específicas para garantir sua integridade, até que seja transportado ao destino final. Na maior parte dos casos, essas condições dependem da utilização de resfriadores de expansão para manter o produto em baixas temperaturas, inferiores à 4°C, diminuindo assim o desenvolvimento de microrganismos que depreciam a qualidade do leite. Por sua vez esses equipamentos, comumente são conectados diretamente à rede de energia elétrica, e caso esta alimentação seja interrompida, mesmo que temporariamente, toda a produção pode ser perdida. Essa realidade é o que motivou a realização deste trabalho, cujo objetivo consistiu em desenvolver e apresentar o conceito de um sistema que pudesse auxiliar os pequenos produtores a diminuir as perdas ocasionadas pela interrupção de energia no processo de resfriamento do leite. O modelo proposto utiliza a plataforma de prototipagem Arduino em conjunto com outros componentes eletrônicos para realizar o monitoramento da rede de alimentação do resfriador e, sob a condição de falta, alertar os produtores por meio de indicação sonora e do envio de mensagens SMS, a fim de que os mesmos possam tomar ações necessárias o mais rápido possível. O módulo SIM800L, conectado ao Arduino, é utilizado para a comunicação via dados GSM, permitindo assim o acesso do sistema à rede de telefonia celular e o contato com os usuários, independentemente de onde estiverem. Para prover a alimentação do protótipo durante a interrupção de energia é utilizada uma bateria de chumbo-ácido do tipo estacionária com tensão nominal de 12V. Os testes realizados mostraram que a bateria garante a autonomia necessária para que o sistema envie as mensagens de aviso e realize o acionamento do alarme no momento da falta.

Palavras chave: Arduino, Fornecimento de Energia Elétrica, GSM, Resfriamento do Leite, Sistemas Embarcados.

ABSTRACT

Milk, a very perishable product, should usually be kept on farms for a few days after collection and then collected by dairy, and/or cooperatives. In this way, it is of fundamental importance that it be stored under specific conditions to guarantee its integrity, until it is transported to the final destination. In most cases, these conditions depend on the use of expansion chillers to keep the product at low temperatures below 4°C, thereby reducing the development of microorganisms that degrade milk quality. In turn these equipments are usually connected directly to the electric power grid, and if this power is interrupted, even temporarily, all production can be lost. This reality is what motivated the accomplishment of this work, whose objective was to develop and present the concept of a system that could help the small producers to reduce the losses caused by the interruption of energy in the process of cooling the milk. The proposed model uses the Arduino prototyping platform in conjunction with other electronic components to monitor the cooler supply network and, in case of failure, to alert producers by means of a sound indication and the sending of SMS messages in order to that they can take necessary actions as soon as possible. The SIM800L module, connected to the Arduino, is used for communication via GSM data, thus allowing the system access to the cellular telephone network and the contact with the users, no matter where they are. To provide power to the prototype during the power outage, a lead-acid battery of the stationary type with nominal voltage of 12V is used. The tests carried out showed that the battery guarantees the autonomy necessary for the system to send the warning messages and to carry out alarm at the time of the fault.

Keywords: Arduino, Electricity Supply, Embedded Systems, GSM, Milk Cooling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos básicos de um sistema embarcado	19
Figura 2 - Esquema de um microcontrolador com os seus elementos básicos.....	20
Figura 3 - Tela do IDE Arduino	22
Figura 4 - Rede GSM	24
Figura 5 - Esquema interno e pinagem do CI 4N25	26
Figura 6 - Representação de uma bateria de chumbo-ácido	28
Figura 7 - Curvas de descarga típicas das baterias Unipower	32
Figura 8 - Método de carga a um nível de tensão.....	34
Figura 9 - Método de carga a um nível de corrente	34
Figura 10 - Método a dois níveis de corrente e um de tensão	35
Figura 11 - Representação do sistema proposto	36
Figura 12 - Conversor AC/DC.....	38
Figura 13 - Bateria estacionária utilizada no sistema	39
Figura 14 - Circuito para carga da bateria com limitação da corrente	40
Figura 15 - Circuito de medição da tensão na bateria	41
Figura 16 - Circuito detector de tensão	43
Figura 17 - Arduino UNO	44
Quadro 1 - Especificações do Arduino UNO	45
Figura 18 - CI 7809 e circuito típico	45
Figura 19 - Módulo GSM SIM800L	46
Figura 20 - Módulo conversor DC/DC.....	47
Quadro 2 - Principais funções da biblioteca Sim800l.....	48
Figura 21 - Conexão entre módulo relé e sirene.....	49
Figura 22 - Fluxograma do sistema de controle	50
Figura 23 - Placa contendo os circuitos de regulação de tensão	52
Figura 24 - Shield para conexão com o Arduino.....	52
Figura 25 - Relação de linearidade do sensor de tensão da bateria	55
Figura 26 - Sinal obtido na saída do detector de tensão	56
Figura 27 - Curva de descarga da bateria	57
Figura 28 - Processo de carga da bateria	58
Figura 29 - Mensagem inicial de cadastro do usuário	59
Figura 30 - Troca de mensagens na condição de falta.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de custos dos componentes.....	53
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos geral e específicos	15
1.3 Estrutura do trabalho	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Sistemas embarcados.....	18
2.2 Microcontroladores	19
2.3 Plataforma Arduino	21
2.4 Rede de telefonia móvel.....	23
2.4.1 Rede GSM	23
2.4.1.1 SMS.....	25
2.5 Optoacopladores	26
2.6 Baterias	27
2.6.1 Baterias de chumbo-ácido	28
2.6.2 Especificações técnicas das baterias de chumbo-ácido.....	29
2.6.2.1 Capacidade nominal (C_N)	30
2.6.2.2 Valores de tensão.....	30
2.6.3 Curva de descarga	31
2.6.4 Técnicas de carga	33
2.6.4.1 Método de carga a um nível de tensão	33
2.6.4.2 Método de carga a um nível de corrente.....	34
2.6.4.3 Método a dois níveis de corrente e um de tensão	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 O sistema proposto	36
3.1.1 Rede de energia elétrica.....	37
3.1.2 Conversor AC/DC	37
3.1.3 Bateria	38
3.1.3.1 Carga da bateria	39
3.1.3.2 Descarga da bateria.....	41
3.1.3.2.1 <u>Dimensionamento dos resistores R_{LED} e R_E</u>	42

3.1.4 Detector de tensão.....	42
3.1.5 Arduino UNO.....	44
3.1.5.1 Alimentação do Arduino UNO.....	45
3.1.6 Módulo GSM.....	46
3.1.6.1 Comunicação entre o Módulo GSM e o Arduino.....	47
3.1.7 Mensagens SMS	48
3.1.8 Indicação sonora	48
3.2 Fluxograma do sistema de controle	49
3.3 Construção do sistema.....	51
3.3.1 Custo estimado do protótipo	53
 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	 54
4.1 Simulações e testes iniciais.....	54
4.1.1 Teste da linearidade do sensor de tensão da bateria	54
4.1.2 Resposta do detector de tensão da rede.....	55
4.2 Condições de operação da bateria.....	56
4.2.1 Descarga da bateria.....	57
4.2.2 Carga da bateria	58
4.3 Envio das mensagens SMS.....	58
4.4 Publicações resultantes desta monografia.....	60
 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 62
5.1 Trabalhos futuros	62
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 64

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a pecuária leiteira nacional vem lidando com novos desafios em sua cadeia produtiva sendo que, além do histórico aumento dos custos de produção, cita-se também aspectos como a crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, o bem-estar animal e os impactos ambientais vinculados à agropecuária. Neste cenário de desafios e margens de lucro reduzidas, a busca pelo aumento da eficiência dos sistemas de produção de leite é o principal caminho a ser seguido (CAMPOS, 2013).

Segundo Martin Neto (2013), a aplicação de tecnologia, eletrônica e automação, pode e deve avançar pela agropecuária como forma de assegurar o aumento de produção e produtividade no Brasil e ainda manter e estimular o crescimento das indústrias de máquinas e equipamentos agropecuários no país. Ressalta-se, contudo, que mesmo sem resultados no mercado em abundância nessa área, é cada vez maior o interesse de empresas multinacionais nas oportunidades crescentes do agronegócio brasileiro.

De uma forma mais específica, no setor leiteiro as tecnologias têm modificado os sistemas de produção e geralmente são variações daquelas já utilizadas em indústrias, contribuindo para o desenvolvimento da chamada pecuária leiteira de precisão, o que pode representar o avanço em termos de gerenciamento mais eficiente da produção. Elas oferecem benefícios na saúde e bem-estar dos animais, aumentam a produtividade das fazendas, reduzem custos dos sistemas de produção, além de facilitarem a vida do produtor (FERREIRA et al., 2015).

Neste contexto, o estudo proposto no presente trabalho de conclusão de curso está relacionado ao processo de produção de leite, especificamente na parte associada ao resfriamento do leite durante seu armazenamento na propriedade rural.

O processo de resfriamento é uma forma de evitar que as propriedades nutritivas do leite sirvam de meio de cultura para microrganismos que depreciam sua qualidade (RECHE, 2013), assim como aumentar o tempo de armazenamento do mesmo na fazenda, de modo a reduzir custos de transporte ao laticínio. Importante também citar que a partir da Instrução Normativa 51 (BRASIL, 2002), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), passou a exigir o resfriamento na propriedade leiteira (BARBOSA et al., 2008). Cita-se ainda que a norma para conservação da qualidade do leite, em quase todas as regiões de pecuária leiteira desenvolvida, exige que o mesmo seja resfriado a uma temperatura igual ou inferior a 10°C na

primeira hora, caindo para 4°C nas duas horas após a ordenha, mantendo-se, assim, a qualidade desse leite (TORRES et al., 2011).

Atualmente, o processo de armazenamento do leite se inicia após a coleta do produto *in natura*, seguindo para a sua estocagem e acondicionamento em tanques de resfriamento sob temperatura controlada, até que o mesmo seja recolhido por caminhões-tanques isotérmicos, o que ocorre, em geral, a cada dois dias.

Contudo, esse sistema não é “inteligente”, e apesar de controlar a temperatura do leite, deixa de controlar um parâmetro de fundamental importância, o qual tem gerado perdas consideráveis ao produtor leiteiro. Não existe controle da alimentação do equipamento em questão, ou seja, se por alguma condição inesperada a energia acabar, ou temporariamente faltar, e nenhum funcionário da fazenda perceber, o leite deixará de ter sua temperatura controlada e assim não será mais considerado próprio para venda ao laticínio, gerando grande perda financeira ao produtor. Desta forma, esse trabalho tem como objetivo atuar nesta lacuna do processo atualmente empregado, mas tendo em mente a necessidade de apresentar uma solução de custo não elevado e viável de implementação ao produtor leiteiro.

Com essa finalidade, foi proposto um sistema microcontrolado capaz de alertar o produtor rural no instante em que o sistema de resfriamento do leite deixar de ser alimentado pela rede elétrica. Apesar do fato de essa proposta não resolver o problema da falta de energia por si só, acredita-se que ela possa diminuir o tempo decorrido entre o acontecimento da falha e a sua detecção pelos responsáveis, aumentando assim as chances de se reestabelecer o fornecimento de energia ou de se tomar outra decisão viável antes que toda a produção se perca.

1.1 Justificativa

O setor leiteiro tem um importante papel na ordem econômica e social do agronegócio brasileiro, com uma participação significativa no PIB da pecuária (VILELA; RESENDE, 2014). De acordo com dados do IBGE (2017), a produção nacional de leite em 2016, estimada em 33,62 bilhões de litros, coloca o Brasil em quinto lugar no ranking mundial dos países produtores. Apesar deste grande volume produzido, o país ainda apresenta uma inexpressiva representatividade no mercado externo, visto que para a expansão das exportações são necessárias cumprimento de severas padronizações e melhorias dos sistemas de produção leiteira. Obter um produto lácteo de qualidade é um desafio à cadeia leiteira, visto que, o leite

é um meio nutritivo facilmente colonizado por bactérias de diferentes origens, com taxa de proliferação condicionada a capacidade de o micro-organismo adaptar-se ao ambiente e do tempo disponível (RECHE, 2013).

Com o objetivo de incentivar cada vez mais a eficiência do setor lácteo brasileiro, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), em conjunto com outras empresas do setor, promoveu em 2017 a segunda edição do “*Ideias for Milk - Desafio de Startups*”. De acordo com os organizadores, tal evento trata-se de uma competição nacional entre empreendedores com ideias inovadoras de modelo de negócio, produto, processo ou serviço, baseadas em *software web*, aplicativo *mobile* e/ou solução em *hardware*, incluindo Internet das Coisas (IoT) (EMBRAPA, 2017).

Ainda no contexto da proposta, cita-se o exemplo da Fazenda Kanaam, com 8 hectares, localizada no município de Itaipé/MG que tem um total de 50 vacas em produção leiteira. A propriedade possui um tanque de armazenamento de leite com capacidade de 2.000 litros, e por inconvenientes de falta de energia já chegou a ter prejuízo da ordem de R\$ 7.000,00 em um mês (CORREIA, 2017).

É com base nessa realidade, a de um setor que ainda enfrenta dificuldades, mas que também almeja o crescimento por meio da criação de novas tecnologias, que o presente trabalho encontra a sua motivação, buscando contribuir na diminuição de perdas e no auxílio aos produtores de leite. Embora se saiba que o problema do fornecimento de energia, principalmente em áreas rurais, é um assunto de grande complexidade e envolve uma série de fatores, entende-se que a busca por uma alternativa que possa minimizar os efeitos negativos da sua interrupção é válida.

Deve-se dizer ainda que a proposta discutida neste trabalho não constitui uma ideia inovadora ou sem precedentes no mercado, mas que tem potencial para se tornar uma solução igualmente interessante e com menores custos de implantação.

1.2 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver e apresentar um protótipo de sistema microcontrolado que possa auxiliar pequenos produtores a diminuir as perdas ocasionadas pela interrupção do fornecimento de energia no processo de resfriamento do leite. Para isso, o sistema deve monitorar a rede de alimentação na qual está conectado o tanque de

resfriamento, utilizando um elemento sensor para que, uma vez detectada a falta de energia, acione um alarme de indicação sonora, bem como realize o envio de mensagens SMS para o dispositivo móvel cadastrado, alertando o usuário do ocorrido o mais rápido possível e permitindo que ele tome as devidas providências.

Para se obter o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são elencados:

- Definir a estrutura do sistema de monitoramento, ou seja os componentes eletrônicos, módulos e/ou sensores necessários para o seu funcionamento;
- Realizar a montagem do protótipo, tendo como base de processamento a plataforma Arduino;
- Desenvolver um código de programação que realize a rotina de monitoramento a partir dos sinais obtidos e execute as ações de alarme necessárias;
- Estabelecer a comunicação entre o microcontrolador e o módulo GSM utilizado, de forma a permitir o acesso à rede de telefonia móvel;
- Prover a alimentação do sistema utilizando uma bateria, permitindo o funcionamento do alarme durante a ocorrência da falta na rede de energia elétrica, bem como garantir a recarga da bateria sob condições que não diminuam o seu tempo de vida útil;
- Realizar testes do protótipo para verificar e confirmar seu funcionamento.

1.3 Estrutura do Trabalho

Esta monografia é composta por 5 capítulos, sendo que neste primeiro, são apresentadas uma breve introdução sobre o contexto do problema abordado e a sua justificativa. Em seguida, são estabelecidos os objetivos a serem alcançados assim como a estrutura do trabalho. O segundo capítulo trata do referencial teórico que serve de base para os principais tópicos associados ao desenvolvimento do trabalho, como uma explanação sobre os sistemas embarcados, o sistema de comunicação GSM e as características básicas das baterias estacionárias. No terceiro capítulo são descritos todos os componentes do sistema, as suas especificações, bem como as metodologias empregadas para a construção do protótipo e a elaboração do sistema de controle da plataforma Arduino. O quarto capítulo apresenta os resultados dos testes realizados no protótipo e as devidas considerações relacionadas, assim

como as publicações associadas ao desenvolvimento deste trabalho. Por fim, o capítulo cinco destaca as considerações finais do trabalho e as futuras propostas a serem desenvolvidas a partir dele.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico do protótipo desenvolvido, trazendo as definições de sistemas embarcados, microcontroladores e os conceitos relacionados à plataforma de desenvolvimento Arduino, sistema GSM e aos optoacopladores. Por fim, são apresentadas as principais características das baterias de chumbo-ácido, elemento usado na alimentação do sistema proposto.

2.1 Sistemas embarcados

Atualmente, presencia-se uma crescente utilização de sistemas embarcados em praticamente todos os equipamentos eletrônicos disponibilizados no mercado. Enquanto no passado, estes sistemas eram apenas utilizados em equipamentos complexos, hoje estão presentes em diversas tecnologias eletrônicas simples e comuns no dia a dia. Os segmentos que mais demandam o uso destes sistemas são os de telecomunicações, eletrônica de consumo, automação industrial e automotivo, além de sistemas médicos, aeroespaciais, entre outros (PEREIRA et al., 2015).

Com a adição destas novas tecnologias, os equipamentos têm tamanhos cada vez menores e suas funções envolvidas tornam-se cada vez mais avançadas. Se por um lado, isso se mostra muito útil, pois ajuda na miniaturização dos equipamentos eletrônicos, por outro também exige uma maior complexidade na programação destes sistemas e na construção dos *softwares* que serão embarcados nestes equipamentos (ZELENOVSKY; MENDONÇA, 2008).

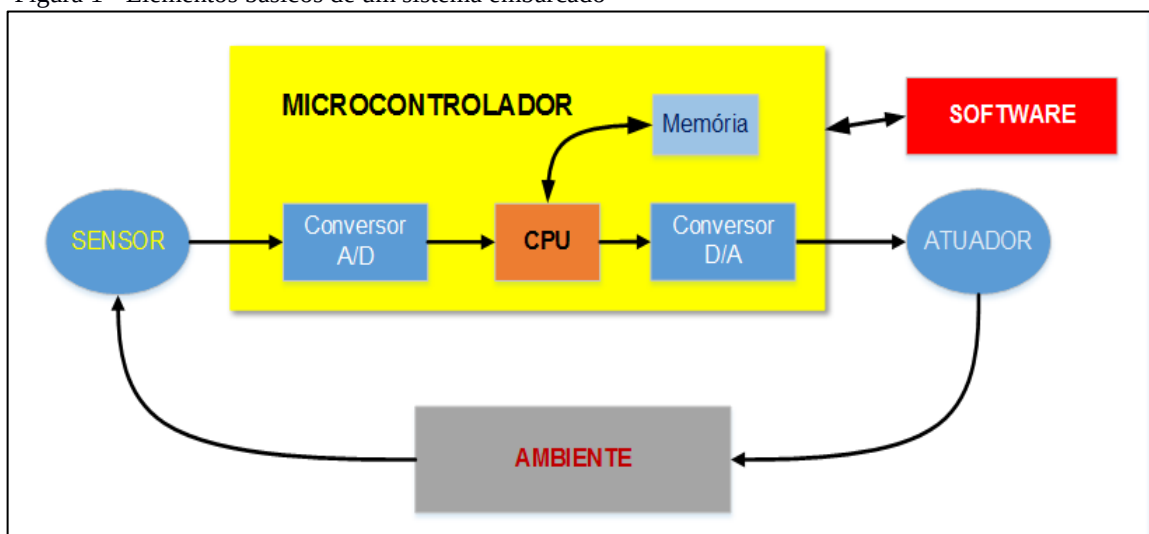
Segundo Pereira et al. (2015), a palavra embarcado pode ser relacionada ao fato de ser uma parte funcional de um sistema como um todo, ou seja, um *software* embarcado é responsável por uma determinada função em um sistema maior de maneira contínua e, de preferência, sem travamentos ou *panes*.

Nesse sentido, agregar capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema também é uma definição para o que vem a ser um sistema embarcado. É preciso notar que um sistema como este deve ser mais do que um simples computador. É um sistema completo e independente, mas preparado para realizar uma determinada tarefa específica. O usuário final não terá acesso ao programa que foi embutido no dispositivo, mas

poderá interagir com o equipamento através de interfaces como teclados e *displays*, desde que o sistema tenha sido projetado para tanto (CUNHA, 2007).

Assim, para o indivíduo que programa e desenvolve um sistema embarcado ele pode ser representado como um conjunto de entradas, saídas, processadores e memórias, que se relacionam entre si e com o ambiente onde será utilizado, como pode ser visto na Figura 1. Já o usuário final se preocupa apenas em como utilizar este sistema e o que ele agrega de valor a um produto, em termos de redução de custos, aumento de funcionalidade, aumento de desempenho, etc. (CUNHA, 2007).

Figura 1 - Elementos básicos de um sistema embarcado



Fonte: Adaptada de Cunha (2007).

Conforme pode ser visto na Figura 1, um sistema embarcado necessita de um componente de controle que gerencie todo o funcionamento do sistema. A opção mais comum para isso é utilizar um microcontrolador, já que ele tem a capacidade de fazer a leitura dos sinais externos, executar programas com as tarefas definidas, processar os sinais e enviar para atuadores os resultados esperados (CUNHA, 2007). A seguir, são definidos alguns conceitos associados aos microcontroladores.

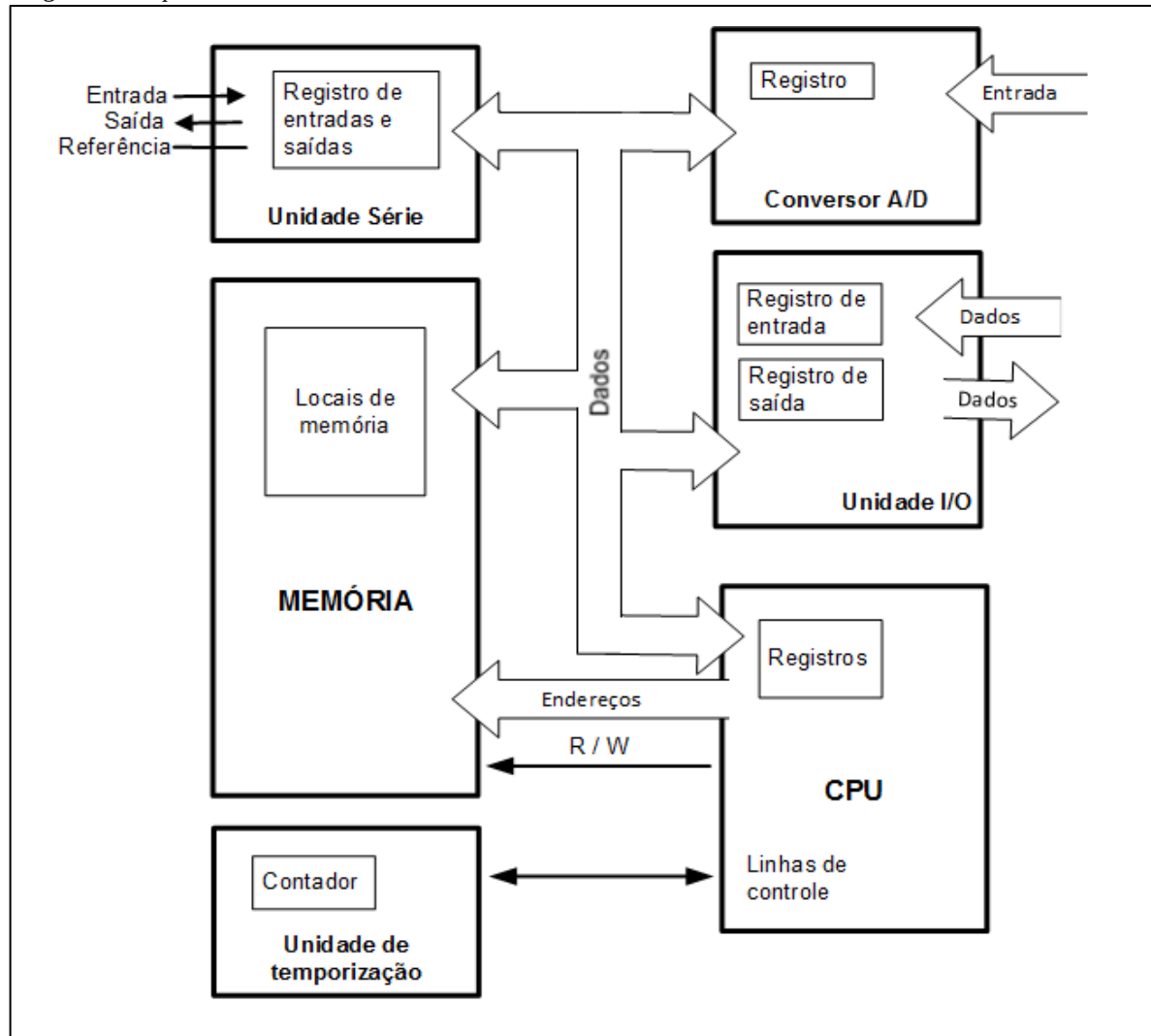
2.2 Microcontroladores

Os microcontroladores surgiram no princípio dos anos 80, como uma evolução natural dos circuitos digitais que foram se tornando complexos e começaram a ser substituídos por

unidades de processamento encapsuladas em um único chip, junto com memórias, *clock* e periféricos mais limitados que um computador (PENIDO; TRINDADE, 2013).

De maneira geral, um microcontrolador é composto por um circuito integrado programável que contém toda a estrutura (arquitetura) de um microcomputador, isto é, em sua estrutura interna podemos encontrar uma CPU (unidade central de processamento), memória RAM, memória EEPROM (memória de leitura e escrita não volátil; portas de entrada/saída (pinos de E/S). Além disso, muitos modelos de microcontroladores incorporam diferentes módulos "periféricos", como conversores analógico/digital (A/D), módulos PWM (controle por largura de pulso), módulos de comunicação serial ou paralelo, entre outros (OKI; MANTOVANI, 2013). A Figura 2 apresenta o esquema de um microcontrolador típico.

Figura 2 - Esquema de um microcontrolador com os seus elementos básicos



Fonte: Adaptada de Matic e Andric (2005).

Para facilitar ainda mais o desenvolvimento de sistemas utilizando microcontroladores é possível acoplá-los a estruturas auxiliares, conhecidas como plataformas de prototipagem. A próxima seção trata de uma dessas plataformas, a Arduino, muito utilizada atualmente em aplicações didáticas e projetos eletrônicos.

2.3 Plataforma Arduino

Arduino é uma plataforma *open source* de prototipagem eletrônica, baseada em *hardware* e *software* flexíveis e de fácil implementação. Ela é capaz de “interagir” com o ambiente, por meio de sinais de entrada provenientes de uma variedade de sensores, e modificá-lo através de sinais de saídas para atuadores, motores, luzes, etc. (PEIXOTO et al., 2012).

Os projetos desenvolvidos para a plataforma Arduino podem ser independentes ou podem comunicar com outros *softwares* que estejam rodando em um computador. É possível ainda conectá-la a uma rede, ou até mesmo à *internet* para recuperar e enviar dados do Arduino e atuar sobre eles. As placas podem ser compradas com facilidade e o *software* de desenvolvimento pode ser baixado gratuitamente. Existem inúmeros projetos de referência do Arduino disponíveis na Web e o usuário é livre para adaptá-los às suas necessidades (PEIXOTO et al., 2012).

Existe no mercado uma série de versões da placa Arduino, todas baseadas em um microprocessador de 8 *bits* da família *Atmel AVR*, que pode ser programado usando a linguagem de programação padrão do Arduino, que é essencialmente C/C++, e um ambiente de desenvolvimento, baseado no ambiente *Processing* (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Para a programação da plataforma utiliza-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado ou IDE (do inglês, *Integrated Development Environment*), um *software* livre que pode ser instalado em diversos sistemas operacionais, como *Windows*, *Linux* e *Mac OS*. Este ambiente, que apresenta uma interface visual semelhante à mostrada na Figura 3, permite que um conjunto de instruções, ou *sketch*, seja escrito, com base em linguagem C, e, posteriormente, transferido para o microcontrolador usando comunicação serial, via porta USB do computador. Em seguida, o Arduino executa as instruções, interagindo com o que estiver conectado a ele (MCROBERTS, 2011).

Figura 3 - Tela do IDE Arduino



Fonte: Acervo do autor (2018).

Outra ferramenta muito útil do IDE Arduino é o monitor serial, responsável por exibir os dados da comunicação serial estabelecida entre o microcontrolador e o sistema do computador, via cabo USB. Essa funcionalidade permite a depuração do código desenvolvido, já que informa, por exemplo, a leitura de sinais externos e também se os dados recebidos e/ou enviados pelo Arduino estão no formato esperado (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

O *hardware* das placas Arduino, em geral, é composto por um microprocessador *Atmel AVR*, um cristal ou oscilador para gerar os pulsos da frequência de operação e um regulador linear de 5V. Dependendo do modelo, elas podem possuir uma saída USB, que permite conectá-las a um computador para *upload* ou recuperação dos dados. A placa apresenta ainda pinos de entrada e saída do microcontrolador, possibilitando a conexão com outros circuitos ou sensores (MCROBERTS, 2011).

O Arduino possui portas analógicas e digitais. Enquanto a comunicação digital só pode assumir dois estados bem definidos, HIGH (5V) ou LOW (0V), as portas analógicas conseguem registrar qualquer valor de tensão entre 0 e 5V. Porém, mesmo registrando valores analógicos, o seu microcontrolador trabalha internamente com dados digitais. Por este motivo ele possui um conversor analógico/digital interno com 10 *bits* de resolução. Ao considerar a referência de

tensão interna de 5V, a resolução, em termos de tensão, será dada pela Eq. (1) (ARDUINO, 2016),

$$\text{Resolução} = \frac{V_{\text{REF}}}{2^{10}-1} = \frac{5}{1023} \cong 4,89\text{mV}. \quad (1)$$

Não bastasse a gama de funcionalidades disponíveis nas placas Arduino, elas podem ainda ser estendidas utilizando os *shields*, que são placas de circuito contendo outros dispositivos (por exemplo, receptores GPS, *displays* de LCD, módulos de Ethernet etc.), que podem ser simplesmente conectadas ao Arduino para obter funcionalidades adicionais (MCROBERTS, 2011).

Neste sentido, são destacadas e explicadas a seguir algumas funcionalidades exploradas no desenvolvimento deste trabalho.

2.4 Rede de telefonia móvel

Nos últimos anos, o uso das redes de telefonia celular como alternativa para transmissão de dados tem apresentado resultados satisfatórios como meio de comunicação para aplicações em automação comercial, industrial e gerenciamento de distribuição e consumo de energia elétrica, gás e água. Nos casos onde é aceitável uma pequena taxa de erro ou certa latência entre a requisição da informação e seu recebimento, o uso da infraestrutura das redes de telefonia celular torna-se interessante por já possuir um alcance que cobre praticamente todo o Brasil (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).

Ainda, conforme afirmam Pirotti e Zuccolotto (2009) em seu artigo, das tecnologias de comunicação móvel existentes, a tecnologia mais difundida como padrão para este tipo de rede é a tecnologia GSM, que é melhor definida a seguir.

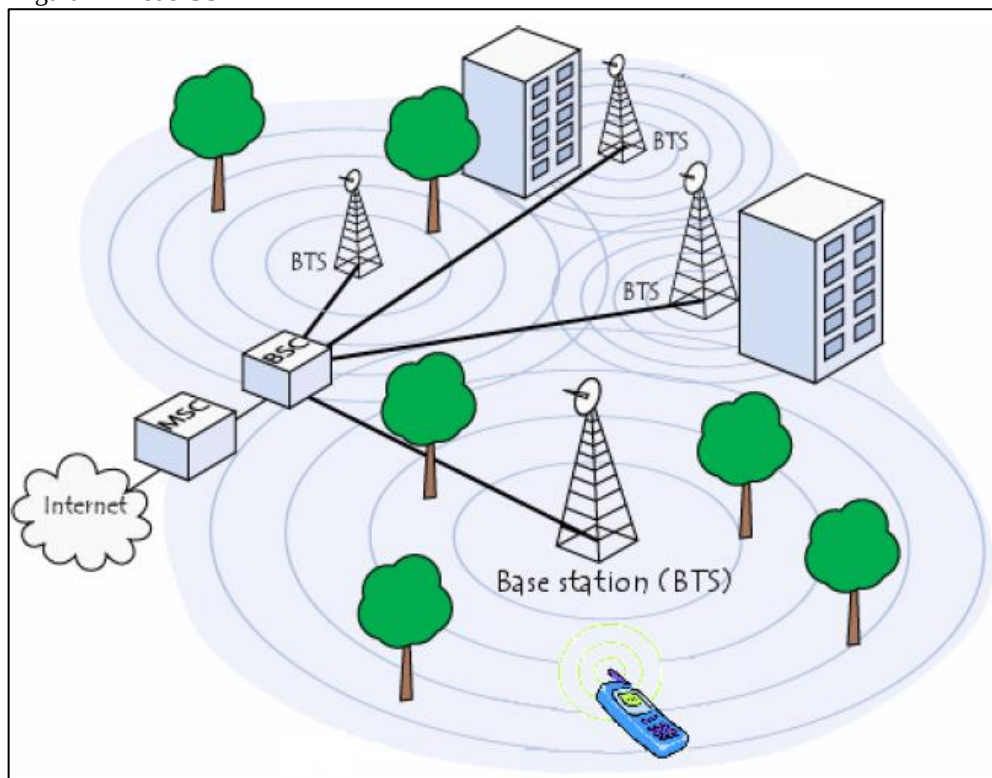
2.4.1 Rede GSM

O Sistema Global para Comunicações Móveis, GSM (do inglês, *Global System for Mobile Communication*) é um sistema de telefonia móvel digital que é amplamente utilizado

em todo o mundo. O padrão GSM para telefonia celular começou a ser desenvolvido na Europa, no início da década de 80, quando o então criado grupo *Groupe Spéciale Mobile* teve o objetivo de desenvolver um novo padrão que substituísse os diversos padrões usados até então. Embora tendo sido pensado inicialmente apenas para a Europa, o padrão demonstrou condições de se tornar um padrão global (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009). Em 2004, tornou-se o padrão global com maior importância no setor de telecomunicação móvel, com mais de 90% de participação no mercado, operando em mais de 219 países e territórios (GSMA, 2016).

Em uma rede GSM, caracteriza-se como terminal do cliente a estação móvel, sendo esta composta por um aparelho móvel, como um celular ou um módulo GSM. Estes aparelhos necessitam de um *chip* de identificação, também conhecido como *chip* SIM (*Subscriber Identity Module*), que identifica o cliente e libera os serviços disponíveis da conta. Os aparelhos móveis são distinguidos por um número de identificação de 15 dígitos chamado IMEI (*International Mobile Equipment Identity*). Cada chip SIM também possui um fator de identificação chamado IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). Este número pode ser protegido com a ajuda de uma chave de 4 dígitos chamada código PIN. O esquema ilustrado na Figura 4 representa uma rede GSM básica.

Figura 4 - Rede GSM



Fonte: (TRINDADE, 2015).

A Figura 4 mostra a comunicação entre uma estação móvel (aparelho celular) e a estação transceptora base (BTS) por meio de uma onda de rádio. O cartão SIM identifica o cliente, independentemente da BTS utilizada. Por sua vez, controlador de estação base (BSC) realiza a conexão entre as estações móveis e o centro de comutação móvel (MSC), que providencia a funcionalidade para o tratamento de um cliente, registrando, autenticando, atualizando a localização, processando serviços de tarifação e gerenciando qualquer solicitação do cliente (TRINDADE, 2015).

Uma ferramenta muito útil disponibilizada pelos serviços da rede GSM é o envio de mensagens por meio do Serviço de Mensagens Curtas ou SMS (*Short Message Service*).

2.4.1.1 SMS

O SMS surgiu em 1991 na Europa, já incluído no padrão de segunda geração digital GSM. O SMS ponto a ponto provê um mecanismo para transmissão de e para terminais móveis sem fio. O serviço utiliza um centro de SMS ou SMSC (*Short Message Service Center*) que atua como um sistema de *storage and forward* para mensagens curtas. Uma característica importante deste serviço é que ele permite a um terminal móvel receber ou enviar a qualquer momento, independentemente de chamada de voz ou dados em andamento. Além disso, a entrega das mensagens é garantida pela rede. Falhas temporárias são identificadas e a mensagem curta é armazenada na rede até que o destino esteja novamente disponível (DIAS; SADOK, 2001).

O texto das mensagens SMS possui um tamanho máximo de 160 caracteres (letras, números ou símbolos no alfabeto latino) (ERICKSON, 2012). Em 2010, o SMS foi o sistema de envio de dados mais utilizado, adotado por 80% dos usuários de telefonia móvel. Embora o seu uso tenha diminuído consideravelmente nos últimos anos devido a popularização dos *smartphones* e dos serviços de mensagens via *internet*, o serviço SMS ainda é a maneira mais eficaz de alcançar os usuários, principalmente em áreas remotas ou mais isoladas. Isso acontece porque ele não exige a conexão com a *internet*, tornando acessível a comunicação com qualquer um com acesso a rede de telefonia (TOLENTINO, 2015).

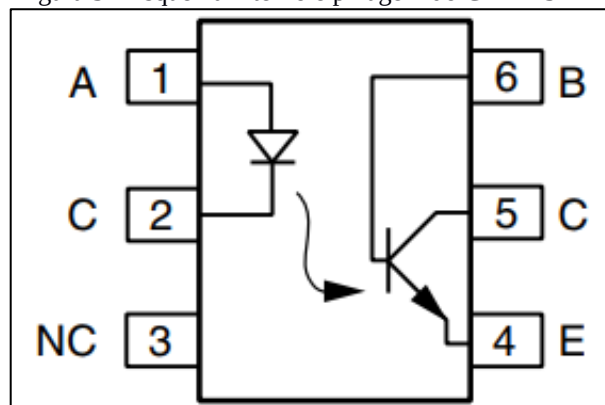
2.5 Optoacopladores

Os optoacopladores são componentes eletrônicos cuja principal função é isolar eletricamente duas partes de um mesmo circuito que possuam níveis de tensão distintos. São dispositivos amplamente utilizados para garantir o funcionamento dos componentes eletrônicos em circuitos onde existe o risco de sobrecargas ou qualquer outra perturbação que venha pôr em xeque a integridade dos mesmos (GONZAGA, 2015).

Um optoacoplador padrão fornece a transferência de sinal entre uma entrada e uma saída isoladas, por meio de um diodo emissor de luz infravermelha e um fototransistor. O isolamento elétrico é conseguido enviando-se um feixe de luz infravermelha para o receptor óptico, que é excitado, reproduzindo assim o sinal desejado, de um potencial para outro (TRAN; SISKEN; JIANG, 2010).

A Figura 5 apresenta o esquema interno de um optoacoplador, o 4N25, muito utilizado em projetos eletrônicos, devido a sua grande eficiência de isolamento e imunidade a ruídos e interferências eletromagnéticas, além do seu baixo custo.

Figura 5 - Esquema interno e pinagem do CI 4N25



Fonte: (VISHAY SEMICONDUCTORS, 2012).

De acordo com a Figura 5, o optoacoplador 4N25 possui internamente um diodo emissor de luz, sendo que o pino 1 está conectado ao seu ânodo e o pino 2 ao cátodo. Quando se conecta um circuito externo nessa entrada, a circulação de corrente através do diodo excita a base do fototransistor (pino 6) e provoca o acionamento do circuito conectado ao o coletor (pino 5) e o emissor (pino 4).

Segundo Tran, Sisken e Jiang (2010), a funcionalidade dos optoacopladores pode ser explorada de dois modos diferentes, dependendo do resultado que se deseja alcançar. Na

configuração linear, é possível obter na saída do componente um sinal que é uma cópia do sinal de entrada, sendo que a sua amplitude é um produto dependente do ganho do fototransistor e cada valor pode ser analisado pelo circuito de saída como uma resposta diferente. A outra alternativa é usar o optocoplador apenas como um interruptor binário, onde a saída é interpretada apenas como nível lógico baixo ou alto. Neste trabalho, essas duas configurações são utilizadas para a obtenção dos objetivos esperados.

Por fim, a parte seguinte deste capítulo apresenta um levantamento dos principais parâmetros associados ao funcionamento das baterias de chumbo-ácido, elemento empregado na alimentação do modelo desenvolvido.

2.6 Baterias

As baterias podem ser definidas como associações em série ou paralelo de células unitárias, o que permite uma grande diversidade de valores de tensões ou correntes elétricas para diferentes tipos de aplicação. Cada uma dessas células possui a capacidade de acumular energia, conservá-la e restituí-la em momentos oportunos, constituindo assim uma fonte autônoma de energia (CHAGAS, 2007; BECKER, 2017).

Conforme Chagas (2007), as baterias são divididas em duas principais categorias, sendo classificadas como primárias ou secundárias. O grupo das baterias primárias inclui os dispositivos que não podem ser recarregados, uma vez que produzem sua energia a partir de uma reação eletroquímica não reversível. As combinações mais comuns deste tipo de baterias são as alcalinas, carbono-zinco ou cloro-zinco, lítio, óxido de prata, zinco-ar ou mercúrio.

As baterias secundárias possuem a capacidade de serem recarregadas por uma fonte de alimentação externa, alternando repetidos ciclos de carga e descarga. Estão incluídas neste grupo as baterias de íon-lítio, níquel-cadmio (NiCad), níquel-hidreto metálico (NiMH) e as de chumbo-ácido, sendo que estas últimas representam, aproximadamente, 60% das baterias vendidas em todo o mundo (CHAGAS, 2007).

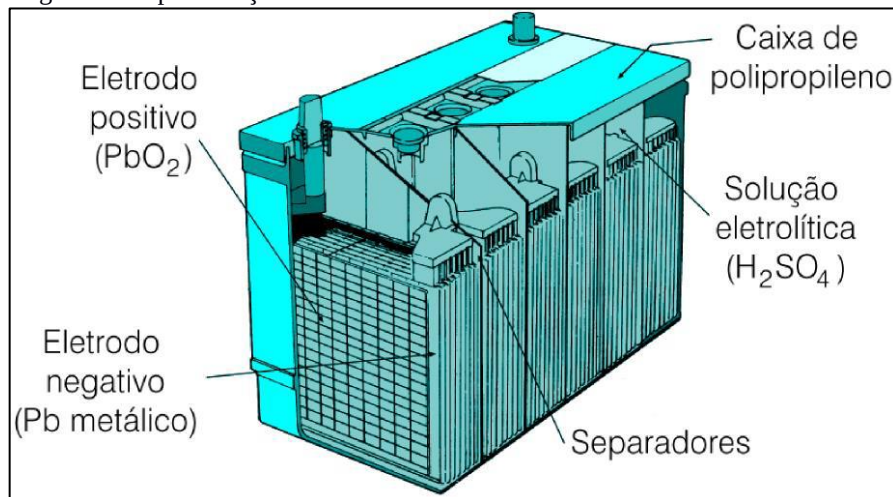
Ainda no grupo das baterias secundárias, é possível classificá-las em tracionárias ou estacionárias, de acordo com o seu tipo de uso. Em aplicações onde elas representam a fonte de energia primária, como na partida de automóveis, barcos ou afins, recebem a denominação de tracionárias. Já as baterias estacionárias são aquelas utilizadas em situações onde existe uma outra fonte primária, mas se tornam responsáveis pelo fornecimento de energia quando esta

fonte primária é comprometida ou desconectada, como em sistemas de fornecimento ininterrupto (VICHESSEI, 2010).

2.6.1 Baterias de chumbo-ácido

As baterias secundárias do tipo chumbo ácido, conforme ilustra a Figura 6, são compostas por um conjunto de placas de chumbo (eletrodo negativo) e placas de dióxido de chumbo (eletrodo positivo), mergulhadas em uma solução de ácido sulfúrico e água. No interior do dispositivo ocorre uma reação controlada, onde o ácido sulfúrico lentamente corrói as placas de chumbo, gerando sulfato de chumbo, água e elétrons livres como subproduto. Assim, o fluxo dessas cargas elétricas promove a energia fornecida pela bateria no processo de descarga. De modo contrário, quando se utiliza uma fonte externa para carregar a bateria, os elétrons são devolvidos, fazendo com que o sulfato de chumbo e a água transformem-se novamente em chumbo e ácido sulfúrico, retornando a bateria a um estado próximo do original (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Figura 6 - Representação de uma bateria de chumbo-ácido



Fonte: (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

De acordo com Carneiro et al. (2017), baterias de chumbo-ácido recebem quatro diferentes classificações, associadas aos tipos de aplicações às quais serão submetidas. De forma resumida, são definidas como:

- Baterias automotivas: Representam grande parcela, uma vez que são usadas na maioria dos veículos para iniciar a combustão interna do motor e para fornecer energia ao sistema elétrico do veículo quando este não está em funcionamento. A partir do momento que o motor está em funcionamento, o alternador do veículo recarrega a bateria, mantendo-a assim em plena carga.
- Baterias tracionárias: A bateria tracionária ou de tração trabalha sob condições mais severas, onde necessita-se de mais potência, energia e um ciclo de vida longo. Funcionam em ciclos de descarga muito profundas e recargas em curto espaço de tempo. Em relação à descarga, é muito maior do que as baterias de arranque, pois precisam obter mais energia.
- Baterias estacionárias: As baterias estacionárias são usadas como fonte de energia reserva, na maior parte do tempo elas trabalham carregadas e quando a energia é cortada elas substituem a energia e mantém o componente na qual estão conectadas funcionando. Essa aplicação é observada em *nobreaks*, iluminações de emergência, alarmes, centrais telefônicas, hospitais, subestações de energia e telecomunicações, redes GSM e *wireless*, entre outras.
- Baterias reguladas por válvula: A bateria considerada de última geração é a bateria VRLA, bateria regulada por válvula. Este modelo possui as mesmas características da bateria automotiva, porém o eletrólito não é líquido, é imobilizado na forma de gel ou absorvido por um separador de microfibra de vidro. Essa característica permite eliminar os custos com manutenção da bateria.

2.6.2 Especificações técnicas das baterias de chumbo-ácido

Devido à variedade de aplicações, cada tipo de bateria é desenvolvido de forma a atender com eficiência a funcionalidade para a qual foi desenvolvida. Assim, cada modelo possui características e valores nominais que os diferenciam das demais (CARNEIRO et al., 2017). A seguir são elencados alguns parâmetros que definem uma bateria.

2.6.2.1 Capacidade nominal (C_N)

A capacidade nominal (C_N), expressa em Ampère-hora (Ah), é a unidade que mensura o armazenamento energético de uma bateria, também conhecido como autonomia. Indica a quantidade de energia que ela possui ao ser fabricada e estar plenamente carregada, ou seja, o quanto de corrente, em Ampère (A), que a bateria é capaz de fornecer em um determinado período de horas (h) sob certas condições específicas (OLIVEIRA, 2016).

A definição de C_N é extremamente dependente do tempo de descarga. Por esse motivo, ela deve ser realizada com base em um regime de análise padrão de 10 ou 20 horas, dependendo de cada fabricante. Assim, a capacidade nominal pode ser calculada pela Eq. (2) (SEGUEL, 2009),

$$C_N = I \cdot t \quad (2)$$

onde:

C_N = Capacidade nominal da bateria (Ah);

I = Corrente de descarga usada nos testes (A);

t = Tempo da descarga (h).

As baterias apresentam um comportamento não-linear, isto é, quanto maior a corrente de descarga, menor será a autonomia e a capacidade. Por isso, não é correto falar em uma bateria de 100Ah. Deve-se falar, por exemplo, em uma bateria de 100Ah, com padrão de descarga 20 horas, o que significa que esta bateria permitirá descarga de $100/20 = 5$ A, durante 20 horas (UNIPOWER, 2016).

2.6.2.2 Valores de tensão

Em geral, as baterias são internamente compostas por um arranjo em série de alguns elementos unitários, ou células, de aproximadamente 2V. O valor da tensão nominal que define um dispositivo depende do número de células que o compõe. Desta forma, uma bateria composta por seis dessas unidades possui uma tensão nominal de 12V (CHAGAS, 2007).

Apesar de possuir esse valor nominal de tensão, as baterias costumam perder naturalmente a sua carga armazenada, mesmo que não estejam sendo utilizadas. Esse fenômeno, conhecido como autodescarga, pode fazer com que a tensão nos terminais do elemento diminua a uma taxa de 2 a 5% ao mês, prejudicando assim a sua capacidade de fornecimento de energia (CARNEIRO et al., 2017).

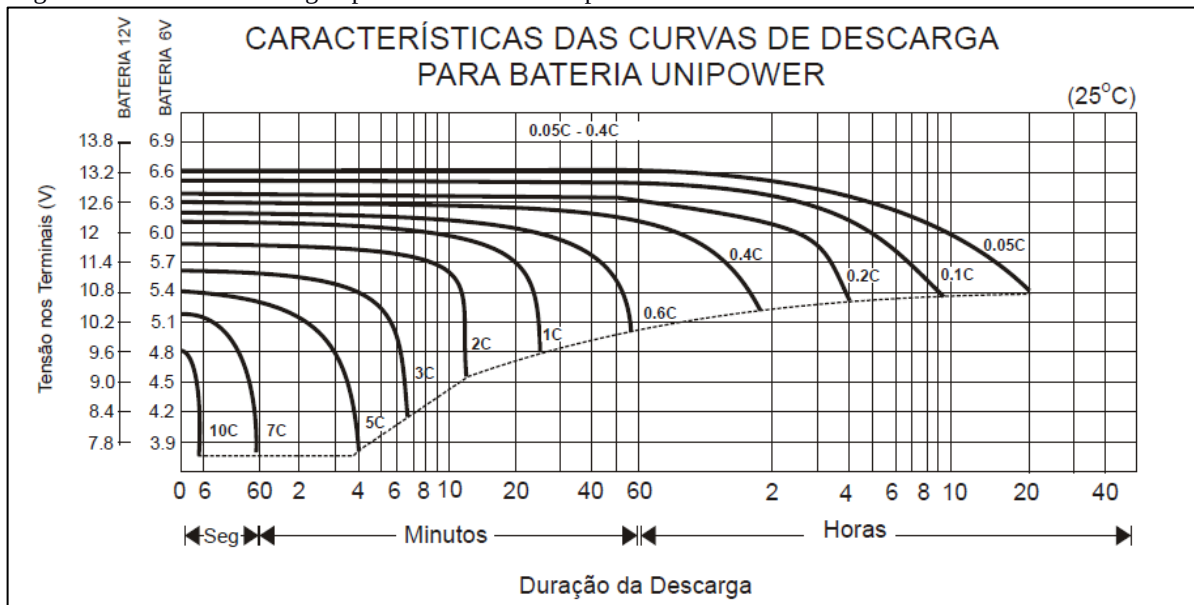
Para se evitar as perdas por autodescarga, é recomendado a aplicação de uma tensão de manutenção na bateria, chamada de tensão de flutuação. Quando submetidas a uma tensão de flutuação correta, as baterias são mantidas carregadas e prontas para fornecerem sua capacidade nominal, uma vez que o fluxo de corrente de flutuação compensa as perdas. A tensão de flutuação depende da temperatura e do tipo de bateria, mas a maioria das baterias de chumbo ácido possuem uma tensão de flutuação da ordem de 2,20 a 2,30V por elemento, a uma temperatura ambiente de 25°C (CHAGAS, 2007).

Outro valor de tensão que merece atenção é o limiar de descarga da bateria, isto é, o menor valor de tensão que é permitido a um elemento de bateria chumbo ácido atingir durante uma descarga. Normalmente, o valor da tensão final de descarga ou tensão de corte é estipulado em 1,75V por elemento. Valores de tensão inferiores a estes podem danificar o elemento irreversivelmente devido a sulfatação das placas ou a inversão de polaridade das mesmas, podendo até inutilizar a bateria (CHAGAS, 2007).

2.6.3 Curva de descarga

Como já foi dito, a autonomia de uma bateria depende da forma como ela será descarregada e da corrente que será requisitada. Para cada valor de corrente, existe uma curva associada, que definirá o tempo total de descarga da bateria. A Figura 7 mostra uma representação das curvas e dos índices de descarga típicos de uma bateria, onde cada um está associado a um múltiplo da sua capacidade nominal, considerando um padrão de descarga de 20 horas, uma tensão de corte de 1,75V por elemento e temperatura de 25°C (UNIPower, 2016).

Figura 7 - Curvas de descarga típicas das baterias Unipower



Fonte: (UNIPOWER, 2016).

A Figura 7 mostra que quanto maior a corrente suprida pela bateria, mais rápida é a sua descarga. Outro aspecto importante é que em aplicações práticas onde não existe o controle da descarga, o dispositivo pode ter o limiar de tensão final ultrapassado, gerando a diminuição da vida útil da bateria.

Com o passar dos anos, devido ao número de cargas e descargas, ocorre naturalmente a perda da capacidade disponível em uma bateria. Quando a perda de capacidade, ou seja, a diferença entre a capacidade inicial e a atual chega a 20%, considera-se que a bateria chegou ao fim da sua vida útil (CHAGAS, 2007).

A profundidade de descarga é um parâmetro definido como o percentual de carga retirado da bateria numa determinada descarga, onde-se considera que 0% de profundidade de descarga é quando não se descarrega nada e 100% de profundidade de descarga quando retira-se toda a carga da bateria até que se atinja o potencial final de descarga, estabelecido geralmente em 1,75V por elemento (VERA, 2009).

Segundo Chagas (2007), o ciclo de vida de uma bateria de chumbo-ácido está diretamente relacionado com a profundidade das descargas aplicadas a esta bateria. Assim, é possível determinar uma quantidade média de ciclos de carga/descarga de um dispositivo, sob a temperatura de 25°C, no que diz respeito à profundidade de descarga da seguinte forma:

- 150 a 200 ciclos com 100% de profundidade de descarga (descarga completa);
- 400 a 500 ciclos com 50% de profundidade de descarga (descarga parcial);
- 1000 ciclos ou mais com 30% de profundidade de descarga (descarga superficial).

Desta maneira percebe-se que, quando possível, optar por uma descarga parcial ao invés de uma descarga completa pode aumentar significativamente o tempo de utilização de uma bateria.

2.6.4 Técnicas de carga

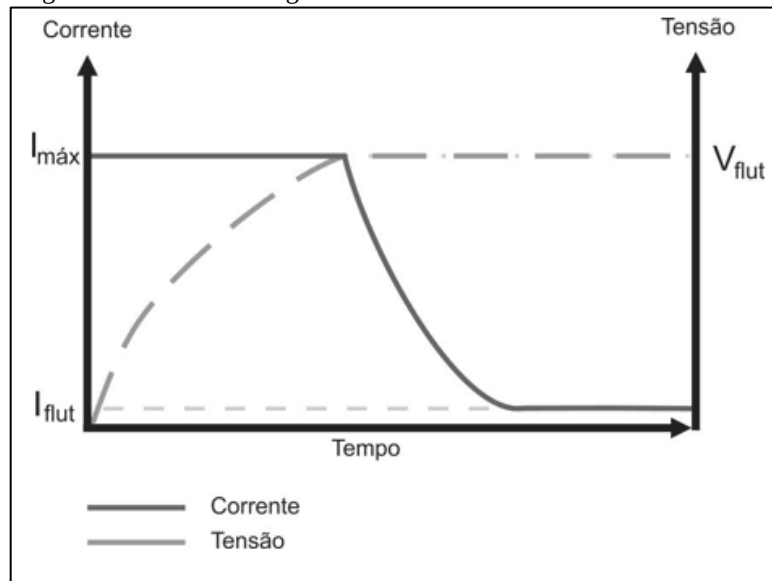
Devido à popularização das baterias de chumbo-ácido e à preocupação em se evitar o seu descarte prematuro, diferentes métodos de carga têm sido estudados, buscando uma maior eficiência e resultando em inúmeras propostas para diminuir o tempo de carga e, ao mesmo tempo, prolongar a vida útil desses dispositivos (CARDOSO, 2015).

Segundo Cardoso (2015), o que ocasiona as diferenças entre os métodos é o tempo disponível para a carga, definido de acordo com a aplicação para a qual se destina. Dependendo do método empregado, a tensão e a corrente aplicadas nos terminais da bateria podem permanecer constantes ou ser variadas, proporcionando uma carga mais lenta ou mais rápida. A seguir são apresentados alguns dos métodos de carga convencionais mais relevantes para este trabalho.

2.6.4.1 Método de carga a um nível de tensão

Este método, apresentado na Figura 8, consiste em se aplicar uma tensão constante durante todo o processo e, conseqüentemente, uma corrente que decresce à medida que a bateria atinge seu nível de plena carga. Sua principal característica é a simplicidade de implementação, uma vez que não existe limitação da corrente inicial. Porém, esse fato também pode gerar problemas devido ao aquecimento do dispositivo, principalmente se submetido a descargas profundas (CARDOSO, 2015).

Figura 8 - Método de carga a um nível de tensão

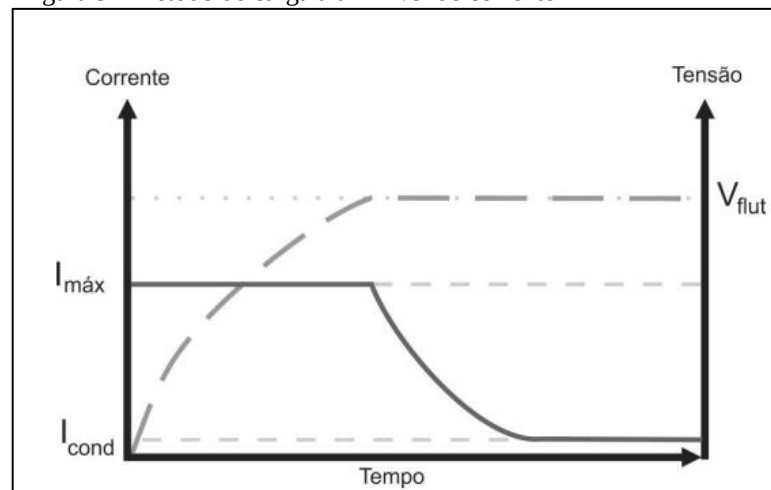


Fonte: (CARDOSO, 2015).

2.6.4.2 Método de carga a um nível de corrente

Como no método anterior, esta modalidade também não se preocupa com a autodescarga da bateria, pois, após a carga final ser alcançada, a fonte de corrente é desconectada. Necessita-se apenas regular a tensão final e esta será diretamente proporcional à corrente de carga. Contudo, também não garante o estado de carga completo e tempo de carga é bastante prolongado, conforme mostra a Figura 9 (CARDOSO, 2015).

Figura 9 - Método de carga a um nível de corrente

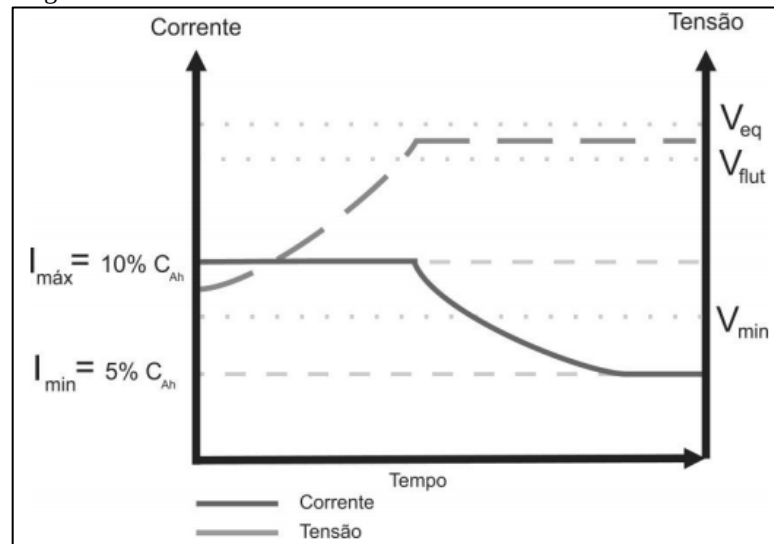


Fonte: (CARDOSO, 2015).

2.6.4.3 Método a dois níveis de corrente e um de tensão

Este método, indicado na Figura 10, consiste em se aplicar inicialmente uma corrente constante de aproximadamente 10% da corrente nominal, até que a tensão alcance um nível logo acima do valor nominal (sem dar sobrecarga). Logo em seguida, aplica-se uma tensão constante até que a corrente atinja o valor da corrente de retenção (5% da nominal). Quando a corrente atinge este valor é mantida constante (CARDOSO, 2015).

Figura 10 - Método a dois níveis de corrente e um de tensão



Fonte: (CARDOSO, 2015).

Desta forma, com base nas informações contidas neste referencial, no capítulo seguinte é apresentada a metodologia empregada no desenvolvimento do modelo proposto, assim como as partes que o compõe.

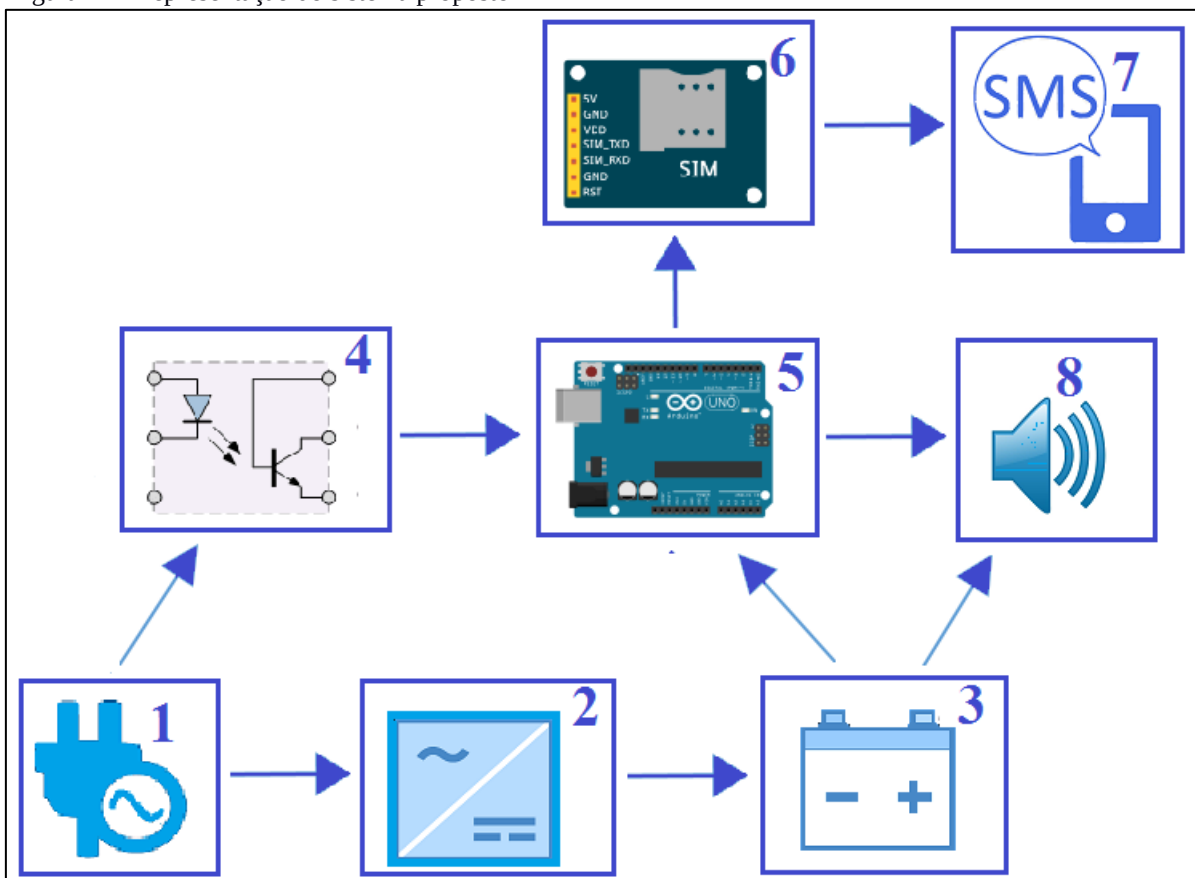
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta parte do trabalho tem como foco apresentar o sistema microcontrolado proposto. Nela são enumerados os dispositivos e componentes utilizados, bem como o funcionamento e características de cada um. Por fim, desenvolve-se o sistema e sua rotina de execução.

3.1 O sistema proposto

A Figura 11, mostra a representação esquemática do modelo de alarme da interrupção de energia elétrica proposto. Este é composto por diferentes blocos, ou módulos, os quais foram enumerados, a fim de posteriormente serem melhor identificados e explicados.

Figura 11 - Representação do sistema proposto



Fonte: Acervo do autor (2018).

De acordo com a Figura 11, as partes que compõem o sistema são:

- 1 – Rede de energia elétrica
- 2 – Conversor AC/DC
- 3 – Bateria
- 4 – Detector de tensão
- 5 – Arduino
- 6 – Módulo GSM
- 7 – Envio de mensagens SMS
- 8 – Indicação sonora do alarme

Nas próximas subseções, cada uma das partes enumeradas na Figura 11 são descritas, a fim de se conhecer o funcionamento e a forma como foram implementadas.

3.1.1 Rede de energia elétrica

O sistema proposto deve ser conectado à mesma rede que alimenta o dispositivo de resfriamento do leite a ser monitorado. Como a grande maioria dos resfriadores funciona em 220V, este nível de tensão também foi considerado no desenvolvimento do protótipo de forma que o sistema possa operar nele. É interessante ressaltar que quanto menor for a distância de conexão entre o sistema e o dispositivo a ser monitorado, maiores são as chances de se detectar outras possíveis causas de desligamento local, como rompimento de cabos na rede interna, que poderiam passar despercebidas.

3.1.2 Conversor AC/DC

Uma vez que os dispositivos utilizados no modelo funcionam em corrente contínua, faz-se necessário emprego de elemento que viabilize a alimentação do sistema por meio da rede de energia elétrica da concessionária. Esse elemento consiste em um conversor AC/DC que, além de retificar o sinal de tensão, torna o nível do mesmo mais adequado para esse tipo de aplicação. Porém, como não é o foco do trabalho, o mesmo não foi desenvolvido para os testes e nem o seu funcionamento será detalhado. Existem no mercado diversos modelos destes conversores

que satisfazem as necessidades do circuito e que foram consideradas para o desenvolvimento do modelo apresentado. A principal vantagem desses dispositivos é que, em geral, possuem a capacidade de se ajustarem automaticamente à tensão da rede à qual são conectados, permitindo a operação em uma faixa de valores de tensão alternada que pode ir de 100V até 240V.

Considerou-se nesse projeto uma tensão DC de 19V na saída do conversor, já que é um valor comercialmente comum, principalmente em carregadores de *notebooks*, facilmente encontrados e que, inclusive, foi o dispositivo usado nos testes. A Figura 12 mostra o conversor empregado.

Figura 12 - Conversor AC/DC



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.1.3 Bateria

A bateria é um dos elementos mais relevantes neste projeto, pois, além de ser responsável pela alimentação do alarme durante a falta, o seu custo também representa boa parte do custo total do sistema. Por esses motivos, a sua utilização merece atenção especial e deve-se garantir que as suas características ideais de funcionamento sejam consideradas.

Em primeiro lugar é importante apontar o tipo mais adequado de bateria para esse tipo de aplicação. Para a alimentação de cargas em sistemas de alarme e em *nobreaks* onde, normalmente, o circuito é acionado e permanece nessa condição por tempo indeterminado, são indicadas as baterias de chumbo-ácido do tipo estacionárias uma vez que são projetadas para

fornecerem ciclos de descarga mais profundos mas com valores moderados de corrente (DMESG, 2017).

Sendo assim a bateria utilizada para a realização dos testes e para a construção do protótipo é apresentada na Figura 13. Ela apresenta um valor nominal de tensão igual a 12V e uma capacidade de armazenamento de 7Ah.

Figura 13 - Bateria estacionária utilizada no sistema



Fonte: (UNIPOWER, 2016).

3.1.3.1 Carga da bateria

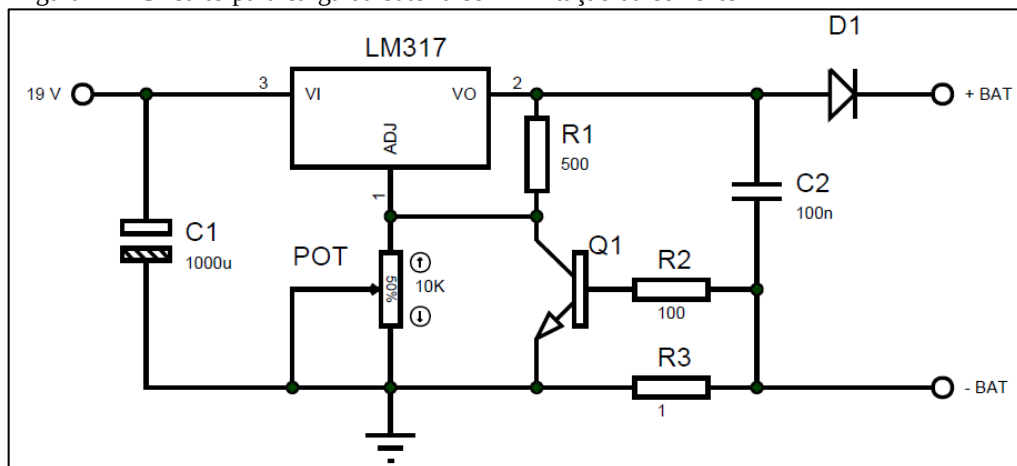
Na ocorrência da falta de energia, busca-se garantir que a bateria esteja com carga suficiente para alimentar o sistema. Para isso, as duas condições de armazenamento da energia, sob as quais ela está sujeita, devem ser consideradas. Primeiramente, tem-se a situação em que o sistema inicia o processo de monitoramento da rede, onde se espera que a bateria esteja com carga igual ou próxima da nominal e que, para ser mantida, depende da aplicação de uma tensão constante nos terminais do dispositivo. Já num outro momento, após o acionamento do alarme e com o retorno do fornecimento de energia, a bateria se apresenta descarregada pelo fato de ter alimentado o sistema e deve ser recarregada. É aqui que se encontra uma das maiores preocupações referentes ao bom funcionamento do dispositivo e que será melhor discutida posteriormente.

Para realizar a carga da bateria, propõe-se um circuito eletrônico cujo principal elemento utilizado é o CI LM317, fabricado pela *Texas Instruments*, que se trata de um regulador

ajustável de tensão de três terminais, capaz de fornecer em sua saída uma faixa de tensão de 1,25V a 37V, dependendo do valor da tensão que se deseja regular.

De acordo com dados fornecidos pelo fabricante, este regulador requer a associação de dois resistores externos para configurar a tensão de referência que determinará a sua saída. Além disso, o seu emprego também possibilita uma série de outras configurações dependendo do tipo de aplicação. No caso do carregamento de baterias, ele apresenta uma configuração muito vantajosa que permite a limitação da corrente de carga por meio da variação de tensão na sua saída (TEXAS INSTRUMENTS, 2016a). Essa limitação é importante porque no início do processo de recarga, principalmente após descargas profundas, a tendência é que a corrente na bateria atinja valores relativamente altos, o que pode provocar o aquecimento interno e a diminuição do tempo de vida útil do dispositivo. Assim, a Figura 14 apresenta o circuito de carga proposto, onde é possível ver o LM317 na configuração mencionada.

Figura 14 - Circuito para carga da bateria com limitação da corrente



Fonte: Adaptada de Texas Instruments (2016a).

Conforme a Figura 14, o funcionamento do CI regulador consiste na alimentação de seu pino 3 e na variação da sua tensão de ajuste, dada em seu pino 1, por meio da variação do potenciômetro, indicado por POT. A tensão na saída (pino 2) será a tensão de ajuste acrescida de 1,25V, conforme as informações do fabricante. Para a carga da bateria, a tensão na saída do regulador é ajustada para um valor igual à tensão de flutuação acrescida da queda no diodo D1. A função de limitar a corrente é realizada pelo transistor Q1, do tipo NPN. À medida que a corrente de carga da bateria aumenta, a tensão no resistor R3 também aumenta fazendo com que o NPN comece a conduzir. Nesse instante, a tensão de ajuste do LM 317 cai, e consequentemente, a tensão na saída. Isso ocorre até que a corrente diminua e o transistor deixe de conduzir. O capacitor C1 tem a função de eliminar as pequenas variações de tensão na

entrada do regulador, enquanto que C2 faz com que a corrente de carga da bateria seja direcionada ao resistor R3. No momento em que a tensão de alimentação é interrompida e a bateria passa a alimentar o circuito, o diodo D1 impede que a mesma descarregue pelo circuito do regulador.

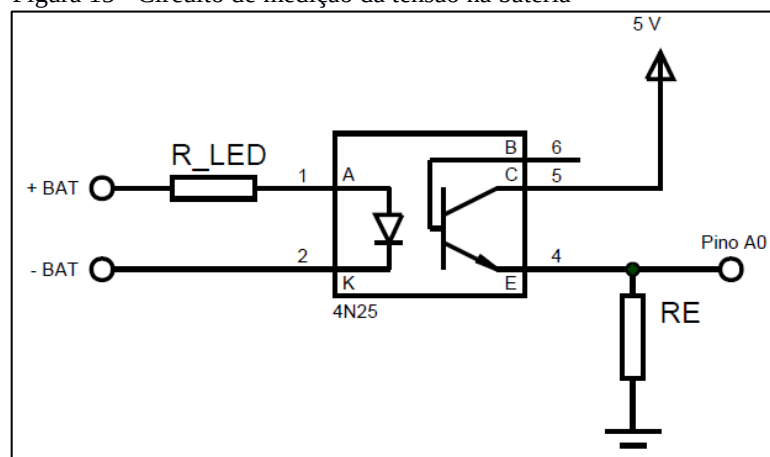
3.1.3.2 Descarga da bateria

Outro parâmetro a se analisar consiste na profundidade da descarga à qual a bateria será submetida, ou seja, até qual valor de tensão ela irá suprir os dispositivos conectados nela. É importante observar esse fator porque ao se permitir descargas completas ou muito profundas, diminui-se o tempo de vida útil da bateria. Como não se pode mensurar o tempo total da falta, existe a possibilidade de se extrair grande quantidade da energia armazenada para a alimentação do sistema durante o acionamento do alarme.

Neste sentido, procurou-se realizar a verificação da tensão presente nos terminais da bateria durante o processo de descarga de forma que, ao se atingir um certo limite predeterminado, o acionamento da sirene seja interrompido, na tentativa de se preservar parte da energia armazenada caso a falha demore a ser corrigida.

De acordo com o que foi desenvolvido por Pereira (2016) em seu trabalho de conclusão de curso, é possível medir a tensão contínua em uma bateria utilizando o microcontrolador Arduino em associação com um circuito composto por um optoacoplador e dois resistores. O esquema do sensor proposto é apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Circuito de medição da tensão na bateria



Fonte: Adaptada de Pereira (2016).

Na Figura 15 observa-se a utilização do resistor R_{LED} conectado ao pino 1 do optoacoplador com a finalidade de limitar a corrente do seu LED interno. Com a variação da tensão nos terminais da bateria, essa corrente também varia, provocando diferentes valores de tensão sobre o resistor R_E . Esses valores são lidos pela porta analógica do Arduino e podem ser analisados para fornecerem informações sobre o estado de carga da bateria.

3.1.3.2.1 Dimensionamento dos resistores R_{LED} e R_E

De acordo com o que Pereira (2016) afirma, baseado no estudo de Tran, Sisken e Jiang (2010), o valor mais adequado para o resistor R_E é de 330Ω pois proporciona uma leitura consideravelmente linear na saída do optoacoplador de acordo com a tensão presente em sua entrada.

Para o dimensionamento de R_{LED} , considera-se que a máxima tensão nos terminais da bateria é de 13,8V. Considerando a condição normal de funcionamento do optoacoplador, onde a corrente I_{LED} é de 10mA e a queda de tensão no LED é de 1,2V, o resistor pode ser calculado de acordo com a Eq. (3),

$$R_{Led} = \frac{(V_{BAT(max)} - V_{Led})}{I_{Led}} = \frac{(13,8 - 1,2)}{0,01} = 1260 \Omega. \quad (3)$$

Assim, o valor comercial escolhido para R_{LED} é de $1,2k\Omega$.

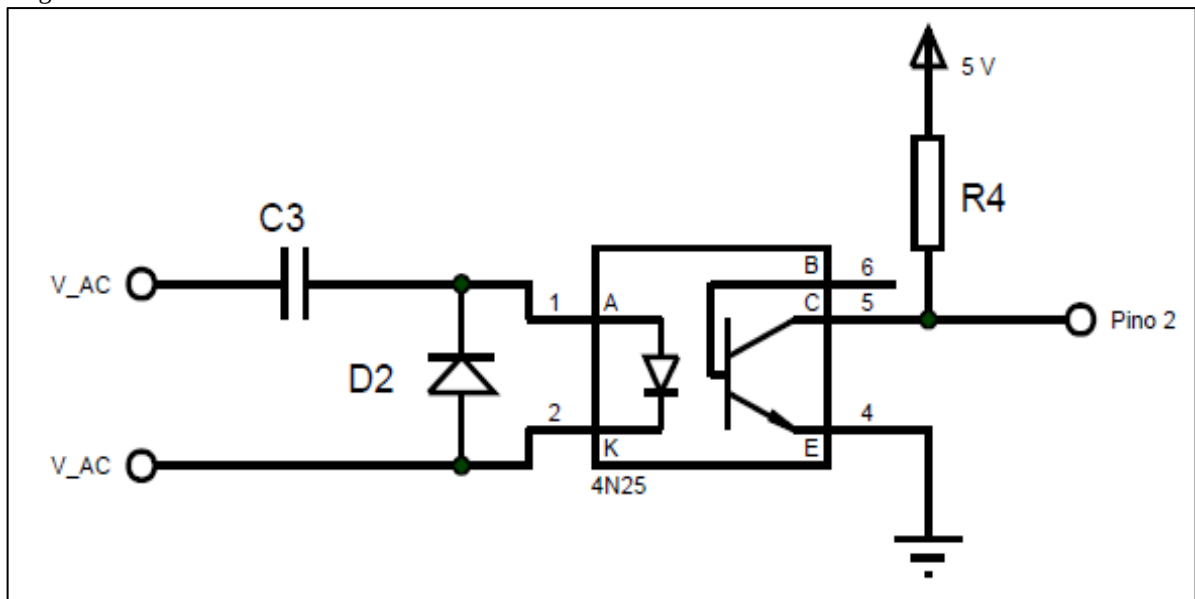
3.1.4 Detector de tensão

Como o objetivo principal da proposta consiste na leitura da rede de energia elétrica, faz-se necessário um elemento sensor que realize essa função. Tal elemento deve ser capaz de transmitir à central de controle o estado em que se encontra o fornecimento de energia, ou seja, se existe ou não tensão no ponto observado. É importante ressaltar que para isso necessita-se de um componente que consiga reproduzir em sua saída um sinal apropriado à análise do

microcontrolador (0 a 5 volts), sendo que em sua entrada é aplicada uma tensão alternada com nível relativamente alto.

Assim, para satisfazer essas necessidades, viu-se como uma boa alternativa o emprego de um optoacoplador devido a sua capacidade de funcionar como um interruptor ativado opticamente e também por permitir o isolamento elétrico entre as partes envolvidas. O esquema de ligação do optoacoplador para esta aplicação é apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Circuito detector de tensão



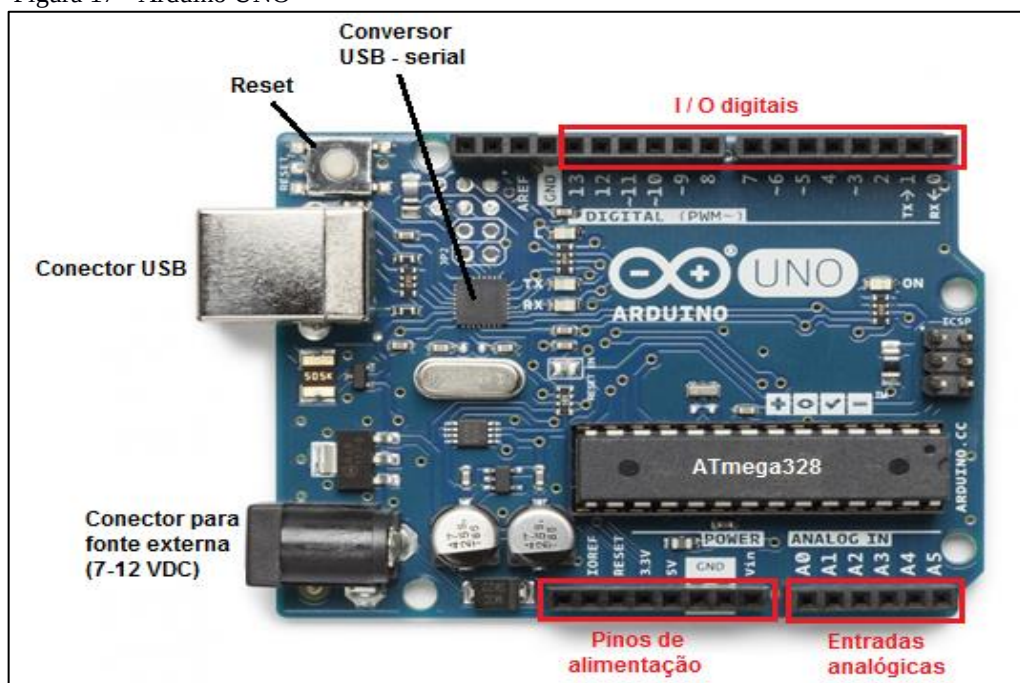
Fonte: Acervo do autor (2018).

Como indicado na Figura 16, a entrada do optoacoplador é conectada à rede de alimentação do resfriador. De forma a limitar a corrente no LED interno do CI, utiliza-se o capacitor C3, uma vez que, dada a natureza desta parte do circuito, esse componente funciona como uma impedância capacitiva e ainda apresenta a qualidade de não dissipar potência durante o funcionamento. O diodo D2 tem a função de eliminar os efeitos da tensão reversa no LED. Desta forma, quando houver tensão na rede e o LED for acionado, a saída do sensor, conectada ao pino 2 do Arduino apresenta um nível lógico baixo (0V). Já o contrário ocorre quando a entrada não é alimentada e o sensor detecta a situação de falta enviando um sinal com nível lógico alto (5V), que é interpretado pelo microcontrolador como condição para acionar as rotinas de alarme.

3.1.5 Arduino UNO

Para realizar as funções de controle do protótipo escolheu-se a placa Arduino UNO R3 que conta com uma versão atualizada da plataforma Arduino. O seu uso se justifica pelo fato de apresentar grande robustez e praticidade, além de ser ideal para projetos como o que aqui se apresenta por causa do número reduzido de entradas e saídas a serem controladas. A Figura 17 apresenta o *hardware* que constitui a placa Arduino Uno e a disposição dos seus principais elementos.

Figura 17 - Arduino UNO



Fonte: Adaptada de ARDUINO.CC (2017).

Como se vê na Figura 17, o Arduino Uno conta com uma entrada USB para comunicação com dispositivos como *notebooks* e computadores, por onde são transferidos os códigos programados na IDE. Seu microcontrolador é um ATMEL ATMEGA328 de 8 bits, com 32 KB de memória *flash*, o que permite o processamento de pequenas quantidades de dados. Ele possui um total de 28 pinos, sendo que 14 pinos são reservados para entrada ou saída digitais e mais 6 para entradas analógicas. Os 8 pinos restantes são para alimentação de circuitos externos. O Quadro 1 apresenta um resumo das principais características e especificações da placa Arduino UNO R3.

Quadro 1 - Especificações do Arduino UNO

Item	Descrição
Tensão de alimentação externa recomendada	7V a 12V
Tensão de alimentação externa tolerada	6V a 20V
Microcontrolador	ATMEL ATMEGA328
Pinos de entrada e saída digitais	14 (0 ao 13)
Pinos de entrada analógica	6 (A0 ao A5)
Corrente contínua de saída e entrada	20mA
Frequência de operação	16MHz
Memória Programável (Flash)	32KB

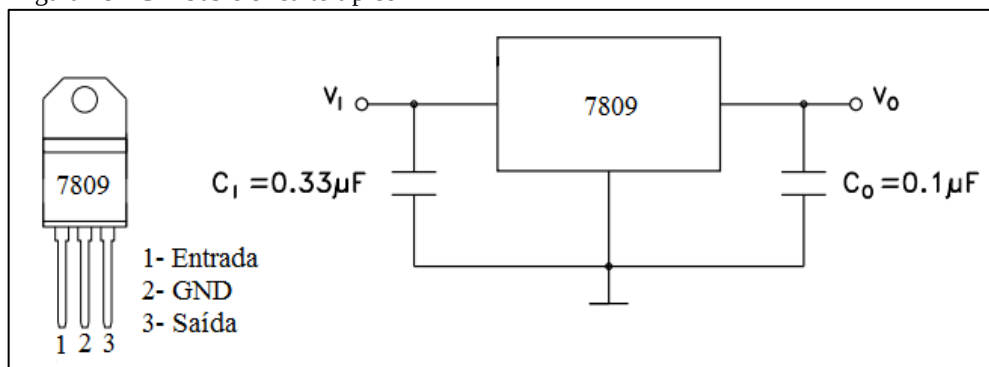
Fonte: Adaptado de ARDUINO.CC (2017).

3.1.5.1 Alimentação do Arduino UNO

De acordo com as informações do fabricante, a alimentação da placa Arduino por meio de fontes externas tolera uma faixa de valores de tensão que vai de 6V até no máximo 20V. Entretanto, a utilização desses limites não é recomendada pois pode gerar mau funcionamento ou aquecimento dos componentes da placa. Assim, sugere-se que o Arduino seja alimentado com tensões compreendidas entre 7 e 12V para evitar tais problemas.

Como a tensão nos terminais da bateria pode chegar a até 13,8V durante o período de flutuação, optou-se por não realizar a alimentação do Arduino diretamente neste nível de tensão, fora da faixa recomendada, mas sim utilizar um regulador de tensão para adequar esse parâmetro. Assim, escolheu-se o CI 7809 para fornecer a alimentação da placa. Este componente permite obter em sua saída uma tensão próxima de 9V, desde que se conecte na sua entrada valores acima de 10,6V. A Figura 18 apresenta esse CI, a configuração de seus pinos e a configuração de circuito recomendada pelo fabricante para esse tipo de aplicação.

Figura 18 - CI 7809 e circuito típico

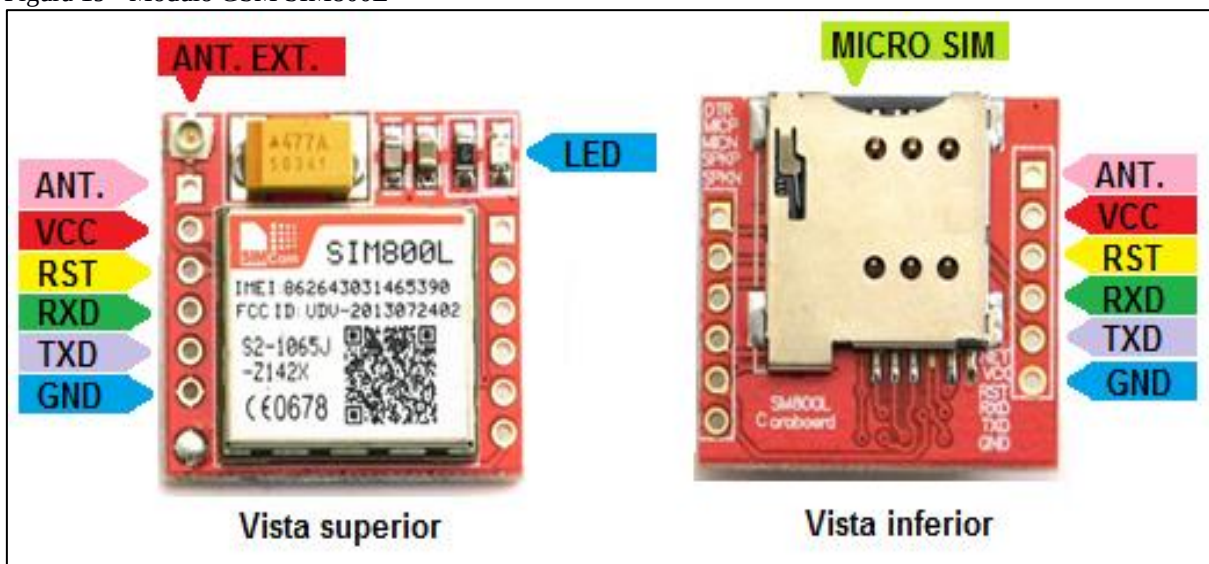


Fonte: Adaptada de STMicroelectronics (2016).

3.1.6 Módulo GSM

Para que se possa alertar remotamente o usuário da falta, é utilizado um módulo GSM/GPRS em conjunto com a placa Arduino. Esse módulo consiste no *chip* SIM800L *Quad-band* da SIMCom (SIMCOM, 2005), arranjado numa pequena estrutura que permite o acesso aos seus pinos de controle e de alimentação e possibilita a comunicação com o microcontrolador. Além disso, possui um *slot* para acoplamento de um cartão SIM de identificação, permitindo a utilização de qualquer uma das operadoras disponíveis para fornecer os serviços de telefonia. Na Figura 19 é apresentado o módulo GSM SIM800L, assim como a identificação de seus pinos e disposição de alguns componentes.

Figura 19 - Módulo GSM SIM800L



Fonte: Adaptada de Nettigo (2018).

Para melhorar a qualidade do sinal recebido pelo módulo é possível acoplar a ele uma antena externa, usando o conector disponível na placa, ou uma antena soldada diretamente na placa, conforme indicado na Figura 19 por ANT. EXT. e ANT, respectivamente. O estado da conexão entre o SIM800L e a rede de telefonia é indicado pelo LED situado na parte superior do módulo, sendo que ao piscar de forma lenta, a cada 3 segundos, identifica uma conexão realizada com sucesso.

A alimentação do módulo GSM deve ser feita num nível de tensão entre 3,6V e 4,4V, segundo dados do fabricante. Assim, para adequar a tensão disponível no sistema à esta faixa

de valores, é empregado o módulo conversor DC/DC mostrado na Figura 20 e que possui como elemento regulador o CI LM2596 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016b).

Figura 20 - Módulo conversor DC/DC



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.1.6.1 Comunicação entre o Módulo GSM e o Arduino

A comunicação entre o módulo GSM e o Arduino é realizada via interface serial à dois fios. Como o Arduino já possui uma porta serial destinada especificamente para a comunicação via USB, é necessário definir por *software* uma nova porta serial para receber e transmitir as informações. A biblioteca *SoftwareSerial*, presente na IDE do Arduino, permite destinar qualquer uma das portas do microcontrolador para realizar essa comunicação (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Para facilitar ainda mais a utilização do módulo GSM, utiliza-se a biblioteca *Sim800l*, criada por Cristian Steib (STEIB, 2017). Ela pode ser instalada junto com o acervo de bibliotecas da IDE do Arduino e usada para enviar e receber os comandos de forma simples e organizada. Importante dizer que essa biblioteca destina automaticamente os pinos 10 e 11 do Arduino para a comunicação serial, condição que deve ser respeitada para o bom funcionamento do sistema. O Quadro 2 apresenta as principais funções da biblioteca *Sim800l*, bem como uma breve descrição de cada uma delas.

Quadro 2 - Principais funções da biblioteca Sim800l

Função	Descrição
<i>begin()</i>	Inicializa a biblioteca Sim800l.
<i>sendSms(number,text)</i>	Envia a mensagem SMS definida pelo parâmetro text para o destinatário number, que deve ser um número válido de celular.
<i>readSms(index)</i>	Lê a mensagem SMS armazenada na posição index da memória.
<i>getNumberSms(index)</i>	Identifica o número do remetente da mensagem SMS armazenada na posição index da memória.
<i>delAllSms()</i>	Apaga todas as mensagens armazenadas na memória.

Fonte: Adaptado de Steib (2017).

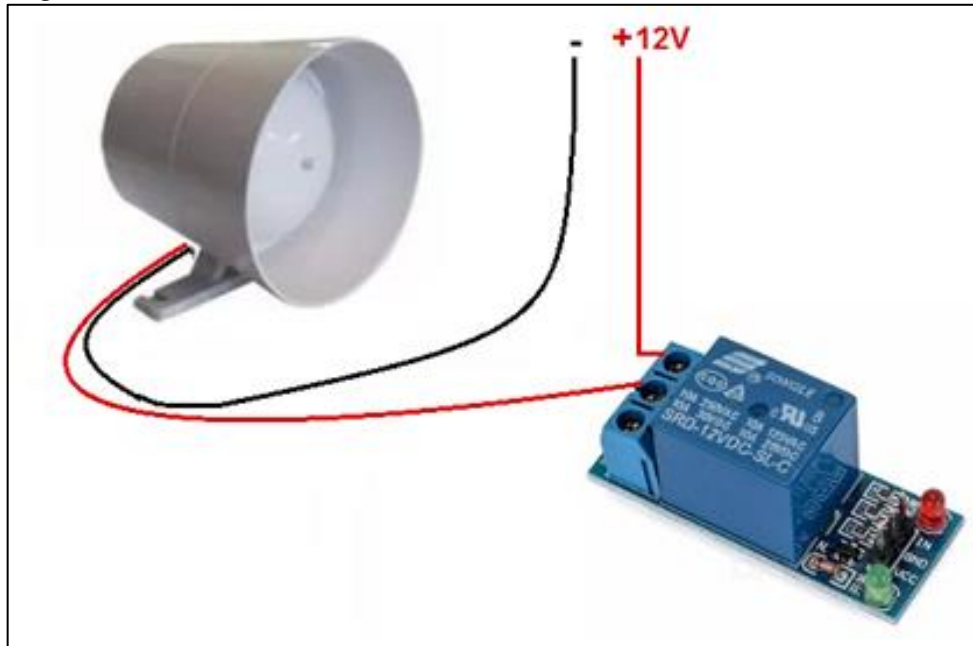
3.1.7 Mensagens SMS

O alerta enviado por meio de mensagem SMS representa uma estratégia eficiente para o produtor, pois concede a ele a chance de ter conhecimento da falta, mesmo não estando presente na propriedade. Entretanto, para que isso ocorra, o usuário deve cadastrar o número do telefone no qual deseja receber o aviso. Isso deve ser realizado ao se enviar uma mensagem para o número do cartão SIM presente no módulo GSM, contendo um código predefinido e o número do celular do usuário. O número será armazenado pelo microcontrolador e utilizado no envio das mensagens de alerta.

3.1.8 Indicação sonora

Para que a falha também seja identificada pelas pessoas presentes no local, utiliza-se uma sirene, que soará no momento da ocorrência. Como o funcionamento desse dispositivo de indicação deve ser controlado pelo Arduino, necessita-se de um componente que realize o acionamento por meio do sinal presente em uma das portas digitais do microcontrolador. Essa função é bem executada por um módulo relé, que é próprio para ser utilizado em conjunto com o Arduino na atuação de cargas diversas. Ao ser acionado, o módulo relé alimenta a sirene com a tensão presente nos terminais da bateria que indicará a falta de energia. A Figura 21 ilustra a conexão entre o módulo relé e a sirene utilizada no sistema.

Figura 21 - Conexão entre módulo relé e sirene



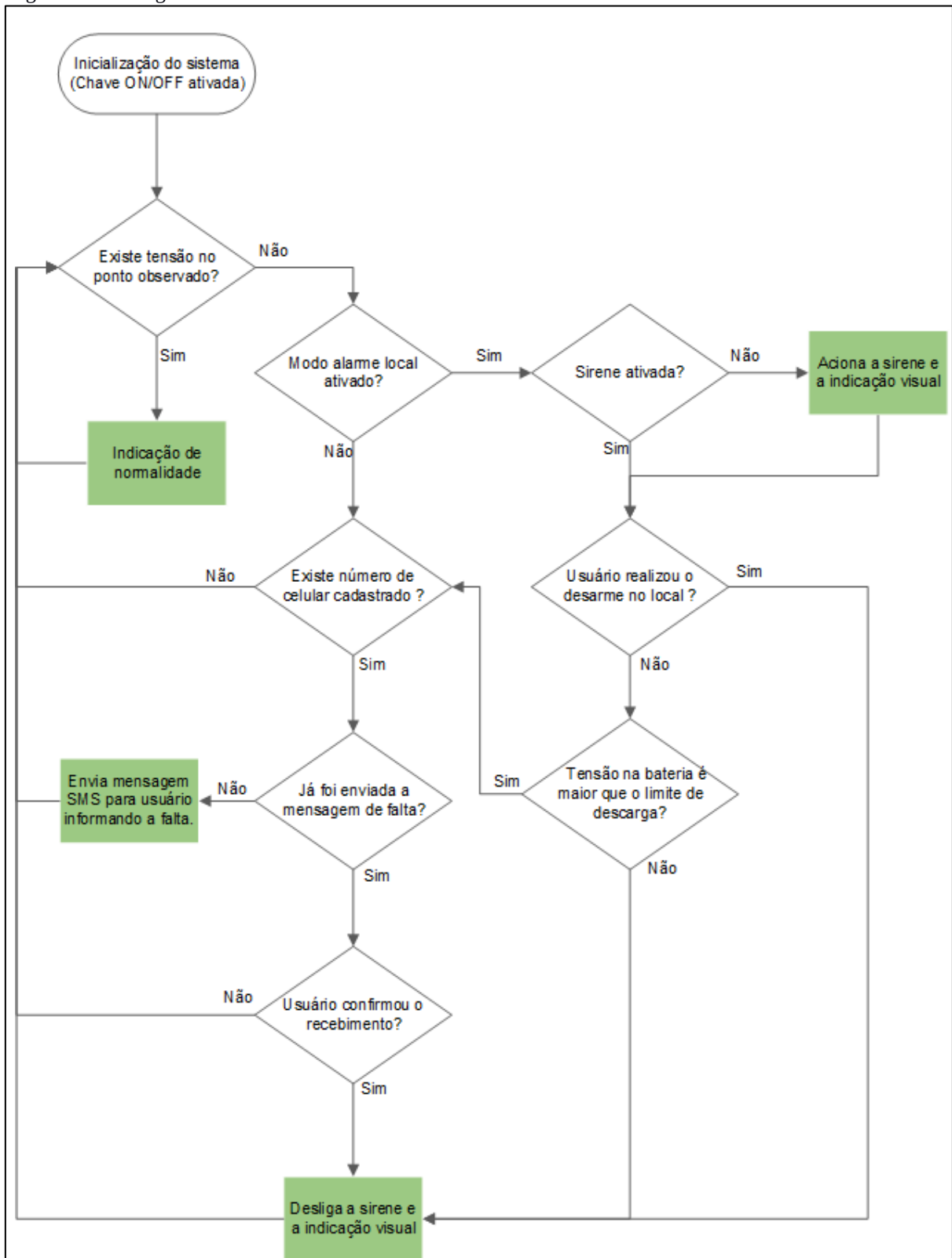
Fonte: Acervo do autor (2018).

Uma vez que todas as principais partes que integram o sistema foram destacadas, a próxima seção aborda e identifica as condições de controle e comandos que definem o funcionamento do mesmo.

3.2 Fluxograma do sistema de controle

A rotina de programação é baseada em um monitoramento cíclico, tendo como parâmetro de decisão fundamental a tensão no ponto observado. De acordo com o comportamento desse parâmetro e com outras entradas definidas pelo usuário, as ações de decisão e controle são executadas ou não. A Figura 22 mostra o fluxograma de funcionamento do sistema, onde é possível conhecer essas ações.

Figura 22 - Fluxograma do sistema de controle



Fonte: Acervo do autor (2018).

Conforme apresentado no fluxograma da Figura 22, o início da rotina de controle ocorre quando o usuário aciona a chave geral ON/OFF, indicando que o sistema já se encontra

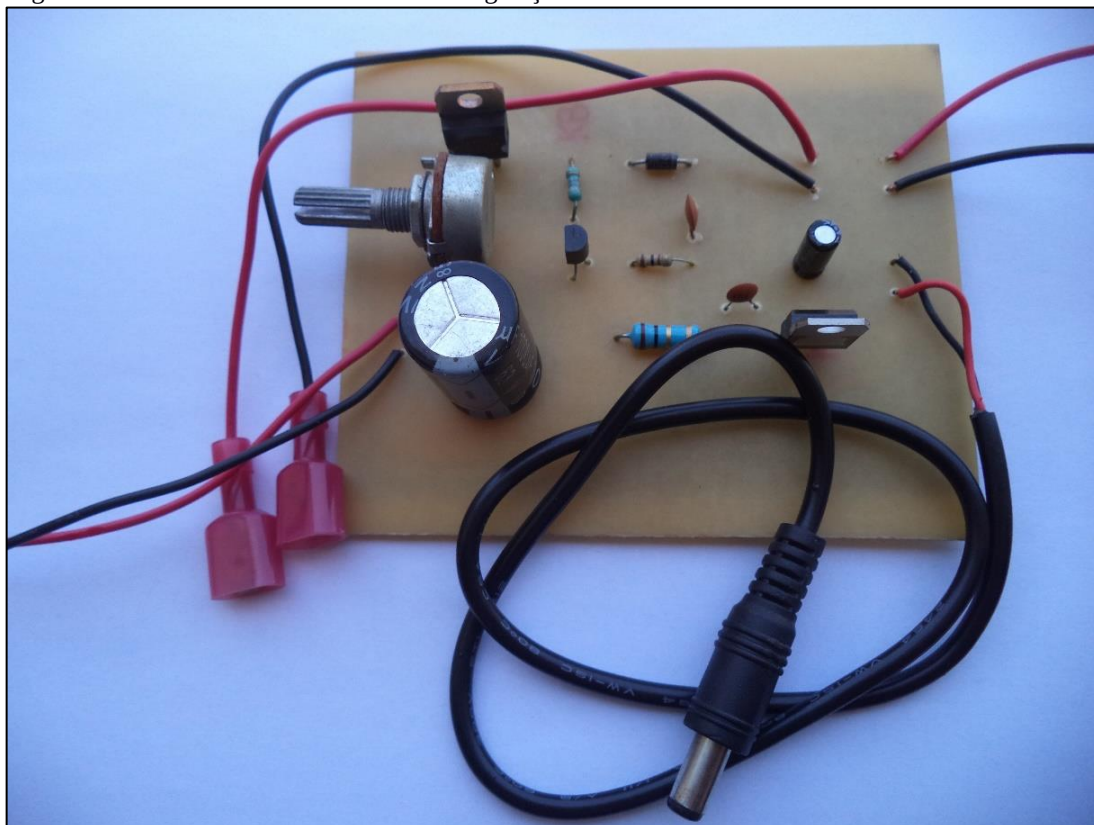
conectado ao ponto da rede de alimentação apropriado. A partir daí o monitoramento da rede determina a execução das quatro ações de maior relevância, sendo elas:

- Indicação de normalidade: Essa ação representa a condição normal da rede de alimentação e é definida pelo acionamento de uma indicação visual específica, no caso um LED.
- Acionamento da sirene: Executada quando a falta de energia é detectada, alertando localmente a ocorrência. Também pode ser identificada pelo acionamento de outro LED associado a essa ação. O usuário pode controlar essa ação por meio de uma chave local, desligando a indicação sonora quando a falta é identificada ou caso opte pelo não acionamento da mesma.
- Envio de mensagens SMS: Como a ação anterior, também é executada na condição de falta. Para ser executada é preciso que o usuário cadastre o número do celular no qual deseje receber os alertas. Essa funcionalidade pode também ser estendida, realizando o envio de outras mensagens auxiliares, por exemplo, quando o retorno da energia for detectado.
- Desligamento da sirene: O alarme sonoro pode ser desligado no local, usando a chave de controle, ou remotamente, pela confirmação da mensagem de alerta. Além dessas duas formas, caso a tensão da bateria atinja o limite de descarga estabelecido, o próprio sistema desliga o dispositivo de alarme, garantindo que a bateria não sofra uma descarga muito profunda.

3.3 Construção do sistema

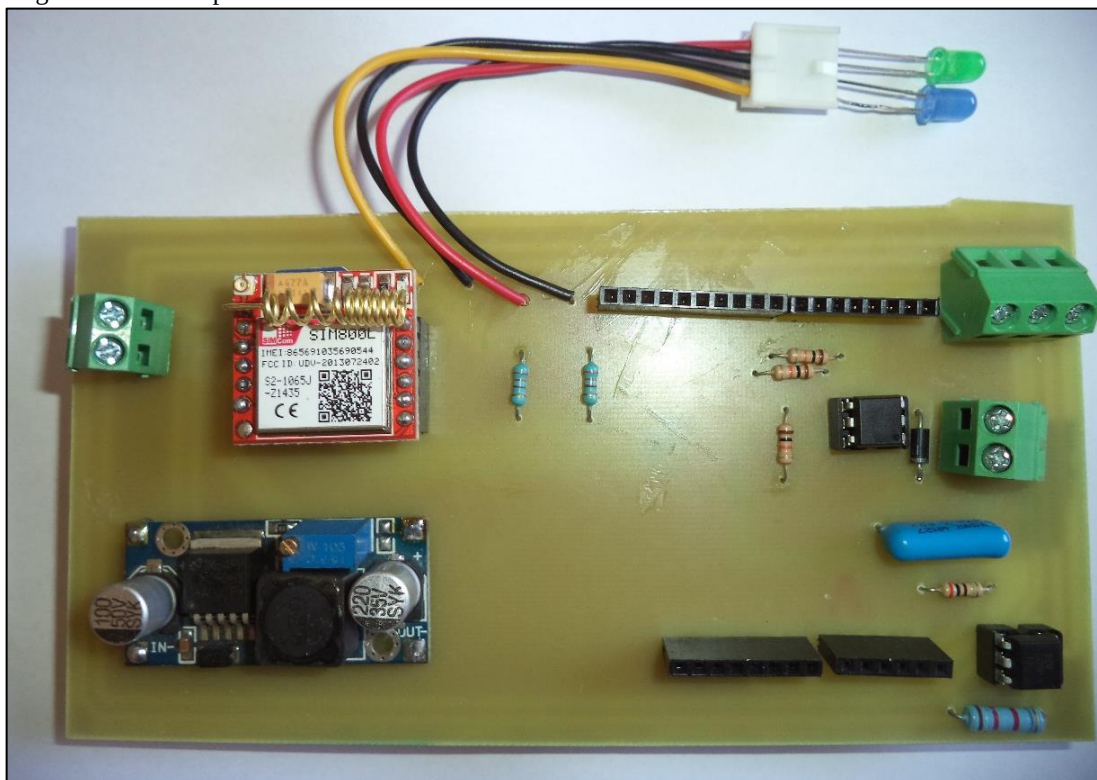
Utilizando o *software* Proteus – ARES, da empresa *Labcenter Electronics*, realiza-se a construção do sistema proposto, desenvolvendo o *layout* de placas de circuito impresso. Os circuitos foram divididos em duas estruturas distintas, sendo uma para alimentação da bateria e do Arduino, contendo os circuitos de regulação de tensão, e a outra montada de forma a ser acoplada ao Arduino, numa espécie de *shield*, acomodando o restante dos componentes. O resultado final, após a montagem das placas é apresentado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Placa contendo os circuitos de regulação de tensão



Fonte: Acervo do autor (2018).

Figura 24 - Shield para conexão com o Arduino



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.3.1 Custo estimado do protótipo

Uma vez apontados os componentes do protótipo desenvolvido, é apresentado na Tabela 1 um levantamento de custos aproximado de cada uma das partes do sistema e, por fim, o custo total aproximado da proposta. Deve-se salientar que este levantamento representa uma estimativa dos preços médios dos componentes envolvidos, sendo passível de alterações.

Tabela 1 - Relação de custos dos componentes.

Parte do sistema	Custo aproximado
Conversor AC/DC	R\$ 30,00
Circuito de carga da bateria	R\$ 11,00
Bateria	R\$ 80,00
Arduino Uno R3	R\$ 50,00
Módulo SIM800L	R\$ 60,00
Sirene + Módulo Relé	R\$ 22,00
Módulo conversor DC/DC	R\$ 15,00
Circuito detector de tensão	R\$ 5,00
Regulador LM7809	R\$ 1,50
Outros componentes usados na montagem do sistema	R\$ 20,00
Total estimado: R\$ 294,50	

Fonte: Acervo do autor (2018)

Assim, tendo sido apresentado o sistema microcontrolado para alertar os produtores na condição de interrupção do processo de resfriamento do leite, no próximo capítulo são apontados os testes realizados e seus respectivos resultados, com o objetivo de validar o protótipo desenvolvido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de se verificar o funcionamento do modelo proposto, realizou-se uma série de testes, avaliando primeiramente o comportamento individual de algumas partes e, em seguida, do sistema como um todo. A validação do mesmo é realizada pela coleta dos dados obtidos durante as diferentes condições operativas, sobre as quais está submetido, e pela comparação dos resultados com aquilo que se espera que o sistema realize. Desta forma, segue-se com a apresentação desses resultados.

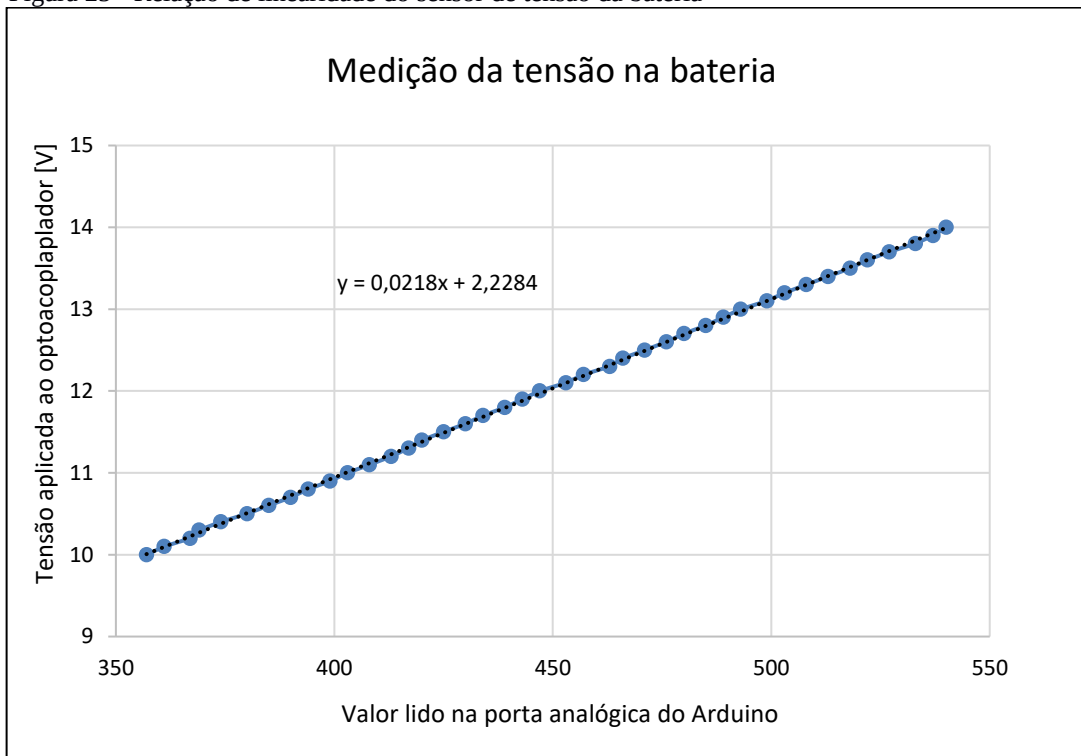
4.1 Simulações e testes iniciais

No Laboratório de Eletrônica do IFMG - *Campus Formiga* realizaram-se alguns testes para avaliar o funcionamento dos circuitos sensores utilizados. Como esses elementos são responsáveis por transmitir ao sistema de controle as informações dos parâmetros analisados, é necessário conhecer os sinais que definem sua resposta para garantir a execução das tarefas nas condições adequadas.

4.1.1 *Teste da linearidade do sensor de tensão da bateria*

O teste do sensor de tensão da bateria é realizado para a verificação da sua linearidade. Na entrada do circuito, para simular a tensão da bateria, utiliza-se uma fonte de alimentação variável e a saída é conectada ao pino analógico A0 do Arduino. Utilizando um algoritmo de leitura da entrada analógica do microcontrolador, registra-se a relação entre a tensão de entrada e a tensão na porta analógica, que pode ser lida como um número entre 0 e 1023, de acordo com a conversão A/D do Arduino. O gráfico apresentado na Figura 25 indica essa relação para a faixa de valores de tensão adotada.

Figura 25 - Relação de linearidade do sensor de tensão da bateria



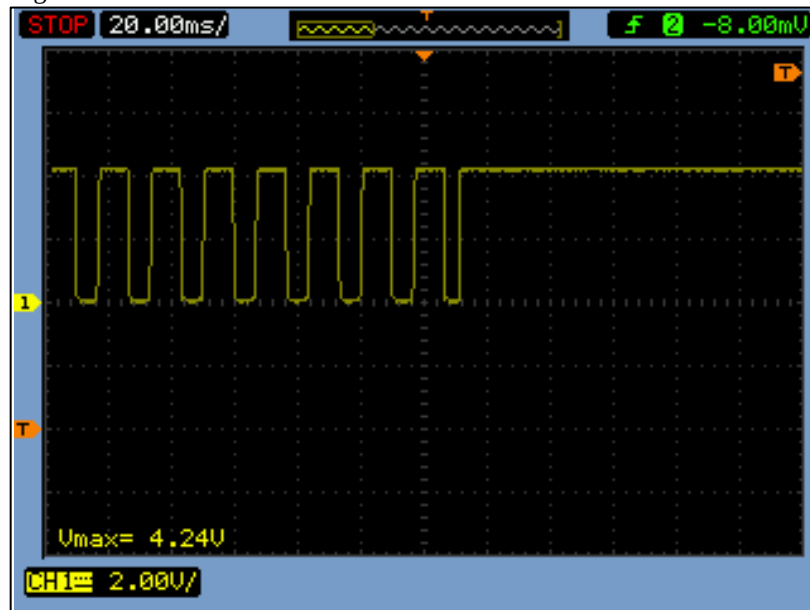
Fonte: Acervo do autor (2018).

Como percebe-se pela Figura 25, para essa faixa de valores de tensão entre 10 e 14V, a resposta do optoacoplador pode ser aproximada como uma função linear e, assim, ser utilizada para o monitoramento da tensão da bateria. É importante ressaltar que para faixas mais amplas de medição da tensão essa relação pode ser prejudicada devido às características não-lineares do optoacoplador.

4.1.2 Resposta do detector de tensão da rede

A análise do detector de tensão é feita por meio do sinal obtido na saída do sensor. Com o auxílio de um osciloscópio, observou-se a forma de onda que define essa resposta, conforme apresenta a Figura 26, sendo que nela é possível observar o comportamento do sensor nas duas condições que interessam para o controle do sistema.

Figura 26 - Sinal obtido na saída do detector de tensão



Fonte: Acervo do autor (2018).

Na primeira parte do sinal da Figura 26, identificada pela ocorrência de pulsos em pequenos intervalos de tempo, tem-se a resposta do sensor para condição de fornecimento de energia. Dado o comportamento senoidal da tensão de entrada, para cada semiciclo positivo obtêm-se um pulso em nível lógico baixo na saída e outro pulso em nível lógico alto para os semiciclos negativos, formando assim uma forma de onda pulsante. Já para a ocorrência da falta de energia, como evidencia o restante do sinal, a resposta permanece constante em nível lógico alto.

Assim, cabe ao microcontrolador analisar o sinal na saída do detector e identificar o tempo transcorrido entre dois pulsos em nível alto. Caso esse tempo seja maior do que o intervalo natural de comutação da rede, a condição de anormalidade deve ser detectada e as devidas ações de alerta executadas.

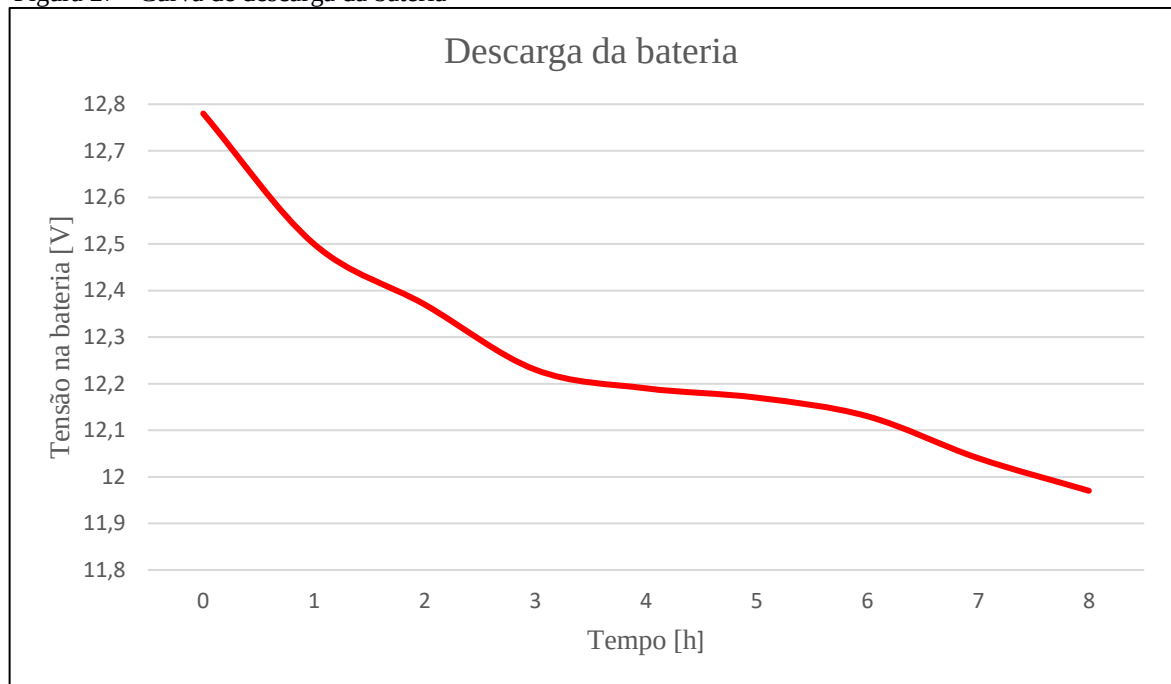
4.2 Condições de operação da bateria

Com a construção do protótipo pôde-se coletar dados que comprovam as condições de operação da bateria. Foram realizadas leituras durante os processos de carga e descarga do dispositivo, permitindo analisar a autonomia do sistema e a eficiência do método de carga.

4.2.1 Descarga da bateria

Durante o período de ocorrência da falta de energia elétrica, o sistema é unicamente alimentado pela bateria. Sob essa condição, a tensão nos terminais desse elemento foi monitorada para verificar a sua autonomia. Os dados da leitura do sensor de tensão, obtidos via monitor serial, foram coletados para a construção da curva aproximada da descarga da bateria, que pode ser visualizada na Figura 27. Nela, observa-se que o decaimento da carga se dá num intervalo de 8 horas, período em que o sistema executa as devidas ações de alerta e consome uma corrente média de 400mA.

Figura 27 - Curva de descarga da bateria



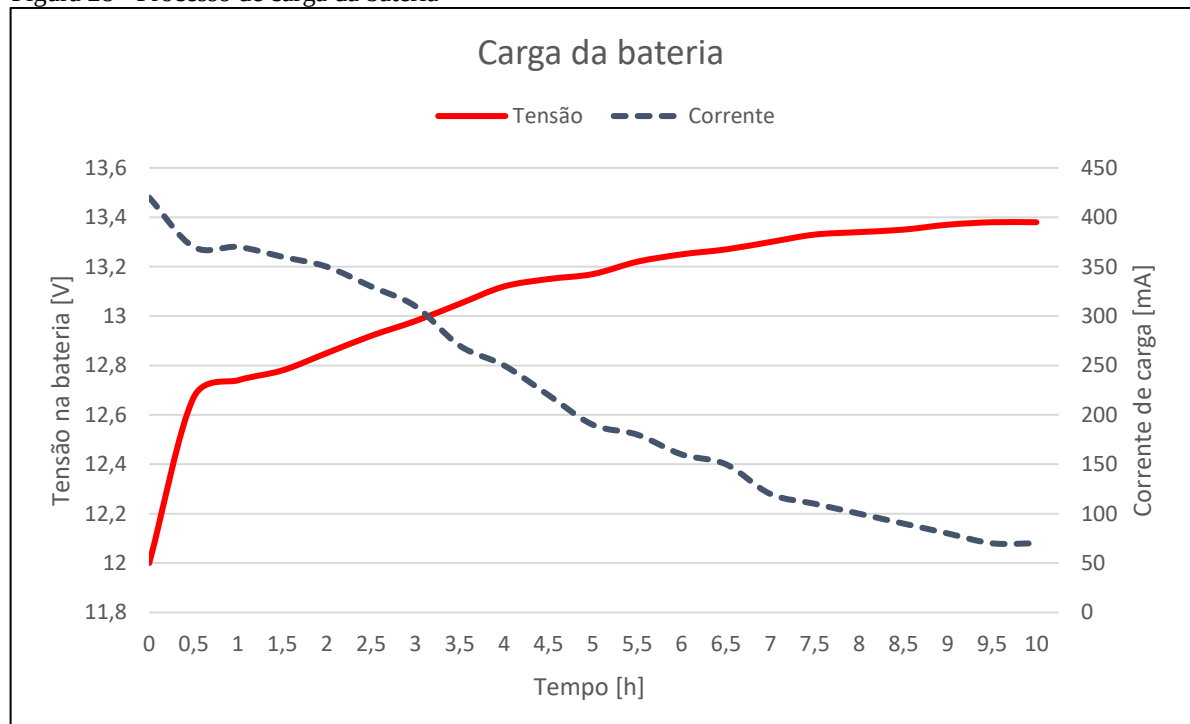
Fonte: Acervo do autor (2018).

Apesar do teste não ter sido realizado até o ponto de tensão de corte da bateria, avalia-se que o período analisado é suficiente para comprovar a autonomia do sistema, além de evidenciar uma profundidade de descarga relativamente baixa, considerando como referência uma tensão de corte de 10,5V. Uma vez que se espera que dentro deste prazo a alimentação da rede seja reestabelecida, é possível assumir a garantia de funcionamento do alarme.

4.2.2 Carga da bateria

Em sequência, o processo de carga também foi registrado. Considerando a condição inicial após o retorno do fornecimento de energia, novas leituras são feitas nos terminais da bateria, tanto para obter a tensão como feito anteriormente quanto para mensurar a corrente de carga, utilizando um amperímetro. O comportamento destas grandezas é apresentado na Figura 28, onde se observa o aumento da tensão ao longo do período de carga, ao mesmo tempo que a corrente diminui. Ao fim do processo, a bateria permanece em flutuação, requisitando apenas um pequeno valor de corrente para a manutenção de sua carga.

Figura 28 - Processo de carga da bateria



Fonte: Acervo do autor (2018).

4.3 Envio das mensagens SMS

Por fim o funcionamento do sistema foi atestado por meio das mensagens SMS recebidas e enviadas durante a execução das tarefas de monitoramento e alerta. A primeira troca de mensagens é feita com o intuito de cadastrar o usuário para o envio das futuras mensagens,

conforme ilustra a Figura 29. A mensagem de cadastro possui um código predefinido para evitar que outros números sejam armazenados como destinatários no sistema de controle.

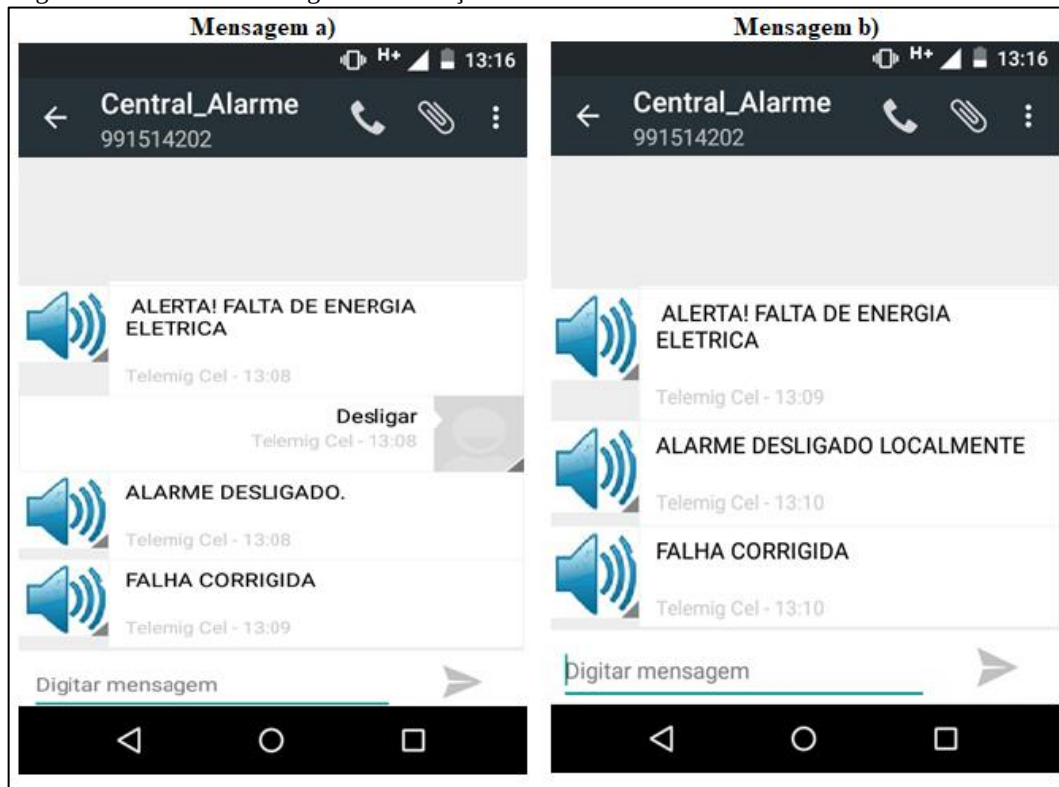
Figura 29 - Mensagem inicial de cadastro do usuário



Fonte: Acervo do autor (2018).

Realizado o cadastramento, o sistema é submetido a uma condição de falta. Ao receber a mensagem de alerta o usuário pode optar por desligar remotamente o alarme sonoro enviando um comando específico. O comando recebido é executado e confirmado pela central, que continua monitorando o estado da rede. Quando as devidas ações são efetuadas e a falta é solucionada, uma última mensagem é enviada para informar o usuário. Essa troca de mensagens é identificada na Figura 30 (Mensagem a). Outra possibilidade existente é a de que o alarme seja percebido e desligado localmente por alguma pessoa presente na propriedade. Caso isso ocorra o proprietário também é informado por meio de uma mensagem e pode aguardar apenas a confirmação do retorno à normalidade do sistema. Isso é o que ilustra a Figura 30 (Mensagem b).

Figura 30 - Troca de mensagens na condição de falta



Fonte: Acervo do autor (2018).

Os resultados apresentados neste capítulo demonstram que o modelo proposto é capaz de alertar o usuário na condição de interrupção do fornecimento de energia por meio de mensagens SMS e de alarme sonoro, de acordo com os objetivos iniciais desse trabalho. Além disso, é possível também afirmar que o sistema representa uma alternativa economicamente vantajosa para os pequenos produtores de leite, visto que seu custo estimado de implantação, apresentado anteriormente como algo em torno de R\$ 300,00, é relativamente pequeno em relação aos elevados prejuízos que eles podem sofrer quando suas produções são depreciadas pela falta de resfriamento, tomando como referência, por exemplo, as perdas financeiras citadas no caso real apresentado no início deste trabalho.

Por fim, cita-se alguns outros trabalhos que de certa forma são frutos da pesquisa aqui descrita.

4.4 Publicações resultantes desta monografia

As publicações a seguir são resultados desta pesquisa:

- TEIXEIRA, Gabriel Ramos; CAMPOS, Gustavo Lobato. Sistema microcontrolado para redução de perdas associadas ao processo de refrigeração do leite em pequenas propriedades. Artigo submetido na Revista ForScience em 24/04/2018.
- TEIXEIRA, Gabriel Ramos; CAMPOS, Gustavo Lobato. Circuito protótipo para indicação de falta de energia para sistema de armazenamento de leite em pequenas propriedades. In: XV Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2017, Uberlândia. Artigos 2017 - XV CEEL, 2017. Galoa. <http://dx.doi.org/10.17648/ceel-2017-83024>.
- TEIXEIRA, Gabriel Ramos; CAMPOS, Gustavo Lobato. Desenvolvimento de conceito de protótipo para diminuição das perdas associadas à interrupção do processo de resfriamento do leite em pequenas propriedades. In: I Seminário de Pesquisa e Inovação (SEMPI), 2017, Formiga. Resumo expandido - VII Jornada de Educação, Ciência e Tecnologia do IFMG – Campus Formiga, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de sistema microcontrolado descrito nesse trabalho representa uma possível solução para diminuir as perdas ocasionadas pela falta de energia elétrica durante o processo de resfriamento do leite em pequenas propriedades, visto que garante ao produtor a percepção da falta no instante em que esta ocorra, e assim, possibilita que o fornecimento de energia seja reestabelecido em um menor espaço de tempo. A capacidade do sistema de alertar o produtor tanto local quanto remotamente, via mensagens SMS, proporciona ao usuário uma maior liberdade para desenvolver suas demais atividades diárias sem se preocupar com o processo de resfriamento do leite.

Ao contrário das áreas urbanas onde a facilidade de acesso à *internet* possibilita um número maior de alternativas e funcionalidades para sistemas de automação e de comunicação remota, algumas áreas do meio rural ainda enfrentam certas dificuldades para a inserção de novas tecnologias em suas atividades. Conforme mostrado nesse trabalho, a utilização da rede GSM representa uma alternativa satisfatória para suprir a falta de acesso à *internet* encontrada em algumas localidades, permitindo a comunicação e o controle de sistemas como o que foi proposto.

Um outro ponto relevante é o fato de a bateria utilizada nos testes ter se mostrado capaz de garantir a autonomia do sistema durante um período de tempo considerável, tendo como base as 8 horas em que o sistema foi submetido à condição de descarga. Embora isso represente o esperado, acredita-se que a escolha de uma bateria de menor capacidade possa ser feita com o intuito de diminuir o custo total do sistema, sem trazer grandes prejuízos para o funcionamento do mesmo.

Assim sendo, conclui-se que o sistema apresentado atende aos objetivos propostos e pode ser aplicado para facilitar o processo de produção de leite em pequenas propriedades ou em qualquer outro seguimento onde as suas funcionalidades possam se tornar úteis.

5.1 Trabalhos Futuros

Como forma de prosseguimento da pesquisa desenvolvida neste trabalho, sugere-se as seguintes propostas:

- Implementar uma estrutura física que permita a inserção do sistema proposto em campo, e assim validá-lo em condições reais de uso;
- Realizar estudos e levantamentos para associar o problema descrito neste trabalho com conceitos como Qualidade de Energia Elétrica e o atendimento das Concessionárias de Energia Elétrica, a fim de se verificar a real relevância do sistema proposto no cenário local e regional;
- Aperfeiçoar o sistema de carga e de controle de descarga da bateria, visando o aumento de sua vida útil;
- Desenvolver um sistema automatizado para a alimentação alternativa do resfriador na condição de falta de energia da rede, usando *nobreaks* e/ou sistemas de geração e armazenamento de energia fotovoltaica, dentre outros;
- Utilizar outras formas de comunicação remota, como por exemplo, acesso à *internet* para otimizar o controle do usuário sobre o sistema e possibilitar o monitoramento em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO.CC. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

BARBOSA, S.B.P., JATOBÁ, R.B., BATISTA, A.M.V. A instrução Normativa 51 e a qualidade do leite na Região Nordeste e nos Estados do Pará e Tocantins. In: Congresso Brasileiro de Qualidade do Leite (CBQL), III, 2008, Recife. **Anais...** Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008, v.1, p. 25-33.

BECKER, Luis Rodrigo. **Análise experimental da qualidade da energia de uma microrrede fotovoltaica com back-up**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6430>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. **Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental**. In: Química Nova Na Escola. nº 11, 2000. p. 3-9.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº51 de 18 de setembro de 2002. **Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite Tipo A, do Leite Tipo B, do Leite Tipo C, do Leite Pasteurizado e do Leite Cru Refrigerado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu transporte a Granel**. Diário Oficial da União, Brasília, 18 set. 2002. Seção 3.

CAMPOS, Mariana Magalhães. **Pecuária Leiteira de Precisão: Desafios e Oportunidades**. 2013. Disponível em: <<http://www.repil Leite.com.br/forum/topics/pecu-ria-leiteira-de-precis-o-desafios-e-oportunidades>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

CARDOSO, Renato Tavares. **Método de carga para banco de baterias em fontes ininterruptas de energia que busca garantir o estado de carga completa: Corrente Pulsada Modificado**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8576>>. Acesso em: 29 set. 2017.

CARNEIRO, Rafael Luiz et al. Essential Aspects of Lead-Acid Batteries and Physical-Chemical and Thermodynamic Principles of its Operation. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.889-911, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170057>.

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. **Novas tecnologias para avaliação de baterias**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissionalizante em Desenvolvimento de Tecnologia, Lactec, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://totalinspe.dominiotemporario.com/doc/MarcosWilson.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

CORREIA, Fernando. **Comunicação pessoal**. Em 20 de março de 2017, recebida por telefonema.

CUNHA, Alessandro F. O que são sistemas embarcados? **Revista Saber Eletrônica**, v. 43, n. 414, p. 1-6, 2007. Disponível em: <http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

DIAS, Kelvin Lopes; SADOK, Djamel Fauzi Hadj. Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS. In: **XIX Simpósio Brasileiro De Redes De Computadores**, 2001, Florianópolis.

DMESG. Soluções em Ti. **Baterias automotivas vs. estacionárias em nobreaks**. Disponível em: <<http://www.dmesg.com.br/uso-de-baterias-automotivas-vs-estacionarias-em-no-breaks/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Brasil) (Org.). **Desafio de Startups**. In: Ideias For Milk. 2017. Disponível em: <<http://www.ideasformilk.com.br/desafio-startups/conteudo/inicio>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

ERICKSON, Christine. **Um breve histórico de mensagens de texto**. 2012. Disponível em: <<http://mashable.com/2012/09/21/text-messaging-history/#RkiBphObCZqh>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

EVANS, Martin; NOBLE, Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec Editora, 2013. 423 p.

FERREIRA, Fernanda Carolina et al. A pecuária leiteira de precisão sob a ótica econômica. In: MARTINS, Nelson Rodrigo da Silva et al. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia: Zootecnia de Precisão em Bovinocultura de Leite**. 79. ed. Belo Horizonte: 2015. Cap. 11. p. 137-145. Projeto de educação continuada.

GONZAGA, Diego. **Circuito de interface para microcontroladores**. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/circuito-de-interface-para-microcontroladores/>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

GSMA. **GSM**. 2016. Disponível em: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/faq/gsm/>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal - PPM. 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2018.

MARTIN NETO, Ladislau. **A automação agropecuária**. 2013. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/seu-espaco/espaco-aberto/a-automacao-agropecuaria-86725n.aspx>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

MATIC, Nebojsa; ANDRIC, Dragan. **Microcontroladores PIC**. 2005. 252 p. Tradução: Alberto Jerônimo. Disponível em: <<http://wlmquip.com.br/Microcontroladores.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. Novatec Editora. São Paulo, 2011.

NETTIGO. **Módulo GSM/GRPS SIM800L**. Disponível em: <<https://nettigo.eu/products/sim800l-gsm-grps-module>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

OKI, Nobuo; MANTOVANI, Suely Cunha Amaro. **MICROCONTROLADORES**. Ilha Solteira: 2013. 18 p. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/microcontroladores-_pic-1.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2018.

OLIVEIRA, Arthur Filgueiras de. **Modelagem, Parametrização e Otimização de Baterias Chumbo-Ácido em Aplicações Ferroviárias via Análise de Big Data**. 2016. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/eletrica_energia/files/2016/11/TCC_ARTHUR-OLIVEIRA-Final.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

PEIXOTO, Thiago Moratori et al. Sistemas embarcados: explore sua criatividade construindo Hardware e Software. In: Simpósio Mineiro De Computação Da Vii Escola Regional De Informática De Minas Gerais, 2012, Juiz de Fora. **Proceedings**. Juiz de Fora, 2012.

PENIDO, Édilus de Carvalho Castro; TRINDADE, Ronaldo Silva. **Microcontroladores**. Ouro Preto, 2013. 80 p. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifmg/tecnico_automacao_industrial/microcontroladores.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2018.

PEREIRA, Luiz Arthur Malta et al. Software Embarcado, o Crescimento e as Novas Tendências Deste Mercado. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 6, n. 6, p.85-94, 2015.

PEREIRA, Tiago Quartiero. **Desenvolvimento De Um Sistema De Monitoramento Remoto Microcontrolado Para Análise Da Performance De Bancos De Baterias**. 2016. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá, Araranguá, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/164556>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

PIROTTI, Rodolfo Pedró; ZUCCOLOTTO, Marcos. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes GSM e GPRS. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 9, n. 12, p.81-89, jun. 2009. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v. 10, n. 13 \(2009\)/6. Transmissao de dados.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.10,n.13(2009)/6.Transmissao%20de%20dados.pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

RECHE, Natalia Luiza Machado. **Influência Do Armazenamento Do Leite Em Resfriador Por Expansão Direta Sobre A Contagem De Micro-Organismos E Estabilidade Da Caseína**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência Animal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013. Disponível em: <http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/756/dissertacao_natalia_reche.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.

SEGUEL, Julio Igor López. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/216M.PDF>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

SIMCOM. **SIM800L User Manual**. 2005. Disponível em: <<https://fccid.io/UDV-2013072402/Users-Manual/User-Manual-2062907.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

STEIB, Cristian. **GSM Sim800l Arduino Library**. 2017. Disponível em: <<https://cristiansteib.github.io/Sim800l>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

STMICROELECTRONICS. **L7809-Positive voltage regulator ICs**. 2016. Disponível em: <www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM317 3-Terminal Adjustable Regulator Datasheet**, 2016a. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf> . Acesso em: 17 abr. 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator**. 2016b. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

TOLENTINO, Jamie. **Por que as pessoas ainda usam SMS em 2015?** 2015. Disponível em: <https://thenextweb.com/future-of-communications/2015/02/16/people-still-using-sms-2015/#.tnw_TUvVBuMy>. Acesso em: 09 abr. 2018.

TORRES, Rodolpho de Almeida et al. Dicas de manejo de ordenha para obtenção de um leite de qualidade. In: **Tecnologias para melhoria da produção de leite da Zona da Mata Mineira**. p. 55-62. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/sistemaproducao/book/export/html/21>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

TRAN, van N.; SISKEN, Larry; JIANG, Wei Z.. **Design Guideline for a Renesas/CEL Optocoupler with Transistor Output**. Califórnia, 2010. Disponível em: <<http://www.cel.com/pdf/appnotes/an3010.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

TRINDADE, Derick Horrana de Souza da. **Monitoramento de sistemas de transporte com arduino e shield-GSM, GPS, GPRS**. 2015. 48 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://fga.unb.br/articles/0001/0413/TCC_Derick_Horrana_CERTO.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

UNIPOWER. **Manual Técnico Bateria Chumbo-Ácida Selada Regulada por Válvula**. Disponível em: <https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2018.

VERA, L. H. **Análise do Impacto do Comportamento de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, UFSC, Porto Alegre, 2009. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17496> >. Acesso em: 17 abr. 2018.

VICHESSI, Raquel Braz. **Estudo das condições de formação de placas negativas de baterias chumbo-ácido e caracterização por espectroscopia de impedância eletroquímica**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/45769> >. Acesso em: 19 abr. 2018.

VILELA, Duarte; RESENDE, João Cesar. Cenário para a produção de leite no Brasil na próxima década. In: Embrapa Gado de Leite-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio Sobre Sustentabilidade Da Pecuária Leiteira Na Região Sul Do Brasil, 6.; Seminário Dos Centros Mesorregionais De Excelência Em Tecnologia Do Leite, 2., 2014, Maringá.

Perspectivas para a produção de leite no Brasil: **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2014.

VISHAY SEMICONDUCTORS. **Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection**. 2012. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/81864/4n25x000.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ZELENOVSKY, Ricardo; MENDONÇA, Alexandre. **Introdução aos Sistemas Embutidos**. 2008. Disponível em: <<http://www.mzeditora.com.br/artigos/embut.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2018.