

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

RENAN LORENZI TORI

CONTROLE DE ACESSO PARA LABORATÓRIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
DEZEMBRO - 2014

RENAN LORENZI TORI

CONTROLE DE ACESSO PARA LABORATÓRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, da Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Walter Dafico Pfrimer

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Neves Junior

TOLEDO
DEZEMBRO - 2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso N^o 010

Controle de Acesso para Laboratório

por

Renan Lorenzi Tori

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:10 h do dia **08 de dezembro de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. M. Alessandro Paulo de Oliveira
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Fábio Rizental Coutinho
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Felipe Walter Dafico Pfrimer
(UTFPR-TD)
Orientador

Visto da Coordenação

Prof. M. Alessandro Paulo de Oliveira
Coordenador da COELE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, devo agradecer a Deus por sempre estar ao meu lado e por me conceder saúde. Também, devo agradecer a Ele por ter me proporcionado conhecer todas as pessoas que irei citar abaixo, pois sem elas nada disso seria possível.

A toda a minha família, especialmente aos meus pais, Elor e Elisabete, por sempre me motivarem durante esse período de preparação para a vida adulta. Também por todo o apoio que vocês me proporcionaram em momentos difíceis dessa jornada.

Agradeço a minha namorada, Mônica, por todo o seu amor, carinho e incentivo, pelos ótimos momentos que passamos juntos e por sua ajuda neste trabalho.

Ao meu orientador Felipe por todo o tempo dedicado e pela paciência nos diversos momentos de adversidades durante esse projeto.

Meu muito obrigado a todos os meus amigos de curso, que se mostraram verdadeiros irmãos perante todas as dificuldades enfrentadas e que foram, sem dúvidas, meus grandes parceiros durante esse período de graduação.

Agradeço a todos os meus amigos externos a faculdade, que estiveram presentes nos momentos mais importantes da caminhada até aqui.

A todos os professores do curso de Engenharia Eletrônica, que não mediram esforços para que pudéssemos obter uma formação completa e de qualidade.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação, meu muito obrigado.

“Quando penso que cheguei no meu limite,
descubro que tenho forças para ir além.”
(SENNÁ, Ayrton)

RESUMO

TORI, Renan L. **Controle de acesso para laboratório**. 2014. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Eletrônica – Coordenação do curso superior de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2014.

Este trabalho apresenta o projeto e construção de um protótipo de um controlador de acesso que será utilizado em um laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Toledo, com o objetivo de permitir o acesso a esse local somente por pessoas autorizadas. O controlador foi projetado a partir do módulo de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY da ST que possui um microcontrolador ARM Cortex-M3, o qual contém todos os requisitos necessários para a construção do protótipo. O sistema é constituído por um leitor de código de barras, teclados numéricos, uma memória flash, um display LCD e uma fechadura eletromecânica acionada a partir de um inversor de tensão. Adicionalmente, o sistema possui uma bateria permitindo seu funcionamento durante falta de energia da rede elétrica.

Palavras-chave: automação, código de barras, controle de acesso, microcontrolador.

ABSTRACT

TORI, Renan L. **Access control for laboratory**. 2014. 44 p. Graduation assignment (Bachelor of Electronic Engineering) – Federal Technological University of Parana, campus Toledo. Toledo, 2014.

This assignment shows the design and construction of a prototype of an access controller, that will be used in a laboratory of the Federal Technological University of Parana campus Toledo, which goal is to allow the access to the laboratory for people authorized. The controller was designed using the development board STM32VLDISCOVERY from ST that has a microcontroller ARM Cortex-M3, which contain all the requirements needed for the construction of the prototype. The system has a barcode reader, numeric keypads, flash memory, a LCD display and one eletromechanical lock triggered from a voltage inverter. Additionally, the system is battery operated to be unaffected by power outage.

Keywords: access control, automation, barcode, microcontroller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Coletor Henry Primme Acesso Código de Barras	12
Figura 2 - Diagrama de blocos do controlador de acesso	17
Figura 3 - Placa de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY.....	18
Figura 4 - Fechadura eletromecânica HDL FEC-91LA	19
Figura 5 - Leitor de código de barras RS-232.....	20
Figura 6 - Conexão entre placa de extensão ExtraCircuits e STM32VLDISCOVERY...	23
Figura 7 - Placa de extensão ExtraCircuits montada.....	24
Figura 8 - Esquema interno dos teclados	25
Figura 9 - Sistema montado para testes.....	26
Figura 10 – Máquina de estados resumida do controlador de acesso	27
Figura 11 - Algoritmo responsável pela entrada do usuário – Estado 1	29
Figura 12 - Exemplo de leitura de registros via RS-232	31
Figura 13 – Algoritmo responsável pela saída do usuário – Estado 3.....	32
Figura 14 – Circuito do retificador/carregador da bateria	33
Figura 15 - Circuito retificador/carregador da bateria montado	34
Figura 16 - Circuito da fonte de alimentação	35
Figura 17 - Protótipo do controlador de acesso montado.....	36
Figura 18 - Apêndice A: circuito placa de extensão ExtraCircuits	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

GND – *Ground*

HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*

I/O – *Input/Output*

IFES – Instituto Federal do Espírito Santo

LCD – *Liquid-crystal display*

LED – *Light emitter diode*

PC – *Personal Computer*

PCB – *Printed Circuit Board*

RA – Registro acadêmico

SPI – *Serial Peripheral Interface*

USART – *Universal Synchronous/Asynchronous Receive/Transmitter*

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	13
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2 ESPECIFICAÇÕES E REQUISITOS DO SISTEMA	15
2.1 REQUISITOS DO SISTEMA	15
2.2 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA	16
2.2.1 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO COM MICROCONTROLADOR	16
2.2.2 FECHADURA ELETROMECHANICA	19
2.2.3 LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS	20
2.2.4 FORNECIMENTO DE ENERGIA	20
3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	22
3.1 O CONTROLADOR DE ACESSO	22
3.1.1 PROJETO DE UMA PLACA DE EXTENSÃO	23
3.1.2 ALGORITMOS DO SISTEMA	26
3.2 BATERIA E FONTE DE ALIMENTAÇÃO	33
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	36
5 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICES	43
APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO CIRCUITO DA PLACA EXTRACIRCUITS	43

1 INTRODUÇÃO

Por questão de segurança, na sociedade moderna os indivíduos precisam se identificar para, por exemplo, entrar em um local restrito ou para acessar uma conta de banco (FUSSEL, 2005, p.1).

Esse processo de identificação e, então, permissão de acesso a uma propriedade por pessoas autorizadas é conhecido como controle de acesso. (QUINTAS E COSTA, 2011, p.1).

Por exemplo, em uma empresa cujo o controle de acesso é manual, ou seja, é efetuado por uma pessoa, podem ocorrer falhas, uma vez que o empregado pode permitir a entrada de um indivíduo que não poderia estar nesse local. Além disso, há ainda a necessidade de gastos com o salário desse funcionário.

Atualmente, tanto nas indústrias quanto nas residências, a procura pela automação de processos vem crescendo amplamente, pois pode-se garantir que um sistema eletrônico – desde que seja projetado para os vários cenários possíveis – irá efetuar a ação desejada no momento em que for requerido. Sendo assim, a automação proporciona alta precisão ao processo para qual foi projetado, garantindo segurança aos usuários.

Também pode-se prever que os sistemas automatizados geram redução nos custos, porém devido ao alto investimento inicial, a diminuição somente será notada em um médio ou longo prazo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Equipamentos que efetuam o controle de acesso são encontrados facilmente para serem comprados e instalados nos locais que deseja-se restringir o acesso, como laboratórios. Entretanto, uma questão importante está relacionada ao custo desse equipamento.

Por exemplo, um controlador de acesso Coletor Henry Primme Acesso Código de Barras (HENRY PRIMME, 2014), demonstrado pela Figura 1, tem um

preço médio de R\$1000,00. Uma vez que, apenas no campus Toledo, existem 17 laboratórios, a universidade gastaria R\$17000,00 para restringir o acesso a esses locais.

Portanto, apesar de existirem controladores de acesso sendo comercializados, o preço ainda é um empecilho.



Figura 1 - Coletor Henry Primme Acesso Código de Barras
Fonte: Henry Primme

Com isso, este trabalho será o início do desenvolvimento de um sistema de baixo custo que possa ser utilizado no campus para efetuar o controle de acesso nos laboratórios. Na verdade, é visado utilizar trabalhos já apresentados como base para projetar um sistema mais robusto, sendo eles: um artigo proposto por Quintas e Costa (2011) e um trabalho de conclusão de curso escrito por Carmo (2005).

O primeiro, proposto por Quintas e Costa (2011, p.1) , é um projeto de um sistema de controle de acesso para os vários laboratórios do IFES Campus Serra baseado na plataforma Arduino, a qual vem se destacando pela facilidade de programação e pelo baixo custo. Foi programado para que o sistema proposto tivesse uma comunicação via ethernet com um PC, para que esse último verifique se a pessoa que está tentando o acesso naquele local pode entrar.

Já no segundo, Carmo (2005, p.26) propõe um sistema utilizando a família de microcontroladores PIC - que é produzido pela *Microchip Technologic Inc* - para efetuar o controle de acesso a partir de um código de barras. O sistema conta com a utilização de um leitor de código de barras, o qual envia a sequência de caracteres para a placa com o microcontrolador. Também foi utilizado o padrão RS-485 para efetuar a comunicação entre a placa com o microcontrolador (que está anexada a

catraca eletromecânica) e o PC, o qual será o servidor de dados, verificando se o aluno ou servidor está cadastrado e pode acessar aquele local ou não.

Deve ser mencionado que o controlador de acesso proposto nesse trabalho irá incorporar o registro da saída dos usuários, registro esse que não é feito nos trabalhos de Carmo e Quintas e Costa.

A importância da construção desse sistema está relacionada a segurança do local e dos equipamentos que estão dentro do laboratório. Atualmente, para um discente entrar em um laboratório do curso de Engenharia Eletrônica, é necessário a permissão de um professor responsável e o registro da retirada da chave na recepção do campus. Como pode ser notado, todo o processo é manual.

Dessa forma, algumas informações podem ser perdidas, como quantos indivíduos adentraram no laboratório ou o horário exato da retirada da chave. Além disso, pode ocorrer o extravio da chave, gerando prejuízo a UTFPR.

Com o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, os problemas recém citados seriam sanados, afinal não haverá a necessidade da retirada da chave e somente os alunos ou servidores cadastrados terão permissão para entrada, tendo todos os registros de entrada e saída salvos no sistema.

1.2 OBJETIVOS

Visando as vantagens citadas anteriormente, esse trabalho tem como objetivo principal a criação de um sistema automático de baixo custo que efetuará o controle do acesso de alunos a um laboratório de Engenharia Eletrônica no campus Toledo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho apresentará, no próximo capítulo, os requisitos que o sistema deverá atender e, a partir desses, suas especificações.

No Capítulo 3 será demonstrado todo o desenvolvimento do sistema, seja do *hardware* especialmente criado para esse projeto, seja dos algoritmos a serem usados no *firmware* – que é o conjunto dos códigos programados – do controlador de acesso.

O Capítulo 4 irá expor os resultados e discussões relacionados a todo o progresso do projeto. Ainda nele será pontuado algumas mudanças que poderiam ser efetuadas a fim de melhorar esse trabalho.

Por último, no Capítulo 5, é descrito a conclusão do trabalho e apresentado um novo sistema que poderia ser integrado ao controlador de acesso.

2 ESPECIFICAÇÕES E REQUISITOS DO SISTEMA

A fim de desenvolver qualquer sistema, a fase de definição dos requisitos e, conseqüentemente, a de especificação são etapas fundamentais do projeto. Os requisitos possuem uma função importante, pois o sucesso do sistema é dado pelo grau em que foram atendidos os requisitos e objetivos propostos durante o seu desenvolvimento (FALBO, 2012, p. 2).

Existem várias técnicas que podem ser utilizadas no momento de investigação dos requisitos necessários. Dentre elas está a criação de cenários, onde o usuário irá interagir com o sistema, demonstrando possíveis adversidades ou itens necessários para o bom funcionamento do mesmo (FALBO, 2012, p. 13).

2.1 REQUISITOS DO SISTEMA

A partir da análise de vários cenários de usuários interagindo com o sistema, foram propostos os seguintes requisitos:

- I. Visto que todos os alunos e servidores possuem um crachá, é imprescindível a apresentação dele, pelo menos na primeira entrada do dia, porque o código de barras, contido no mesmo, deverá ser lido pelo sistema, a fim de identificar o aluno/servidor.
- II. O sistema deverá registrar tanto o Registro acadêmico (RA) do aluno ou código do servidor, quanto o horário de entrada e saída do mesmo.
- III. Deverá estar contida no sistema uma forma de comunicação com um computador com a finalidade de extrair os registros e, portanto, serem passíveis de análise.
- IV. O controlador de acesso deverá ser responsável pela abertura da fechadura.
- V. Caso falte energia, o sistema deverá possuir uma outra fonte de alimentação para que ele continue operante.

É necessário notar que em todos os requisitos foi utilizado o verbo deverá, isto é, são considerados essenciais para o bom funcionamento do sistema e, então, devem ser implementados.

2.2 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA

O controlador de acesso proposto consistirá no diagrama de blocos disposto na Figura 2. O sistema pode ser dividido em quatro partes.

2.2.1 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO COM MICROCONTROLADOR

O primeiro é a placa de circuito impresso onde será acoplado o microcontrolador, a memória e as conexões, que são responsáveis, respectivamente, por ser o mestre do sistema, armazenar os registros e efetuar a comunicação com os periféricos e o PC.

O microcontrolador a ser adquirido deve possuir, pelo menos, dois módulos USART (do inglês, *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*) – os quais, usando o padrão RS-232 farão a comunicação com o computador e com o leitor de código de barras – e um módulo SPI (do inglês, *Serial Peripheral Interface*), o qual será utilizado na interface com a memória, que, por sua vez, reterá os registros das entradas/saídas dos alunos/servidores no local.

Além desses módulos, o microcontrolador deverá conter 16 pinos de I/O (pinos de Entrada/Saída) para dois teclados numéricos, 6 pinos utilizados para enviar comandos a fim de escrever palavras, números e frases no LCD e mais 4 pinos de I/O usados para LEDs, buzzer e abertura da fechadura eletromecânica.

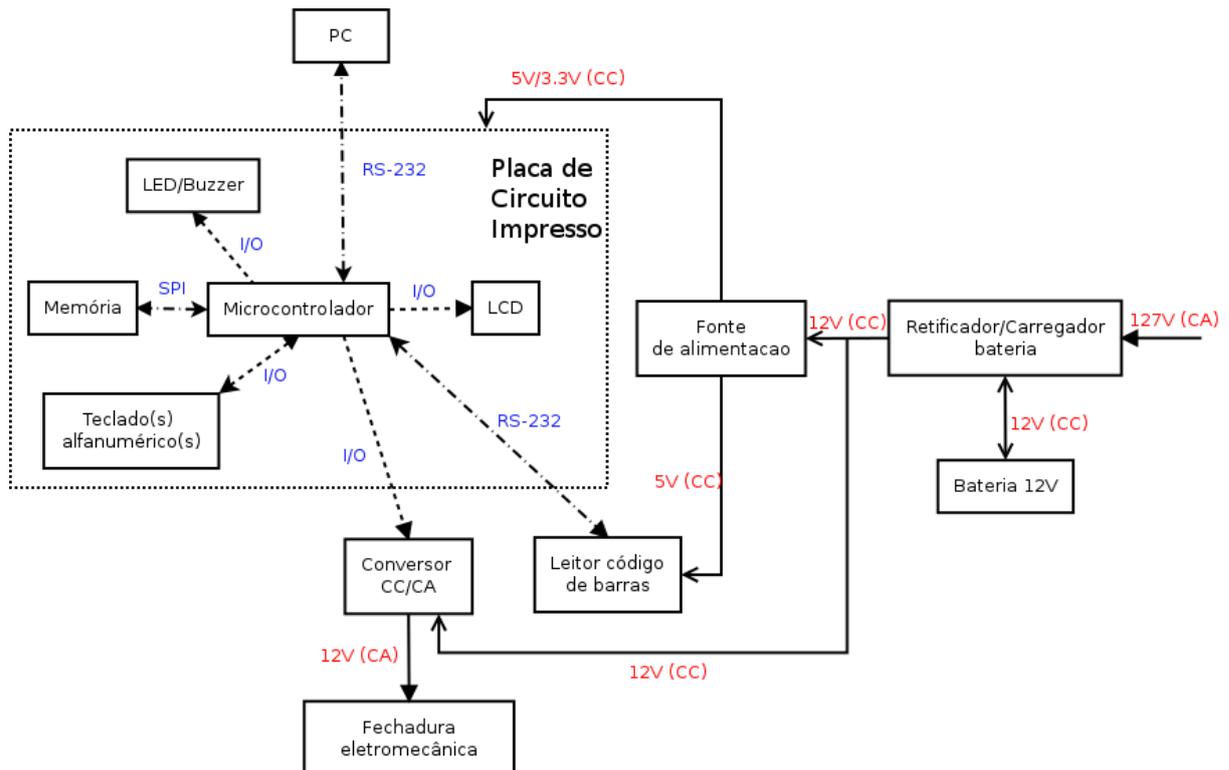


Figura 2 - Diagrama de blocos do controlador de acesso
Fonte: autoria própria

A partir dos números apresentados acima, foi selecionada a placa de desenvolvimento da *ST* chamada de *STM32VLDISCOVERY* (ST, 2014), que contém um microcontrolador ARM Cortex-M3 denominado *STM32F100RB*.

Existem três razões da utilização dessa placa de desenvolvimento:

- a. Atende a quantidade de módulos USART, SPI e pinos de I/O;
- b. O custo da placa (que é de, aproximadamente, US\$10,00 ou R\$26,00 na data em que foi adquirida) pode ser apontado como baixo, afinal ela é uma placa de circuito impresso, cujo uso pode estar no desenvolvimento de aplicações ou, simplesmente, como *debugger* para outros microcontroladores da *ST*. Dessa forma, essa placa se torna interessante para a construção de um protótipo;
- c. A família STM32F1 de microcontroladores da *ST* permite a utilização de protocolo Ethernet, padrão esse que poderá ser usado como forma de comunicação com o sistema da UTFPR em trabalhos futuros.



Figura 3 - Placa de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY
Fonte: ST

Conforme citado anteriormente, a memória que será utilizada nesse projeto deverá conter uma interface SPI e, portanto, conseguir comunicar-se com o microcontrolador. Ela também deve possuir uma capacidade de armazenamento, de forma que arquive uma certa quantidade de registros.

A quantidade de armazenamento da memória pode ser aproximada levando-se em conta três pontos: primeiramente, deve-se considerar que um registro na memória possuirá, no máximo, 13 Bytes (7 Bytes para o RA, 3 Bytes para data, 2 Bytes para hora e 1 Byte para indicar a entrada/saída do indivíduo); em segundo lugar, em média, 4 pessoas entrarão no laboratório por dia e se cada uma entrar no local 5 vezes será gerado 10 registros por pessoa; e, por fim, que o sistema funcione por 10 anos. Então, pode-se dizer que

$$\frac{4 \text{ pessoas}}{\text{dia}} \times \frac{10 \text{ registros}}{\text{pessoa}} \times \frac{5 \text{ dias}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mês}} \times \frac{12 \text{ meses}}{\text{ano}} = 9600 \frac{\text{registros}}{\text{ano}} \quad (1)$$

$$\frac{9600 \text{ registros}}{\text{ano}} \times \frac{13 \text{ Bytes}}{\text{registros}} = \frac{124800 \text{ Bytes}}{\text{ano}} \quad (2)$$

$$\frac{124800 \text{ Bytes}}{\text{ano}} \times 10 \text{ anos} = 1248000 \text{ Bytes} = 1218,75 \text{ kBytes} = 1,19 \text{ MByte} \quad (3)$$

Deve-se citar que, além dos registros de entrada e saída do sistema, a memória deverá reter os dados dos alunos/servidores que podem entrar no local. Dessa maneira, pode-se reservar de 10% a 20% a mais da capacidade acima calculada para manter os dados dos alunos/servidores.

$$1,19 \text{ MByte} * 1,2 = 1,42 \text{ MByte} = 11,36 \text{ Mbit} \quad (4)$$

Ou seja, a memória deve conter um armazenamento de 1,42 MByte. Sendo assim, a memória selecionada foi a *SST25VF032B* (MICROCHIP, 2014) da *MICROCHIP*, que possui uma interface SPI e uma capacidade de armazenamento de 32 Mbit.

2.2.2 FECHADURA ELETROMECHANICA

A fechadura eletromecânica será responsável por permitir o acesso ao local abrindo a porta ao usuário. O dispositivo selecionado foi o modelo FEC-91LA da *HDL* (HDL, 2014), porque pode ser facilmente comprado em lojas de material de construção e possui custo baixo – aproximadamente R\$65,00 – quando comparado com outros modelos da mesma fabricante.



Figura 4 - Fechadura eletromecânica HDL FEC-91LA
Fonte: HDL

2.2.3 LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS

O leitor de código de barras, o qual fará a leitura do crachá dos usuários, será do tipo *slot*, no qual deve-se passar o cartão de código de barras no caminho indicado no leitor (ver Figura 5). O leitor comunica-se através do padrão RS-232 e custa cerca de R\$80,00.

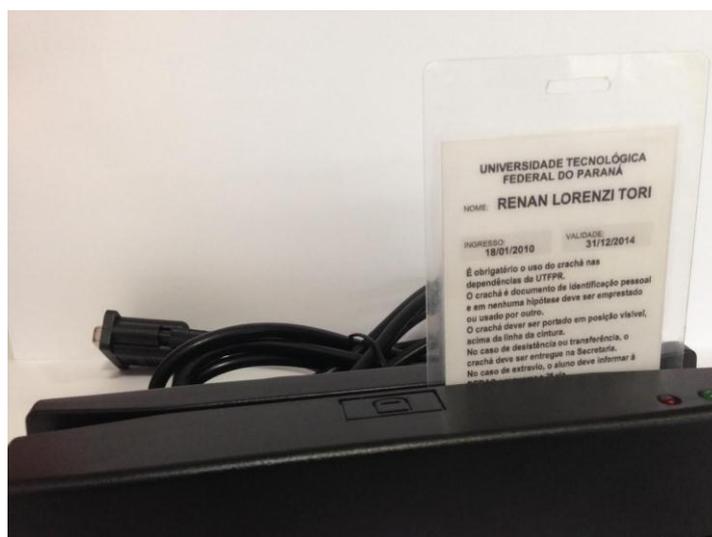


Figura 5 - Leitor de código de barras RS-232
Fonte: autoria própria

2.2.4 FORNECIMENTO DE ENERGIA

A última parte é composta pelo retificador/carregador da bateria, bateria de 12 V, fonte de alimentação e o conversor CC/CA. O retificador/carregador de bateria será responsável pela carga da bateria, caso ela esteja descarregada, além de prover 12 V de tensão contínua para os outros componentes dessa parte, seja proveniente da rede elétrica ou da bateria quando houver falta de energia. Já a fonte de alimentação fará a regulação da tensão para os níveis de 5 V e 3,3 V.

Por determinação do fabricante, a fechadura (especificada na Seção 2.2.2) necessita uma tensão alternada (de forma quadrática) de 12 V para permitir a abertura da porta. Por esse motivo, foi adicionado o conversor CC/CA.

Deve-se mencionar que, como nesse trabalho utilizou-se uma bateria para momentos com falta de energia, foi escolhido o conversor CC/CA ao invés de um transformador conectado diretamente a rede elétrica.

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O desenvolvimento do controle de acesso a ser utilizado, primeiramente, no Laboratório de Iniciação Científica da UTFPR campus Toledo foi dividido em duas etapas, pois dessa forma, há um melhor acompanhamento do projeto. Afinal, assim, podem ser definidos objetivos e, até mesmo, datas limites para a finalização de cada fase.

Portanto, as duas etapas efetuadas são:

1. O controlador de acesso em si, isto é, que seja desenvolvido um protótipo que consiga restringir o acesso ao laboratório apenas a pessoas autorizadas;
2. Alcançado o objetivo da etapa anterior, será criado um sistema autônomo de fornecimento de energia, o qual fornecerá tensão aos circuitos a partir de uma bateria, caso haja falta de energia elétrica. Em outras situações, a alimentação será feita através da rede elétrica.

3.1 O CONTROLADOR DE ACESSO

Tomando como base a especificação do sistema (descrito na Seção 2.2), pode-se então verificar que o sistema necessitará de uma memória e de dois canais RS-232, um para o leitor de código de barras e outro para o computador pessoal. Além disso, o sistema contará com dois teclados numéricos, um display LCD e outros pinos de I/O que serão utilizados para diversas funções, como um pino para ativar o *buzzer*.

O controlador de acesso compreende a placa de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY conectada a uma placa de extensão e os algoritmos responsáveis por realizar a função de controle de acesso.

3.1.1 PROJETO DE UMA PLACA DE EXTENSÃO

Foi efetuado o *design* de uma placa de extensão, denominada de ExtraCircuits, a qual será acoplada nos pinos machos laterais contidos na STM32VLDISCOVERY (como demonstrado pela Figura 6) e, portanto, conterà a memória e todas as conexões necessárias para teclados numéricos, LCD e comunicação RS-232.

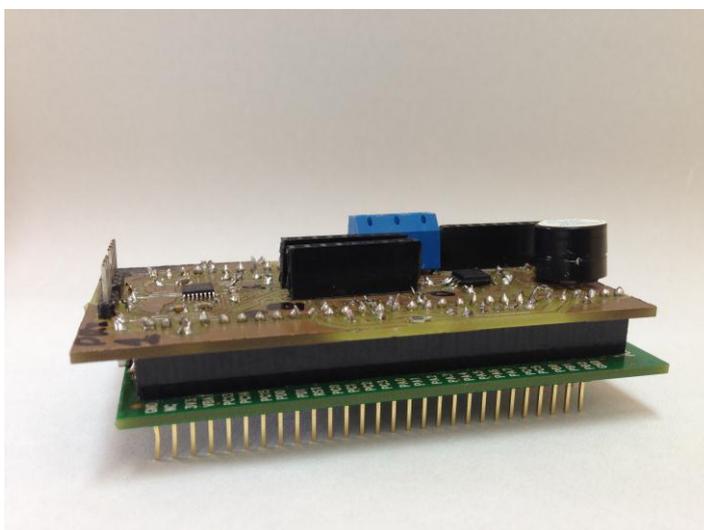


Figura 6 - Conexão entre placa de extensão ExtraCircuits e STM32VLDISCOVERY
Fonte: autoria própria

Como pode ser observado a partir da Figura 7, a placa possui dois chips (circulados em vermelho): o primeiro é a memória SST25VF032B (já descrita na Seção 2.2) e o segundo é o TRS3232E (TEXAS INSTRUMENTS, 2014), o qual é um *transceiver* RS-232, que atua na interface elétrica entre o computador e/ou leitor de código de barras e o módulo USART do microcontrolador. Ambos são energizados com tensão contínua de 3,3 V.

Em amarelo, estão destacados os pinos de transmissão (Tx) e de recepção (Rx) da comunicação RS-232 com o computador pessoal e com o leitor de código de barras. No caso do *header* (barra de pinos macho) da direita (RS-232 para o leitor de código de barras) há também um pino 5 V – o qual energizará o leitor – e outro com o GND (*ground*, do inglês, terra). Já para o *header* do RS-232 para o PC, não há necessidade de fornecer alimentação e, portanto, há apenas o GND.

Um dos requisitos do sistema, descritos na Seção 2.1, determina que o controlador de acesso registre tanto a entrada, quanto a saída de um aluno/servidor. Dessa forma, serão utilizados dois teclados – um externo ao local ao qual deseja-se acessar e um interno – e, conseqüentemente, dois *headers* (demonstrados em verde) para atender esse requisito.

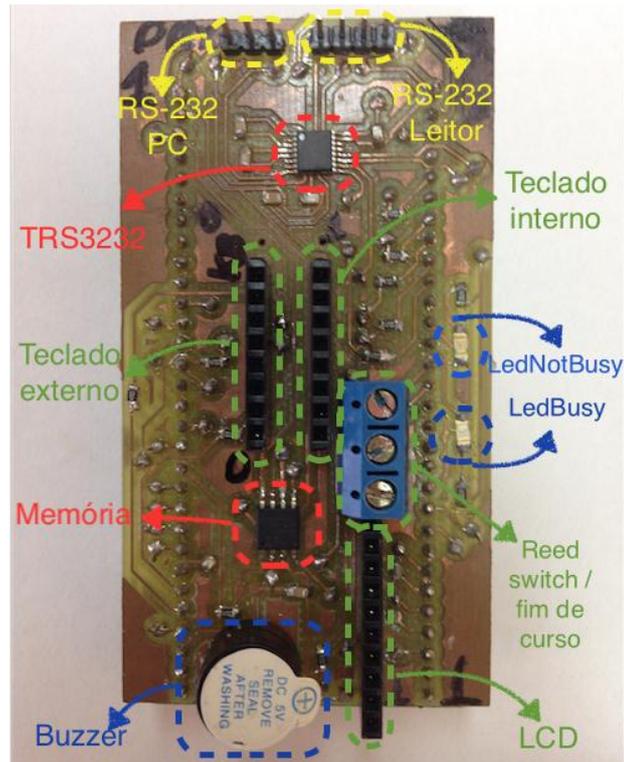


Figura 7 - Placa de extensão ExtraCircuits montada
Fonte: autoria própria

Os teclados utilizados consistem em um conjunto de chaves dispostas em forma matricial, como mostra a Figura 8. Cada chave está localizada no cruzamento entre uma linha e uma coluna. Quando uma tecla é pressionada, a linha e a coluna correspondentes formam um contato elétrico. Os oito terminais do teclado podem ser conectados no microcontrolador para identificar quando um botão é pressionado.

Para detectar qual chave está sendo apertada, as 4 linhas do teclado serão conectadas a 4 pinos do microcontrolador, os quais são configurados como saída, sendo que apenas uma linha terá nível lógico baixo ($0V$) e as outras três permanecerão em nível alto ($3,3V$). Enquanto isso, 4 pinos de entrada são conectados as 4 colunas. Rotacionando o nível lógico baixo entre as linhas, é possível fazer uma exploração sequencial de linhas para determinar o nível lógico

baixo nos pinos de entrada. Isso determina em qual linha e coluna está a tecla pressionada.

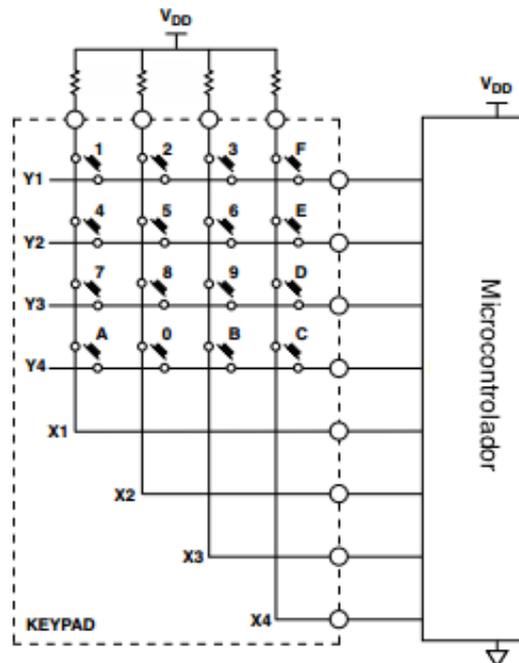


Figura 8 - Esquema interno dos teclados
Fonte: Analog Devices

O display LCD terá uma barra de pino exclusiva, sendo que a comunicação entre o microcontrolador e o LCD utilizará uma interface de 4 bits. Além disso, há a possibilidade de inserir um *reed switch* ou uma chave de fim de curso na porta do local para verificar se a porta está fechada ou não.

Finalmente, a placa conterá um buzzer – com a finalidade de chamar a atenção do usuário por meio do som – e dois LEDs, sendo que um indicará quando o sistema está ocupado (denominado de LEDBusy) e o outro quando ele encontra-se ocioso (LEDNotBusy). Os LEDs estarão dispostos na parte interna do laboratório, visto que há um display LCD apenas para a área externa indicando o *status* do sistema e/ou o progresso da operação.

Na Figura 9 está demonstrado o *hardware* montado para testes iniciais, com exceção da fechadura eletromecânica.

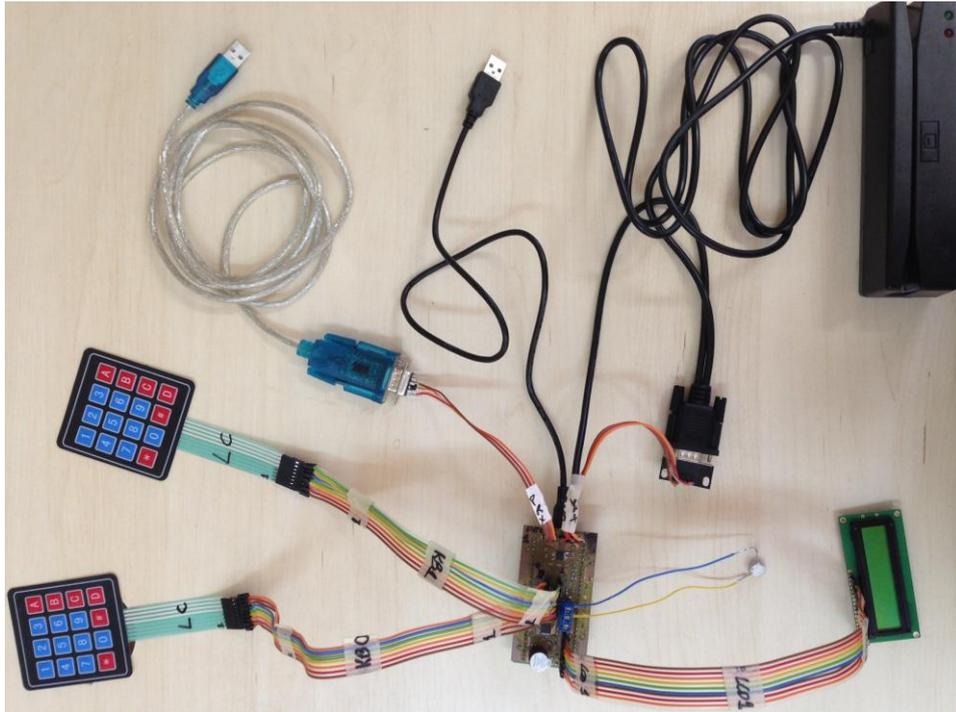


Figura 9 - Sistema montado para testes
Fonte: autoria própria

Para detalhes dos circuitos, vide Apêndice A.

3.1.2 ALGORITMOS DO SISTEMA

Dentre as diversas formas para estruturar um algoritmo podemos citar a máquina de estados finitos, que “são estruturas lógicas compostas por um conjunto de estados e um conjunto de regras de transição entre os estados” (LOPES, 2004, p. 1). O algoritmo responsável pelo controle de acesso para o laboratório pode ser resumido, como demonstrado na Figura 10, a fim de facilitar o entendimento.

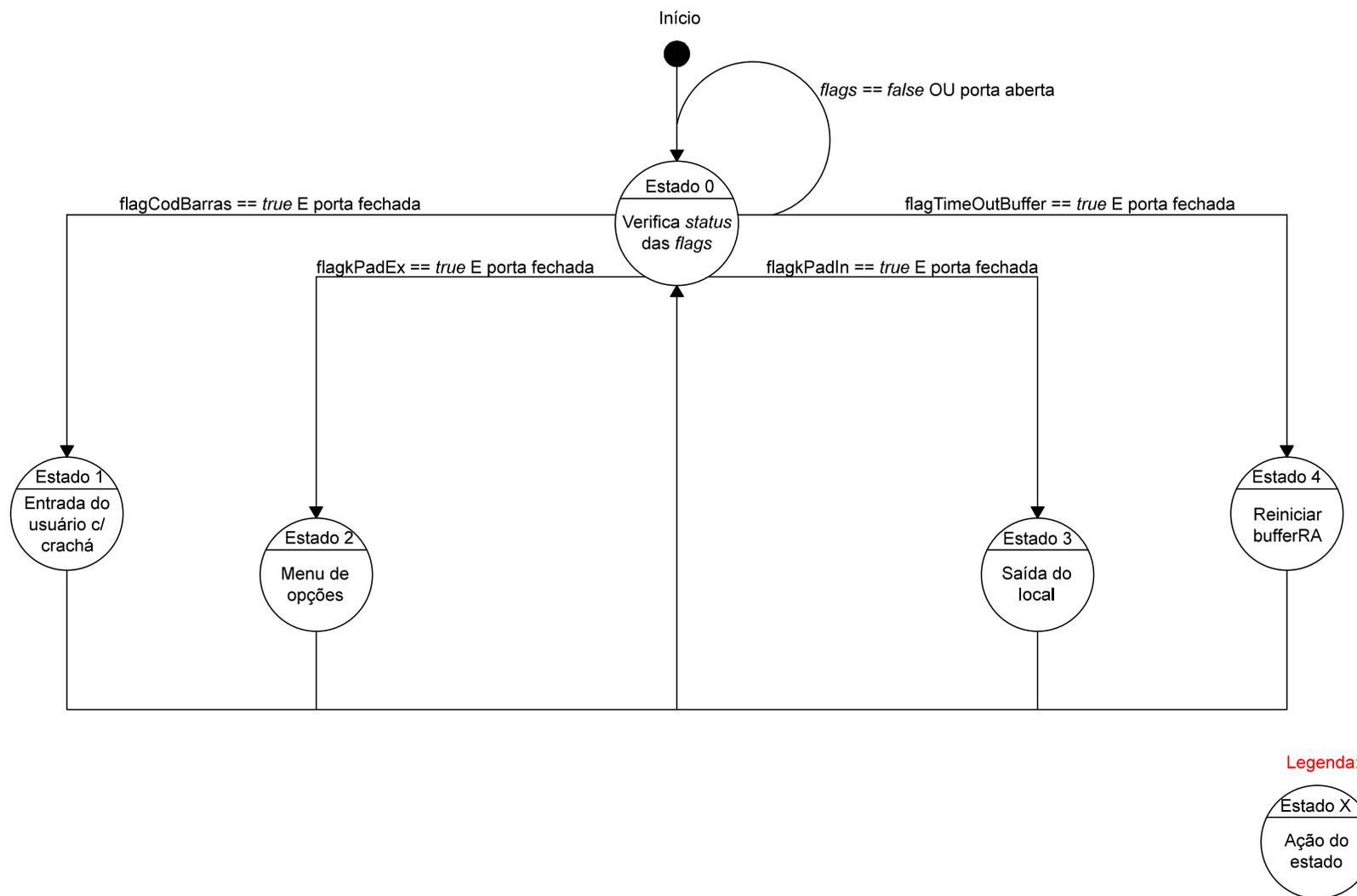


Figura 10 – Máquina de estados resumida do controlador de acesso
Fonte: autoria própria

O primeiro estado, denominado de Estado 0, é responsável por verificar o estado de quatro *flags* (do inglês, sinalizador) e assim definir qual será o próximo estado a ser executado. As *flags* são:

1. *flagCodBarras*: ela é responsável por indicar a ocorrência de uma interrupção por parte da USART e, por consequência, a leitura de um código de barras pelo leitor.
2. *flagKPadEx*: quando um usuário pressiona a letra A do teclado externo, ocorrerá uma interrupção, a qual irá alterar o estado da *flag* indicando que o usuário está solicitando a entrada no menu de opções.
3. *flagKPadIn*: essa funciona de forma análoga a *flagKPadEx*, porém a interrupção é ativada quando pressionado o botão A do teclado interno.
4. *flagTimeoutBuffer*: identifica que o horário do sistema é 5 horas da manhã. Sua utilização será explicada mais adiante.

Com o evento da mudança de estado de alguma das variáveis citadas acima, o sistema definirá qual dos quatro estados (demonstrados pela Figura 10) seguintes será executado. É visto que o sistema somente irá mudar de estado a partir do momento em que a porta esteja fechada, garantindo a segurança do local.

Considerando que o sistema esteja no Estado 0 verificando as *flags* e que a porta esteja fechada, quando houver uma leitura de um código de barras, o estado de *flagCodBarras* irá ser alterado fazendo com que a máquina de estados migre para o Estado 1. Esse último tem o dever de efetuar a entrada do usuário ao laboratório utilizando seu crachá.

Como pode ser visto na Figura 11, a primeira ação do sistema quando entrar no Estado 1_0 será a leitura do buffer da USART a fim de receber o número do RA da pessoa que está tentando entrar no local. Além disso, o sistema liga o LEDBusy e desliga o LEDNotBusy, indicando que o sistema está ocupado para os usuários que estão dentro do laboratório.

Ainda nesse estado, é verificado na memória se o usuário está cadastrado e, caso esteja, é carregado sua senha e, então, muda-se para o Estado 1_1.

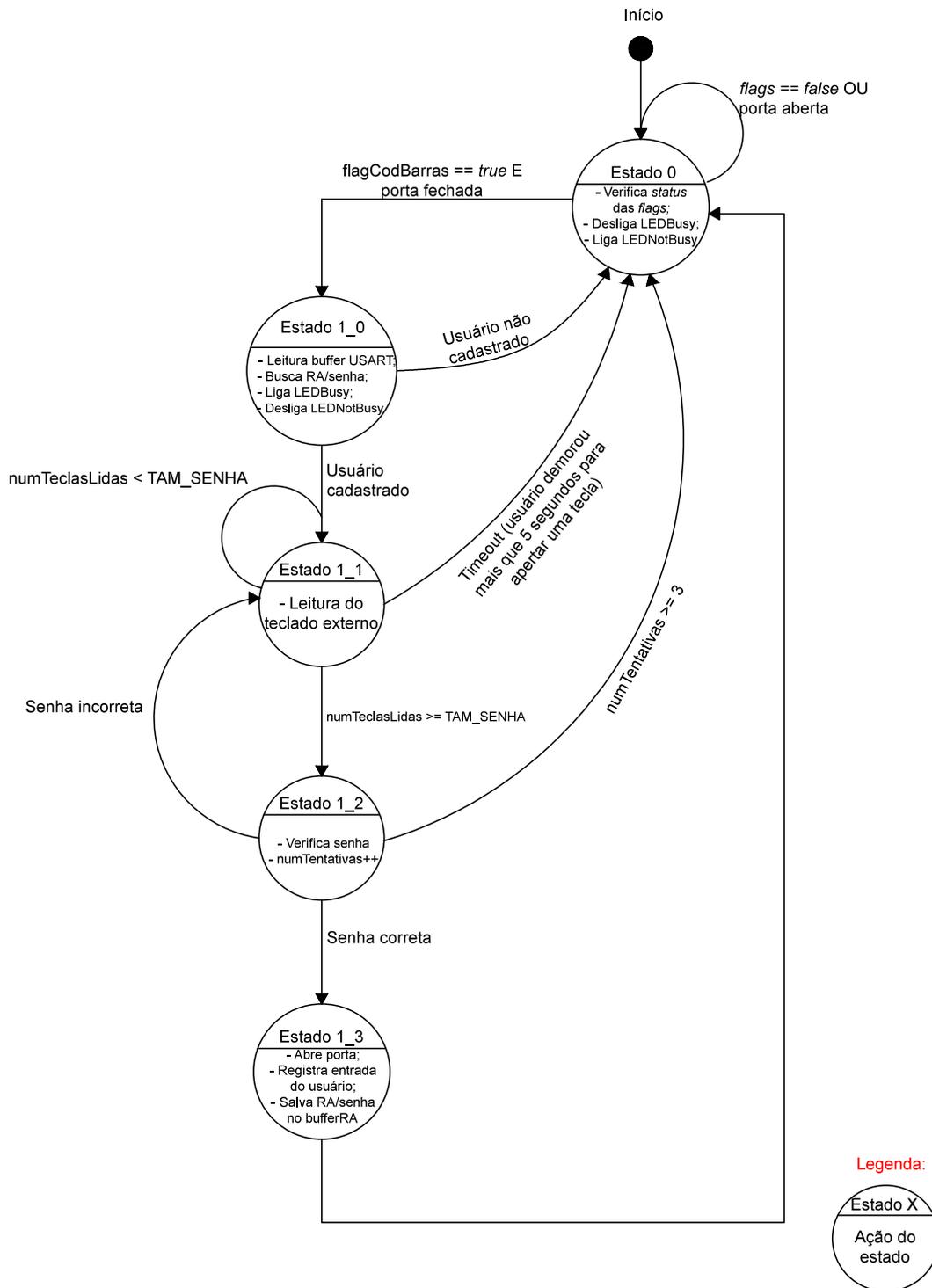


Figura 11 - Algoritmo responsável pela entrada do usuário – Estado 1
 Fonte: autoria própria

Ainda no Estado1_3, o registro da entrada no local será gravado na memória, o qual contém 7 Bytes para o RA, 3 Bytes para data, 2 Bytes para hora e 1 Byte para

indicar se o usuário entrou no local, isto é, um total de 13 Bytes será enviado via SPI para a memória. Também nesse estado, o RA, a senha e o tipo de usuário serão guardados na variável `bufferRA`, a fim de armazenar os usuários que já entraram no local com o uso da crachá.

O Estado 2 (veja Figura 10) será somente ativado quando o usuário apertar a letra A do teclado externo, entrando, então, em um menu de opções. Dentre as opções disponíveis nesse menu, há a entrada do usuário sem crachá.

Com a inclusão dessa função, o usuário poderá efetuar a entrada no local de novo sem a necessidade de apresentar seu crachá, pois o sistema já tem seus dados inclusos no `bufferRA` e, portanto, o usuário é apto a ingressar no local sem o crachá até as 5 horas da manhã do próximo dia. Essa função foi baseada na situação que o usuário entrou no laboratório, deixou seus pertences, inclusive seu crachá, e saiu do laboratório temporariamente.

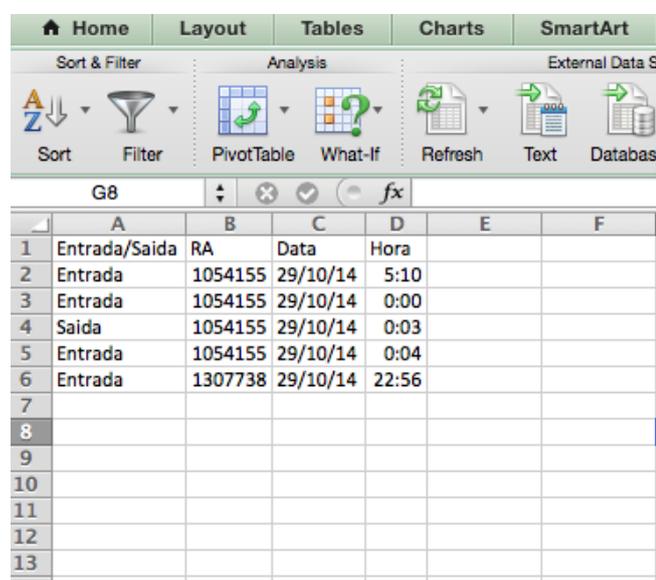
A função para a entrada no local sem crachá possui basicamente o mesmo fluxograma do Estado 3 (demonstrado pela Figura 13), entretanto ao invés de utilizar o teclado interno, o usuário irá utilizar o teclado externo e o registro na memória será de uma entrada ao em vez de uma saída.

Ainda no Estado 2 é possível verificar que, no menu de opções, pode ser escolhido diversas funções administrativas, as quais são: o cadastro de um RA novo, retirar um RA do cadastro, ler registros, ler RAs cadastrados, mudar data/hora e apagar a memória. É necessário esclarecer que essas funções só estarão disponíveis para pessoas que possuem a função de administrador, isto é, antes de mostrá-las, o controlador de acesso irá requerer o crachá do indivíduo e sua senha a fim de garantir que esse último possa gerenciar o sistema.

A primeira função de administrador citada acima serve para quando o administrador do sistema deseja incluir um novo aluno/servidor no cadastro dos indivíduos que podem acessar no laboratório. Ela irá requisitar o crachá do novo aluno/servidor, que ele digite uma senha pessoal (que possui tamanho determinado pela constante `TAM_SENHA`) e confirme a mesma novamente. Por fim, será pedido ao administrador se a pessoa que está sendo incluída será um novo administrador ou um usuário. No fim desse processo, teremos 7 Bytes para o RA, 4 Bytes para senha e 1 Byte para indicar se ele será um usuário ou administrador do sistema, totalizando 12 Bytes por cadastro, os quais serão gravados na memória.

Já para excluir um cadastro basta acessar a devida função e efetuar a leitura do código de barras do crachá a ser retirado que o sistema tomará as devidas ações.

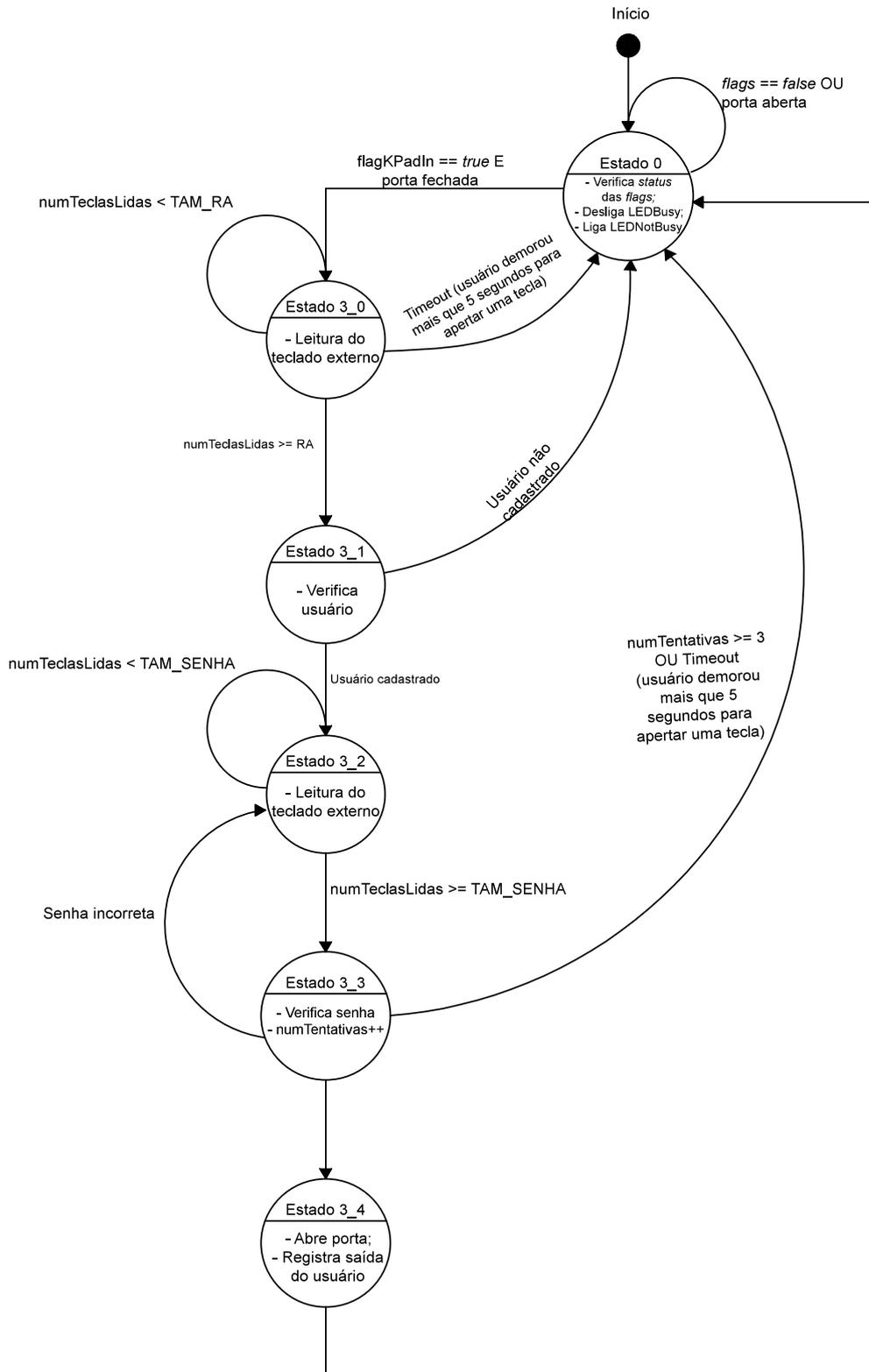
As funções responsáveis pela leitura – tanto dos registros, quanto dos RAs cadastrados – enviarão os dados pela RS-232 para o computador, onde pode-se salvar os dados recebidos com a extensão .csv e importar-los no software Microsoft Excel, visualizando-os já separados em linhas e colunas, como é constatado na Figura 12.



	A	B	C	D	E	F
1	Entrada/Saída	RA	Data	Hora		
2	Entrada	1054155	29/10/14	5:10		
3	Entrada	1054155	29/10/14	0:00		
4	Saída	1054155	29/10/14	0:03		
5	Entrada	1054155	29/10/14	0:04		
6	Entrada	1307738	29/10/14	22:56		
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Figura 12 - Exemplo de leitura de registros via RS-232
Fonte: autoria própria

Por fim, as duas últimas funções administrativas presentes no Estado 2 são para a mudança da data e hora do sistema e para apagar a memória completamente, tanto para registros quanto para cadastros de RA.



Legenda:



Figura 13 – Algoritmo responsável pela saída do usuário – Estado 3
 Fonte: autoria própria

Analisando o Estado 3 da Figura 10, pode-se averiguar que ele fará a saída do usuário do laboratório, sendo que seu algoritmo está explicado na Figura 13. Nesse estado, o usuário irá digitar o seu RA no teclado interno e o sistema irá verificar se ele está cadastrado no *bufferRA*, indicando que ele já efetuou a entrada no local nesse dia. Caso ele já tenha entrado, o sistema pedirá para que seja digitado a senha. Se ela for digitada corretamente, a porta será aberta e será criado um registro de saída para aquele usuário. Esse registro terá 13 Bytes na memória, sendo que o último Byte indica uma saída.

E, por último, com o intuito de garantir que o requisito I da Seção 2.1 – o qual dispõe que é imprescindível a apresentação do crachá na primeira entrada do dia – seja cumprido, o *bufferRA* será reiniciado todos os dias. Isso ocorrerá através do Estado 4, demonstrado na Figura 10, que será executado quando o horário do sistema for 5 horas da manhã e, por consequência, a *flagTimeoutBuffer* mudar de estado.

3.2 BATERIA E FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Como foi explicado na Seção 2.2.4, a alimentação do sistema foi dividida em duas partes: o retificador/carregador da bateria e a fonte de alimentação.

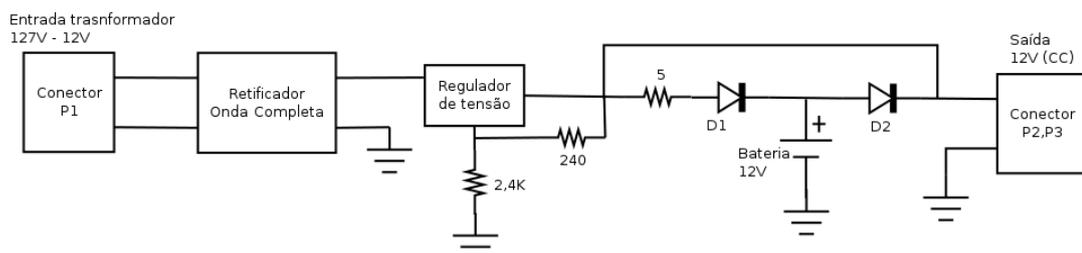


Figura 14 – Circuito do retificador/carregador da bateria
Fonte: autoria própria

A primeira parte, a qual é o circuito do retificador/carregador da bateria e que está sendo mostrado pela Figura 14, irá conter um transformador, o qual reduzirá a tensão da rede elétrica de 127 V para 12 V (em corrente alternada, o que corresponde a 17 V de tensão de pico) entrando no conector P1. Após esse estágio,

haverá um retificador de onda completa, gerando uma diferença de potencial contínua de, aproximadamente, $15,5\text{ V}$.

Considerando que, antes da bateria, haverá uma queda de tensão de $0,7\text{ V}$ do diodo D1, a bateria será carregada com a diferença de potencial de $14,8\text{ V}$. No entanto, esse valor é muito alto para a bateria de 12 V . Em vista disso, um regulador de tensão LM317 (ST, 2014) foi utilizado a fim de reduzir a tensão para, aproximadamente, $13,7\text{ V}$.

A parte final desse circuito, onde estão dispostos os diodos D1 e D2, irá efetuar o comando da bateria, isto é, quando não houver energia, o diodo D1 estará bloqueado e o D2 conduzirá corrente, enviando 12 V para a saída. Caso a rede elétrica esteja funcionando e a bateria esteja descarregada, haverá uma corrente fluindo pelo diodo D1 com o intuito de carregá-la. A Figura 15 mostra esse circuito montado com uma bateria de 12 V , a qual possui a capacidade de $2,5\text{ Ah}$ e custa, aproximadamente, R\$60,00.

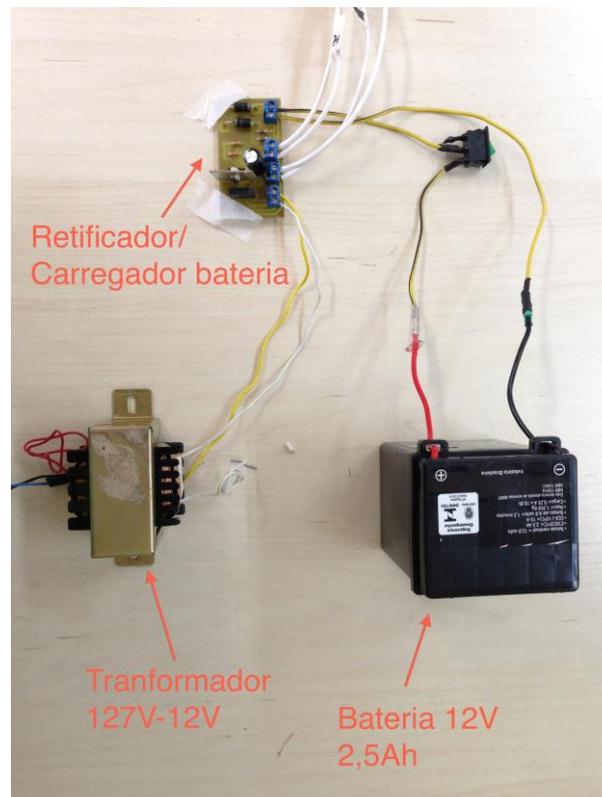


Figura 15 - Circuito retificador/carregador da bateria montado
Fonte: autoria própria

A segunda parte, que é a fonte de alimentação demonstrada pela Figura 16, contém apenas reguladores de tensão da família UA78Mxx da *Texas Instruments*

(TEXAS INSTRUMENTS, 2014), um para 5 V e outro para 3,3 V, e dois LEDs, com o intuito de informar que a regulação está ocorrendo. Ainda nessa placa há uma saída para ativar o conversor CC/CA, o qual irá gerar os 12 V de tensão alternada para acionar a fechadura.

Essa fonte irá ser conectada diretamente aos *headers* contidos na parte inferior da placa de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY visando a alimentação dessa placa e da ExtraCircuits.

Deve ser dito que o foco desse trabalho não é o desenvolvimento de um conversor CC/CA e, então, esse foi construído isoladamente.

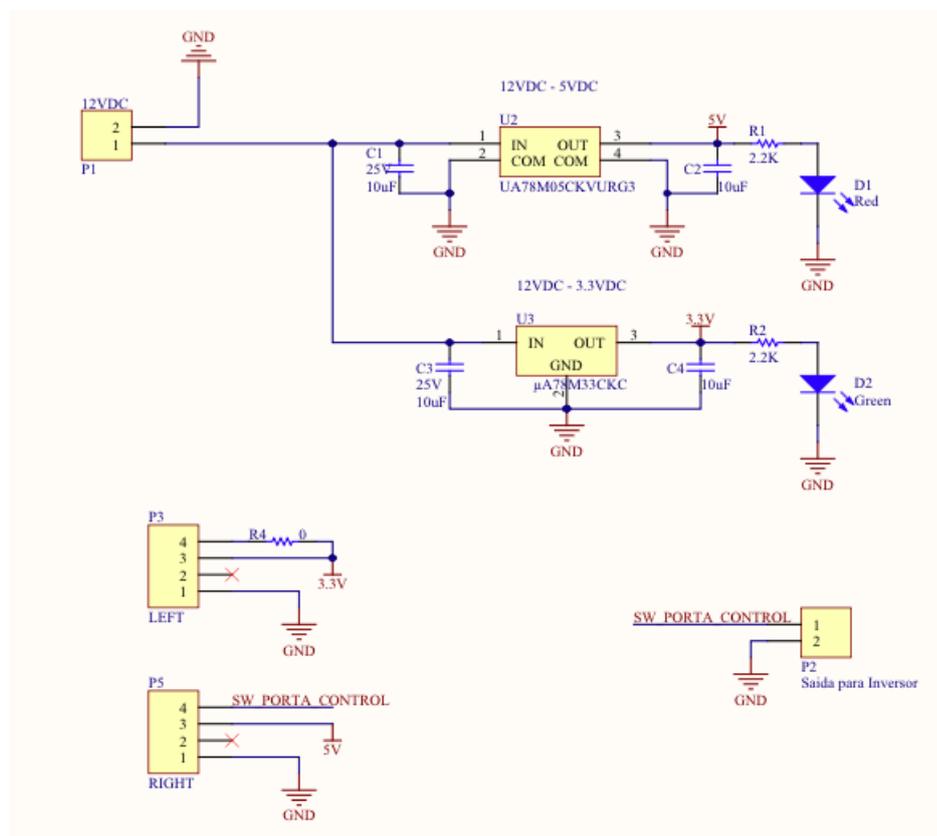


Figura 16 - Circuito da fonte de alimentação
Fonte: autoria própria

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O protótipo foi montado, como demonstrado na Figura 17, para a execução de testes, a fim de comprovar o atendimento a todos os requisitos propostos pela Seção 2.1. Como pode ser visto nessa mesma figura, o sistema possui um *reed switch*, o qual é o sensor responsável por informar o sistema se a porta está fechada ou não.

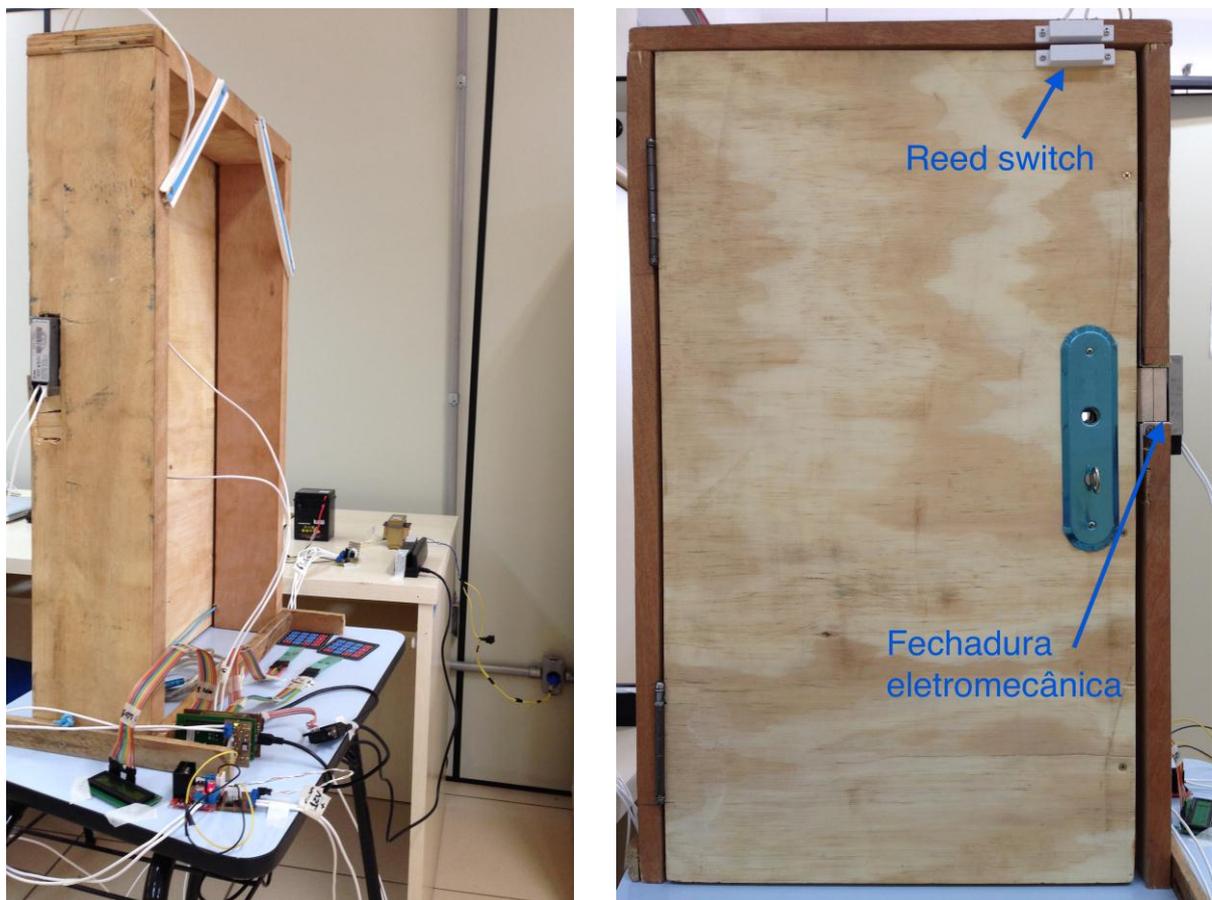


Figura 17 - Protótipo do controlador de acesso montado
Fonte: autoria própria

Testes foram realizados e confirmaram o funcionamento correto dos algoritmos desenvolvidos para o controlador de acesso (que foram explicados na Seção 3.1.2).

Também foi medido a quantidade de corrente necessária para o sistema funcionar, a fim de determinar a autonomia do sistema quando utilizando a bateria como fonte de tensão. Existem duas situações em que foi efetuada a medição: a situação normal, na qual o sistema está ocioso; e quando o controlador está

acionando a fechadura com o objetivo de abrir a porta para o usuário. Os valores de corrente e de autonomia do sistema alimentado pela bateria estão demonstrados pela Tabela 1.

É necessário comentar que os cálculos de tempo da autonomia da bateria foram feitos considerando que a bateria estivesse totalmente carregada, isto é, ela deveria possuir a capacidade de 2,5 Ah.

Tabela 1 - Consumo de corrente alimentado pela bateria

	Situação ocioso	Fechadura acionada
Corrente (mA)	150	700
Autonomia (horas)	$\frac{2,5 \text{ Ah}}{0,15 \text{ A}} \cong 16,5$	$\frac{2,5 \text{ Ah}}{0,7 \text{ A}} \cong 3,5$

Fonte: autoria própria

A partir da Tabela 1 pode-se verificar que, para o caso com maior gasto de corrente, o sistema funcionaria por apenas 3 horas e meia, aproximadamente. No entanto, deve-se mencionar que fechadura é acionada apenas por 5 segundos para cada entrada ou saída. Logo, o controlador de acesso deverá manter-se alimentado pela bateria por um período maior que 3 horas e meia e menor que 16 horas e meia, intervalo esse determinado pela quantia de acionamentos da fechadura.

Assim, pode-se dizer que o sistema desenvolvido atendeu a todos os requisitos propostos para esse trabalho, os quais foram descritos na Seção 2.1. Além disso, outro objetivo deste trabalho era que o sistema fosse construído visando o baixo custo. Considerando que o controlador proposto custou cerca de R\$350,00, pode-se afirmar que ele é 65% mais barato quando comparado com o controlador *Henry Primme* (ver Figura 1), garantindo que esse objetivo também foi alcançado.

Podem ser citados duas melhorias no *hardware* para futuros trabalhos a fim de melhorar o sistema, sendo que o primeiro é relacionado a memória e o segundo a comunicação com o computador. A memória que está sendo utilizada nesse trabalho não permite sobrescrever dados, isto é, caso seja necessário excluir o cadastro de um usuário, é mandatório apagar, no mínimo, um setor de 4 kBytes, tamanho esse muito maior que aquele registro (que possui 12 Bytes).

Para solucionar esse problema, são reservados dois setores de 4 kBytes para o cadastro de alunos/servidores que serão habilitados a entrar no laboratório. Com

isso, caso seja necessário efetuar essa exclusão, os dados são copiados ao setor não utilizado retirando o registro selecionado. Em seguida, o setor que estava sendo usado será apagado.

Dessa maneira, o sistema terá um limite máximo de alunos/servidores cadastrados para adentrar no local, afinal somente um setor de 4 kBytes pode ser utilizado, já que o outro deve ficar vazio. Esse limite pode ser calculado e será de

$$\frac{4 \text{ kBytes}}{12 \text{ Bytes}} = \frac{4096 \text{ Bytes}}{12 \text{ Bytes}} = 341 \text{ cadastros} \quad (5)$$

Entretanto, pode-se dizer que essa quantidade é mais que suficiente, afinal o curso de Engenharia Eletrônica possui, atualmente, cerca de 280 discentes e 14 docentes.

Aliás, essa técnica da utilização de dois setores ainda é inadequada, visto que ela pode ser considerada expensiosa em questões computacionais. O motivo é que o microcontrolador irá fazer o *download* de um cadastro, compara-lo com o RA que deseja ser apagado e, caso não seja, o registro será gravado novamente no outro setor da memória reservado para cadastros de RA.

Uma solução que poderia ser implementada em um trabalho futuro seria a utilização de um sistema de arquivos. Poderia ser usado como base para essa alteração, por exemplo, o módulo genérico de sistema de arquivos FatFs (CHAN, 2014), o qual é desenvolvido para pequenos sistemas embarcados.

Uma segunda melhoria está relacionada com a comunicação com o computador. O controlador de acesso desenvolvido possui uma saída RS-232, a qual deve ser conectada a um PC e, então, efetuado o *download* dos registros e cadastros que o sistema possui na memória.

Isso é considerado inconveniente, pois devido a restrição de um tamanho máximo do cabo, deve-se possuir um *laptop* ou um computador próximo ao local de instalação do controlador para ser possível receber os dados via RS-232. Logo, esse tipo de comunicação poderia ser alterada para um acesso via Ethernet, a qual enviaria os dados para um servidor da UTFPR para armazená-los ou, até mesmo, os dados poderiam ser exibidos em uma simples *web page*, através do protocolo HTTP (do inglês, *Hypertext Transfer Protocol*).

Dessa maneira, o administrador do sistema poderia ler os registros remotamente e, eventualmente, poder configurar o sistema. O desafio, nesse caso, estaria na forma de autenticação do administrador e, conseqüentemente, na

segurança do sistema, pois o indivíduo deveria possuir um leitor de código de barras conectado ao computador para apresentar o seu crachá.

Além dessas alterações no hardware, o *firmware* desenvolvido poderia incluir a possibilidade de prever aulas no laboratório. O sistema poderia pedir a um administrador (que serão somente servidores) se ele usará o laboratório para aula e, caso a resposta seja positiva, que informe a quantidade de horas de aula. Nesse período, qualquer usuário que precisar entrar no local conseguirá permissão, pois o professor estará como responsável.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho demonstrou o desenvolvimento de um controlador de acesso, o qual poderá ser utilizado para um laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ele também expôs que foi possível atender todos os requisitos propostos na Seção 2.1.

Contudo, o controlador apresentado é apenas um protótipo, o qual utiliza uma placa de desenvolvimento como base. Logo, para esse sistema ser passível de utilização, é necessário que em um trabalho futuro seja efetuado o design de uma única PCB que consiga contemplar as mesmas especificações desse projeto. Com isso, pode ser criado um invólucro compacto, o qual manterá o sistema seguro, a prova da água e que poderá ser fixado na porta do laboratório.

Um novo módulo poderia ser acrescentado ao controlador de acesso, o qual seria responsável pelo registro da retirada e devolução dos instrumentos dos laboratórios. Atualmente, não é possível determinar qual aluno utilizou, por exemplo, o osciloscópio 1, e caso sejam feitas verificações das condições físicas dos materiais e seja constatado danos, pode-se consultar o registro de uso dos instrumentos e o indivíduo será responsabilizado.

A partir desse controle dos instrumentos integrado com o controle de acesso, essas situações poderão ser registradas e, portanto, supervisionadas pelos administradores do sistema.

REFERÊNCIAS

1. FUSSEL, Robby. Authentication: the development of biometric access control. **The ISSA Journal**, Julho 2005. Disponível em: <http://pdf.aminer.org/000/294/730/document_identity_authentication_and_ownership_the_future_of_biometric_verification.pdf>. Acesso em 21 de Junho de 2013.
2. QUINTAS, D. L.; COSTA, W. T. Controle de acesso utilizando uma rede de microcontroladores. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO DO IFES, 6, 2011, Vitória. **Anais**. Disponível em: <http://pse.ifes.edu.br/prppg/pesquisa/jornadas/jornada_2011_2012/anais/129201212905.doc>. Acesso em 18 de Outubro de 2014.
3. CARMO, V. **Protótipo de Controle de Acesso para Academias de Ginástica Utilizando Microcontrolador PIC e o Padrão RS485**. 2005. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Ciências da Computação) - Departamento de Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2005. Disponível em: <<http://campeche.inf.furb.br/tccs/2005-II/2005-2vilsondocarmovf.pdf>>. Acesso em 18 de Outubro de 2014.
4. HENRY. **Primme**. Disponível em: <<http://www.henry.com.br/assets/imgs/produtos/Acesso/primme-acesso-prospecto.pdf>>. Acesso em 7 de Julho de 2014.
5. FALBO, R. A. **Engenharia de Requisitos**: notas de aula. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/Notas_Aula_Engenharia_Requisitos.pdf>. Acesso em 28 de Agosto de 2014.
6. ST. **STM32VLDISCOVERY**. Disponível em: <<http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863?sc=stm32-discovery>>. Acesso em 19 de Outubro de 2014.
7. HDL. **FEC-91LA**. Disponível em: <<http://www.hdl.com.br/produtos/fechaduras/fecho-eletrico/fecho-eletrico-mod-fec-91-la-espelho-longo-trinco-ajustavel>>. Acesso em 19 de Outubro de 2014.
8. MICROCHIP. **SST25VF032**. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en549421>>. Acesso em 30 de Outubro de 2014.

9. TEXAS INSTRUMENTS. **TRS3232E**. Disponível em: <<http://www.ti.com/product/TRS3232E/description>>. Acesso em 30 de Outubro de 2014.
10. ANALOG DEVICES. **AN-660**. Disponível em: <http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN_660_0.pdf>. Acesso em 21 de Novembro de 2014.
11. LOPES, Gilliard. **Máquinas de estados hierárquicas em jogos eletrônicos**. 2004. 54f. Dissertação. Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0220940_04_cap_02.pdf>. Acesso em 31 de Outubro de 2014.
12. CHAN. **FatFs – Generic FAT File System Module**. Disponível em: <http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html>. Acesso em 21 de Novembro de 2014.
13. ST. **LM217, LM317**. Disponível em: <<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000455.pdf>>. Acesso em 8 de Novembro de 2014.
14. TEXAS INSTRUMENTS. **UA78M00 Series**. Disponível em: <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/ua78m05.pdf>>. Acesso em 8 de Novembro de 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO CIRCUITO DA PLACA EXTRACIRCUITS

Como ficou demonstrado pela Figura 6, os *headers* P1 e P2 (veja Figura 18) foram colocados exatamente em uma posição que fosse possível conectar todos os *headers* da placa STM32VLDISCOVERY com a ExtraCircuits. Por consequência, pode ser acessado qualquer pino do microcontrolador presente na STM32VLDISCOVERY. A partir de P1 e P2 foram conectados todos os circuitos presentes nessa placa.

A partir da Figura 18, pode-se notar que no pino \overline{CE} da memória flash (U2) há conexão direta com o pino conhecido como *chip select* da SPI, mas também há a possibilidade da inserção de um resistor de 0Ω , fazendo com que \overline{CE} se mantenha sempre em nível baixo, isto é, conectado ao GND.

Ainda analisando a mesma figura, os pinos P7 e P8 são usados para os teclados (tanto interno, quanto externo) e utilizam os mesmos pinos de saída do microcontrolador, isto é, no mesmo momento que a primeira linha do teclado externo estiver em nível baixo de tensão, a primeira linha do teclado interno também estará com essa diferença de potencial. Entretanto, para cada coluna dos teclados há um pino de entrada correspondente com um resistor de 470Ω para efeitos de limitação de corrente.

Pode-se averiguar ainda que os LEDs e o *buzzer* somente energizado se os pinos conectados a eles estiverem em um nível baixo de tensão.

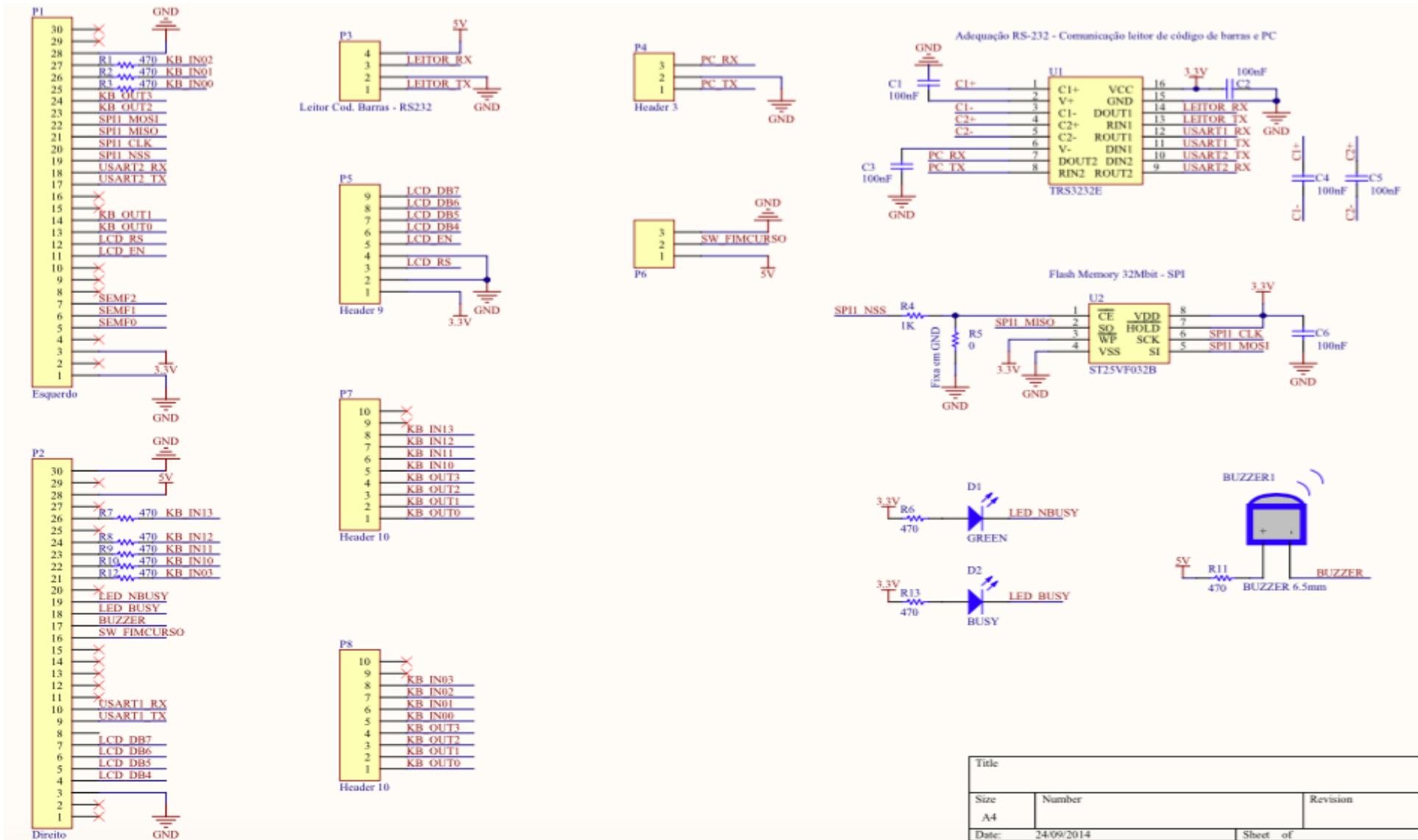


Figura 18 - Apêndice A: circuito placa de extensão ExtraCircuits
Fonte: autoria própria