

**MEC-SETEC
INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS – Campus Formiga
Curso de Engenharia Elétrica**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE AUTOMAÇÃO E
CONTROLE APLICADA A JANELAS DE USO GERAL**

Vanessa dos Santos Sousa

**Orientador: Dr. Fábio Lúcio Corrêa Júnior
Coorientador: Msc. Renan de Souza Moura**

**FORMIGA – MG
2016**

VANESSA DOS SANTOS SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE AUTOMAÇÃO E
CONTROLE APLICADA A JANELAS DE USO GERAL**

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

Orientador: Dr. Fábio Lúcio Corrêa Junior

Co-orientador: Msc. Renan de Souza Moura

FORMIGA – MG
2016

S725d Sousa, Vanessa dos Santos
Desenvolvimento de uma plataforma de automação e controle aplicada a janelas de uso geral/ Vanessa dos Santos Sousa – Formiga, MG., 2016.

60p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lúcio Corrêa Júnior
Coorientador: Prof. M.e Renan de Souza Moura

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal Minas Gerais –
Campus Formiga.

1. Domótica. 2. Sistema de segurança. 3. Janela automatizada. 4. Sensor de presença. 5. Sensor de chuva. 6. Anti-esmagamento. I. Corrêa Júnior, Fábio Lúcio. II. Moura, Renan de Souza. III. Título.

CDD 621

VANESSA DOS SANTOS SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE AUTOMAÇÃO E
CONTROLE APLICADA A JANELAS DE USO GERAL

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.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Fábio Lúcio Corrêa Junior
Orientador

Msc. Renan de Souza Moura
Co-orientador

Dr. Ricardo Carrasco Cárpio
Avaliador

Dra. Ana Flávia Peixoto de Camargos
Avaliadora

Formiga, dia 02 de março de 2016.

Dedico este trabalho em especial aos meus pais e ao meu irmão, que sempre me deram força para conquistar mais essa vitória em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por iluminar sempre o meu caminho e me fortalecer nas horas mais difíceis.

Agradeço aos meus pais e a meu irmão por toda a força e incentivo, pelo tempo e paciência a mim dirigidos.

Ao professor Dr. Ricardo Carrasco Carpio por toda a ajuda, força e incentivos dados durante toda a graduação.

Ao técnico do laboratório de máquinas elétricas, Alysson Fernandes Silva, por toda a ajuda dada durante a realização deste projeto.

Ao professor Msc. Renan de Souza Moura, pela ajuda e conselhos dados.

Agradeço especialmente ao professor Dr. Fábio Lúcio Corrêa Júnior, pela pronta disponibilidade para ajudar, pelos conselhos e pelos incentivos dados durante a realização deste projeto e, também, durante a graduação.

“Cada sonho que você deixa para trás, é um pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

Steve Jobs

RESUMO

Este trabalho consiste em uma plataforma para automação e controle de janelas de uso geral. A janela pode ser operada manualmente ou por meio de sensores de chuva e de presença. Quando da ocorrência de chuva, a janela é fechada automaticamente. Quando o sensor de presença é acionado, a janela é fechada e trancada, e é, também, acionado um alerta sonoro. Nesse caso as ações tomadas pelo sistema somente podem ser revertidas mediante confirmação de senha numérica. Por meio de um menu interativo é permitido ao usuário, mediante confirmação de senha numérica, a alteração da senha do sistema, ativar ou desativar os sensores e/ou o botão de controle e informar ao sistema ações manuais requeridas. Para garantir a segurança dos usuários, o sistema é equipado com função anti-esmagamento. Foram desenvolvidos dois protótipos, um utilizando uma janela de aço e outro uma janela de alumínio em escala reduzida.

Palavras chave: Domótica. Sistema de segurança. Janela automatizada. Sensor de presença. Sensor de chuva. Anti-esmagamento.

ABSTRACT

This work consists of a platform for automation and control for general use windows. The window can be manually operated or by means of rain and presence sensors. When the rain occurrence the window closes automatically. When the presence sensor is triggered, the window is closed and locked, and is also triggered an audible alert. In this case the actions taken by the system can only be reversed by confirmation numeric password. Through an interactive menu allows the user upon confirmation numeric password, changing the system password, enable or disable the sensors and/or control button and tell the system required manual actions. To ensure the safety of users, the system is equipped with anti-crushing function. Two prototypes were developed, one using a steel window and another one aluminum window on a reduced scale.

Keywords: Home automation. Security system. Automated window. Presence sensor. Rain sensor. Anti-crushing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Janela integrada veneziana com controle remoto.....	19
Figura 2 – Janelas automatizadas por (a) MATOS (2009) e (b) BRAGA (2010).....	20
Figura 3 – Detalhes de sistemas (a) cremalheira-pinhão e (b) utilizado por BRAGA (2010), com detalhes da cremalheira e a engrenagem do motor utilizados.	20
Figura 4 – Detalhes de sistemas de (a) polia e correia dentada e (b) de movimento da janela utilizado por MATOS (2009).	21
Figura 5 – Atuador eletromecânico linear (a) atuado e não atuado e (b) aplicado à automação de um conjunto de janelas.....	22
Figura 6 – Sistemas de tranca (a) fechadura com chave e (b) ferrolho chato.....	22
Figura 7 – Exemplo de modelo de (a) trava elétrica automotiva e (b) tranca eletromagnética.	23
Figura 8 – Ponte H.....	25
Figura 9 – Fluxograma das atividades de prototipagem da plataforma.....	27
Figura 10 – Janela de correr com bandeira projetante.....	28
Figura 11 – Detalhes das amarrações dos esteios nas extremidades inferior e superior.	28
Figura 12 – Sistema de deslocamento das folhas da janela: detalhes da vista frontal.....	29
Figura 13 – Sistema de deslocamento das folhas da janela: detalhes da vista superior.	29
Figura 14 – Sistema de tranca da janela (a) com detalhe para a trava, (b) janela destrancada e (c) janela trancada.....	30
Figura 15 – Detalhes de atuação das chaves fim de curso.....	31
Figura 16 – Vistas (a) posterior e (b) frontal-superior.....	31
Figura 17 – Detalhes do sistema de deslocamento da folha da janela.....	32
Figura 18 – Sistema de tranca: vistas (a) isométrica e (b) superior.....	33
Figura 19 – Detalhes da atuação do sistema de tranca	33
Figura 20 – Chaves fim de curso: (a) capsula e (b) modelo de encapsulamento usado.	34
Figura 21 – Chaves fim de curso instaladas na janela.	34
Figura 22 – Vista frontal da janela (a) aberta e (b) fechada.	34
Figura 23 – Detalhes do circuito eletrônico da ponte H.	36
Figura 24 – Detalhes do circuito eletrônico <i>step-up</i>	36
Figura 25 – Protótipos das placas de circuito impresso relativas aos circuitos eletrônicos (a) ponte H e (b) <i>step-up</i>	37

Figura 26 – Placas (a) sensor de chuva e (b) amplificadora de tensão.	38
Figura 27 – Sensor de presença.	38
Figura 28 – Detalhes do circuito eletrônico do módulo de controle da janela via botão.	39
Figura 29 – Detalhes das fontes alimentadoras do sistema utilizadas: (a) chaveada e (b) bateria.	40
Figura 30 – Detalhes do circuito eletrônico de alimentação do sistema de controle.....	40
Figura 31 – Detalhes dos circuitos eletrônicos: (a) de leitura de nível da bateria e (b) de temporização externa ao microcontrolador.	41
Figura 32 – Detalhes do (a) módulo sensor de corrente ACS712 e (b) circuito eletrônico desenvolvido para efetuar a recarga da bateria.	41
Figura 33 – Módulo sensor de corrente ACS712.	41
Figura 34 – Módulo de controle com detalhe para o teclado, o display LCD e botão de controle utilizados.....	42
Figura 35 – Mensagens exibidas no display LCD referentes às opções 1 e 2 do Menu.....	45
Figura 36 – Mensagens exibidas no display LCD referentes às opções 3, 4 e 5 do Menu.....	46
Figura 37 – Fluxograma de operação: controle de estados.	47
Figura 38 – Fluxograma de operação: menu iterativo.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivos específicos.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Janelas automatizadas: comerciais e protótipos.....	19
2.2 Mecanismos mecânicos e elétricos de acionamento.....	20
2.2.1 Mecanismos de deslocamento.....	20
2.2.1.1 Cremalheira.....	20
2.2.1.2 Polia.....	21
2.2.1.3 Atuador linear eletromecânico.....	21
2.2.2 Mecanismos de trancas para janelas.....	22
2.2.3 Motores de corrente contínua.....	23
2.2.3.1 Motores de campo série.....	23
2.2.3.2 Motores de campo <i>shunt</i>	23
2.2.3.3 Motores compostos.....	24
2.2.3.4 Motores de excitação independente.....	24
2.2.3.5 Motores de ímã permanente.....	24
2.2.3.6 Motores de passo.....	24
2.3 Ponte H.....	25
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Requisitos gerais de projeto.....	26
3.2 Desenvolvimento da plataforma.....	26
3.3 Desenvolvimento dos componentes da estrutura mecânica.....	28
3.3.1 Protótipo janela de aço.....	28
3.3.1.1 Fixação da janela.....	28
3.3.1.2 Sistema de deslocamento das folhas da janela.....	29
3.3.1.3 Sistema de tranca.....	30
3.3.1.5 Chaves fim de curso.....	30
3.3.1.6 Integração do protótipo.....	31
3.3.2 Protótipo janela de alumínio.....	31

3.3.2.1. Sistema de deslocamento da folha da janela	32
3.3.2.3 Sistema de tranca	32
3.3.2.4 Chaves fim de curso	33
3.3.2.5 Integração do protótipo.....	34
3.4 Desenvolvimento de <i>hardware</i>	35
3.4.1 Pontes H implementadas	35
3.4.2 Sensor de Chuva	37
3.4.3 Sensor de Presença	38
3.4.4 Botão de controle.....	39
3.4.5 Alimentação do hardware.....	39
3.4.5.1 Nível de carga e recarga da bateria.....	40
3.4.6 Monitoramento da corrente do motor de deslocamento	41
3.4.7 Controlador e interface homem-máquina	42
3.5 Desenvolvimento do <i>software</i>	42
3.6 Validação	48
3.6.1 Testes laboratoriais	48
3.6.2 Testes práticos	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1 Resultados dos testes laboratoriais	50
4.2 Resultados dos testes práticos	50
4.2.1. Abertura e fechamento da janela	50
4.2.1.1 Protótipo – janela de aço	51
4.2.1.2 Protótipo – janela de alumínio.....	51
4.2.2 Sensores de corrente e função anti-esmagamento	51
4.2.3 Atuação da plataforma quanto aos sensores de chuva e de presença e ao botão de controle.....	52
4.2.4 Atuação da plataforma quanto à ordem de prioridades definidas	52
4.2.5 Leitura do nível e recarga da bateria	52
4.2.6 Interface homem-máquina.....	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

ANEXO A	A1
---------------	----

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, apresentando grandes alterações climatológicas conforme suas regiões, algumas apresentando maior ou menor incidência de precipitações conforme as estações do ano. O verão é geralmente caracterizado por temperaturas elevadas e maior incidência de precipitações. Um dos problemas das variações climáticas são as precipitações inesperadas que muitas vezes incorrem na entrada de chuva pelas janelas das residências.

Além disso, o Brasil enfrenta um grave problema de segurança pública caracterizado pelo aumento de roubos e furtos, sendo que, no Estado do Paraná, os furtos a residências consumados somaram 49.717 e 50.286 casos, em 2013 e 2014, respectivamente, e os casos de roubo a residências consumados totalizam 5.417 e 4.678 ocorrências registradas em 2013 e 2014, respectivamente (SSP-PR, 2015). No Estado de São Paulo os roubos a residências representaram em 2014 e 2015, respectivamente, 2,23% e 2,37% das ocorrências de roubos registradas (SSP-SP, 2016). Na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, foram registrados, no período de janeiro de 2014 a maio de 2015, 50.761 roubos consumados, sendo que, somente no período de janeiro a maio de 2015, registrou-se 1486 casos a mais que em relação ao mesmo período de 2014 (CINDS, 2015).

Apesar dos números alarmantes de crimes de furto e roubo registrados, grande parte das ocorrências não são registradas nas delegacias de polícia. Outro estudo mostra que do mês de agosto de 2008 ao mês de agosto de 2009, 51,6% das vítimas de crimes de roubo e 62,3% das vítimas de crimes de furto, não procuraram as delegacias de polícia para registrarem ocorrências. Por meio de pesquisa realizada com essas vítimas, verificou-se que a principal causa apontada para este comportamento foi que, 36,4% das que foram acometidas por crime de roubo, afirmaram não acreditar na ação da polícia e não consideraram importante sua ação. Adicionalmente, 26,7% das vítimas de crime de furto afirmaram que não efetuaram ocorrências mediante a falta de provas e 24,4% delas também consideraram não ser importante solicitar a ação da polícia (IBGE, 2010).

Segundo DATAFOLHA & CRISP (2013 p. 26), “os crimes que geram medo no maior número de pessoas são ter a residência invadida ou roubada (71,9% têm medo) e ter objetos pessoais de valor tomados à força por outras pessoas em um roubo ou assalto (70,7%)”.

Nesse cenário, as pessoas buscam cada vez mais meios de proteger a si mesmas e a suas residências e bens de valor. Segundo IBGE (2010), em 2009, de 58,6 milhões de

domicílios particulares permanentes, 59,4% contavam com algum dispositivo de segurança, tais como: i) grade na janela/porta (35,7% dos domicílios), ii) dispositivos colocados na porta, tais como olho mágico, abertura na porta, corrente no trinco da porta e/ou interfone (20,4% dos domicílios), iii) cerca eletrificada, muro ou grade com mais de 2m ou com cacos de vidro ou arame farpado, e/ou alarme eletrônico (18,8% dos domicílios), iv) fechaduras extras, e/ou barras na porta/janela contra arrombamento (18,4% dos domicílios), v) cachorro de segurança (9,4% dos domicílios) e vi) câmeras de vídeo (4,2% dos domicílios). Com o avanço e popularização das tecnologias de segurança e informação, é cada vez mais crescente a busca por soluções de segurança eletrônicas, tais como câmeras de vídeo, centrais de alarme e monitoramento de ambientes em tempo real via internet.

Com a crescente democratização de tecnologias é cada vez mais comum se encontrar sistemas automatizados não apenas nas indústrias, mas também nos comércios e em residências, visando à redução de custos operacionais, maior conforto ambiental e segurança e melhor prevenção de acidentes a pessoas e a animais.

A automação residencial, domótica, é definida como o conjunto de serviços proporcionados por sistemas tecnológicos integrados que representa o melhor meio de satisfazer as necessidades básicas de segurança, comunicação, gestão energética e conforto de uma habitação (MURATORI & BÓ, 2011). Os sistemas domóticos permitem a gestão dos recursos habitacionais por meio de dispositivos capazes de realizar tarefas complexas, interagindo com o usuário e com o meio físico (SANTOS, 2010). Eles transformam a expressão conforto do lar em sinônimo de praticidade e de comodidade *higt-tech*, conquistando cada vez mais usuários, não sendo mais um privilégio exclusivo de uma determinada classe social. Entretanto, apesar de ter sido empregada em um conjunto habitacional da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), especificamente na cidade de São Paulo, ainda está longe de ser popularizada (FIGUEROLA, 2006).

O Sistema *Smart House* (Casa Inteligente) foi criado nos Estados Unidos, na segunda metade dos anos oitenta, pela *Smart House Limited Partnership*, para a *National Association of Home Builders* (NAHB) (SENA, 2005). No Brasil, esse conceito começou a ser utilizado a partir de 1986, com a inauguração do Edifício Citicorp/Citibank, localizado na cidade de São Paulo, São Paulo, que possui 2500 pontos de supervisão que fazem o gerenciamento de todas as instalações (NEVES, 2002).

Segundo TEZA (2002), a automação residencial que, inicialmente, é referenciada como uma novidade que às vezes causa perplexidade pelo seu alto grau tecnológico e pela

alusão ao futurismo, ao mesmo tempo que pode ser compreendida como um símbolo de status e modernidade, se tornará uma necessidade vital a qualquer morador e um excelente fator de economia.

Segundo ZAFIRO (2015), “Hoje é possível controlar uma residência inteira pela internet mesmo estando em outro país. Com os sistemas de automação integrados como câmeras, Web, iluminação e alarme é possível ficar sabendo quando alguém invade a casa”.

Nesse sentido, a automação residencial vem a se tornar uma aliada na busca de minimizar os problemas de crimes contra o patrimônio e de entrada de chuva pelas janelas, sendo uma solução a automatização e controle de janelas, contemplando situações de detecção, por sensores apropriados, de chuva e de invasões do perímetro residencial. Garantindo aos moradores mais segurança e comodidade.

1.1 Justificativa

Muitas pessoas sofrem diariamente com a entrada de chuva e/ou invasão de pessoas mal intencionadas pelas janelas de suas residências ou empresas, que podem resultar em danos materiais e/ou físicos. Um piso molhado com água da chuva representa um ponto de risco de acidente doméstico ou do trabalho, pois pode provocar queda de pessoas e, conseqüentemente, produzir sérias lesões corporais. A água da chuva também pode estragar móveis, equipamentos eletroeletrônicos, máquinas, documentos e objetos de valor financeiro ou sentimental, representando por vezes perdas incalculáveis para as pessoas e para as empresas. Com relação à invasão de ambientes, seja residencial ou empresarial, por pessoas mal intencionadas, é difícil prever os danos físicos, psicológicos e materiais que moradores ou empregados estarão sujeitos durante essas ações, sendo que no caso de empresas pode gerar afastamento por danos físicos e psicológicos, o que provoca custos e prejuízos financeiros para a empresa (afastamento), para o sistema de saúde (tratamentos médicos e psicológicos) e para a previdência social do governo (afastamento, invalidez e morte).

A automação residencial pode representar um meio de minimizar a ocorrência dessas situações, especialmente por meio da automação e controle de janelas. No entanto, a automação residencial ainda é bastante restrita, não atingindo grande parte das residências e empresas brasileiras, devido ao fato dos sistemas automatizados serem tradicionalmente dispendiosos, o que acarreta uma grande limitação para sua popularização entre as residências de classes média e baixa e para as pequenas e médias empresas.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma de automação e controle aplicada a janelas de uso geral, utilizadas em residências e empresas, que realize as operações de fechamento e/ou de tranca da janela, nos casos de ocorrências de chuva ou de invasão do perímetro residencial/empresarial, bem como a sua abertura ou o seu fechamento mediante comandos definidos pelo usuário.

1.2.1 Objetivos específicos

- desenvolver protótipos de estrutura mecânica que possibilite o deslocamento e tranca das folhas móveis de duas janelas, uma em tamanho natural, de aço, e outra em escala reduzida, de alumínio;
- desenvolver *hardware* para controle e acionamento de motores e para aquisição de dados a partir de sensores de chuva, de presença, de corrente elétrica e de posição das folhas da janela;
- implementar função de proteção anti-esmagamento;
- implementar função de proteção via senha numérica;
- desenvolver *software* de controle de abertura, fechamento, tranca e destranca da janela, bem como de acionamento de alerta sonoro em casos de invasão do perímetro residencial, integralizando as funções a ser desenvolvidas, *hardwares* e estruturas mecânicas;
- desenvolver *software* aplicativo com menu interativo, que permita ao usuário do sistema: alterar a senha do sistema, habilitar ou desabilitar os módulos sensores de chuva e de presença e/ou o módulo de controle via botão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Janelas automatizadas: comerciais e protótipos

Hoje já é possível encontrar empresas que oferecem janelas e persianas automatizadas, porém a preços mais elevados que as convencionais. Um exemplo é a janela integrada veneziana com controle remoto, fabricada pela Sasazaki, mostrada na Figura 1, na qual a folha veneziana, controlada via controle remoto, move-se verticalmente, e quando recolhida, é armazenada em um espaço na parte superior da esquadria (SASAZAKI¹, 2015). Uma unidade desta janela, cujas folhas de vidro não são automatizadas, com medidas de 1,2 x 1,2 metros, pode ser comprada por R\$ 3.468,90 (MADEIRAMADEIRA², 2015), significando um investimento considerado alto para as classes sociais média e baixa e pequenas e médias empresas, principalmente ao se considerar a necessidade de se instalar mais de uma unidade da janela.



Figura 1 – Janela integrada veneziana com controle remoto.
Fonte: SASAZAKI, 2015.

Atualmente há inúmeras pesquisas e projetos de automação residencial considerando as mais diversas tecnologias disponíveis no mercado. MATOS (2009) e BRAGA (2010) em suas monografias propõem sistemas de automação de janelas de baixo custo, utilizando sensores de chuva artesanais. A janela construída por MATOS (2009), mostrada na Figura 2 (a), opera em modo manual ou automático, pelo sensor e por botões de controle. Porém, a janela de BRAGA (2010), mostrada na Figura 2 (b), envia uma mensagem SMS (Serviço de Mensagens Curtas) via módulo GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis), informando se a janela foi fechada ou não.

¹ <http://www.sasazaki.com.br/detalhe-produto/janela-integrada-veneziana-com-controle-remoto-jivctr/>

² <https://www.madeiramadeira.com.br/janela-integrada-veneziana-com-controle-remoto-sasazaki-branco-110v-1-20m-x-1-20m-122223.html>



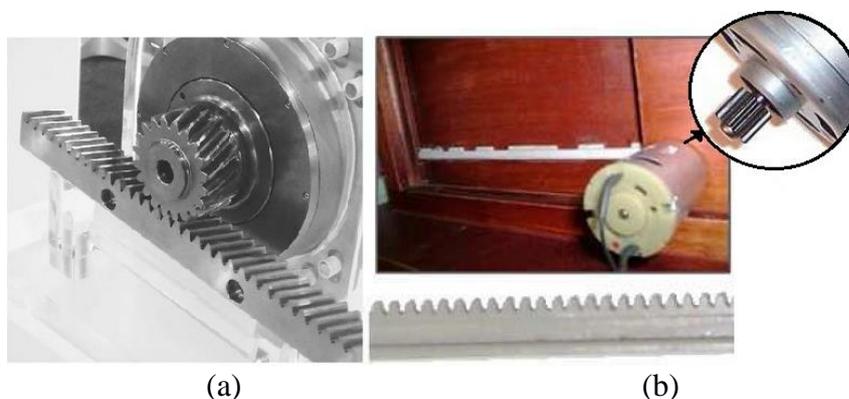
(a) (b)
 Figura 2 – Janelas automatizadas por (a) MATOS (2009) e (b) BRAGA (2010).
 Fonte: (a) MATOS (2009), p.66 e (b) adaptado de BRAGA (2010).

2.2 Mecanismos mecânicos e elétricos de acionamento

2.2.1 Mecanismos de deslocamento

2.2.1.1 Cremalheira

A cremalheira é uma haste ou uma barra dentada linear que se combina com uma engrenagem redonda, pinhão, para converter movimentos rotativos em movimentos lineares, e vice-versa (LAMB, 2015). O sistema cremalheira-pinhão, mostrado na Figura 3 (a), é um excelente método para mover um eixo linear, rapidamente por uma grande distância, sendo encontrado em CDs e DVDs *players*, portões deslizantes eletrônicos, e em diversas outras aplicações. Este sistema é utilizado por BRAGA (2010) para movimentar a folha de sua janela, conforme mostrado na Figura 3 (b).



(a) (b)
 Figura 3 – Detalhes de sistemas (a) cremalheira-pinhão e (b) utilizado por BRAGA (2010), com detalhes da cremalheira e a engrenagem do motor utilizados.
 Fontes: (a) LAMB (2015), p. 153 e (b) adaptado de BRAGA (2009).

2.2.1.2 Polia

As polias, ou roldanas, são rodas ou tambores montados sobre um eixo que, em geral, possuem em canal entre dois flanges que transportam uma correia ou um cabo, podendo ser usadas para mudar a direção ou a velocidade do movimento. Podem ainda, apresentar ranhuras na superfície, paralelas ao eixo, conforme mostrado na Figura 4 (a) e serem utilizadas em conjunto com uma correia dentada fornecendo um movimento linear (LAMB, 2015). MATOS (2009) utiliza uma linha afixada nas duas extremidades de sua janela e ao motor, passando por ganchos que atuam como roldanas, conforme mostra a Figura 4 (b), para efetuar a abertura e o fechamento de sua janela.

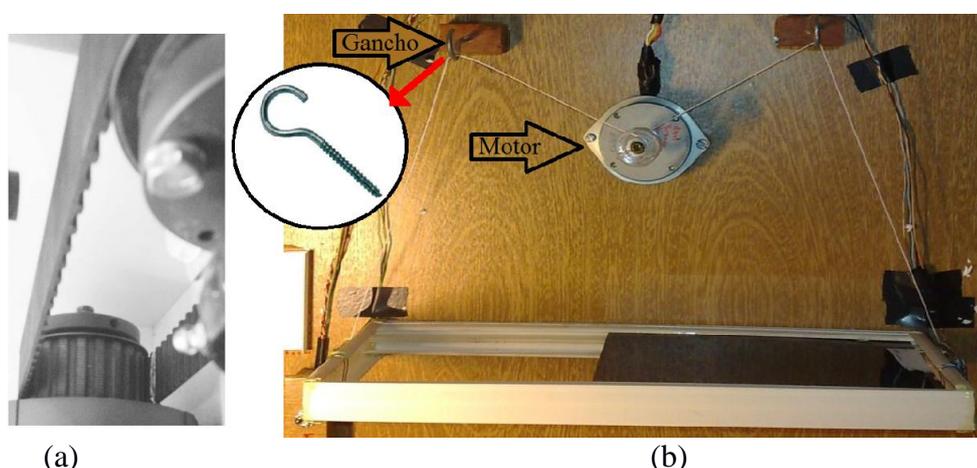


Figura 4 – Detalhes de sistemas de (a) polia e correia dentada e (b) de movimento da janela utilizado por MATOS (2009).

Fonte: (a) LAMB (2003) e (b) Adaptado de MATOS (2009).

2.2.1.3 Atuador linear eletromecânico

Os atuadores lineares eletromecânicos convertem energia elétrica em deslocamento linear, conforme mostrado na Figura 5 (a). São utilizados, em geral, para controlar o movimento e a posição de uma peça de trabalho ou de um sensor (LAMB, 2015). Na automação de janelas, eles são empregados no controle da abertura e do fechamento das mesmas. A Figura 5 (b) mostra um sistema onde um atuador linear eletromecânico controla a abertura de vários vidros industriais (ligados por um varão), sendo a abertura e o fechamento dos vidros controlados por meio de um botão (KASSOUF, 2003).



Figura 5 – Atuador eletromecânico linear (a) atuado e não atuado e (b) aplicado à automação de um conjunto de janelas.

Fontes: (a) Autoria própria e (b) Adaptado de KASSOUF (2003).

2.2.2 Mecanismos de trancas para janelas

Há disponível no mercado uma grande diversidade de sistemas e modelos de trancas para janelas, com ou sem chaves. A Figura 6 mostra um exemplo de um sistema de tranca manual (a) com chave e (b) sem chave, facilmente encontradas nas lojas que vendem ferragens para janelas. Entretanto, os sistemas de tranca manuais são inadequados para janelas automatizadas. São indicados para estas, os atuadores lineares eletromecânicos, assim como as travas elétricas utilizadas em automóveis, ou as travas eletromagnéticas. As travas eletromagnéticas necessitam de uma fonte de alimentação ininterrupta para manter a janela trancada (RWTECH, 2015).

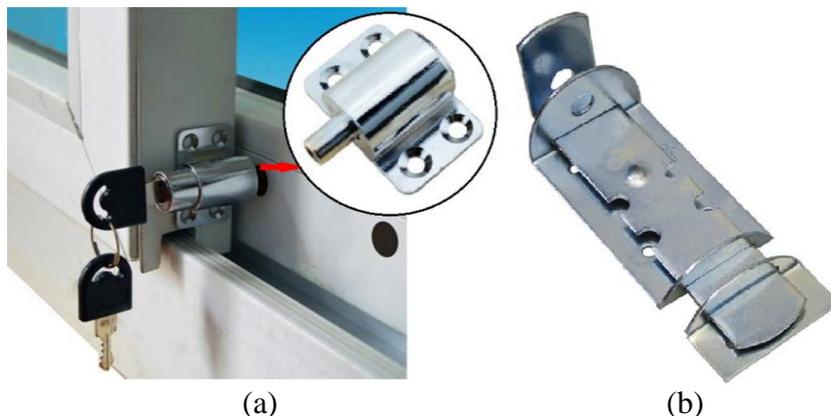


Figura 6 – Sistemas de tranca (a) fechadura com chave e (b) ferrolho chato.

Fontes: (a) Adaptado de ALIEXPRESS (2014) e (b) Autoria própria



Figura 7 – Exemplo de modelo de (a) trava elétrica automotiva e (b) tranca eletromagnética.
Fontes: (a) Autoria própria e (b) RWTECH (2015).

2.2.3 Motores de corrente contínua

Os motores de corrente contínua (dc) encontram diversas aplicações no cotidiano das pessoas. Desse modo, serão abordadas a seguir algumas das principais características deles.

2.2.3.1 Motores de campo série

Os motores de campo série apresentam valores de corrente e de conjugado de partida elevados. Sendo que, a partida e a regulação de velocidade podem ser feitas por meio de um reostato ou uma fonte eletrônica intercalado no circuito. São utilizados, principalmente, nos casos em que é necessário partir com toda a carga, como em guindastes, elevadores e locomotivas, por exemplo. Entretanto, eles não devem operar à vazio, uma vez que tendem a disparar (ELETROBRÁS et al., 2009).

2.2.3.2 Motores de campo *shunt*

Os motores de campo *shunt* apresentam um conjugado proporcional ao fluxo magnético e à corrente. Na partida, a corrente no enrolamento induzido deve ser limitada pela tensão da fonte que o controla, diminuindo assim seu conjugado de partida. Não é recomendada sua partida em plena carga. Esse tipo de motor é geralmente utilizado em máquinas-ferramenta (tornos e retíficas de precisão), em geral, com velocidade quase constante (ELETROBRÁS et al., 2009).

2.2.3.3 Motores compostos

Os motores compostos apresentam características comuns aos motores de campo em série e de campo em paralelo, apresentando conjugado de partida elevado e velocidade estável independentemente de sua carga, além de poder, também, partir com carga.

Os motores compostos podem ser dos tipos aditivo ou diferencial, conforme a configuração de suas ligações internas. Sendo que, no aditivo os campos são adicionados, aumentando o torque e fornecendo velocidade dentro de uma faixa de variação, enquanto que no diferencial, a ligação é subtrativa, proporcionando maior controle do torque com uma velocidade constante (ELETROBRÁS et al., 2009).

2.2.3.4 Motores de excitação independente

Os motores de excitação independente apresentam controle total de sua velocidade e torque constante para qualquer valor de carga. Seu controle pode ser efetuado a partir da variação da tensão e da corrente do campo ou da corrente de armadura. São muito utilizados nos processos industriais em que se necessite de velocidade seja constante, tais como extrusoras, laminadores, alimentadores etc. (ELETROBRÁS et al., 2009).

2.2.3.5 Motores de ímã permanente

Os motores de ímã permanente podem ter sua velocidade variada a partir da variação da tensão em seus terminais ou operar como geradores de corrente contínua com tensão diretamente proporcional à velocidade de rotação aplicada ao seu eixo (ELETROBRÁS et al., 2009). São largamente utilizados nas indústrias automotiva e de brinquedos. Geralmente são de baixa potência, e possuem alta indutância, alta inércia e baixo custo, além de volume reduzido (PAZOS, 2002).

2.2.3.6 Motores de passo

Um caso especial de motores dc são os motores de passo. Eles são comumente utilizados em sistemas de controle digital, onde recebem comandos na forma de uma sequência de pulsos para girar ou mover um objeto por uma distancia precisa. São muito

utilizados em impressoras e máquinas cirúrgicas, utilizadas para realizar operações à distância, diminuindo a probabilidade de erro com a precisão dos movimentos e diminuindo sensivelmente o risco de infecção, pois com essa técnica as incisões são menores. (TORO, 1994).

2.3 Ponte H

Para acionamento de motores de imã permanente utiliza-se um circuito denominado por “ponte H”, para comutar o sentido de rotação do eixo. Ele é composto por quatro chaves eletrônicas, normalmente empregando transistores, dispostas de tal forma que lembram a letra H, conforme mostrado na Figura 8. Este circuito pode ser implementado utilizando-se quaisquer componentes de chaveamento, tais como transistores e relés, também existem no mercado circuitos integrados (CIs) que possuem pontes H encapsuladas.

Na ponte H o motor é acionado quando as chaves S1 e S4 estão conduzindo e as chaves S2 e S3 estão bloqueadas ou quando as chaves S2 e S3 conduzem e S1 e S4 estão bloqueadas. As chaves S1 e S3 ou S2 e S4 não devem conduzir ao mesmo tempo, pois isso implica em um curto circuito na fonte de alimentação.

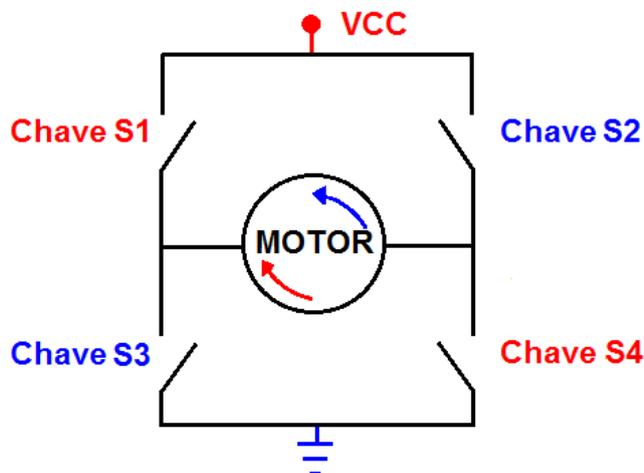


Figura 8 – Ponte H.

3 METODOLOGIA

O projeto da plataforma foi desenvolvido em duas versões mecânicas: uma utilizando uma janela comercial de aço e outra utilizando uma janela de alumínio em escala reduzida. O hardware e o software desenvolvidos foram projetados para serem utilizados em ambas janelas, respeitando os parâmetros mecânicos de cada uma delas.

3.1 Requisitos gerais de projeto

Antes da execução do projeto foram definidas as características mínimas desejáveis para a plataforma:

- a janela deve ser controlada de modo manual ou automático;
- o sistema deve contemplar a função anti-esmagamento, a fim de minimizar danos causados a pessoas e a animais que, por ventura, se localizem próximos ou dentro do vão da janela durante a operação de fechamento de suas folhas;
- em caso de falta de tensão proveniente da rede elétrica da concessionária de energia, o sistema deve operar normalmente, sem perda de funcionalidades;
- o usuário do sistema deve ser capaz de modificar a senha de controle de acesso por meio de uma interface homem-máquina (menu interativo), bem como configurar as operações de ativar ou desativar os sensores e/ou botão de controle e informar possíveis operações de destravamento manuais.

3.2 Desenvolvimento da plataforma

A Figura 9 mostra o fluxograma global das principais atividades de desenvolvimento da plataforma. Os protótipos das versões de janelas de aço e de alumínio foram produzidos seguindo as metodologias de prototipagem de *hardware*, *software* e estruturas mecânicas e de sua integração mostradas na Figura 9. O desenvolvimento da plataforma seguiu, também, o cronograma de atividades apresentado no Anexo A.

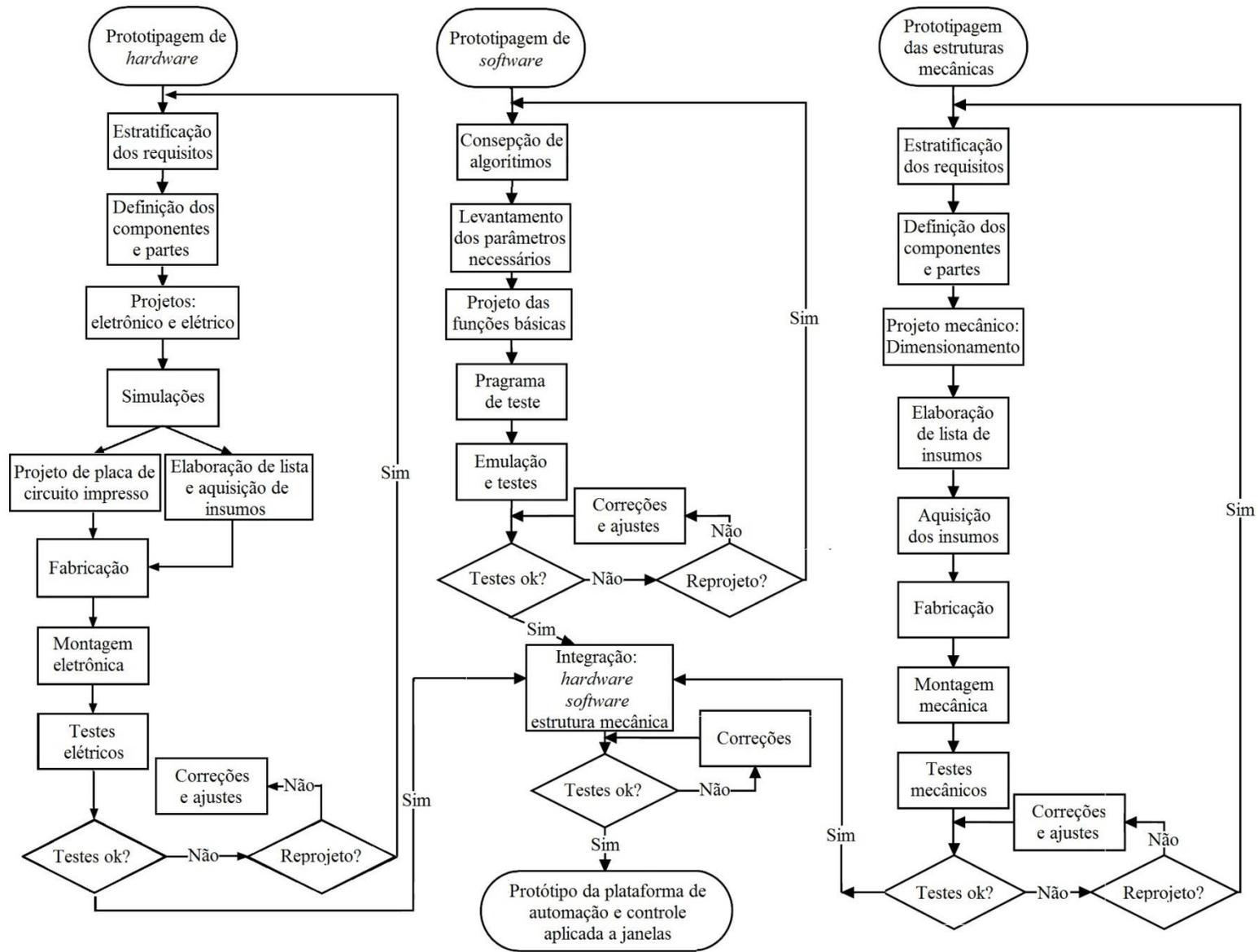


Figura 9 – Fluxograma das atividades de prototipagem da plataforma.

3.3 Desenvolvimento dos componentes da estrutura mecânica

3.3.1 Protótipo janela de aço

Nesse protótipo foi utilizada uma janela comercial de 1,0 x 1,0 metro, com quatro folhas quadriculadas, do fabricante MGM Produtos Siderurgicos, sendo duas móveis e duas fixas, conforme ilustrada na Figura 10. O trinco original de fábrica da janela foi removido para evitar que as folhas travem na posição fechada e impeça a abertura da janela pelo sistema de controle.



Figura 10 – Janela de correr com bandeira projetante.
Fonte: MADEIRAMADEIRA³ (2016).

3.3.1.1 Fixação da janela

A janela foi afixada a uma base de madeira e estabilizada por meio de esteios de cabos rígidos. As amarrações dos esteios são mostradas na Figura 11.



Figura 11 – Detalhes das amarrações dos esteios nas extremidades inferior e superior.

³ <https://www.madeiramadeira.com.br/janela-de-correr-em-aco-alterosa-4-folhas-2-fixas-sem-grade-com-basculante-mgm-minas-sul-1-00mx1-00mx12cm-requadro-120mm-1-00m-x-1-00m-63847.html>

3.3.1.2 Sistema de deslocamento das folhas da janela

O deslocamento das folhas da janela foi efetuado por meio de um sistema motor-cremalheira. As cremalheiras foram afixadas nas folhas móveis da janela, via parafusos, conforme ilustrado na Figura 12. O motor foi afixado à uma base de madeira por meio de abraçadeiras parafusadas. Para garantir a inexistência de folgas entre a abraçadeira e o motor e adequar a altura do mesmo em relação às cremalheiras, foram utilizadas entre o motor e a abraçadeira camadas de uma fita de borracha autofusão, conforme ilustrado na Figura 13. A Figura 13 ilustra, também, os detalhes de fixação da cantoneira limitadora inferior, que evita que a folha da janela, juntamente com a cremalheira inferior, se mova verticalmente durante a partida do motor e, conseqüentemente, descarrilhe ou se dessincronize em relação a outra folha da janela, limitada pela cantoneira superior, apresentada na Figura 12.

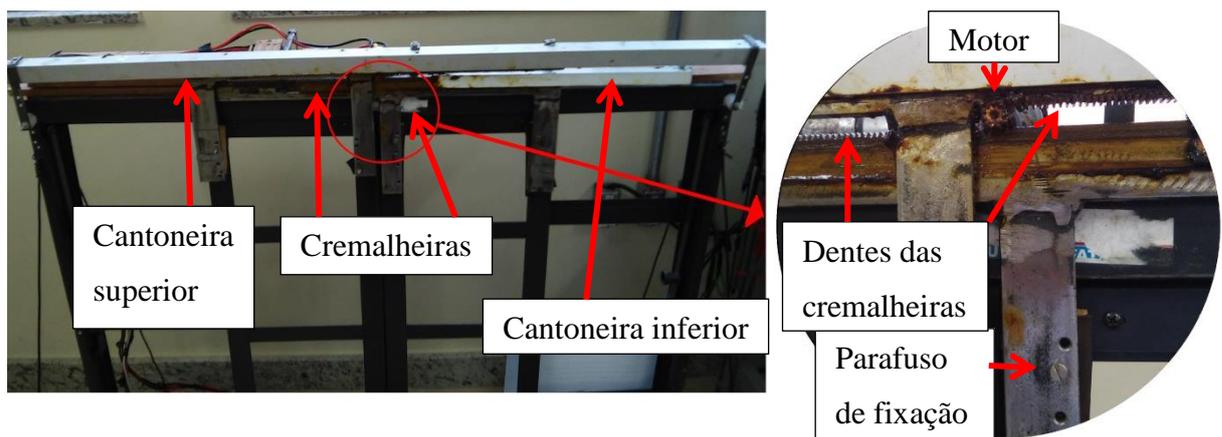


Figura 12 – Sistema de deslocamento das folhas da janela: detalhes da vista frontal.

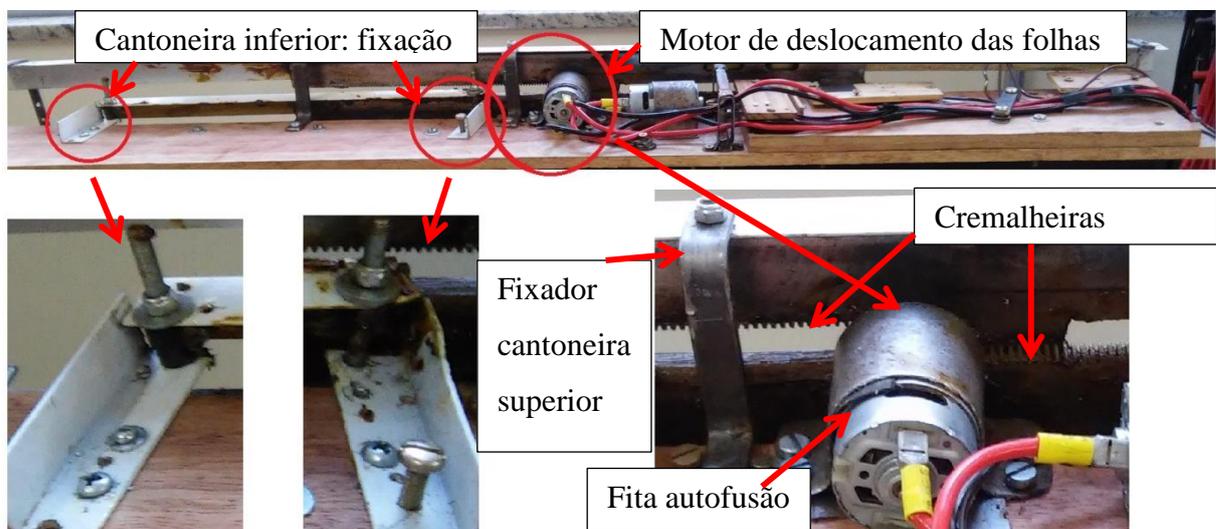


Figura 13 – Sistema de deslocamento das folhas da janela: detalhes da vista superior.

O motor utilizado opera com tensão nominal de 12 volts (V) e corrente nominal de 9 ampères (A). Apesar de sua potência, 108 Watts, suas dimensões são bastante reduzidas, com diâmetros da carcaça, do eixo e da engrenagem acoplada ao eixo de 37 mm, 3 mm e 9 mm, respectivamente, e seu comprimento total é de 85 mm. Optou-se pela utilização deste motor devido a sua disponibilidade e suas características de carregamento, pois ele era capaz de movimentar uma massa de até 40 Kg acoplado à seu eixo.

3.3.1.3 Sistema de tranca

Para efetuar as operações de tranca e destranca da janela foi utilizado um motor igual ao utilizado no sistema de deslocamento das folhas da janela, devido à disponibilidade do mesmo. A tranca implementada foi baseada nas cremalheiras e nos atuadores eletromecânicos que convertem energia elétrica em deslocamento linear.

A tranca se movimenta dentro de uma estrutura metálica, fixada à base de madeira, e efetua o trancamento da janela quando seus pinos adentram nos orifícios das cremalheiras, projetados para isso, conforme ilustrado na Figura 14.

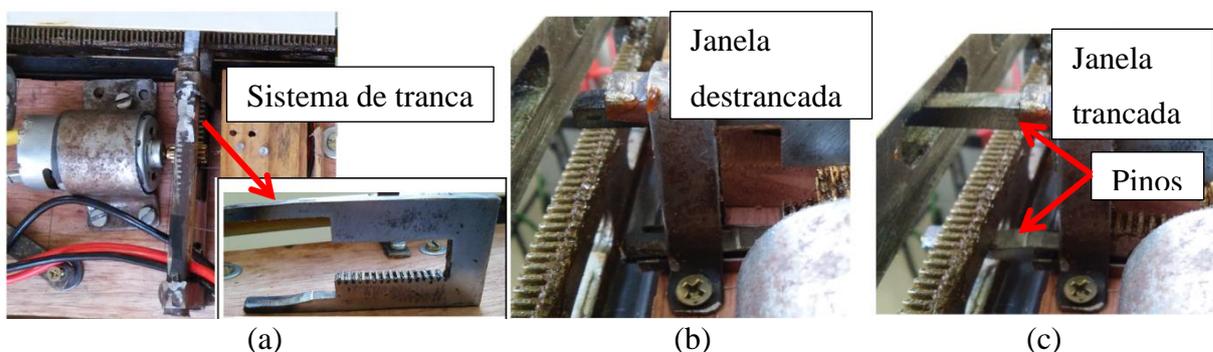


Figura 14 – Sistema de tranca da janela (a) com detalhe para a trava, (b) janela destrancada e (c) janela trancada.

3.3.1.5 Chaves fim de curso

Neste protótipo são usadas quatro chaves fim de curso mecânicas para identificar se a janela está aberta, fechada, trancada ou destrancada, conforme ilustrado na Figura 15.

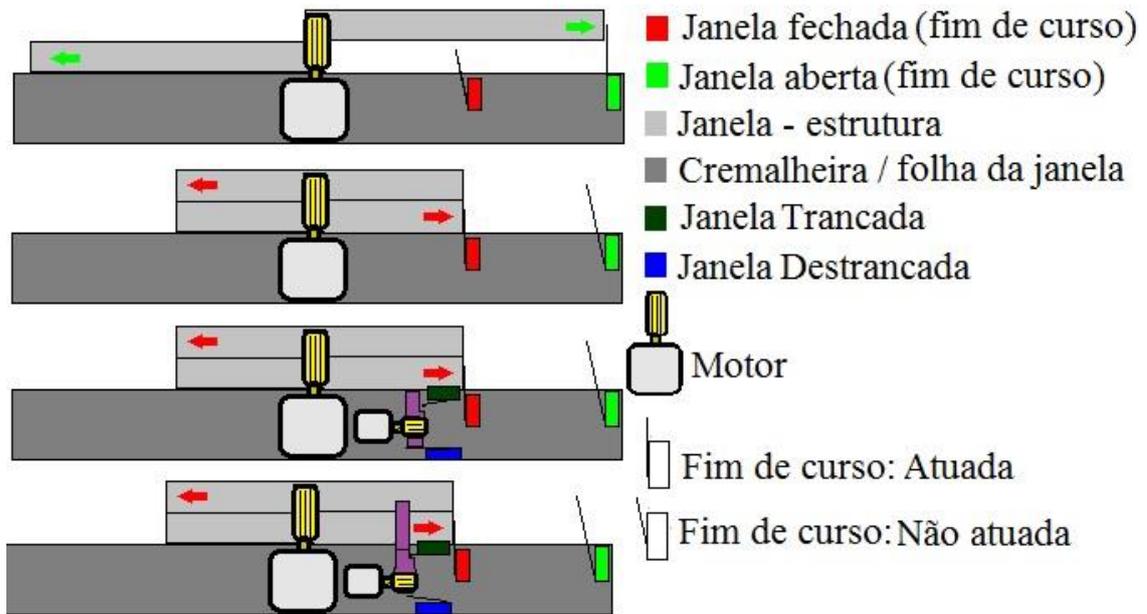


Figura 15 – Detalhes de atuação das chaves fim de curso.

3.3.1.6 Integração do protótipo

A Figura 16 (a) e (b) ilustra as vistas posterior e frontal-superior da janela, respectivamente, após concluída a estrutura física.



Figura 16 – Vistas (a) posterior e (b) frontal-superior.

3.3.2 Protótipo janela de alumínio

Este protótipo foi construído com materiais diversos, novos e reutilizados. A janela em escala reduzida apresenta uma folha móvel e uma folha fixa e as seguintes dimensões:

- altura: 21 cm;

- vão de abertura: 10 cm;
- largura total: 29 cm.

A estrutura externa da janela é feita de madeira e as estruturas das folhas e dos trilhos, de alumínio. O “vidro” desta janela foi feito de prolipropileno.

3.3.2.1. Sistema de deslocamento da folha da janela

Assim como na janela de aço, foi utilizada uma cremalheira para traduzir em movimentos lineares os movimentos rotacionais do eixo do motor. Entretanto, a cremalheira utilizada foi retirada de uma mecânica de *dvd player*.

O motor utilizado foi afixado, via parafusos, em uma estrutura de plástico, onde se encontra também afixado o sistema de polia e engrenagens responsável por transmitir à cremalheira o movimento do eixo do motor. Sendo que este motor foi alimentado em 12 volts, com corrente nominal de 190 mA. A Figura 17 ilustra o sistema composto por motor, engrenagens e cremalheiras utilizado.

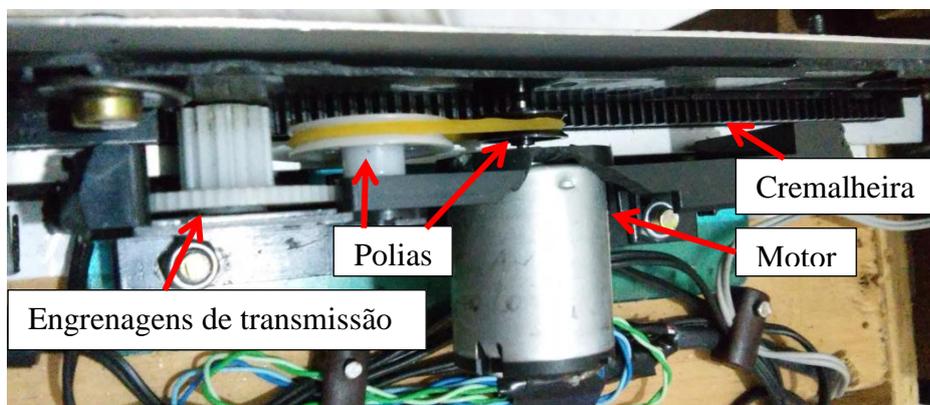


Figura 17 – Detalhes do sistema de deslocamento da folha da janela.

3.3.2.3 Sistema de tranca

Para efetuar a tranca da janela foi utilizado um motor alimentado em 5 volts, com corrente nominal de 18 mA, à vazio, e 0,3 A bloqueado. Este motor foi afixado em uma estrutura metálica, a qual também se encontra afixada uma engrenagem que transmite o movimento do eixo do motor à tranca.

À tranca, de nylon, foram anexados dois ímãs responsáveis por atuarem as chaves fim de curso magnéticas, responsáveis por prover ao sistema de controle os estados da janela: se a janela encontra-se trancada ou destrancada. A tranca desliza sobre um trilho de alumínio que tem a função de guiar a tranca pelo caminho a ser percorrido. Os detalhes de fixação do sistema de tranca e de atuação do mesmo podem ser observados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

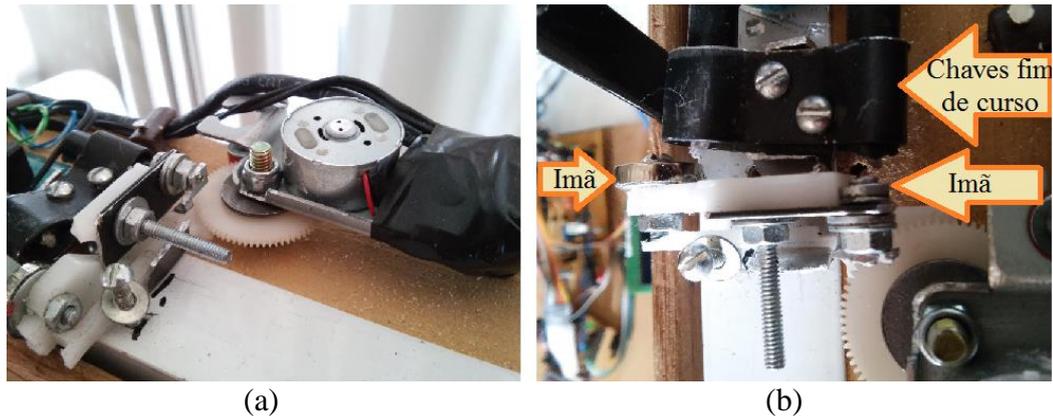


Figura 18 – Sistema de tranca: vistas (a) isométrica e (b) superior.

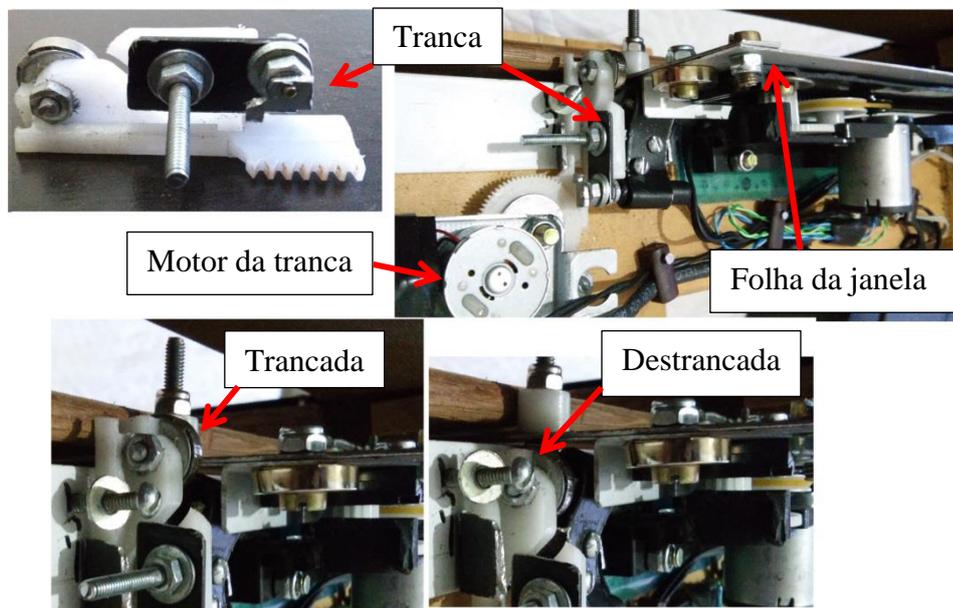


Figura 19 – Detalhes da atuação do sistema de tranca

3.3.2.4 Chaves fim de curso

Neste protótipo as chaves fim de curso utilizadas foram do tipo magnéticas, mostrado na Figura 20(a), e encapsuladas conforme apresentado na Figura 20 (b). Os suportes e chaves relativas às posições trancada, destrancada, fechada e aberta são mostrados na Figura 21. Por questões de sensibilidade, as chaves relativas à janela aberta, trancada e destrancada tiveram

suas proteções frontais retiradas. A necessidade ou não de retirada da proteção é determinada pela intensidade do campo magnético proporcionado pelo imã responsável por atuar a chave.

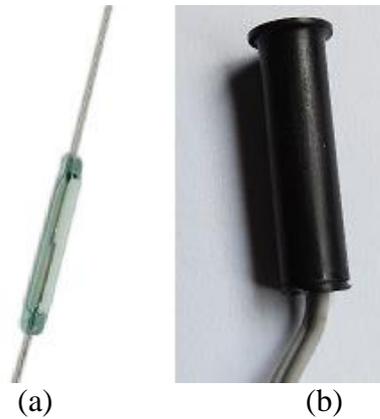


Figura 20 – Chaves fim de curso: (a) capsula e (b) modelo de encapsulamento usado.



Figura 21 – Chaves fim de curso instaladas na janela.

3.3.2.5 Integração do protótipo

As vistas frontais da janela aberta e fechada são apresentadas na Figura 22 (a) e (b), respectivamente.



Figura 22 – Vista frontal da janela (a) aberta e (b) fechada.

3.4 Desenvolvimento de *hardware*

As placas de componentes eletrônicos desenvolvidas foram projetadas para serem usadas nas janelas de aço e de alumínio.

3.4.1 Pontes H implementadas

Os circuitos ponte H implementados foram dimensionados para atender a demanda de corrente elétrica dos motores utilizados na janela de aço. Como chaves, foram utilizados MOSFETs devido sua baixa queda de tensão nos dispositivos, a facilidade de polarização, além da disponibilidade dos mesmos. Os MOSFETs utilizados são do tipo intensificação, ou seja, são dispositivos normalmente desligados, apresentando I_D nula para V_{GS} menor que $V_{GS(Th)}$. Eles operam em saturação quando V_{GS} é maior que $V_{GS(Th)}$ e quando a tensão *drain-source* (V_{DS}) é maior que o V_{DSsat} , fornecido pela Equação 1. Desse modo, I_D é dado pela Equação 2.

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_{GS(Th)} \quad (1)$$

$$I_D = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_{GS(Th)})^2} \cdot (V_{GS} - V_{GS(Th)})^2 \quad (2)$$

Onde:

I_D – Corrente de dreno do MOSFET;

$I_{D(on)}$ – Corrente de dreno limiar de condução do MOSFET;

V_{DS} – Tensão *drain-source* no MOSFET;

V_{DSsat} – Tensão *drain-source* de saturação do MOSFET;

V_{GS} – Tensão *gate-source* no MOSFET; e,

$V_{GS(Th)}$ – Tensão *gate-source threshold*, valor mínimo para o qual I_D é maior que 0.

Os circuitos eletrônicos das duas placas de acionamento tipo ponte H utilizadas foram simulados utilizando o *software* Proteus® – versão 7.8. A Figura 23 ilustra a configuração geral dessas placas, especificamente da placa utilizada para promover o trancamento e o destrancamento das janelas. Quando foi aplicada uma tensão de 5 volts na entrada de tensão denominada “sinal tranca”, ilustrada na Figura 23, e mantida a entrada de tensão denominada “sinal destranca” em 0V, saturou-se os MOSFETs QB2 e QB3 e, o eixo do motor girou no

sentido de promover o trancamento da janela. Quando a entrada denominada “sinal tranca” foi mantida em 0V e a entrada “sinal destranca” recebeu tensão de 5V, os MOSFETs QB1 e QB4 foram saturados e o eixo do motor girou no sentido de promover o destrancamento da janela.

Os MOSFETs foram saturados com uma tensão de polarização maior que a tensão nominal do motor e, para isso, foi desenvolvido um circuito eletrônico elevador de tensão, *step-up*, apresentado na Figura 24, com tensões de entrada e de saída de 12 e 18 volts, respectivamente. O circuito eletrônico *step-up* implementado aplica-se somente para acionamentos dos motores alimentados em 12 volts, sendo a polarização dos MOSFETs efetuada pela bateria de 12 volts, quando a tensão nominal do motor é de 5 volts. As placas de uma ponte H e do circuito *step-up* implementadas são mostradas na Figura 25 (a) e (b), respectivamente.

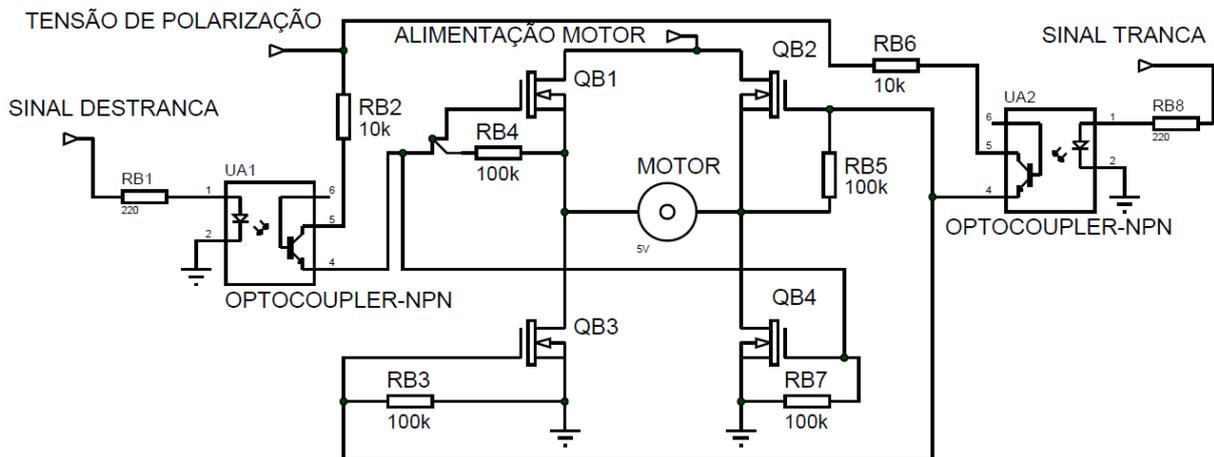


Figura 23 – Detalhes do circuito eletrônico da ponte H.
Fonte: Autoria própria.

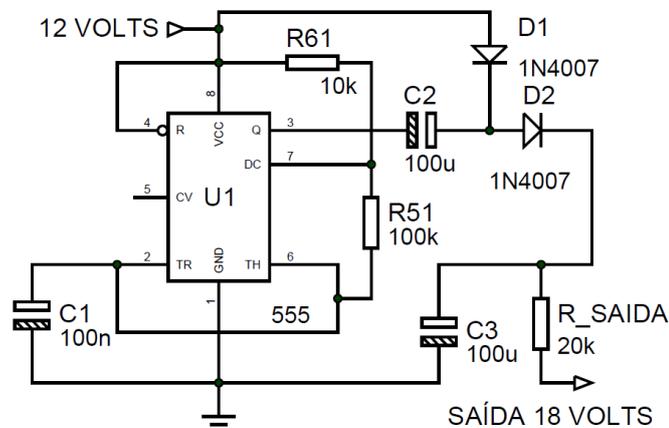


Figura 24 – Detalhes do circuito eletrônico *step-up*.
Fonte: Autoria própria.

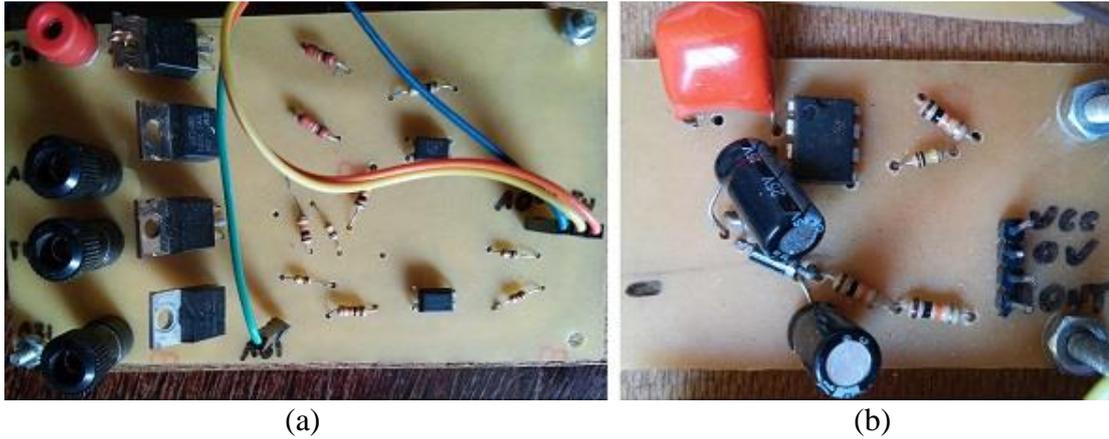


Figura 25 – Protótipos das placas de circuito impresso relativas aos circuitos eletrônicos (a) ponte H e (b) *step-up*.

3.4.2 Sensor de Chuva

O sensor de chuva utilizado, Figura 26 (a), foi do tipo capacitivo. Este tipo de sensor apresenta um dielétrico entre duas placas condutoras energizadas, gerando uma diferença de potencial. As fórmulas para capacitor podem ser utilizadas para descrever os fenômenos físicos do sensor de chuva. A capacitância (C) de um capacitor é diretamente proporcional ao módulo da carga (Q) em cada condutor e inversamente proporcional a diferença de potencial (V_{ab}) aplicada entre as placas condutoras, conforme apresenta a Equação 3 (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \quad (3)$$

Ao se inserir um dielétrico entre as placas condutoras de um capacitor, é obtida uma nova capacitância, proporcional a constante dielétrica (κ) do dielétrico inserido, conforme apresentado na Equação 4 (TIPLER & MOSCA, 2009).

$$C = \kappa C_0 \quad (4)$$

Onde:

C – capacitância com o dielétrico inserido entre as placas do capacitor;

C_0 – capacitância sem o dielétrico.

Foi utilizado, em conjunto com o sensor, um amplificador de tensão, Figura 26 (b), que tem função de amplificar a variação da tensão entre as placas do sensor, de modo que esta possa ser identificada e tratada por um microcontrolador.

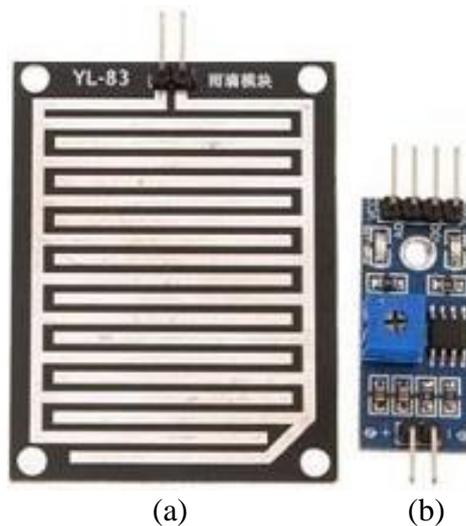


Figura 26 – Placas (a) sensor de chuva e (b) amplificadora de tensão.

3.4.3 Sensor de Presença

Podem ser utilizados na plataforma desenvolvida quaisquer sensores de presença comerciais, capazes de fornecer, diretamente ou por meio de adaptações, um sinal de saída em níveis lógicos TTL (0 ou 5 volts). Foi utilizado um sensor infravermelho, comercial, ilustrado na Figura 27, que fornece tensão em nível lógico baixo quando detectado algo ou alguém em sua área de atuação, sendo esta regulável via potenciômetro. Este sensor apresenta, ainda, uma saída analógica que permite ao usuário determinar a distância entre o objeto detectado e o sensor por meio da variação de tensão apresentada nessa saída.

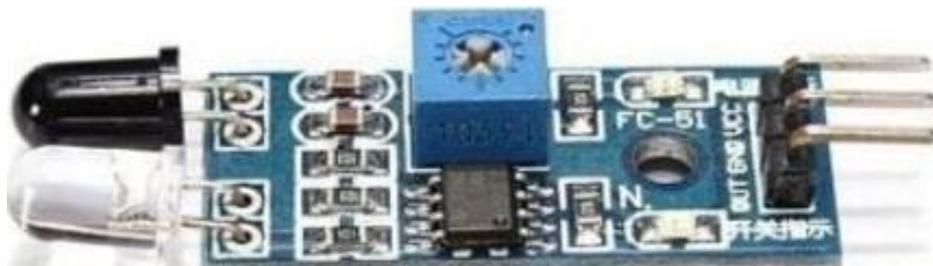


Figura 27 – Sensor de presença.

3.4.4 Botão de controle

Os estados da janela (aberta ou fechada) podem ser controlados via botão de controle, para isso é utilizado um botão normalmente aberto, sem retenção, conforme apresentado na Figura 28. O resistor entre o botão e o terra tem função de estabilizar a saída, evitando que o microcontrolador leia acionamentos falsos.

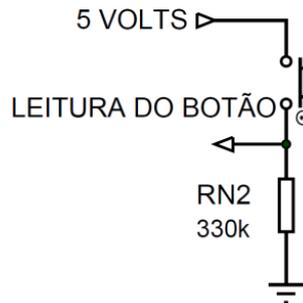


Figura 28 – Detalhes do circuito eletrônico do módulo de controle da janela via botão.

3.4.5 Alimentação do hardware

O sistema de controle tem alimentação preferencial via rede elétrica da concessionária de energia, seja ela de 127 ou 220 volts, através de uma fonte de tensão chaveada, mostrada na Figura 29 (a), que fornece ao sistema uma tensão contínua de 12 volts. Entretanto, na falta desta, a bateria principal (supridora da energia necessária aos motores), mostrada na Figura 29 (b), efetua a alimentação do sistema. Sendo automática a comutação entre essas duas fontes de energia, baseada no nível de tensão de cada uma delas, conforme circuito eletrônico apresentado na Figura 30(a).

A bateria utilizada apresenta autonomia média de 70 horas quando a plataforma opera em *stand by* e é alimentada pela bateria.



Figura 29 – Detalhes das fontes alimentadoras do sistema utilizadas: (a) chaveada e (b) bateria.

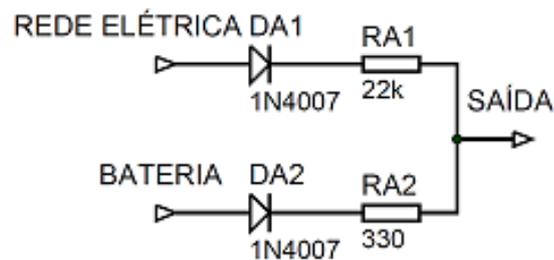


Figura 30 – Detalhes do circuito eletrônico de alimentação do sistema de controle.

3.4.5.1 Nível de carga e recarga da bateria

O sistema monitora o nível de carga da bateria, a fim de garantir que a mesma tenha carga suficiente para efetuar o fechamento da janela quando os sensores de chuva e/ou de presença atuar. Para isso, foi utilizado um circuito divisor de tensão, mostrado na Figura 31 (a). Quando a tensão nos terminais da bateria se encontra abaixo de um valor pré-definido e há disponibilidade de rede elétrica da concessionária de energia, verificada através de um módulo sensor de corrente ACS712, mostrado na Figura 32 (a), o sistema inicia o processo de recarga da bateria. Nesse momento é disparado um temporizador, mostrado na Figura 31 (b), para evitar leituras de tensão incompatíveis com a realidade da bateria. O carregamento da bateria é efetuado através de uma fonte externa conectada à um circuito eletrônico que isola os terminais da fonte externa e da bateria, até que o sistema comande o contrário, conforme apresentado na Figura 32 (b).

3.4.7 Controlador e interface homem-máquina

Neste projeto foi utilizado o microcontrolador Atmel ATmega 2560/V, que apresenta 54 portas de entrada e saída (I/O) digitais e 16 entradas analógicas e tempo de armazenamento de dados de até 20 anos (ATMEL, 2014). Este microprocessador foi escolhido por sua grande quantidade de portas I/O, visando atender às necessidades futuras de expansão do sistema.

A interface homem-máquina da plataforma é composta por um teclado alfanumérico, a partir do qual é possível acessar as funcionalidades do menu interativo e digitar a senha para destrancar a janela, por um display LCD 16x2, no qual são exibidas as mensagens referentes à atuação do sistema, tais como i) se a janela está sendo aberta ou fechada, ii) se está travada, iii) se o sistema aguarda que o usuário digite a senha numérica etc.. É composta, também, por um módulo de comando de abertura e fechamento da janela via botão. A Figura 34 ilustra o módulo de controle com detalhe para o teclado alfanumérico, para o display LCD e para o botão de comando.



Figura 34 – Módulo de controle com detalhe para o teclado, o display LCD e botão de controle utilizados.

3.5 Desenvolvimento do software

O *software* de controle foi desenvolvido utilizando o *software* Arduino® versão 1.6.3. Os dados necessários à sua operação são obtidos a partir dos módulos sensores e *hardwares* conectados às portas analógicas e digitais do microcontrolador utilizado.

O *software* implementa uma função anti-esmagamento que, quando a corrente elétrica demandada pelo motor de deslocamento se eleva acima de um valor predefinido, promove a

rápida parada do motor e, após alguns segundos, comuta o sentido de rotação do mesmo, abrindo novamente a janela. Uma vez que a abertura foi concluída, nova tentativa de fechar a janela é efetuada. Não sendo novamente possível fecha-la, o *software* define que a janela está travada, e a mesma deixa de ser operada por ele, protegendo o motor de sobreaquecimentos oriundos de sucessivas tentativas de completar o fechamento da janela. Nesse caso, é necessária a ação de um ser humano, seja removendo o obstáculo e informando via menu interativo o destravamento da janela ou fechando a janela manualmente.

Quando existe o acionamento do módulo sensor de presença, o *software* comanda o disparo de um alerta sonoro e, se a janela estiver aberta, procede com seu fechamento. Depois de fechada, a janela é trancada. Sendo essas ações reversíveis apenas por meio de senha numérica previamente definida pelo usuário.

O *software* monitora a tensão nos terminais da bateria e a disponibilidade de uma fonte de energia proveniente da rede de distribuição de energia elétrica, visando garantir que a bateria não tenha sua carga consumida a ponto da janela não ser fechada em situações de emergência: necessidade de fechar a janela por acionamento dos módulos sensores de chuva ou de presença. Quando é atingido o valor limite mínimo de tensão, o sistema procede com a recarga da bateria, caso o sistema esteja conectado a rede de energia elétrica, e esta esteja disponível. Nesse caso, o processo de recarga da bateria ocorre até que a bateria atinja um nível de carga adequado, sendo que, durante os primeiros 20 minutos, a janela responde apenas aos módulos sensores de chuva e de presença.

O *software* implementa, ainda, uma função menu interativo que permite ao usuário alterar a senha do sistema, ativar e desativar os módulos sensores de chuva e de presença (em conjunto) e o módulo de controle via botão de comando, além de informar o destravamento e o destrancamento manuais da janela. Essa função apenas é acessível quando a janela não se encontra trancada, aguardando que o usuário digite a senha.

Quando os módulos de sensores e de controle via botão estão habilitados, o *software* segue a ordem de prioridade definida: primeiramente o módulo sensor de presença, seguido do módulo sensor de chuva e, por último, o módulo de controle via botão. Ou seja, quando operado em modo automático, o módulo de controle via botão não abrirá a janela na presença de chuva ou quando foi detectada invasão do perímetro residencial/empresarial.

Para cada tipo de janela é necessário que se altere no *software* os parâmetros dependentes da estrutura mecânica da janela a ser controlada, tais como velocidade do motor e tempo necessário de funcionamento do mesmo para conclusão das operações de

deslocamento de partes folhas da janela e tranca, além dos parâmetros limites da função de anti-esmagamento.

O sistema comanda a exibição no display LCD, de mensagens relativas a sua operação; como por exemplo: se a janela está sendo aberta, fechada, tranca ou destrancada, se está travada ou ainda aguardando o usuário digitar a senha numérica, além das mensagens referentes ao menu interativo implementado, exibidas nas Figuras 35 e 36. Para melhor entendimento da lógica de funcionamento do *software* desenvolvido, nas Figuras 37 e 38, respectivamente, são ilustrados os fluxogramas de operação referentes ao controle da janela e a função menu.

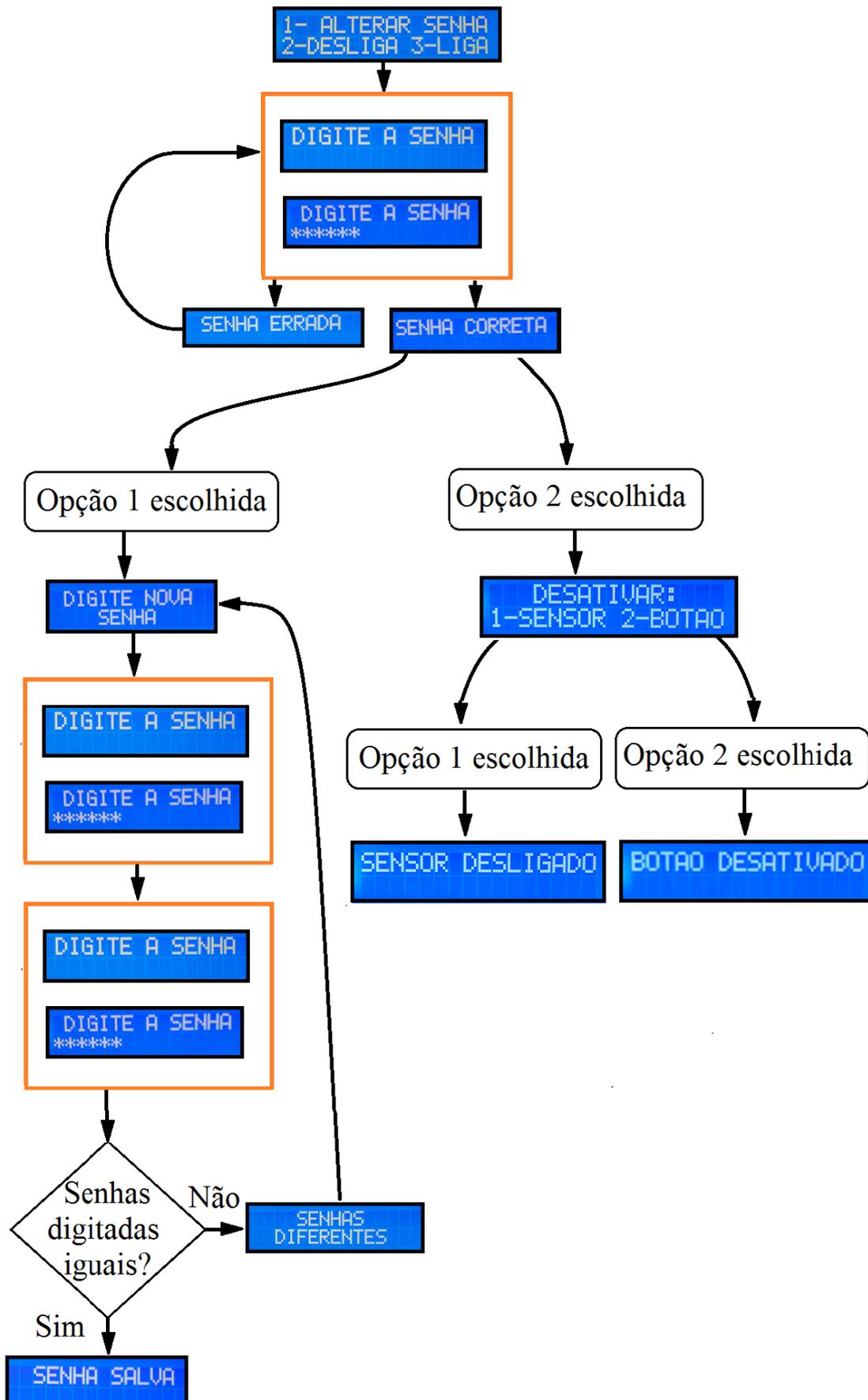


Figura 35 – Mensagens exibidas no display LCD referentes às opções 1 e 2 do Menu.

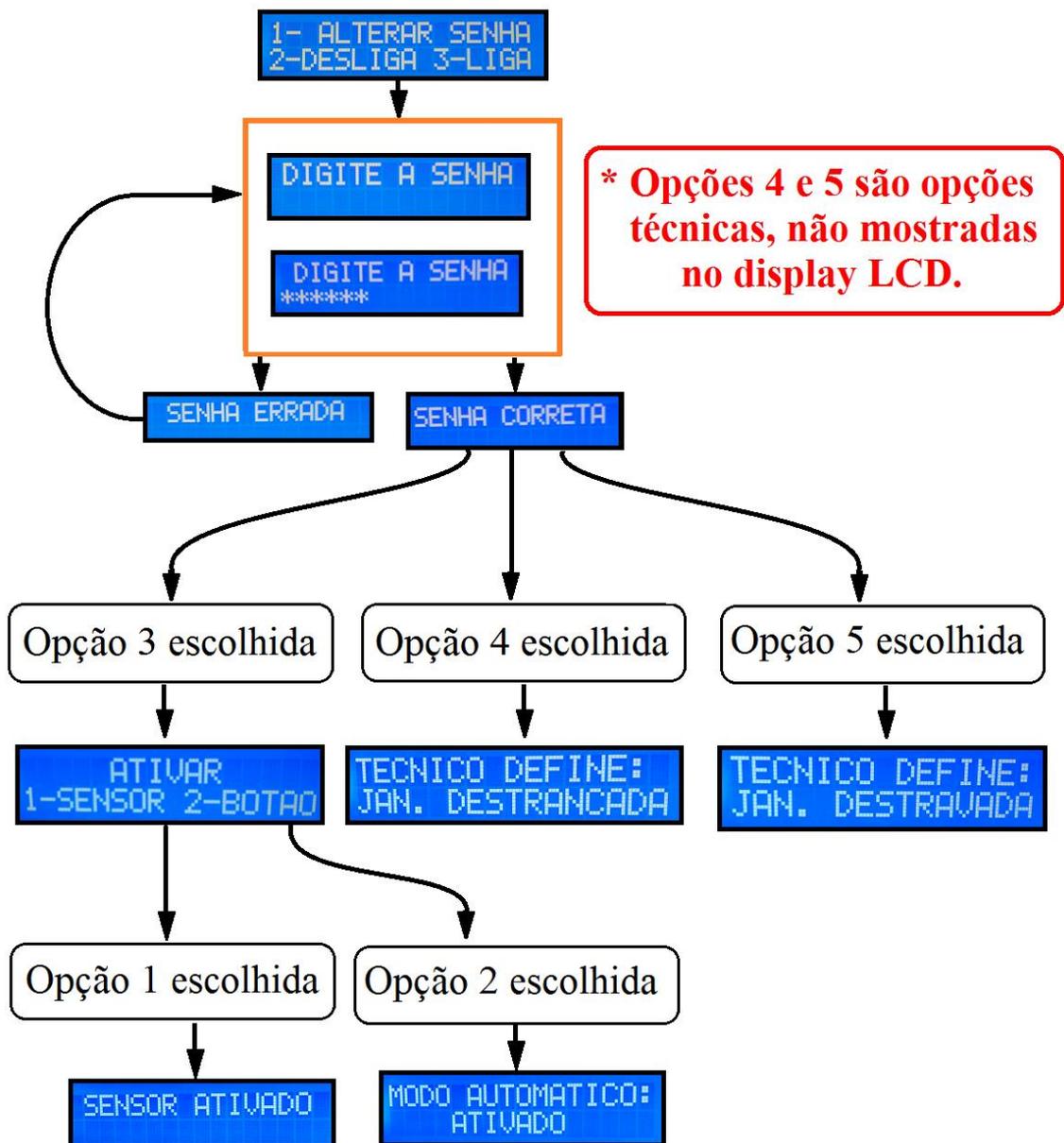


Figura 36 – Mensagens exibidas no display LCD referentes às opções 3, 4 e 5 do Menu.

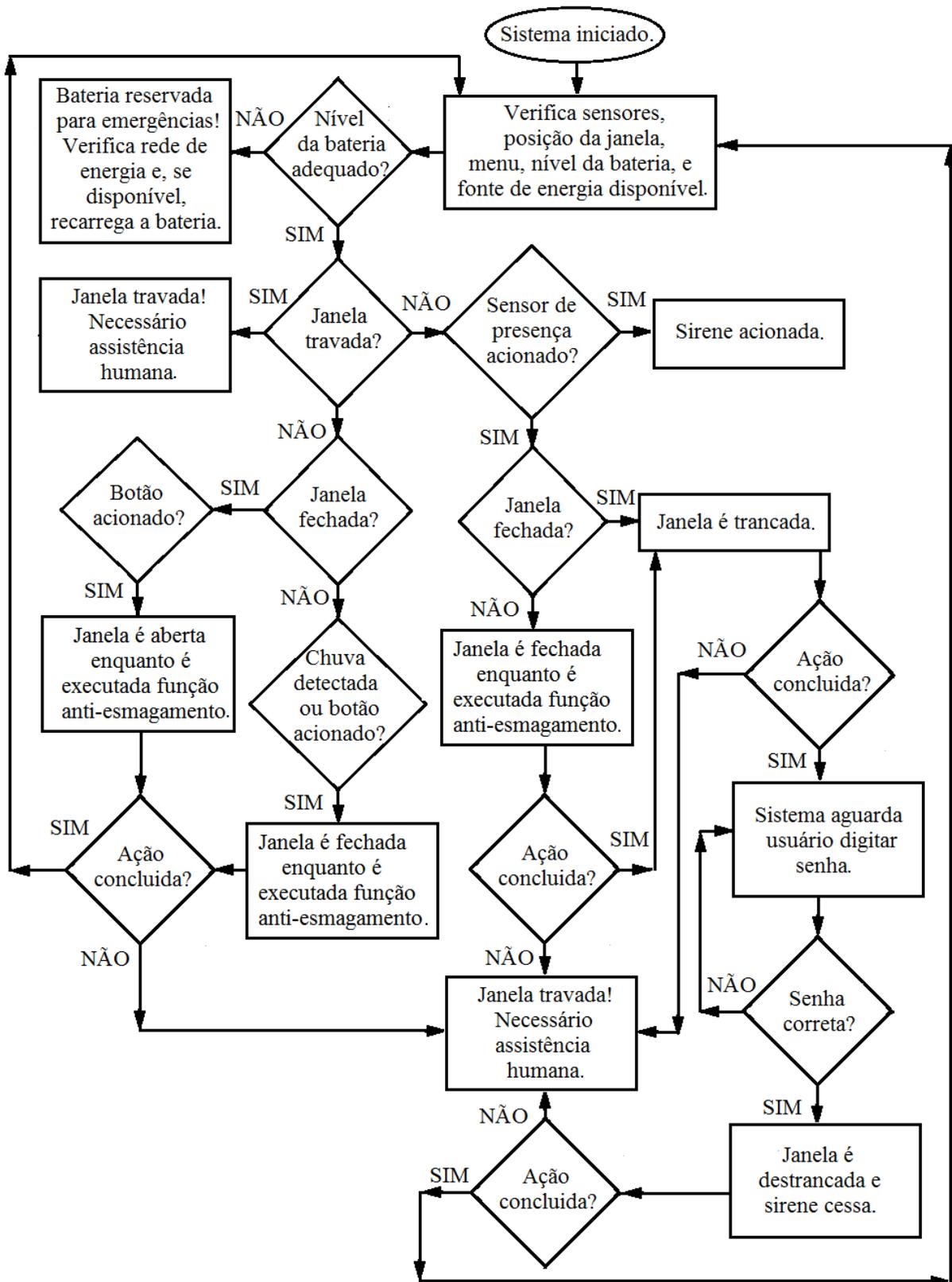
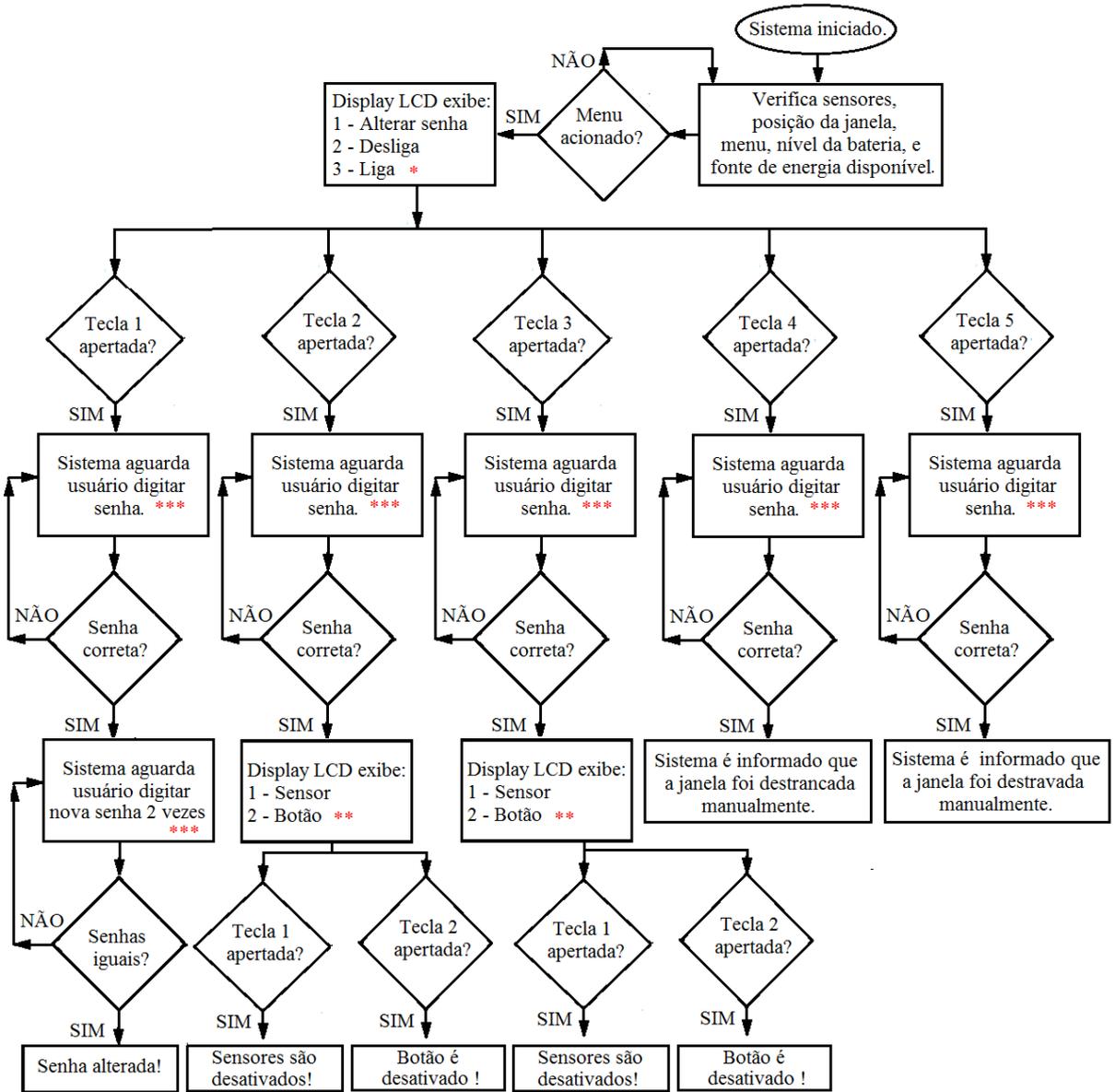


Figura 37 – Fluxograma de operação: controle de estados.



* Teclas diferentes de 1, 2, 3, 4 e 5 saem do menu.

** Tecla enter volta ao menu anterior.

*** Tecla voltar apaga números digitados.

Figura 38 – Fluxograma de operação: menu iterativo.

3.6 Validação

A validação da plataforma empregou testes laboratoriais e práticos, que serão apresentados a seguir.

3.6.1 Testes laboratoriais

Foram realizadas medidas e testes em bancada que avaliaram as características dos sinais elétricos dos circuitos eletrônicos descritos no projeto de *hardware*, tais como respostas à níveis variados de tensão aplicados aos seus terminais, caracterizadas por amplitude de tensão e corrente na saída do circuito. Para isso foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Multímetro digital modelo Minipa ET-1100A;
- Fonte de alimentação variável modelo MEILI MCH- 303D-B;

Os testes elétricos também avaliaram os parâmetros específicos dos circuitos de *hardware* relacionados aos sensores de corrente, de chuva e de presença, além das fontes de alimentação e recarga de bateria.

Nos testes elétricos, foram aplicados, em cada circuito, sinais de tensão com amplitude na faixa de 0 a 5 V e foram avaliadas as tensões de saída e acionamento dos respectivos atuadores. Foi medida a tensão nos terminais de saída dos sensores de chuva e de presença quando eles detectaram chuva e um objeto, respectivamente.

Como critério de validação das medidas elétricas, foi considerado o valor máximo de 5% de dispersão dos parâmetros presentes nos catálogos técnicos dos fabricantes dos principais componentes utilizados nos circuitos de *hardware*.

Os valores medidos foram comparados com os valores obtidos a partir de simulações efetuadas utilizando o *software* Proteus®. As simulações avaliaram os níveis de tensão de saída dos circuitos eletrônicos em resposta aos sinais de estímulo aplicados nas entradas.

3.6.2 Testes práticos

Os testes realizados consistiram na avaliação da integração do *software*, *hardware* de controle e estruturas mecânicas avaliando a plataforma quanto:

- (a) a capacidade de concluir operações de abertura e fechamento da janela;
- (b) a atuação dos sensores de corrente e função anti-esmagamento;
- (c) a atuação da plataforma em relação à atuação dos sensores de chuva e de presença e do botão de controle;
- (d) a atuação da ordem de prioridades definidas;
- (e) a leitura do nível da bateria e recarga da mesma;
- (f) a funcionalidade do menu, contemplando a ativação e desativação dos sensores e do botão de controle, a alteração de senha e informar ao sistema de operações de destrava e destranca manuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados dos testes laboratoriais

Durante a realização dos testes de bancada, utilizando as placas de circuito impresso, foi verificada a consistência dos valores de tensão encontrados nas simulações, sendo que os parâmetros operacionais ficaram limitados dentro da faixa de tolerância estipulada em 5%, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resposta em tensão das placas ponte H implementadas, valores medidos e simulados.

Tensão aplicada ao terminais de entrada de tensão das placas Ponte H	Terminal de saída de tensão medido	Tensão simulada (V)	Tensão medida (V)
Trancar a janela – 5V Destancar a janela – 0V	Motor: sentido de giro trancar janela	12	11,98
Destancar a janela – 5V Trancar a janela – 0V	Motor: sentido de giro destrancar janela	12	11,97
Abrir a janela – 5V Fechar a janela – 0V	Motor: sentido de giro abrir janela	12	11,96
Fechar a janela – 5V Abrir a janela – 0V	Motor: sentido de giro fechar janela	12	11,97

Tabela 2 – Resposta em tensão dos sensores de chuva e de presença

Sensor	Tensão simulada (V)	Tensão medida (V)
Sensor de presença atuado	0	0,11
Sensor de presença não atuado	5	4,97
Sensor de chuva atuado	0	0,09
Sensor de chuva não atuado	5	4,98

4.2 Resultados dos testes práticos

4.2.1. Abertura e fechamento da janela

4.2.1.1 Protótipo – janela de aço

As operações de abertura e fechamento da janela de aço, sem restrições de movimento, obtiveram uma taxa de sucesso de 50%. Durante as operações mal sucedidas, verificou-se que a janela foi travada em posições intermediárias. A partir disso, foi observado que os dentes da engrenagem do motor não apresentavam deformidades, enquanto que cada cremalheira apresentava um dente disforme, sendo estes responsáveis por 20% das operações mal sucedidas. Observou-se, também, que em cerca de 70% das operações mal sucedidas, uma das extremidades da folha foi impulsionada para baixo, travando seu canto inferior no trilho sobre o qual ela deslizava, enquanto que a outra extremidade foi impulsionada para cima. Apesar das observações efetuadas, não foi possível determinar a causa de cerca de 10% das operações mal sucedidas.

Como forma de evitar que a folha da janela se trave no trilho, pode-se: aumentar a distância entre eles lixando o trilho ou a parte inferior da janela. Pode-se, ainda, adicionar roldanas à superfície inferior da folha da janela, de modo que ela deslize sobre a janela e a folha não encoste no trilho.

4.2.1.2 Protótipo – janela de alumínio

Durante os testes realizados a janela apresentou comportamento coerente com o esperado, sendo capaz de executar as operações de abertura e fechamento da janela sem quaisquer imprevistos.

4.2.2 Sensores de corrente e função anti-esmagamento

Os sensores de corrente elétrica mediram a corrente elétrica consumida pelo motor de deslocamento das folhas da janela e, pelo *hardware* de maneira consistente, apresentando variação máxima de 3% em relação aos valores de corrente mensurados com o auxílio do multímetro.

A função anti-esmagamento atuou quando foi aplicada às folhas da janela uma força de resistência ao seu fechamento. Entretanto, ela atuou indevidamente nas ocasiões em que a janela de aço se travou, sendo que, em 40% dessas ocorrências ela foi capaz de promover o fechamento da janela. Nas demais ocorrências a janela travou-se novamente. Essa atuação

indevida da função anti-esmagamento não foi observada quando o objeto de estudo foi a janela de alumínio.

4.2.3 Atuação da plataforma quanto aos sensores de chuva e de presença e ao botão de controle

Quando os sensores de chuva e/ou de presença atuaram na plataforma, conforme esperado, promoveu-se o fechamento e/ou a tranca da janela e, quando o botão de controle foi acionado pelo usuário, a plataforma efetuou o fechamento ou a abertura da janela, conforme programado. Entretanto, houve situações nas quais a janela de aço travou e não foi concluída a operação comandada pelo *software*.

Quando as janelas se encontravam fechadas, as operações de tranca e destranca das mesmas foram concluídas integralmente.

4.2.4 Atuação da plataforma quanto à ordem de prioridades definidas

O sistema respeitou integralmente a ordem de prioridade definida: sensor de presença, sensor de chuva e, por último, o botão de controle. Quando o sensor de presença atuou, o *software* não permitiu a abertura da janela sem a prévia digitação da senha numérica. Enquanto o sensor de chuva atuava o *software* não permitiu a abertura da janela via botão de controle. Esse comportamento foi observado tanto na janela de aço quanto na janela de alumínio.

4.2.5 Leitura do nível e recarga da bateria

O sistema efetuou corretamente a mensura da carga da bateria e a recarregou quando foi atingido o limite mínimo de carga predefinido. Durante os primeiros 20 minutos de carregamento, o sistema não mensurou a carga da bateria e bloqueou a operação do botão de controle, conforme previsto.

4.2.6 Interface homem-máquina

A interface homem-máquina (menu interativo) apresentou o comportamento esperado: o usuário foi capaz de habilitar e desabilitar os módulos sensores de chuva e de presença e o

módulo de controle via botão, além de alterar a senha do sistema e informar ao sistema sobre operações de destrava e destranca manuais, mediante a confirmação de senha numérica. Quando o módulo sensor de presença atuou, foi impedido o acesso do usuário ao menu enquanto o sistema aguardava que a senha numérica fosse digitada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os protótipos desenvolvidos neste trabalho para controle de janelas de aço e de alumínio foram avaliados por meio de simulações, testes laboratoriais e testes práticos de operação das janelas. Os resultados obtidos confirmam que o projeto alcançou os objetivos propostos.

Os resultados obtidos mostraram que a plataforma foi capaz de controlar a abertura, o fechamento, a tranca e a destranca da janela, de acordo com a ativação ou não dos sensores utilizados e do botão de controle. Além disso, a função anti-esmagamento mostrou-se uma componente importante do sistema, uma vez que minimiza os danos causados pelo impacto da folha da janela a corpos estranhos (pessoas, animais, etc.) que se localizam próximos ou dentro do vão da janela durante a operação de fechamento de suas folhas.

O *software* controlou a carga da bateria utilizada e garantiu a capacidade da plataforma de fechar e/ou trancar a janela em situações de chuva e/ou de invasão do perímetro residencial. Para isso, ele bloqueou a função de comando da janela via botão de controle, quando foi atingido o nível mínimo predefinido de carga da bateria, e recarregou a mesma.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao decorrer do projeto verificou-se inúmeras possibilidades de aperfeiçoamento da plataforma, sendo estas consideradas sugestões para trabalhos futuros. Entre elas estão o desenvolvimento de um aplicativo para controle da janela via *smartphone*, um controle remoto e a incorporação de novos sensores tais como sensores de gás e de fumaça, de temperatura dos motores, de luminosidade e de temperatura ambiente, garantindo maior segurança e comodidade aos usuários.

Adicionalmente, esta plataforma poderia ser aplicada à outros dispositivos tais como portas e portões, observando-se seus parâmetros mecânicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEXPRESS. **Free shipping sliding window lock with key child safety protection lock anti-theft door lock push window CP193**. Mainland, China. 2014. Disponível em: < <http://pt.aliexpress.com/item/sliding-window-lock-with-key-child-safety-protection-lock-anti-theft-door-lock-push-window-CP193/32327810141.html?spm=2114.10010308.100005.1.sPgbcA&isOrig=true&isOrigTitle=true> > Acesso em: 18 fev. 2015

ATMEL. Atmel **ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V**: 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash DATASHEET. 2014. Disponível em: < http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf >. Acesso em 30 dez. 2015.

BRAGA, Maria Luiza Oliveira. **Janela automatizada para smart houses com sensor de chuva e aviso por sms**. Monografia. Centro Universitário de Brasília. Brasília – DF. 2010.

CINDS – Centro Integrado de Informações de Defesa Social. **Diagnóstico de Incidência de Roubos em Belo Horizonte**. Junho 2015. Disponível em: < http://www.seds.mg.gov.br/images/seds_docs/estatistnovo/Diagnostico_Incidencia%20de%20roubos_BH_2014-15.pdf >. Acesso em 30 dez. 2015.

DATAFOLHA, Instituto de Pesquisa; CRISP – Centro de Estudos de Criminalidade e Segurança Pública (Universidade Federal de Minas Gerais). **Pesquisa Nacional de Vitimização: Sumário Executivo SENASP**. Maio 2013. Disponível em: < http://www.crisp.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/10/Sumario_SENASP_final.pdf >. Acesso em 05 jan. 2016.

ELETROBRÁS; PROCEL; PROCEL INDÚSTRIA; IEL - Instituto Euvaldo Lodi; CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Motor elétrico: guia básico**. Brasília – DF. 2009.

FIGUEROLA, Valentina. **Casa Jetsons**. AU: Arquitetura e urbanismo. Ed. 148. Julho 2006. Disponível em: <<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/148/artigo23034-1.aspx>>. Acesso em 04 jan. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: Características da vitimização e do acesso à justiça no Brasil 2009**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/vitimizacao_acesso_justica_2009/pnad_vitipnadvit.pdf>. Acesso em 29 abr. 2015.

KASSOUF, Samir. **Sistemas de atuadores lineares**. *Mecatrônica Atual*. São Paulo, Ano 2. n. 11. p. 26-29, ago./set., 2003

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

MADEIRAMADEIRA. **Janela Integrada Veneziana com Controle Remoto Sasazaki Branco 110V**. 2015. Disponível em: <<https://www.madeiramadeira.com.br/janela-integrada-veneziana-com-controle-remoto-sasazaki-branco-110v-1-20m-x-1-20m-122223.html>>. Acesso em 30 dez. 2015.

MATOS, Bruno Moreira. **Janela residencial automatizada**. Monografia. Centro Universitário de Brasília. Brasília – DF. 2009.

MURATORI, José Roberto; BÓ, Paulo Henrique Dal. **Automação residencial: histórico, definições e conceitos**. O setor Elétrico. Ed. 62. Março 2011. Disponível em: <<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/148/artigo23034-1.aspx>>. Acesso em 04 jan. 2016.

NEVES, Raissa Pereira Alves de Azevêdo. **Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: os edifícios inteligentes**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2002.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. 1ª ed. Rio de Janeiro – RJ. Axcel Books do Brasil. 2002.

RWTECH. **Bloqueios RWTECH: Reforçando a segurança do ambiente**. 2015. Disponível em: <http://www.rwtech.com.br/fechadura_eletromagnetica.php> Acesso em 01 fev. 2016.

SANTOS, Ricardo Antônio Silva dos. **Domótica via dispositivos móveis**. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2010.

SASAZAKI. **Janela Integrada Veneziana com Controle Remoto – JIVCTR (Linha Alumifort)**. 2015 (a). Disponível em: <<http://www.sasazaki.com.br/detalhe-produto/janela-integrada-veneziana-com-controle-remoto-jivctr/>>. Acesso em 30 dez. 2015.

SENA, Diane Cristina Souza. **Automação Residencial**. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES. 2005.

SSP-PR – Secretaria da segurança pública e administração penitenciária, Estado do Paraná. **Relatório estatístico criminal 2014**. Curitiba. Jan. 2015. Disponível em: <http://www.seguranca.pr.gov.br/arquivos/File/Relatorio_Estatistico_2014_VALE.pdf>. Acesso em 05 fev. 2016.

SSP-SP – Secretaria da segurança pública, Estado de São Paulo. **Distribuição das ocorrências de roubo no Estado de São Paulo, segundo o contexto, o tipo e o subtipo de objeto roubado (%)**. Disponível em: <<http://www.ssp.sp.gov.br/novaestatistica/PerfilRoubo.aspx>>. Acesso em 05 fev. 2016.

TEZA, Vanderlei Rabelo. **Alguns aspectos sobre a automação residencial – domótica**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2002.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros Vol.2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. 6ª ed. Rio de Janeiro – RJ. LTC. 2009.

TORO, Vincent. Del. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 1ª ed. Rio de Janeiro – RJ. LTC. 1994.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física III: Eletromagnetismo**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

ZAFIRO. **Sofisticação x automação**: além do controle remoto. Disponível em: <<http://www.zafiro.com.br/#!sofisticao/c1lg3>>. Acesso em 30 dez. 2015.

ANEXO A

Quadro 3 – Cronograma de atividades realizadas.

Atividades realizadas	2015						2016
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
Revisão bibliográfica sobre domótica e janelas automatizadas.	X	X	X	X	X	X	X
Revisão bibliográfica sobre estruturas mecânicas.	X	X	X	X			
Revisão bibliográfica sobre motores e circuitos de acionamentos.	X	X					
Revisão bibliográfica sobre sensores de chuva, de presença e anti-esmagamento.	X	X	X				
Execução da estrutura mecânica – Protótipo 1: janela.	X	X	X	X			
Desenvolvimento das placas de circuito impresso utilizadas.	X	X	X	X			
Desenvolvimento do sistema de controle na plataforma Arduino.	X	X	X	X	X	X	
Aquisição de parâmetros influenciáveis pela estrutura mecânica: Corrente e tempo de acionamento do motor, tempo de janela em movimento, consumo médio de carga por operação.					X	X	

Atividades realizadas	2015						2016
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
Testes práticos: sistema de controle da janela, função anti-esmagamento e menu interativo.						X	X
Execução da estrutura mecânica – Protótipo janela de alumínio.							X
Aquisição de parâmetros influenciáveis pela estrutura mecânica: Corrente e tempo de acionamento do motor, tempo de janela de alumínio em movimento, consumo médio de carga por operação.							X
Testes práticos: sistema de controle da janela de alumínio, função anti-esmagamento e menu interativo.							X
Desenvolvimento da parte escrita			X	X	X	X	X