

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA SISTEMA DE ILUMINAÇÃO



10.56238/edimpacto2025.005-005

Orlindo Wagner Soares Pereira

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Adriana da Silva Torres

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Moisés de Matos Torres

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

RESUMO

As técnicas de automação e controle podem ser utilizadas em ambientes industriais e também residenciais. O sistema de iluminação de uma residência pode ser controlado de modo convencional e também eletronicamente. O circuito *treeway* é uma técnica muito utilizada em instalações elétricas que necessitam o acionamento e o desligamento de lâmpadas em posições distintas de um ambiente. Plataformas de prototipagem como o Arduino favorecem o controle e interpretação de sinais de outros dispositivos eletrônicos, além de possibilitar a associação com plataformas para a criação de ambientes gráficos interativos, tais como o *Processing*. O *Processing*, por sua vez, realiza análise e processamento de imagens e gera informações que podem ser salvas em um arquivo de texto. Tanto o Arduino quanto o *Processing* são plataformas de código aberto, denominadas *open source*. As ferramentas de *cloud computing*, tais como o Dropbox, são úteis para o armazenamento de arquivos na própria rede, de modo que os mesmos podem ser acessados e modificados remotamente através de outros computadores, *tablets* e *smartphones*. O Arduino, *Processing* e Dropbox são compatíveis com os diversos tipos de computadores, inclusive pequenos processadores que operam em arquitetura diferente, tais como a família Raspberry pi. Ao aplicar os conceitos de controle e automação de sistemas, instrumentação, ferramentas *open source* e *cloud computing* foi possível construir um sistema de controle do sistema de iluminação de uma residência de modo a ser uma alternativa para o consumo racional de energia elétrica.

Palavras-chave: Automação residencial. Circuito *treeway*. Arduino. Processing. Dropbox. Raspberry pi.



1 INTRODUÇÃO

Atualmente o controle de sistemas tem sido objeto de interesse de empresas, engenheiros e profissionais que trabalham na gestão da informação e gestão de processos. Alguns destes sistemas podem ser simplificados e implementados no âmbito da automação residencial. Com algumas ferramentas de prototipagem eletrônica existentes no mercado é possível conectar estes sistemas na rede mundial de computadores: a internet.

O sistema de iluminação de uma residência consiste basicamente na tarefa de ligar e desligar as lâmpadas. Na maioria dos casos, a mudança de estado é obtida por meio do acionamento de um interruptor eletromecânico. Há situações nas quais dadas partes da casa precisam ser iluminadas e outras não e vice versa. Do ponto de vista técnico, seria possível a construção de um sistema de controle que possibilite ao usuário o acionamento das lâmpadas a nível local e via internet? Quais seriam as implicações no sistema convencional de iluminação?

No intuito de responder as perguntas precedentes, no Capítulo 3 deste trabalho buscou-se apresentar brevemente algumas ferramentas e tecnologias que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de um sistema simplificado para o acionamento e desligamento de lâmpadas de uma residência. Na parte de materiais e métodos buscou-se esclarecer o modo de funcionamento do sistema projetado além dos detalhes construtivos. Finalmente, na parte resultados e discussões foram feitas análises sobre o funcionamento do sistema, análise de custos dos elementos principais do sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de um sistema capaz de controlar o acionamento de lâmpadas de uma residência, além de avaliar os aspectos técnicos envolvidos, viabilidade financeira e avaliar as possibilidades de melhoria no projeto do sistema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir um sistema de acionamento e desligamento de lâmpadas de uma residência por meio de plataformas de prototipagem eletrônica, programação gráfica e ferramentas de armazenamento de arquivos em “nuvem”. Para o desenvolvimento do projeto os objetivos específicos são:

- Projetar, simular e construir os circuitos e atuadores;
- Associar plataformas de prototipagem e programação;
- Configurar a unidade de controle;
- Realizar um estudo de custo de implantação do sistema.



3 ESTADO DA ARTE

Nesta Seção do trabalho serão apresentados conceitos, definições e ferramentas que, devidamente associadas, podem ser utilizadas para a criação de um sistema de controle *on-off* para o controle no acionamento e desligamento de lâmpadas de uma residência.

3.1 SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Há situações que motivam à implantação de um sistema de automação. Por exemplo, quando é difícil o acesso a um determinado ambiente, sejam por condições físicas (risco de lesões), riscos químicos e biológicos. Nestas situações, é interessante programar e comandar máquinas ou dispositivos para realizarem tarefas, que antes seriam realizadas por pessoas.

Um processo puramente automatizado realiza a tarefa, mas não a avalia. Isso significa que o sistema funciona somente da maneira para o qual foi projetado e programado. O sistema é inflexível às mudanças que podem advir do próprio processo ou operação.

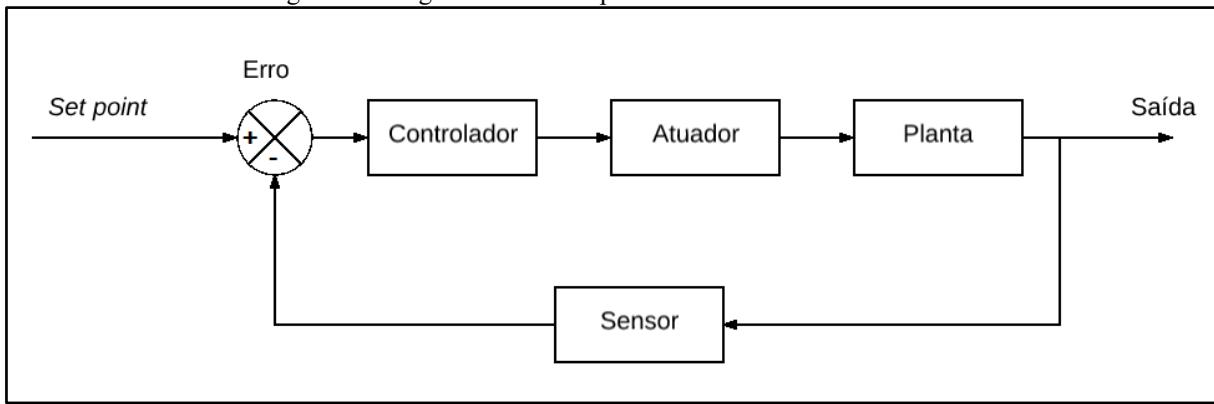
Por outro lado, o processo controlado necessita de uma referência para realizar a operação. Esta referência, ou *set point*, é obtida após uma verificação (avaliação) em dado ponto do sistema.

Para o desenvolvimento de um sistema de controle, qualquer que seja, é importante estar claro o que se deseja controlar no sistema. Outra questão importante é definir se o sistema será automático, controlado ou os dois alternadamente. Para que o sistema seja considerado automático e controlado é fundamental que ele possua os seguintes elementos: sensor, atuador e controlador, sendo estes definidos como:

- ✓ O Sensor: componente responsável por converter uma grandeza física em variações de natureza elétrica;
- ✓ Atuador: componente responsável por executar ações capazes de alterar o estado do sistema;
- ✓ Controlador: define o modo de funcionamento do sistema por meio da execução dos comandos em função do processamento das informações.

Outra maneira de relacionar estes conceitos é por meio do diagrama de blocos. A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos que permite compreender o fundamento básico de funcionamento de um sistema de controle de realimentação.

Figura 1 – Diagrama de blocos para um sistema de controle básico



Fonte: produção do próprio autor.

As setas representam a passagem de sinais ou informações para o componente ou processo seguinte. Segundo OGATA (2010, p. 2), “Controlar significa medir o valor da variável controlada do sistema e aplicar o sinal de controle ao sistema para corrigir ou limitar os desvios do valor medido a partir de um valor desejado”.

O diagrama de blocos da Figura 1 representa um sistema de controle de malha fechada. Caso o sinal de controle fosse independente o sinal de saída o sistema seria denominado de malha aberta. Em um projeto de um sistema de controle torna-se importante avaliar qual tipo de sistema é mais adequado, avaliando principalmente as características que ofereçam melhores vantagens:

Uma vantagem do sistema de controle de malha fechada é o fato de que o uso da realimentação faz com que a resposta do sistema seja relativamente insensível a distúrbios externos e variações internas nos parâmetros do sistema. Dessa forma, é possível a utilização de componentes relativamente imprecisos e baratos para obter o controle preciso de determinado sistema, ao passo que isso não é possível nos sistemas de malha aberta.

Do ponto de vista de estabilidade, o sistema de controle de malha aberta é mais fácil de ser construído, pelo fato da estabilidade ser um problema menos significativo. Por outro lado, a estabilidade constitui um problema importante nos sistemas de malha fechada, que podem apresentar uma tendência de correção de erros além do necessário, causando oscilações de amplitude constante ou variável. (OGATA, 2010, p. 7)

A escolha do tipo do sistema de controle mais adequado vai depender da capacidade do projetista em antecipar o comportamento dos sinais relacionados de forma direta ou indireta. Uma vez entendido os elementos básicos de um sistema, o passo seguinte é a definição da ação de controle que seja mais adequada para o projeto. Existem duas ações de controle muito comuns: ações de controle do tipo *on-off* e ações de controle do tipo *PID*¹.

¹ Há ainda as ações de controle, proporcional, integral e diferencial com atuação individual ou combinada. Para mais informações a respeito do tema o autor sugere a consulta ao capítulo 2.3 - Sistemas de controle automático do livro Engenharia de controle moderno, OGATA (2010, p.14-24).

3.1.1 Ação de controle *on-off*

A ação de controle do tipo *on-off* consiste na ação de controle mais simples em controle e automação. Com base nas informações recebidas, o controlador deve enviar o comando ao atuador com objetivo é alterar o estado do sistema para ligado ou desligado. Ainda, segundo OGATA (2010, p.19) “ O controle de duas posições ou *on-off* é relativamente simples e barato e, por essa razão, é bastante utilizado em sistemas de controle domésticos e industriais”.

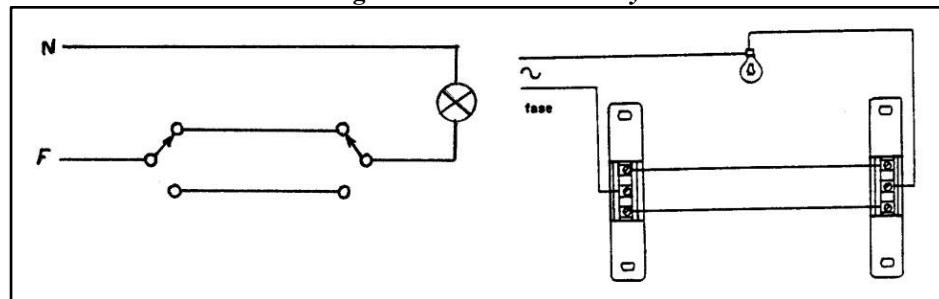
3.1.2 Ação de controle *PID*

A ação de controle do tipo *PID*, proporcional-integral-derivativo, consiste em uma sofisticada ação de controle. Essa ação de controle combina as características dos sistemas de controle proporcional, integral e derivativo. Se comparado a um sistema de controle *on-off*, a implementação de um sistema de controle PID demanda uma gama muito maior de informações do comportamento dos componentes do sistema. Além do rigor matemático associado à modelagem matemática empregada.

3.2 CIRCUITO TREEWAY (CIRCUITO PARALELO)

O circuito *treeway* ou circuito paralelo, representado pela Figura 2, consiste em uma técnica de instalação de interruptores de modo que a mudança do estado do circuito pode ser realizada a partir de qualquer um dos interruptores. Este tipo de ligação é amplamente utilizado para lâmpadas que iluminam escadas e ambientes que necessitam diferentes pontos para acionamento e desligamento de uma ou várias lâmpadas.

Figura 2 – Circuito Treeway

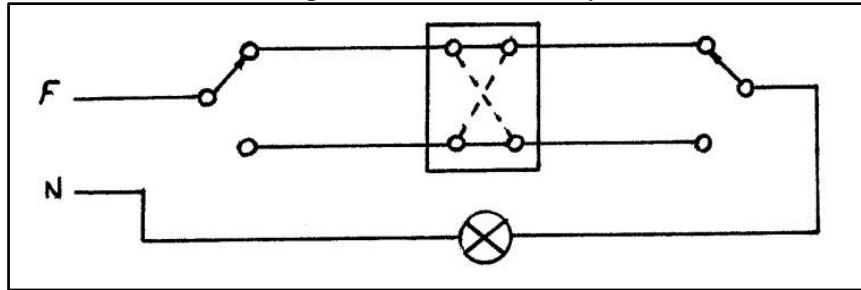


Fonte: Apostila de elétrica, desenho elétrico SENAI – ES, 1996, p. 29.

Uma versão ampliada do circuito *treeway* é o circuito *fourway*, representado pela Figura 3, que faz uso de três interruptores: dois interruptores paralelos comuns e um terceiro interruptor específico colocado no meio da ligação. Deste modo, os três interruptores controlam o estado da lâmpada do circuito.



Figura 3 – Circuito Fourway



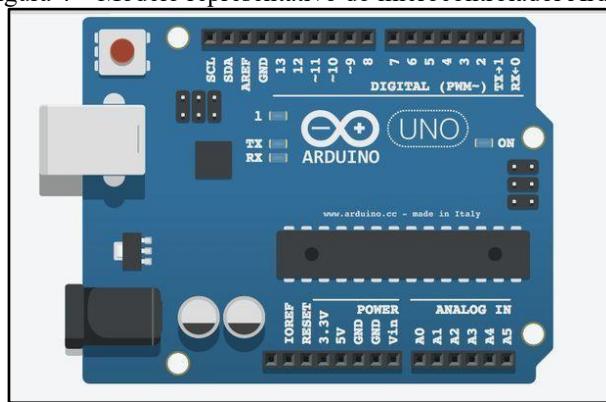
Fonte: Apostila de elétrica, desenho elétrico SENAI – ES, 1996, p. 30.

3.3 PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUINO

A plataforma de prototipagem Arduino, representada pela Figura 4, consiste em uma ferramenta que permite o controle de um circuito eletrônico por meio de uma placa microcontroladora. As informações para a construção dos circuitos e prototipagem eletrônica são facilmente encontradas na *web*, porém, com o caráter puramente didático. Essa plataforma possui toda uma estrutura para a criação de circuitos e a programação dos comandos de maneira muito flexível.

É importante reforçar a ideia que, apesar do Arduino ser denominado como uma placa microcontroladora, este dispositivo possui o diferencial de ser uma plataforma com um ambiente favorável para o desenvolvimento tanto de *hardware* quanto de *software*, além de bibliotecas diversificadas, *shields*, e uma rede de colaboradores que compartilham códigos, circuitos, etc. Outras placas microcontroladoras não oferecem todas estas opções. Deste modo, o Arduino se torna uma ferramenta excelente para a criação e teste de novas idéias e tecnologias.

Figura 4 – Modelo representativo do microcontrolador Arduino



Fonte: Site de projetos - Instructables²

Do ponto de vista comercial a organização responsável pelos direitos e produção da plataforma Arduino exige que no projeto haja a inscrição “ino” no nome do projeto. Entretanto isso não é necessário caso o projeto utilize uma versão *standalone*, ou seja, que faz uso somente do

² Disponível em: <<http://www.instructables.com/id/BEGINNER-ARDUINO/>> Acesso em ago. 2017.

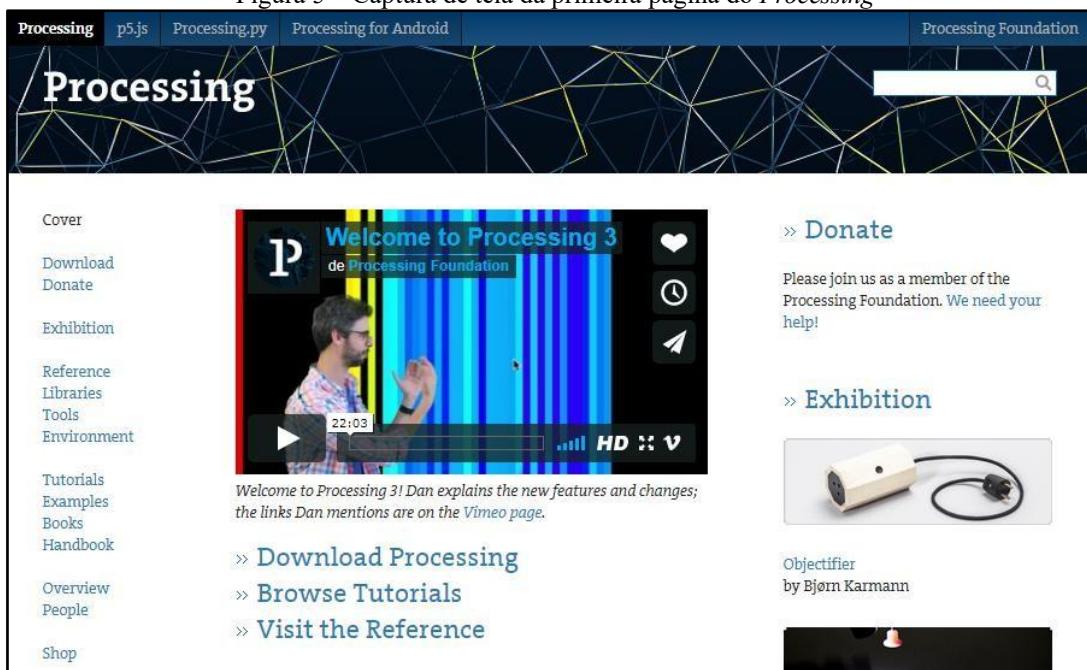


microcontrolador em si (um dos componentes da placa) e não de todos os recursos fornecidos pela plataforma.

3.4 PLATAFORMA DE PROGRAMAÇÃO PROCESSING

O *Processing* é um ambiente de programação gráfica baseado em Java, voltado a desenvolvedores, artistas, estudantes e entusiastas que desejam programar, testar ideias, criar animações e fazer exposições gráficas. Assim como o Arduino, o *Processing* pode ser denominado como uma plataforma. Possui um ambiente de desenvolvimento próprio e consegue comunicar com a plataforma Arduino via comunicação *Serial*, além de processar arquivos de áudio, dados, imagem e texto. O *Processing* surgiu em um ambiente acadêmico em 2004 no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology - MIT*) nos EUA e se popularizou nos anos seguintes. A Figura 5 apresenta a página web na qual é possível realizar o *download* do ambiente de programação e buscar referências sobre as bibliotecas, ideias e projetos.

Figura 5 – Captura de tela da primeira página do *Processing*



Fonte: <https://processing.org/>

O *Processing* é uma plataforma compatível com várias arquiteturas de *hardwares* e sistemas operacionais. O ambiente de programação pode ser executado em dispositivos MAC, Linux, Windows e *Raspbian* (sistema operacional Linux para Raspberry pi).

3.5 RASPBERRY PI

O *Raspberry* é um mini computador do tamanho aproximado de um cartão de crédito. O *Raspberry* surgiu inicialmente como projeto e se desenvolveu a ponto de se tornar uma Fundação. O



objetivo da Fundação Raspberry é oferecer inserção digital a pessoas de várias idades por meio da programação. O Raspberry se popularizou na Inglaterra e em várias partes do mundo. A Fundação oferece suporte a jovens desenvolvedores, designers, professores, hobistas e empresas:

A fundação *Raspberry Pi* trabalha para que o fazer digital chegue às mãos de todas as pessoas de todo o mundo, para que sejam capazes de entender e moldar nosso crescente mundo digital, capazes de resolver os problemas que lhes interessam, e capacitados para os trabalhos no futuro.

Nós fornecemos computadores de baixo custo e alto desempenho que as pessoas usam para aprender, resolver problemas e se divertir. Nós fornecemos atividades de divulgação e educação para ajudar mais pessoas a acessar computação e criação digital. Desenvolvemos recursos gratuitos para ajudar as pessoas a aprender sobre computação e como fazer coisas com computadores, e treinar educadores que podem orientar outras pessoas a aprender³. (*Raspberry Pi Foundation*, 2017)

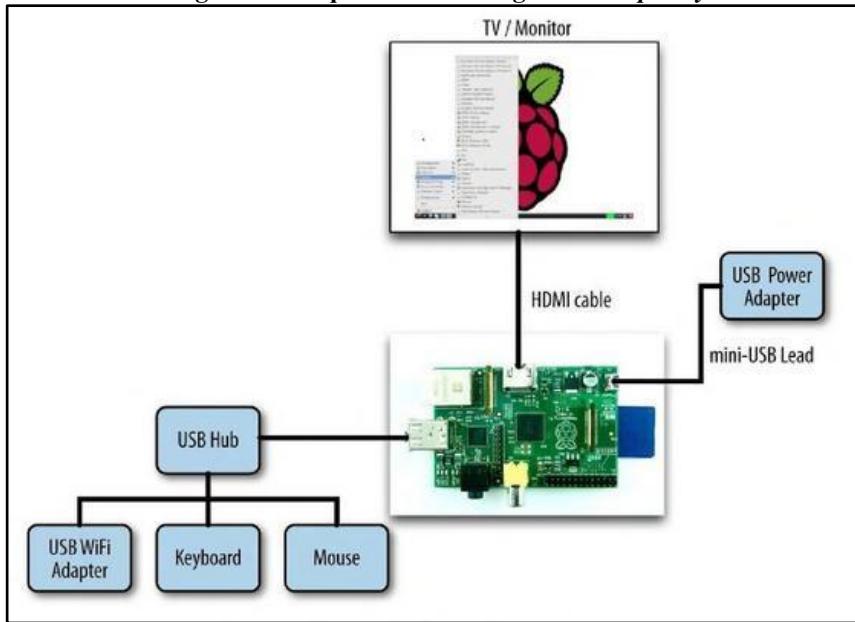
O *Raspberry* pode ser utilizado como um mini computador ou como um mini servidor *web*. Sendo utilizado como um computador, este dispositivo pode ser montado para funcionar de acordo com o esquema apresentado na Figura 6.

³ The Raspberry Pi Foundation works to put the power of digital making into the hands of people all over the world, so they are capable of understanding and shaping our increasingly digital world, able to solve the problems that matter to them, and equipped for the jobs of the future.

We provide low-cost, high-performance computers that people use to learn, solve problems and have fun. We provide outreach and education to help more people access computing and digital making. We develop free resources to help people learn about computing and how to make things with computers, and train educators who can guide other people to learn.

Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>> acessado em jun. 2017.

Figura 6 – Esquema de montagem de *Raspberry*



Fonte: *Raspberry Pi Cookbook*⁴, Simon Monk, 2016.

Além da compatibilidade com diversos periféricos, portabilidade e facilidade de instalação, outra característica interessante do *Raspberry* é o baixo consumo de energia. A Figura 7 apresenta uma Tabela de especificações do *Raspberry Pi 3 Modelo B*.

Figura 7 – Especificações do *Raspberry Pi 3 Modelo B*

Table 1-2. Specifications of the Raspberry Pi 3 Model B

Release Date	February 2016
Architecture	ARMv8
SoC broadcom	BCM2837
CPU	1.2GHz 64-bit quad-core ARM Cortex-A53
GPU	Broadcom VideoCore IV (3D part of GPU @ 300MHz, video part of GPU @ 400MHz)
Memory	1 GB (shared with GPU)
USB	2.0 ports 4
Video output	HDMI rev 1.3 and Composite Video RCA jack
On-board storage	Micro SDHC slot
On-board network	10/100 Mbps Ethernet, Bluetooth, and WiFi
Power source	5V via MicroUSB
Power ratings	800 mA (4W)

Fonte: *Raspberry cookbook*, Simon Monk, 2016.]

3.6 FERRAMENTAS DE *CLOUD COMPUTING*

As ferramentas de *cloud computing* consistem em sistemas *web* que permitem o armazenamento de arquivos na própria rede (*cloud*). Estes arquivos ficam disponíveis à todos os usuários que possuem permissões para acessá-los ou até mesmo editá-los. O Dropbox, Google Drive,

⁴ Disponível em: < https://books.google.com.br/books?id=KkJRAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false > Acesso em ago. 2017.

One Drive são exemplos de ferramentas de *Cloud Computing*. Estas ferramentas têm sido amplamente utilizadas no mundo inteiro e uma hipótese para o uso crescente dessas ferramentas é a necessidade que muitas pessoas e empresas possuem no compartilhamento de informações que sejam comuns a um determinado grupo em que fazem parte. Evidentemente, todos estes sistemas possuem suas políticas de segurança e privacidade além de disponibilizarem um limite para o armazenamento de arquivos na “nuvem” .

Figura 8 – Ferramentas de armazenamento de arquivos em nuvem mais populares



Fonte: Adaptação feita pelo autor das imagens encontradas no Google imagens.

Cada ferramenta de armazenamento de arquivos em “nuvem” possui a sua especificidade. O Google Drive e o One Drive oferecem a opção de edição de arquivos *online*. Todas as ferramentas apresentadas oferecem a opção de edição pelo próprio computador, no entanto o Dropbox é mais versátil em relação ao tempo de sincronização dos arquivos⁵.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram necessários diversos componentes relacionados à parte instrumental, isto é, todos os circuitos e componentes relacionados ao sensor, ao atuador e ao circuito convencional *treeway*. Para a parte de montagem e configuração, foram necessários os dispositivos para compor a unidade controladora, as plataformas para configuração de *hardware* e *software*, as ferramentas e meios necessários para colocar em funcionamento todo o sistema.

4.1 MATERIAIS

Os materiais para a construção do sistema proposto podem ser classificados em duas categorias: os materiais relativos à instrumentação e as ferramentas relativas à simulação do processo e de programação.

⁵ Constatações feitas pelo autor.



4.1.1 Instrumentação

Para a construção de uma unidade do sistema (controle de somente uma lâmpada), os componentes necessários estão listados na Tabela 1. Para o controlador basta apenas uma unidade, pois o mesmo deve ser capaz de controlar várias lâmpadas de uma vez.

A escolha cuidadosa dos componentes e a consulta de preços são importantes para a construção da parte instrumental do sistema, isto é, consiste na parte mecânica, elétrica e eletrônica do projeto. Em outras palavras, consiste na criação e construção do hardware.

Tabela 1 - Lista de componentes necessários para a construção de uma unidade básica do sistema

Componentes necessários para a construção do Sensor
Diodos 1N4007 Resistores Acoplador óptico
Componentes necessários para a construção do Atuador
Conecotor jack DC macho e fêmea Diodos 1N4007 Relé 5V Conecotor borne KRE 3T Transistor BC 548 Resistores
Componentes necessários para a construção do Controlador
Microcontrolador Arduino UNO R3 Fonte 12V plug P4 <i>Raspberry pi model 3B</i>
Componentes necessários para a construção do Sistema (planta)
Interruptor paralelo Soquete de lâmpada Lâmpada Fio paralelo

Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Ferramentas para simulação e programação do processo

Antes de colocar o sistema em funcionamento, é fundamental realizar a simulação do processo ou operação. Esta iniciativa auxilia na diminuição riscos inerentes ao projeto e contribui para a economia de tempo e dinheiro. Os circuitos do sensor, atuador e da planta foram simulados em um programa comercializado pela empresa multinacional *National Instruments: MultiSim 14.1 Student version*. Este programa de computador permite visualizar como será o funcionamento do sistema, assim como auxiliar na escolha adequada dos componentes. Para a programação do processo, as ferramentas utilizadas foram os ambientes de desenvolvimento do Arduino, *Processing* e do console do *Raspberry pi*.

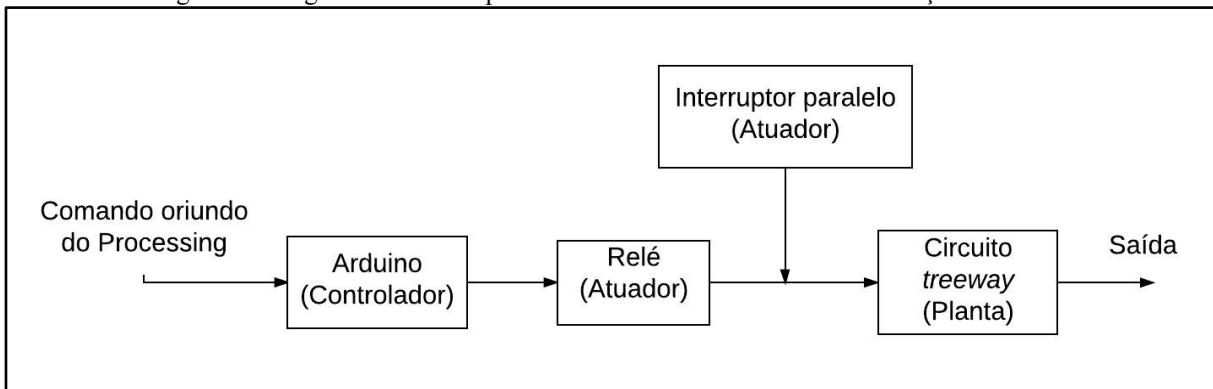
4.2 MÉTODOS

Nesta seção serão explicadas a metodologia e estratégias adotadas para o desenvolvimento do sistema.

4.2.1 Estruturação do sistema de controle

Para o controle do sistema de iluminação a primeira etapa foi o estudo do comportamento do sistema. A Figura 9 apresenta o digrama de blocos estruturado para o controle de uma lâmpada de uma residência.

Figura 9 - Diagrama de blocos para o controle de um sistema de iluminação residencial



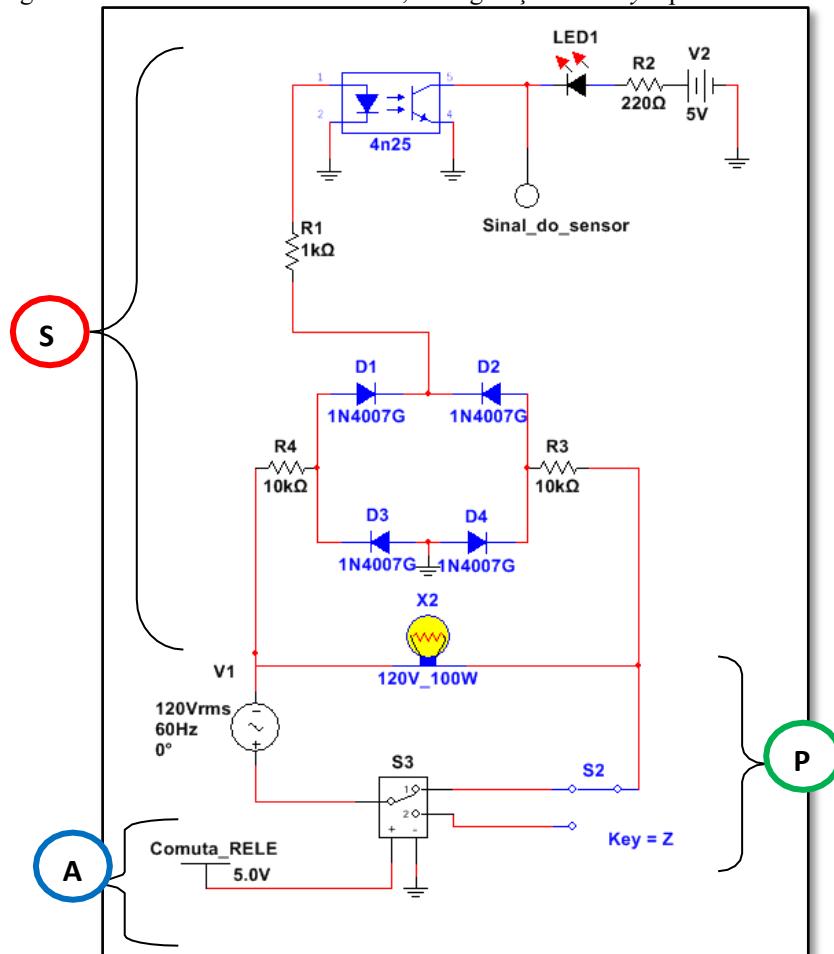
Fonte: Produção do próprio autor.

Para o sistema apresentado na Figura 9, o microcontrolador Arduino atua tanto como controlador, pois envia os sinais elétricos ao relé, quanto como receptor de sinais elétricos do sensor. Neste sistema, o *Processing* atua como unidade de processamento de informações recebidas e repassadas ao Arduino. O interruptor paralelo consiste na outra via de mudança no estado do sistema. Deste modo, o sistema pode ser controlado eletronicamente por meio do relé e mecanicamente por meio da comutação do interruptor paralelo.

4.2.2 Simulação no software MultiSim

O software Multisim 14.1, versão estudante, permitiu a construção do circuito básico de funcionamento do sistema. No circuito representado na Figura 10, o círculo representado por “A” corresponde ao circuito do atuador, “P” corresponde à planta e “S” corresponde à parte do circuito referente ao sensor. Os elementos principais do sensor são a ponte retificadora e o acoplador óptico; o elemento principal da planta é a configuração *treeway* feita com o interruptor paralelo e o relé; e o elemento principal do atuador é o relé.

Figura 10 – Circuito com módulo relé, configuração treeway e ponte retificadora



Fonte: Circuito feito no software Multisim (imagem adaptada).

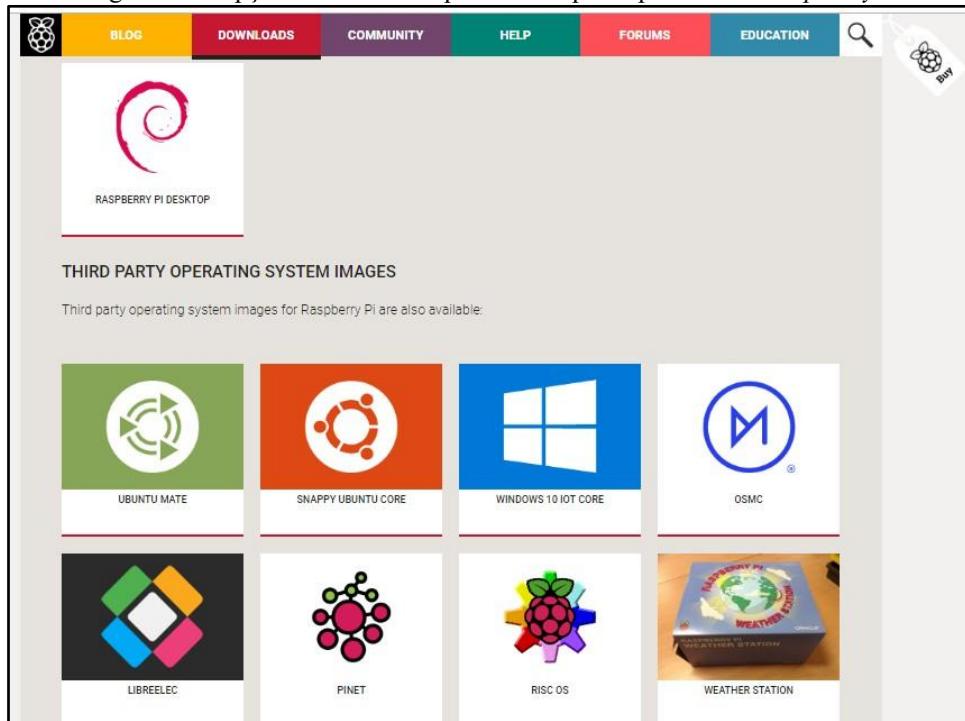
Na Figura 10 onde está indicado “sinal do sensor” refere-se ao sinal que é enviado ao Arduino quando a lâmpada está ligada, ou seja, quando o relé e o interruptor mecânico oferecem as condições para o acionamento da lâmpada. A fonte de 5V indicada na parte superior da Figura 10, refere-se à porta do Arduino que pode ser usada como fonte de alimentação. Deste modo, o sinal recebido pelo Arduino tem origem dele mesmo.

4.2.3 Configuração do Raspberry Pi

A configuração do *Raspberry Pi* é relativamente simples. O procedimento consiste basicamente na gravação do sistema operacional no cartão mini SD. O próprio site do *Raspberry* fornece diversas opções de *downloads* de sistemas operacionais compatíveis com o dispositivo (Figura 11). Alguns destes sistemas operacionais são baseados em Linux. Há também uma versão do Windows 10 (porém destinada às aplicações ligadas à Internet das Coisas).



Figura 11 – Opções de sistemas operacionais para operarem no *Raspberry Pi*



Fonte: Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/downloads/>> Acesso em ago. 2017

O sistema operacional escolhido para o projeto em questão foi o *Raspbian*. Este sistema é baseado no sistema operacional Debian, do Linux. Através de consulta fóruns e rede de compartilhamento de códigos, como o Github, por exemplo, a configuração do *Raspbian* se torna relativamente simples. Uma vez instalado, o sistema operacional o próximo passo consiste em instalar as aplicações que serão importantes para o funcionamento do sistema. Essas aplicações são instaladas por meio da inserção de linhas de comando no terminal.

4.2.4 Criação da interface gráfica no *Processing*

A interface gráfica no *Processing* tem como função principal a apresentação de uma imagem que represente os cômodos iluminados na residência. Uma planta baixa é ideal para realizar esta representação. Deste modo, o *Processing* é configurado para buscar as informações que indicam o estado desejado para as lâmpadas (ligado ou desligado). Ao clicar em cima da imagem, na área delimitada pelo cômodo, haverá uma mudança de estado (Figura 12). O *Processing* desenha um retângulo amarelo transparente em cima da área clicada para indicar que a lâmpada está ligada. O retângulo é removido quando ocorre um novo clique indicando que a lâmpada está desligada.

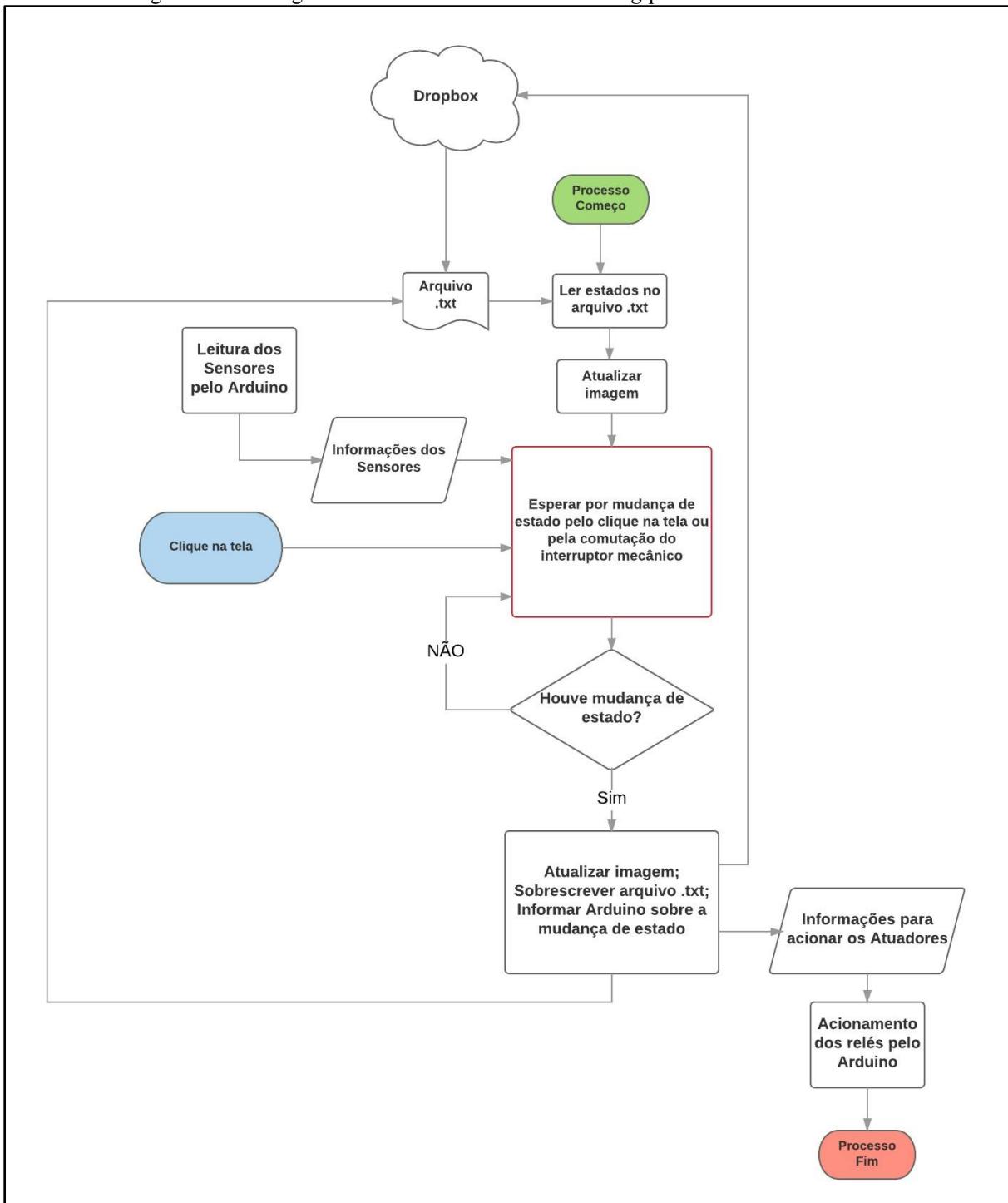
Figura 12 - Criação da interface gráfica que será apresentada ao usuário



Fonte: Próprio autor.

O funcionamento geral da lógica aplicada ao código feito no ambiente de desenvolvimento do *Processing* e a relação com os demais componentes do sistema de controle estão detalhados no fluxograma apresentado na Figura 13. Em linhas gerais o *Processing* tem como função acessar e salvar informações no arquivo com a extensão *.txt* receber informações dos sensores conectados ao Arduino e ordenar que o mesmo acione os atuadores quando necessário.

Figura 13 – Fluxograma de funcionamento do *Processing* para as decisões de controle



Fonte: Próprio autor.

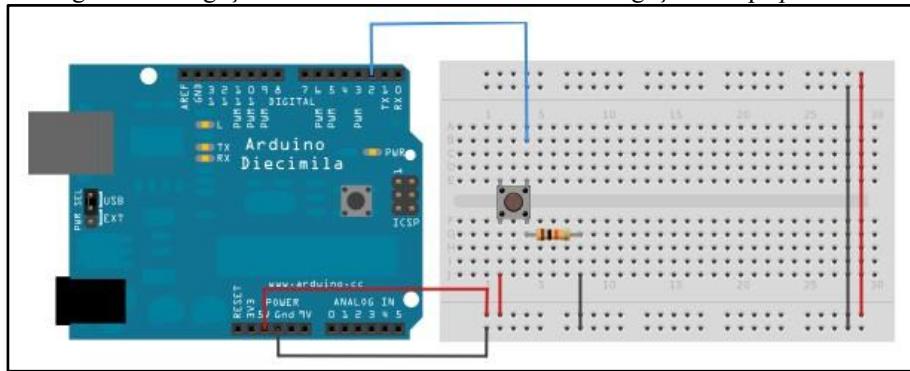
4.2.5 Configuração do Arduino

A configuração do Arduino é relativamente simples. Para a montagem do sistema é necessário que os fios estejam bem conectados visto que os sinais tanto dos sensores quanto dos atuadores são interruptos. Outro ponto importante é a conexão USB estabelecida entre o Arduino e o *Raspberry*. As informações enviadas e recebidas pelo Arduino são repassadas via comunicação

Serial pela porta USB. Deste modo para que o sistema funcione corretamente, a comunicação *Serial* do Arduino deve estar inteiramente disponível para comunicar com o *Processing*.

O sensor em si é o circuito de um módulo relé que atua como chave eletrônica normal aberta. Para que o Arduino interprete corretamente o sinal é necessário colocar um resistor *pull-down*. A Figura 14 apresenta a maneira com que o relé deve ser ligado para que o sinal de 5V chegue adequadamente ao Arduino quando a lâmpada estiver ligada.

Figura 14 – Ligação de uma chave Normal Aberta - Ligação do tipo *pull-down*



Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Button>

Para interpretação da ligação do tipo *pull-down*, representado na Figura 14, o raciocínio é o seguinte: o sinal de 5V sai da porta do Arduino e segue direto à um dos terminais do botão (interruptor); no outro terminal liga-se o fio azul à porta onde será enviado o sinal na ocasião na qual o interruptor é acionado; no mesmo terminal liga-se um resistor (acima de $10\text{k}\Omega$) ao terra. Deste modo, se o botão estiver desligado o sinal que chegará à porta do Arduino será de 0V, e caso seja acionado o botão o sinal será de 5V, visto que o resistor garante a passagem da maior parte da corrente para a porta do Arduino. A denominação *pull-down* indica que na condição normal (sem acionamento) o sinal que chega à porta do Arduino é um “sinal de baixa”, isto é, de 0V.

A origem do sinal de 5V é a própria porta de alimentação do Arduino. Caso esta porta de alimentação seja utilizada por muitos dispositivos, há um risco na qualidade do sinal, visto que sobrecarrega o Arduino.

O módulo de relés que servirão para o controle eletrônico das lâmpadas possui alimentação provida de uma fonte externa. No entanto o sinal que chega na base do transistor (ou acoplador óptico) vem das portas digitais do Arduino.

4.2.6 Configuração do Dropbox em várias plataformas

A configuração do Dropbox é específica para cada plataforma utilizada. A versão *desktop* é facilmente configurável nas plataformas Windows, Linux e MAC. Para o *Raspberry* e para *tablets/smartphones* é necessário o uso de programas auxiliares.



No *Raspberry*, o Dropbox é configurado através do download dos arquivos via linha de comandos. Trata-se de uma versão especial para desenvolvedores. No celular, o Dropbox permite apenas o acesso aos arquivos diretamente na “nuvem” de modo que os arquivos podem ser visualizados mas não estão gravados na memória do dispositivo. Para que o arquivo desejado fosse salvo na memória do dispositivo foi necessária a instalação de uma aplicação específica para esta finalidade: o *Dropsync files* que permite a sincronização com a nuvem após o salvamento do arquivo.

A função principal do Dropbox é tornar acessível o arquivo com a extensão.txt para todas as plataformas que estejam executando a interface gráfica criada no *Processing*. A sincronização é um aspecto que deve ser levado em consideração para o bom funcionamento do sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte do trabalho serão realizadas análises sobre a implementação do sistema de controle assim como as implicações durante a fase de testes. Uma análise simplificada de custos também foi acrescentada a fim de verificar a viabilidade econômica de implementação do sistema.

5.1 ANÁLISE SOBRE O FUNCIONAMENTO DA INTERFACE GRÁFICA

A justificativa desta escolha se deve ao fato de tornar a ideia apresentável a um usuário comum. Uma interface gráfica amigável é o meio de contato entre usuário e sistema. Esta parte possibilitou levantar alguns pontos que seriam interessantes para o usuário:

- Ao clicar na tela é importante que o acionamento seja o mais rápido possível;
- A interface gráfica deve ser intuitiva e fiel à estrutura da residência;
- Uma notificação de que houve a mudança de estado daria a segurança de que a ação de fato foi realizada;
- Uma tela inicial que solicite ao usuário um senha seria muito conveniente para garantir ao usuário de que somente ele e pessoas autorizadas tenham acesso ao controle das lâmpadas da residência.

Para este projeto, apenas os dois primeiros pontos foram valorizados. Visto que não foram encontradas formas práticas de resolver os demais. Todavia todos estes pontos devem ser levados em consideração na hipótese que esta ideia possa ser convertida em um produto ou serviço.

5.2 ANÁLISE SOBRE A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE BÁSICA DO SISTEMA

No que diz respeito à construção em si, não foi possível a aquisição de todos os componentes elétricos e eletrônicos do circuito comandado apresentado na Figura 12. A princípio, a análise ficou reduzida apenas a um único circuito base. O objetivo desta montagem era justamente avaliar o

comportamento do atuador e do sensor. Para uma unidade básica do sistema (círculo de uma única lâmpada) o Arduino deve realizar precisamente a leitura do sinal do sensor e enviar um sinal consistente para o atuador.

Ao utilizar muitos fios durante a montagem, verificou-se que a leitura do sinal elétrico do sensor não era precisa. O sinal era descontínuo, característica indesejável para o sistema, pois poderia ocorrer que a lâmpada estivesse ligada, mas seriam enviadas informações ao *Processing* que o sistema estaria desativado, de modo à apresentar uma informação inverídica ao usuário que estivesse em contato com a interface gráfica localmente ou remotamente, o que seria pior. Para o atuador, o Arduino funcionou perfeitamente, não havendo nenhum desequilíbrio no sinal. No entanto, não houve a construção do circuito responsável por assegurar a posição (estado de acionamento) do relé. Deste modo, caso ocorra uma falha no acionamento do sistema de alimentação do Arduino, é provável que haja um desligamento ou até mesmo o acionamento indesejável da lâmpada durante o intervalo de tempo correspondente à interrupção.

A Figura 15 apresenta o teste de funcionamento do sistema a partir da associação de todos os componentes. A lâmpada em funcionamento (lado esquerdo da Figura 15) foi acionada eletronicamente.

Figura 15 - Teste do funcionamento do sistema no *Raspberry pi*



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 16 apresenta os componentes do circuito em funcionamento. O interruptor com a inscrição “A” na parte inferior esquerda da Figura 16, indica a possibilidade de desligar a lâmpada mecanicamente. Para esta montagem, optou-se por utilizar um carregador de telefone celular para substituir a parte do circuito do sensor responsável por converter a corrente alternada em corrente contínua (ponte retificadora). Devido às instabilidades nos sinais de saída do acoplador óptico, foi utilizado um módulo relé no lugar do mesmo. Observou-se que o acionamento do relé do

sensor (instalado como chave eletrônica normal aberta no Arduino) pelo carregador de celular não era imediato, porém o sinal que chegava ao Arduino era uniforme.

Figura 16 – Teste dos componentes do sistema (à esquerda) e resultado do acionamento da primeira lâmpada (à direita)



Fonte: Produção do próprio autor

O lado esquerdo da Figura 16 corresponde ao resultado do acionamento da lâmpada na interface gráfica realizada feita no *Processing*. À medida que aumentam a quantidade de sensores e atuadores conectados ao Arduino, maior é a complexidade das ligações. Este primeiro teste mostra a importância da criação de manuais de instalação e manutenção. Do ponto de vista comercial, deixar muitos fios expostos conferem uma imagem negativa ao produto. Deste modo, para a situação de funcionamento normal, os fios devem estar alocados no interior de conduítes. Os sensores, atuadores e o microcontrolador estariam em caixas próprias para componentes elétricos em respeito às condições de segurança. O que seria apresentado, de fato, ao usuário seriam somente as lâmpadas e o painel.

5.3 ANÁLISE DAS LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS NO SISTEMA

O controlador deste sistema não foi modelado seguindo as metodologias clássicas de modelagem de sistemas de controle moderno. De modo que não foi necessária a abordagem que envolvesse o domínio da frequência. Todos os métodos foram aplicados diretamente no domínio do tempo.

As atividades do controlador foram determinadas de maneira pragmática, ou seja, o Arduino foi programado exclusivamente para recolher as informações e deixá-las à disposição do *Processing*. O Arduino só aciona o atuador quando o usuário solicita a mudança de estado pelo *Processing*. Deste modo, o Arduino foi programado para ser um dispositivo executor de tarefas enquanto o *Processing* foi programado para ser o gerenciamento das tarefas e informações.

A respeito da passagem de informações entre o *Processing* e o Arduino, a comunicação entre o Arduino e o *Processing* via *USB Serial* é muito limitada. Quando as informações são transmitidas



no sentido *Processing* para o *Arduino*, só é possível enviar um caractere de texto por vez. Quando isto ocorre no sentido *Arduino* para o *Processing*, só é possível enviar um número por vez (este número é qualquer inteiro entre 0 e 255). Tais particularidades exigem boas práticas de programação e muita astúcia por parte dos programadores dos códigos que serão compilados nessas plataformas⁶.

Existem outras linguagens de programação que poderiam ser utilizadas neste projeto, como por exemplo, a linguagem *Python*. A linguagem *Python* é bastante cogitada em projetos com *Raspberry pi*. Inclusive, o próprio sistema operacional *Raspbian* já vem com o ambiente de desenvolvimento pronto para o mesmo. Independentemente da linguagem de programação adotada para processar informações advindas do *Arduino*, é fundamental que o resultado esteja alinhado com as expectativas do usuário.

5.4 ANÁLISE SOBRE O TEMPO DE SINCRONIZAÇÃO

Ao salvar o arquivo de dados na pasta sincronizada com o *Dropbox* verificou-se o tempo de sincronização do arquivo de texto com base na plataforma utilizada. Tomando-se o *Raspberry* como computador principal os tempos necessários para que as informações com a “nuvem” foram:

Tabela 2 - Tempos de sincronização do arquivo de dados do sistema no *Dropbox*

Interface gráfica de origem do comando	Tempo de sincronização (em segundos)
<i>Raspberry</i> (conectado ao <i>Arduino</i>)	Necessita ação do usuário ⁶
<i>Notebook</i>	2
<i>Celular</i>	38
<i>Tablet</i>	19

Fonte: Dispositivos de propriedade do autor.⁶ A versão do *Dropbox* disponível para a família *Raspberry Pi* não sincroniza automaticamente as mudanças nos arquivos. O usuário deve fazer por conta própria a sincronização por meio de linhas de comandos no terminal.

Apesar da dificuldade de sincronização com o *Dropbox*, o *Raspberry* é muito eficaz no comando local, ou seja, no acionamento sem a necessidade de conexão com a internet. Ao ser acessado e controlado de forma remota, o tempo de resposta vai depender da capacidade de processamento da plataforma em que a interface gráfica é executada e também a qualidade da conexão com a internet.

5.5 BREVE ESTUDO SOBRE CUSTOS

Avaliar a quantidade de recurso financeiro empregado em um projeto é de fundamental importância tanto para o fabricante quanto para o consumidor. O projeto em questão ainda está em fase de protótipo, deste modo é provável que haja muita discrepância em relação às quantidades e preços adotados. O estudo sobre custos foi restrinido ao custo relativo dos componentes fundamentais. A lâmpada em si não foi acrescentada, pois partiu-se da hipótese que o sistema de iluminação da residência já existia. O novo projeto conservaria as características do sistema anterior

e ofereceria as vantagens do controle eletrônico. A Tabela 3 reúne a lista de quantidade e preços dos materiais que ofereceram melhor desempenho na fase de testes.

Tabela 3 - Tabela de preços dos itens que tiveram bom desempenho na primeira fase de testes

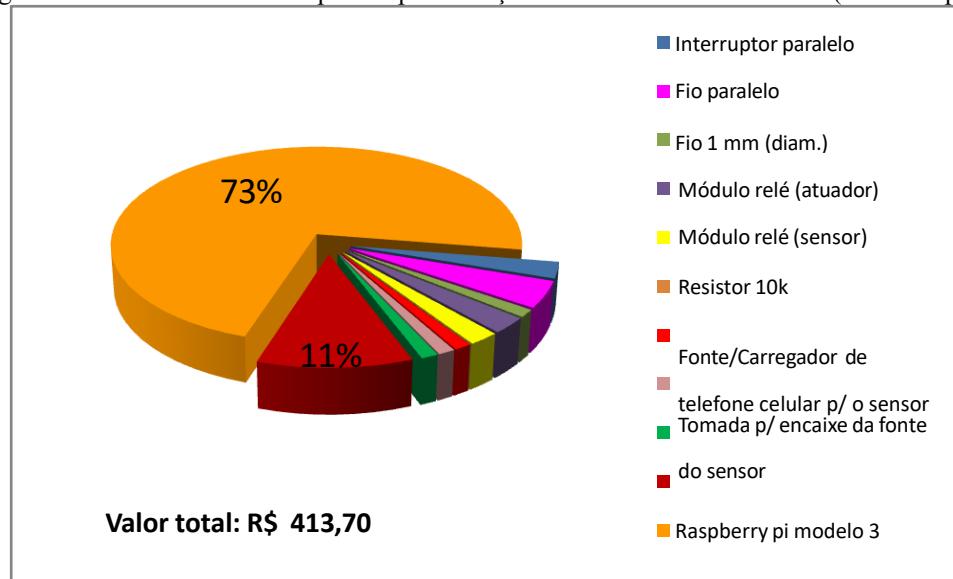
Item	Valor unitário	Quantidade básica	Total (un. Básica)	Quantidade ref. à toda residência	Total (11 un.)
Interruptor paralelo	R\$ 10,90	1	R\$ 10,90	11	R\$ 119,90
Fio paralelo	R\$ 1,50	12	R\$ 18,00	132	R\$ 198,00
Fio 1 mm (diam.)	R\$ 0,65	8	R\$ 5,20	88	R\$ 57,20
Módulo relé (atuador)	R\$ 10,90	1	R\$ 10,90	11	R\$ 119,90
Módulo relé (sensor)	R\$ 8,90	1	R\$ 8,90	11	R\$ 97,90
Resistor 10k	R\$ 0,10	1	R\$ 0,10	11	R\$ 1,10
Fonte/Carregador de telefone celular p/ o sensor	R\$ 5,00	1	R\$ 5,00	11	R\$ 55,00
Tomada p/ encaixe da fonte do sensor	R\$ 4,90	1	R\$ 4,90	11	R\$ 53,90
Fonte para alimentação do relé (atuador)	R\$ 5,00	1	R\$ 5,00	11	R\$ 55,00
Microcontrolador Arduino	R\$ 44,90	1	R\$ 44,90	1	R\$ 74,90 ⁷
Raspberry pi modelo 3	R\$ 299,90	1	R\$ 299,90	1	R\$ 299,90
				R\$ 413,70	1.132,70

Fonte: Lojas de materiais eletro eletrônicos.⁷ Valor correspondente à uma placa do Arduino Mega que possui um número maior de portas digitais.

A Tabela 3 diferencia-se da Tabela 1 no que se refere ao modo de implementação do sistema. Os itens da Tabela 1 são para a condição de construção de todas as placas de sensores e atuadores, essa opção demandaria mais tempo para a produção. A Tabela 3 parte do pressuposto que o sistema será desenvolvido a partir de módulos prontos, ou seja, módulos que demandam apenas a montagem e regulagem, o que demandaria menos tempo para a produção.

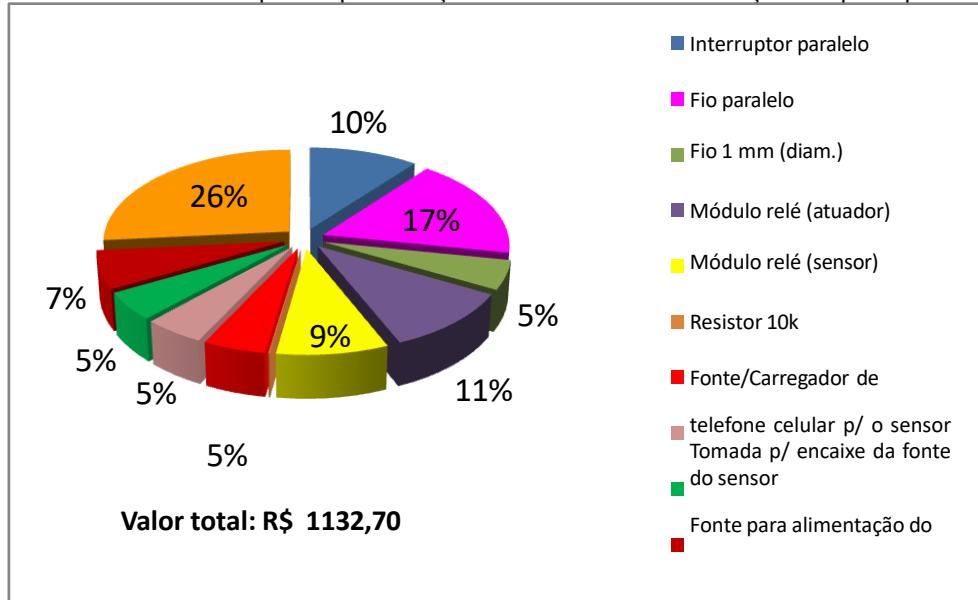
Com base na Tabela 3, as Figuras 17 e 18 apresentam os resultados do estudo sobre custos dos componentes fundamentais para a implementação do sistema.

Figura 17 - Estudo sobre custos para implementação de uma unidade do sistema (única lâmpada)



Fonte: Valores apresentados na Tabela 3.

Figura 18 - Estudo sobre custos para implementação de um sistema de iluminação composto por 11 lâmpadas



Fonte: Valores apresentados na Tabela 3.

Os valores referentes à unidade controladora composta pelo *Raspberry* e o *Arduino* nas Figuras 17 e 18 possuem pouca variação. Apesar de o conjunto controlador (*Raspberry- Arduino*) corresponder a 84% do investimento de implementação do projeto este percentual tende a cair a medida que são aumentados o número de lâmpadas a serem controladas. Como apresentado na Figura 18, a parcela de custo correspondente ao conjunto controlador equivale à 33%.

Em termos percentuais, os valores dos sensores, atuadores e fontes de alimentação são equivalentes. Uma estratégia para a redução dos custos está na negociação acerca dos preços dos componentes à nível de atacado e varejo.

A construção dos módulos pode ser uma alternativa para a redução dos custos. No entanto, necessita maior conhecimento em eletrônica, procedimentos formais e normas de segurança.



Para fins de substituição ou complementação do sistema de acionamento das lâmpadas existente (acionamento mecânico), o sistema de controle apresentado é uma alternativa muito cara. No entanto, a melhora dos sensores e atuadores, assim como das técnicas de proteção e configuração destes equipamentos são formas de tornar o projeto mais atrativo ao consumidor.

5.6 ANÁLISE SOBRE OS PONTOS CRÍTICOS E SUGESTÕES PARA MELHORIAS

O protótipo apresentado neste trabalho ainda está na fase de testes. E ao colocá-lo em funcionamento foi possível direcionar quais seriam os pontos críticos para o sistema de controle das lâmpadas em uma residência com base nas técnicas e tecnologias propostas. Os pontos críticos foram classificados em duas categorias: pontos críticos relacionados aos *hardwares* e pontos críticos relacionados aos *softwares*:

5.6.1 Pontos críticos relacionados ao *hardware*

Os pontos críticos que estão relacionados com o *hardware* estão relacionados principalmente com o Arduino, a placa dos sensores e atuadores. São eles:

- Excesso de fios que chegam e saem do Arduino;
- Risco de mau contato e curto circuito dos fios que ligam os sensores e atuadores ao Arduino;
- Dificuldade de alocação dos sensores e atuadores no caso de um sistema real;
- Exige maior rigor na confecção dos contatos e terminais elétricos.

De maneira geral, os problemas estão associados aos fios de ligação e na qualidade dos dispositivos em si, tanto sensores quanto atuadores. O nível de exigência na qualidade dos sensores é maior que dos atuadores. O tempo de atualização da tela depende do tempo de resposta dos sensores. E as análises de causa e efeito sobre o comportamento tanto dos sensores quanto dos atuadores não foram realizadas neste trabalho.

5.6.2 Pontos críticos relacionados ao *software*

O bom funcionamento do *software* está intimamente ligado ao bom funcionamento do *hardware*. Para atuar corretamente, o *Processing*, executado no *Raspberry*, depende das informações fornecidas pelo Arduino. É com base nas informações que as tomadas de decisão (ações de controle) serão efetuadas adequadamente. O *software* ainda é muito aberto ao usuário comum, que possui acesso inclusive ao código fonte utilizado no *Processing*. A execução da interface gráfica ocorre através da compilação do *script* de modo que qualquer mudança no código pode influenciar no resultado final. Resumidamente, os pontos críticos relacionados ao *software* são:



- Vulnerabilidade do arquivo de armazenamento de dados, uma vez que fica disponível no dispositivo que está conectado ao sistema;
- Há uma quantidade significativa de passos para que o usuário ligue o sistema;
- A execução por meios de linhas de comandos no *Raspberry* é pouco convencional ao usuário comum;
- Dificuldade de sincronização com o *Dropbox* por meio de dispositivos remotos.

De maneira geral, os pontos críticos relacionados ao *software* estão intimamente ligados às técnicas empregadas para a construção da interface gráfica, do armazenamento proteção das informações.

5.7 PONTOS POSITIVOS SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A despeito das dificuldades relacionadas ao hardware e software, apresentadas na Seção 5.6. O sistema projetado oferece maior comodidade ao usuário, que fica informado sobre o funcionamento das lâmpadas de sua residência e pode realizar o controle das mesmas pelo modo tradicional ou pela tela de um computador, *tablet* ou *smartphone* de modo à contribuir para o consumo racional de energia elétrica,

O custo de implantação do sistema é relativamente alto. Todavia, os materiais utilizados no protótipo são de fácil instalação. A praticidade, na instalação, é um parâmetro importante para que o sistema se torne comercializável.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas ferramentas de programação, prototipagem eletrônica, *cloud computing* que, associadas adequadamente, possibilitam a criação de um sistema de controle do sistema de iluminação de uma residência. O conhecimento de instrumentação, circuitos elétricos/eletônicos e técnicas de controle e automação tiveram papel importante para o desenvolvimento do projeto.

A simulação realizada no *software* Multisim 14.1, permitiu que fossem tomadas decisões importantes para o desenvolvimento do projeto. No entanto, houve dificuldades no momento de confecção das placas dos sensores e atuadores. As dificuldades sujeitaram a aquisição de módulos relés manufaturados. Esta mudança provocou um ganho em tempo de fabricação, no entanto com custos relativamente elevados.

A unidade instalada e testada possuiu funcionamento rápido em nível local, mecanicamente e eletronicamente. O funcionamento foi demorado quando o sistema foi conectado à internet devido à



demora na sincronização das informações com o Dropbox. O Dropbox, por sua vez, necessita de condições especiais de operação para cada plataforma utilizada.

O sistema carece de melhorias tanto em *hardware* quanto em *software*. No que concerne a melhorias em *hardware* é necessário desenvolver técnicas que possibilitem a facilidade de instalação e redução de riscos relacionados a curto circuito além de redução na quantidade de fios. Para a melhoria dos *softwares* empregados no Arduino e no *Processing* torna-se necessário o estudo de técnicas de programação, proteção e associação de sistemas.

Finalmente, o estudo dos custos dos componentes principais do sistema permitiu avaliar a necessidade de otimização dos componentes para que a ideia seja mais atrativa ao potencial consumidor, dos produtos e serviços, do sistema de controle projetado.



REFERÊNCIAS

Arduino Button. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Button>> . Acesso em: 10 set. 2017.

Casa & Construção. Consulta de preço: interruptor paralelo. Disponível em: <<http://www.cec.com.br/material-eletrico/interruptor/paralelo/1-interruptor-paralelo-4x2-brava-branco?produto=1161349>>. Acesso em: 10 set. 2017.

Casa & Construção. Consulta de preço: tomada. Disponível em: <<http://busca.cec.com.br/busca?q=tomada>> . Acesso em: 10 set. 2017.

FlipFlop Componentes Eletrônicos. Consulta de preço: Arduino MEGA 2560 R3. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-mega-2560-r3-cabo-usb-para-arduino>>. Acesso em: 10 set. 2017.

FlipFlop Componentes Eletrônicos. Consulta de preço: Arduino UNO R3. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino>> . Acesso em: 10 set. 2017.

FlipFlop Componentes Eletrônicos. Consulta de preço: modulo relé 5V. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-1-canal>> . Acesso em 10: set. 2017.

FlipFlop Componentes Eletrônicos. Consulta de preço: Raspberry pi model B. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/raspberry-pi-3-model-b>> . Acesso em: 10 set. 2017.

Instructables: Projetos com Arduino. Disponível em: <<http://www.instructables.com/id/BEGINNER-ARDUINO>> . Acesso em: 14 jun. 2017.

Leroy Merlin. Consulta de preço: cabos de energia. Disponível em: <<http://www.leroymerlin.com.br/cabos-de-energia>> Acesso em: 10 set. 2017.

Mercado Livre. Consulta de preço: Raspberry pi model B. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-795771372-carregador-v8-travel-lg-sony-samsung-motorola-original-_JM> . Acesso em: 10 set. 2017.

MONK, Simon; Raspberry cookbook 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=KkJRAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 ago. 2017.

OGATA, K. Introdução aos sistemas de controle. In: OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 5 ed. São Paulo. Prentice Hall, 2010. p.2-7.

OGATA, K. Sistemas de controle automático. In: OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 5 ed. São Paulo. Prentice Hall, 2010. p.14-24.

Processing. Disponível em: <<https://processing.org/>> . Acesso: em 14 jun. 2017.

Raspberry downloads. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/downloads/>> Acesso em 23 ago. 2017



Raspberry pi Foundation. About us. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Acesso em 21 jun. 2017.

SENAI – ES. Apostila de elétrica, desenho elétrico. Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). Vitória. 1996. p.29-30.