

Henrique Sussumu Matsui Kano & Mi Che Li Lee

Sistema de Monitoramento Residencial de Uso de Energia

São Paulo

2015

Henrique Sussumu Matsui Kano & Mi Che Li Lee

Sistema de Monitoramento Residencial de Uso de Energia

Trabalho de formatura apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a conclusão do curso de graduação em Engenharia de Computação

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia da Computação e Sistemas Digitais

Orientador: Professor Doutor Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo
2015

Catalogação-na-publicação

Kano, Henrique

Sistema de monitoramento residencial de uso de energia / H. Kano, M. Lee –
São Paulo, 2015.

77 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. De-
partamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. SENSOR. 2. COMPUTAÇÃO MÓVEL. 3. CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA. 4. INTERNET. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II. t. III. Lee, Mi

Agradecimentos

Agradeço minha família pelo suporte emocional.

Ao professor orientador pela orientação e dedicação constante ao trabalho.

Aos técnicos Fátima, Daniel do labdigi e Marcelo do labmicro pelo suporte técnico dado.

Ao pessoal da DevTecnologia pela orientação inicial.

Aos meus amigos que sempre deram o suporte nas horas difíceis.

Henrique Sussumu Matsui Kano

Enfim, a jornada foi longa e sem ajuda eu não teria chegado até aqui. Por isso eu quero dizer que estou muito grata por tudo que aconteceu, seja fácil ou difícil. Eu sou grata pelas minhas amizades formadas desde o primeiro ano da Poli. Quero agradecer pelo constante apoio da minha família. Admiro a paciência dos técnicos dos laboratórios do PCS. Sou grata pelo nosso orientador e por todos os nossos professores, por compartilhar suas experiências, nos ajudando da melhor forma possível. E sou muitíssimo grata pela minha igreja e a Deus, por ter me provido tudo que eu precisava.

Mi Che Li Lee

Resumo

O trabalho proposto investiga uma maneira de construir um sistema de monitoramento de consumo de energia em uma residência domiciliar com um baixo investimento e de fácil montagem. O sistema também propõe o uso de serviços, recursos e ferramentas gratuitos para o desenvolvimento de uma interface amigável para a análise dos dados de consumo e gerenciamento dos recursos do sistema.

Palavras-chaves: IoT. Rede de Sensores sem fio. Computação em nuvem. Consumo de Energia Elétrica.

Abstract

This paper investigates a way to build a system for residence energy consumption monitoring with a low investment cost and ease to assemble. The proposed system uses services, resources and tools that converges to a user friendly interface so that data collected may be easily analyzed by the user and system resources distribution organized by this interface.

Key-words: IoT. Wireless Sensor Network. Cloud Computing. Electric Power Consumption.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura MVC	19
Figura 2 – Topologia de uma rede zigbee	21
Figura 3 – Esquema do Projeto	23
Figura 4 – Diagrama de implantação	24
Figura 5 – Diagrama de blocos do circuito que verifica a tensão	26
Figura 6 – Non-invasive AC current sensor	27
Figura 7 – Raspberry pi 2 modelo B	28
Figura 8 – Arduino UNO R3	29
Figura 9 – XBee Serie 2	30
Figura 10 – XBee Explorer Dongle	31
Figura 11 – XBee shield do arduino UNO	31
Figura 12 – Headers usados no XBee shield	32
Figura 13 – Diagrama de Classes	32
Figura 14 – Diagrama de Navegação	36
Figura 15 – Listagem de equipamentos	54
Figura 16 – Criar meta	54
Figura 17 – AES	55
Figura 18 – Configurações	55
Figura 19 – Adaptador wifi usado no raspberry	57
Figura 20 – Teste de comunicação: Módulo Coordenador	58
Figura 21 – Teste de comunicação: Módulo Sensor	58
Figura 22 – Teste de comunicação: Montagem	59
Figura 23 – Teste de comunicação Raspberry e Arduino	60
Figura 24 – Teste do transformador	60
Figura 25 – Teste de medição de voltagem	61
Figura 26 – Teste de medição de voltagem com arduino - saída do osciloscópio	61
Figura 27 – Medição com amperímetro	62
Figura 28 – Teste de medição da corrente e voltagem	62
Figura 29 – Teste de criação de sensor e de consumo	68

Lista de tabelas

Tabela 1 – casos de uso.	37
Tabela 2 – Orçamento do projeto.	77

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo	17
1.2	Motivação	17
1.3	Justificativa	17
1.4	Organização	18
2	ASPECTOS CONCEITUAIS	19
2.1	Arquitetura MVC	19
2.2	Wireless Sensor Network	20
2.3	Padrão ZigBee e o XBee	20
2.4	Topologias de Rede	21
3	ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO	23
3.1	Escopo	23
3.2	Funções do Sistema	24
3.3	Requisitos não Funcionais	25
3.4	Premissas	25
3.5	Hardware	25
3.5.1	Módulo sensor	25
3.5.2	Coordenador	26
3.5.3	Circuitos	26
3.5.3.1	Verificador de Tensão	26
3.5.4	Peças	27
3.5.4.1	Sensor de Corrente Não-invasivo AC	27
3.5.4.2	Raspberry Pi 2 modelo B	28
3.5.4.3	Arduino UNO	29
3.5.4.4	XBee	30
3.5.4.5	XBee Explorer Dongle	31
3.5.4.6	XBee Shield	31
3.5.4.7	Arduino Stackable Header Kit - R3	32
3.6	Software	32
3.6.1	Classes e atributos	32
3.6.1.1	Equipment	33
3.6.1.2	Sensor	33
3.6.1.3	Consumption	33

3.6.1.4	User	34
3.6.1.5	Goal	34
3.6.1.6	AESRate	35
3.6.2	Atores	36
3.6.3	Casos de uso	36
3.6.4	Descrição dos casos de uso	36
3.6.4.1	Caso de Uso 1: Gerenciar conta	36
3.6.4.2	Caso de Uso 1.1: Fazer cadastro	36
3.6.4.3	Caso de Uso 1.2: Fazer login	38
3.6.4.4	Caso de Uso 1.3: Fazer logout	38
3.6.4.5	Caso de Uso 1.4: Recuperar senha	39
3.6.4.6	Caso de Uso 2: Gerenciar equipamentos	40
3.6.4.7	Caso de Uso 2.1: Criar equipamento	40
3.6.4.8	Caso de Uso 2.2: Editar equipamento	40
3.6.4.9	Caso de Uso 2.3: Remover equipamento	41
3.6.4.10	Caso de Uso 3: Gerenciar sensores	42
3.6.4.11	Caso de Uso 3.1: Detectar sensor	42
3.6.4.12	Caso de Uso 3.2: Editar sensor	42
3.6.4.13	Caso de Uso 3.3: Remover sensor	43
3.6.4.14	Caso de Uso 4: Gerenciar metas	43
3.6.4.15	Caso de Uso 4.1: Criar meta	43
3.6.4.16	Caso de Uso 4.2: Editar meta	44
3.6.4.17	Caso de Uso 4.3: Remover meta	45
3.6.4.18	Caso de Uso 5: Gerenciar consumos	45
3.6.4.19	Caso de Uso 5.1: Criar consumo	45
3.6.4.20	Caso de Uso 5.2: Visualizar consumo	46
3.6.4.21	Caso de Uso 5.3: Importar consumos	46
3.6.4.22	Caso de Uso 5.4: Exportar consumos	47
3.6.4.23	Caso de Uso 6: Atualizar taxas da AES	47
3.6.4.24	Caso de Uso 7: Configurar sistema	48
3.6.5	Regras de negócio	48
3.6.6	Tecnologia	49
3.6.6.1	Django e Python	49
3.6.6.2	Heroku	49
4	METODOLOGIA	51
5	IMPLEMENTAÇÃO	53
5.1	Aplicativo Web	53
5.1.1	Telas principais	54

5.1.1.1	Listagem de equipamentos	54
5.1.1.2	Criar meta	54
5.1.1.3	AES	55
5.1.1.4	Configurar sistema	55
5.1.2	Heroku	56
5.2	Módulo Sensor e Módulo Coordenador	56
5.2.1	XBee: configuração	56
5.2.1.1	Módulo Sensor:	56
5.2.1.2	Módulo Coordenador:	56
5.2.2	Raspberry: Sistema Operacional	57
5.2.3	Raspberry: Adaptador Wifi	57
5.2.3.1	Procedimentos	57
5.2.4	Raspberry x Arduino: comunicação	58
5.2.5	Verificador de tensão	60
5.2.6	Integrando as partes	63
6	TESTES E AVALIAÇÃO	67
6.1	Introdução	67
6.2	Plano de Testes do Software	67
6.2.1	Funcionalidades Críticas	67
6.2.2	Funcionalidades Não-Críticas	68
6.3	Integracao	68
6.4	Resultados	69
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
8	TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A – ORÇAMENTO	77

1 Introdução

1.1 Objetivo

O trabalho propõe a construção de um sistema para monitorar o uso de energia dentro da residência. O sistema consistirá de dispositivos interligados por uma rede sem fio, composta por: uma rede local de sensores que fará o sensoriamento dos parâmetros e se comunicará com uma aplicação em nuvem; e a aplicação em nuvem, que apresentará as métricas enviadas pelos sensores numa interface simples e intuitiva, permitindo também o acesso remoto.

1.2 Motivação

A primeira das principais motivações do grupo foi a preocupação do desenvolvimento de um sistema que englobasse diversas áreas vistas ao longo do curso de engenharia para que fosse possível, ao final do trabalho, uma reflexão pessoal dos integrantes quanto a evolução técnica desses tópicos. A segunda motivação é a resolução de um problema muito comum na atualidade, que é o encarecimento da energia, utilizando como instrumentos as técnicas de automação residencial.

Tem-se como expectativa um produto facilmente aplicável no dia-a-dia e com alguns diferenciais em relação aos produtos existentes no mercado (INC., 2015b), no sentido que usará equipamentos relativamente fáceis de obter com um resultado satisfatório. O projeto propõe um sistema no qual podemos identificar o consumo elétrico por equipamento, ao invés do consumo da rede residencial como um todo e, além disso, ser adaptável às metas de consumo, considerando a experiência do usuário.

1.3 Justificativa

Em 2015, devido à escassez de chuvas, houve uma queda significativa no nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do Brasil e o uso mais intenso de termelétricas. Isso provocou reajustes altos, encarecendo a energia do país e o custo foi repassado para os consumidores finais (G1, 2015) (S.PAULO, 2015). Por isso é imprescindível a tomada de atitudes por parte da população tanto para controlar os gastos na conta de luz quanto para a redução do consumo de eletricidade nas suas residências, aliviando a carga do sistema de produção e distribuição de eletricidade.

Trazendo o problema para a área da engenharia, e sabendo da grande gama de tecnologia disponível, a criação de ferramentas que podem nos auxiliar na monitoração e controle de gastos de energia é favorecida. Existem sistemas no mercado, ou prestes a entrar no mercado, que realiza a função de monitorar o consumo de energia residencialmente como a OpenEnergyMonitor([OPENENERGYMONITOR, 2015](#)), Neurio([INC., 2015d](#)), Green Ant([INC., 2015b](#)). Entretanto há a preocupação de se desenvolver um sistema, em alguns meses, aproveitando a onda de desenvolvimento e hardware/software open-source, com padronizações e a comercialização de tecnologias de redes de sensores sem fio. Um sistema pode ser assim construído modularmente, permitindo o desenvolvimento rápido de protótipos altamente personalizáveis, de pouco custo e que consomem pouca bateria.

O sistema permitirá medir o consumo por aparelho, ao invés do consumo da rede elétrica residencial como um todo, sendo possível, então detectar possíveis aparelhos “vilões”, por excesso de consumo de energia.

O sistema dará uma visão quantitativa ao usuário, e isso é fundamental tomada de decisões conscientes, resultando em uma administração eficiente dos gastos residenciais.

1.4 Organização

O documento segue o seguinte formato: no capítulo um são apresentados os conceitos do projeto e diagramas do sistema de uma forma genérica, sem mencionar nomes ou marcas de componentes, porém são mencionando os principais módulos do sistema, assim como os nomes utilizados para esses módulos no trabalho todo.

No capítulo dois são listadas e apresentadas as peças e softwares que compõem o sistema propriamente ditos.

No capítulo quatro é apresentado o método de projeto adotada pelo grupo durante o desenvolvimento do projeto, da parte de projeto até sua implementação e conclusão.

No capítulo cinco é detalhado mais sobre como foi feita a implementação, citando detalhes mais técnicos de problemas, soluções e mudanças de projeto.

No capítulo seis é detalhado o procedimento de aceitação do sistema.

No capítulo sete são apontadas algumas considerações finais como comentários e resultados atingidos.

Além do capítulo sete serão colocados anexos extras que são considerados úteis para o entendimento do trabalho.

2 Aspectos Conceituais

As técnicas de monitoramento e sensoriamento podem ser usados para as mais diversas funções e implementadas de diversas maneiras. Nesse trabalho, são usadas técnicas, arquiteturas e tecnologias para monitorar o consumo de energia elétrica em um ambiente web monitorada por uma rede de sensores na qual cada sensor da rede transmite seus dados a um componente central que se comunica com essa aplicação em nuvem ([FERDOUSH, 2014](#)).

Serão abordados vários conceitos vistos em aula. Um deles engloba o universo dos protocolos e componentes de uma rede sem fio. Isso envolve o estudo do protocolo que será utilizado nesse projeto, que é o ZigBee. Junto a isso são estudados a montagem de circuitos de sensores associados a microcontroladores e a captação dos dados dos sensores por uma central.

Além disso é estudado o desenvolvimento de aplicações para Web e arquitetura de sistemas.

2.1 Arquitetura MVC

A arquitetura de software utilizada é a MVC, composta pelas camadas Model, View e Controller (figura 1)

Model: A camada Model representa a primeira camada de interação com qualquer banco de dados que possa estar sendo usado na aplicação. Ela é responsável por obter, processar, validar dados do banco.

View: A view é responsável por usar as informações disponibilizadas para produzir qualquer interface de apresentação que a aplicação pode necessitar.

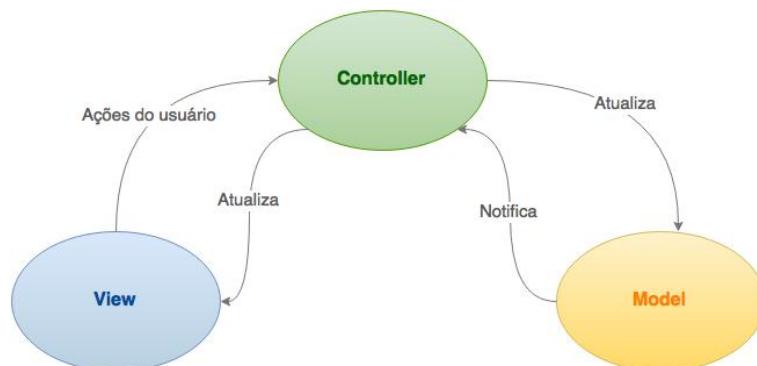


Figura 1 – Arquitetura MVC

Controller: essa camada lida com as requisições dos usuários. É responsável por se comunicar com a camada Model para realizar operações de busca ou armazenamento de dados e repassar os dados obtidos para a camada View, que irá gerar uma saída resultante para o usuário.

MVC é um padrão de projeto de software recomendado para aplicações de desenvolvimento rápido, de fácil manutenção e modular. E foi escolhido como o ideal para um projeto com um tempo limitado de desenvolvimento e possibilita a divisão fácil de tarefas entre os membros da equipe

2.2 Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network, também conhecido como WSN, é um termo genérico que descreve sistemas que tem como objetivo o sensoriamento e monitoração de algum objeto em uma certa área, em pelo menos uma variável (temperatura, umidade, pressão, cor, etc). Os desafios de tais estruturas se resumem a ([YICK BISWANATH MUKHERJEE, 2008](#)): sensores e nós que compõem a rede e podem ter a função de sensoriamento ou de retransmitir dados a um outro nó ou à estação base para serem salvos e devem formar sozinhos uma rede que consiga garantir que os dados sensoriados chegem à base, protocolo de comunicação entre nós, que podem afetar显著mente no consumo de energia, atrasos de comunicação e eficiência do sistema como um todo, fontes de energia dos nós limitada e soluções de coleta de energia.

2.3 Padrão ZigBee e o XBee

O padrão ZigBee e o dispositivo XBee possuem muitas características configuráveis e que podem servir a várias aplicações([RAMOS, 2012](#)), porém duas delas são de maior interesse para o trabalho: o baixo consumo de energia e os modos de operação. O XBee pode ser configurado para operar em um dos dois modos: AT ou API. No modo AT há apenas o envio de dados ponto-a-ponto na rede, porém no modo API é possível agir na rede durante sua operação como mudanças de configuração de nós, broadcast, confirmação de entrega de pacotes e identificação do endereço dos dados recebidos, o que dá ao sistema um maior controle do todo ([CO., 2015](#))

2.4 Topologias de Rede

Como os nós dos sensores formam uma rede, é necessário analisar as possibilidades de redes. Como são usados XBee para formar essa rede de sensores, deve-se atentar aos tipos de rede possíveis (RAMOS, 2012) (CO., 2015).

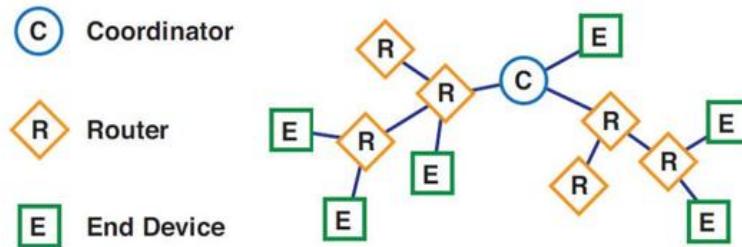


Figura 2 – Topologia de uma rede zigbee

fonte: <http://ftp1.digi.com/support/documentation/html/90001399/90001399_A/Files/XBee-concepts.html>

A rede ZigBee é composta por nós que podem ser de três tipos:

- Coordenador: Nô destino (final) de todos os outros nós. Concentra os dados de todos nós. Todas as redes possuem exatamente um nó desse tipo. Não possui a capacidade de dormir e, portanto, não deveria ficar em um dispositivo a bateria limitada. Pode se comunicar com os outros dois tipos de nós. Também não possuem a capacidade de dormir, logo não podem ser energizados com uma bateria limitada. Normalmente são usados para extender a área de uma rede;
- Roteador: Funciona apenas como uma ponte intermediária entre os endpoints e o coordenador. Pode se comunicar com todos os outros tipos de nós;
- Dispositivos finais: Nós que são as pontas da rede e que normalmente estão ligados aos sensores. Esses tem a capacidade de dormir e conservar energia enquanto não transmitem e só não conseguem se comunicar com outros nós do mesmo tipo diretamente;

Dado essas especificações e limitações, as redes formadas por esses componentes podem ser de três tipos (RAMOS, 2012): estrela, árvore ou mesh. Na estrela os dispositivos finais conversam diretamente com o coordenador, na rede mesh os dispositivos finais estão intermediados por uma malha de roteadores que se organizam para encontrar o melhor caminho de roteadores de um dispositivo final até o coordenador e a árvore é um subcaso da rede mesh onde devido a bloqueios físicos ou distâncias entre os roteadores, a rede acaba por se tornar uma árvore ou um grafo onde o caminho de um dispositivo final até o coordenador praticamente não possui alternativas.

Devido ao tamanho do projeto, não se justificava usar uma topologia muito complexa, uma vez que a rede teria no máximo quatro nós. Logo, nesse trabalho, é usado uma topologia em estrela.

3 Especificação do Projeto

O sistema é composto por duas partes: hardware, ou seja, os componentes como microcontroladores, sensores, entre outros; e software, identificado como o aplicativo de interface entre o usuário e os dados coletados.

O sistema está brevemente descrito através da figura 3 e a disposição dos componentes através do diagrama de implantação da figura 4:

A parte de hardware está separado em dois módulos principais: o módulo de sensoriamento e um módulo coordenador e a parte de software se resume à parte da aplicação web na nuvem.

3.1 Escopo

Coletados os dados, resta mostrar informações úteis ao usuário. Com o consumo de corrente e a voltagem da tomada, é possível calcular a potência e alguns outros dados interessantes para o usuário. O aplicativo desenvolvido nesse trabalho será responsável por esse tratamento e a visualização dos dados coletados pelos sensores. As principais metas são as seguintes:

- informar ao usuário sobre o gasto de energia por equipamento em sua residência
- auxiliar o usuário a tomar decisões para diminuir o consumo de energia

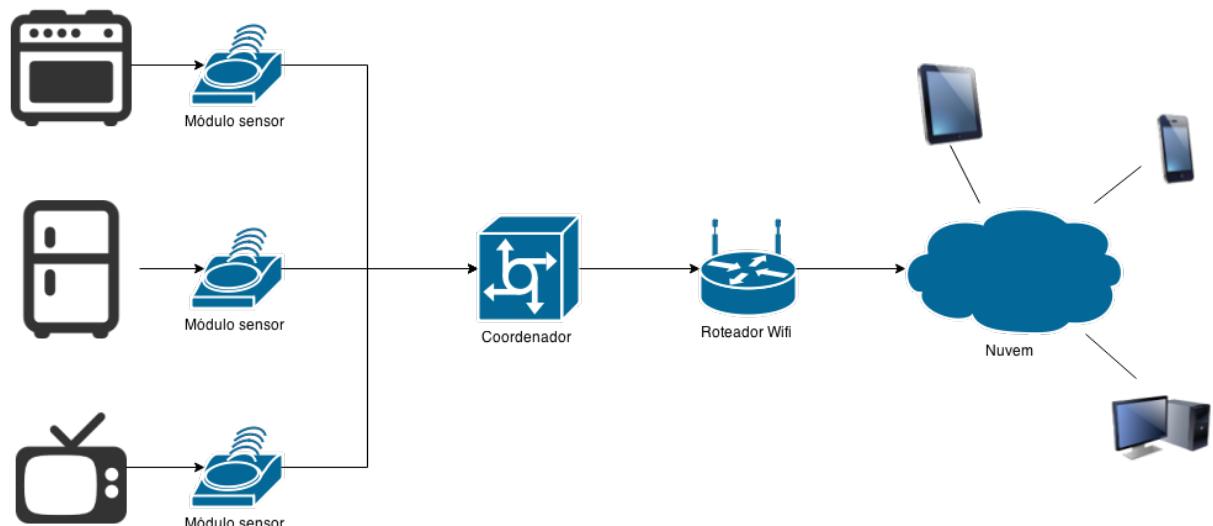


Figura 3 – Esquema do Projeto

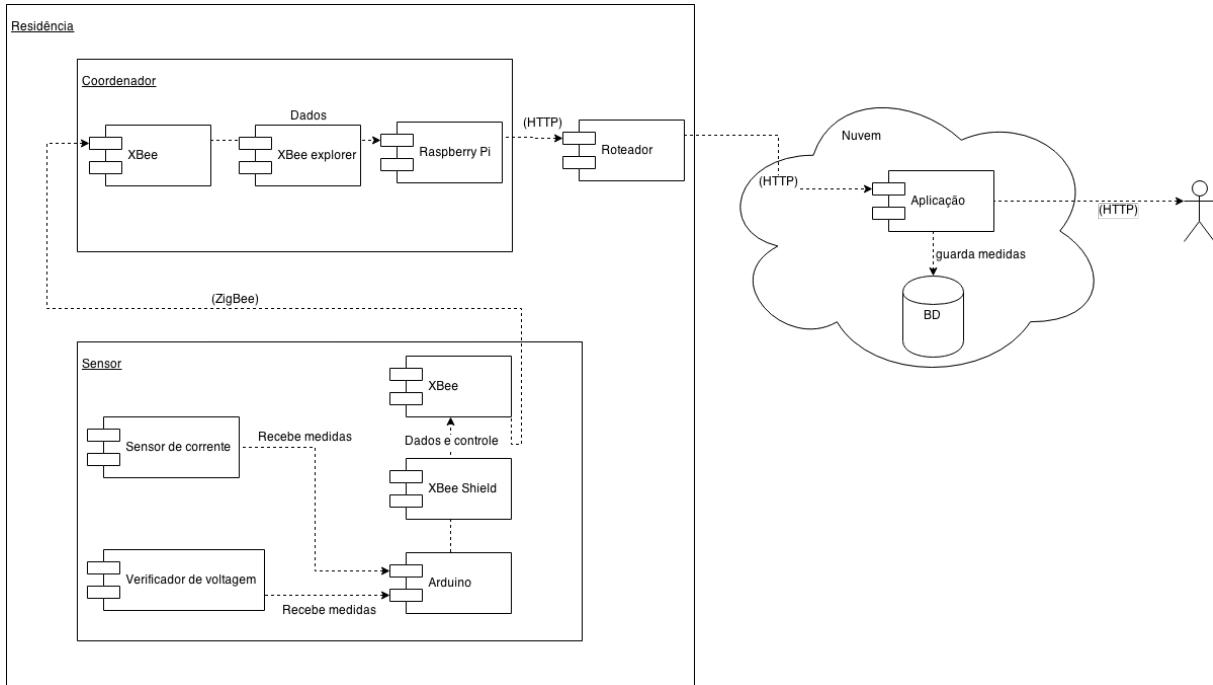


Figura 4 – Diagrama de implantação

- permitir o acesso às informações de consumo tanto localmente quanto remotamente

3.2 Funções do Sistema

Gerenciar contas: O usuário poderá fazer cadastro/alteração de conta e autenticação.

Gerenciar equipamentos: O usuário poderá fazer criação, edição e remoção de equipamentos, os quais serão monitorados pelo sistema

Gerenciar sensores: Os módulos sensores são auto-detectados, e o usuário poderá editar ou removê-los

Gerenciar metas: O usuário poderá criar, editar e remover metas mensais.

Gerenciar consumo: O módulo coordenador enviará consumos para o sistema estes serão cadastrados. O usuário poderá visualizar os consumos através de gráficos. Além disso o usuário poderá importar ou exportar dados de consumo

Atualizar taxas da AES: O usuário poderá atualizar as taxas de energia utilizadas para cálculo do custo do consumo

Configurar sistema: O usuário poderá associar os sensores aos equipamentos e escolher um tipo de renda

3.3 Requisitos não Funcionais

- independência do usuário em relação ao técnico do sistema para instalar o sistema em sua residência
- sistema de fácil manuseio pelo usuário morador da residência
- característica portátil para os componentes físicos do sistema

3.4 Premissas

Sendo esse um projeto que visa o sensoriamento e de um monitor para visualizar os dados com o objetivo de dar uma visão geral ao usuário sobre gastos supérfluos e uma relação absoluta do consumo de cada equipamento, este é influenciado por alguns fatores físicos e geopolíticos, o que leva à necessidade de levantar algumas premissas que tiveram de ser feitas para ajustar o projeto ao tempo previsto:

1. O usuário deve morar em São Paulo
2. Será considerado um fator de potência ideal

3.5 Hardware

3.5.1 Módulo sensor

O módulo sensor vai ser responsável por medir e transmitir as informações necessárias para calcular o consumo de energia do equipamento acoplado.

Os componentes físicos do módulo sensor são:

- Circuito Verificador de Voltagem
- Sensor de Corrente (Non-invasive AC Current Sensor)
- Arduino Uno - R3
- XBee Shield
- XBee 2mW PCB Antenna - Series 2

3.5.2 Coordenador

O módulo coordenador vai ser responsável por fazer requisições para os módulos sensores, tratar os dados de consumo e enviar ao aplicativo na nuvem.

Os componentes do coordenador são:

- Kit Raspberry Pi2 + Fonte + Microsd 8gb + Wifi Usb
 - XBee Explorer Dongle
 - XBee 2mW PCB Antenna - Series 2

3.5.3 Circuitos

3.5.3.1 Verificador de Tensão

No circuito de cada módulo de sensor, são feitas detecções da voltagem (110V ou 220V) para cálculos de potência. O circuito da Figura 3.3 foi simulado no PSpice para esse propósito, com componentes com parâmetros não finais, para uma análise lógica do bloco. O objetivo do circuito da figura dois é indicar se a tensão na tomada é 220V ou 110V, retornando 5V ou 0V, respectivamente.

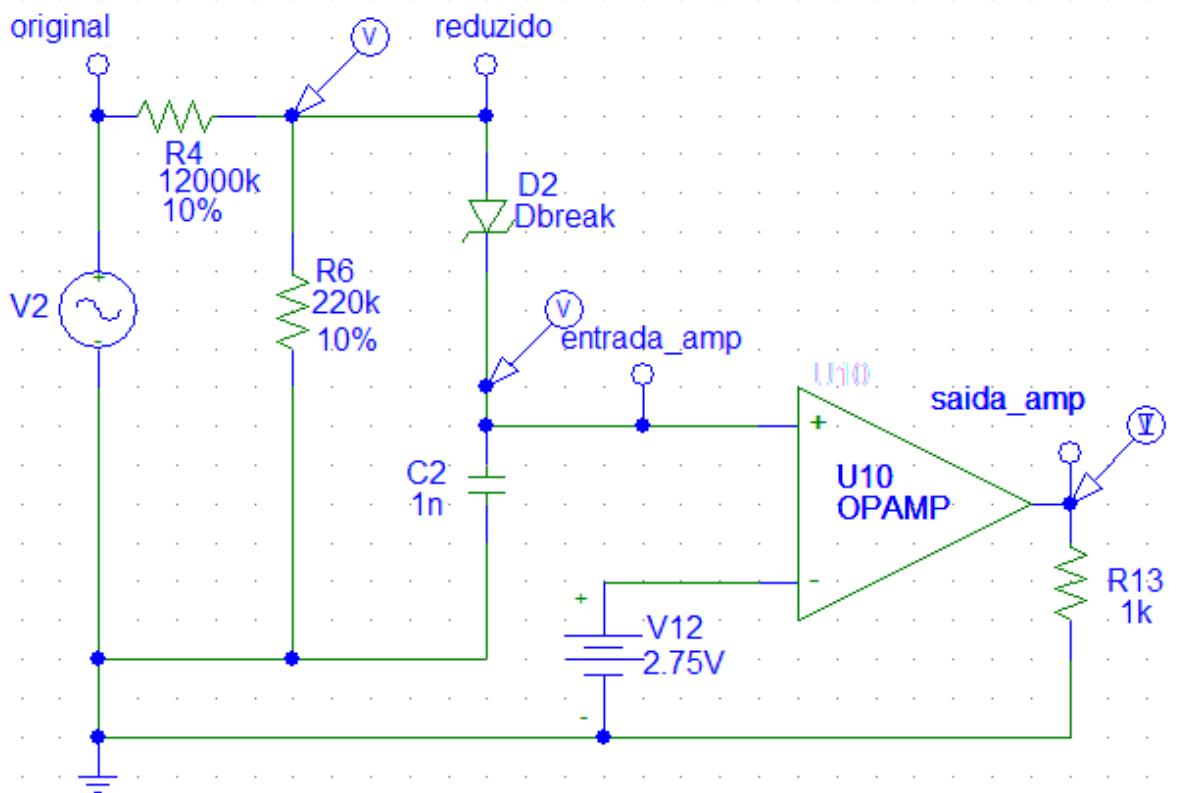


Figura 5 – Diagrama de blocos do circuito que verifica a tensão

3.5.4 Peças

3.5.4.1 Sensor de Corrente Não-invasivo AC



Figura 6 – Non-invasive AC current sensor

Esse sensor de corrente consegue medir a corrente que passa por um fio de modo não-invasivo. O sensor funciona como um indutor respondendo a um campo magnético formado em volta do fio condutor. Este, em particular, suporta até 30A, e necessita de um resistor de saída para obter a medida desejada em voltagem.

- Corrente suportada: 30A
- Temperatura de operação: -40°C até 65 °C
- Precisão de 2%

3.5.4.2 Raspberry Pi 2 modelo B

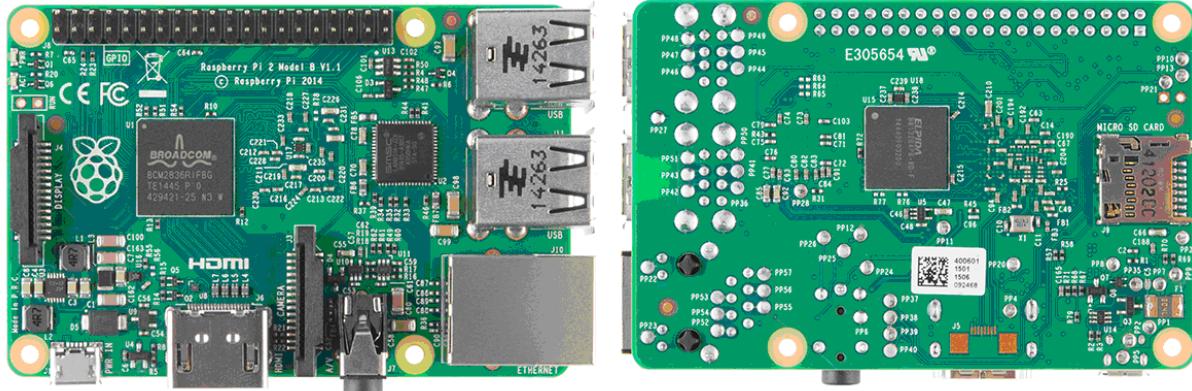


Figura 7 – Raspberry pi 2 modelo B

A Raspberry Pi 2 Modelo B (figura 3.4) é o computador utilizado no sistema para receber os dados enviados pelos módulos sensores, tratá-los e enviar para o aplicativo. Foi escolhido o Raspberry Pi 2 - Model B por ser mais veloz, por possuir mais entradas USB e ser de alta disponibilidade no mercado, por um preço razoável. O kit inclui a fonte, um cartão microSD de 8GB e um adaptador Wifi USB.

- A 900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU
- 1GB RAM
- 40 pinos GPIO
- saída Full HDMI
- porta Ethernet
- entrada para cartão Micro SD
- 4 entradas USB

3.5.4.3 Arduino UNO

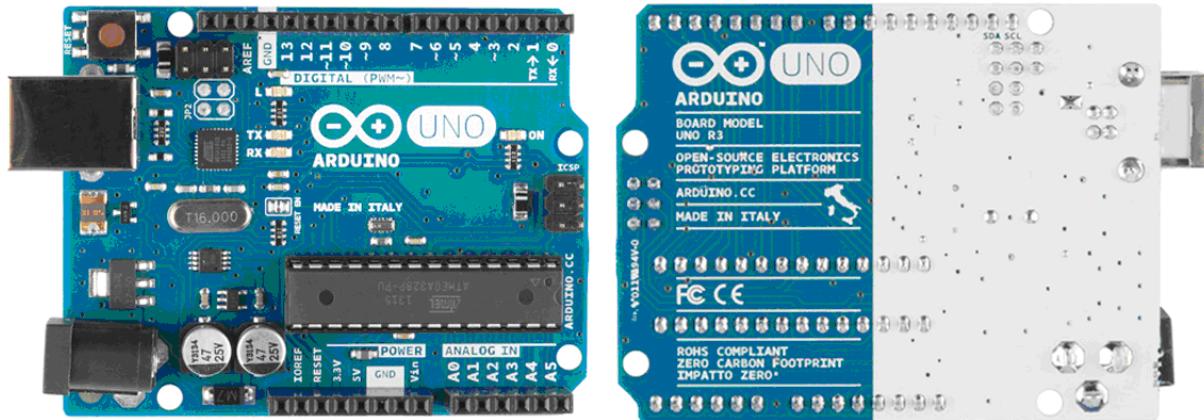


Figura 8 – Arduino UNO R3

Arduino é uma placa programável open-source . No projeto em questão é utilizado como o microcontrolador, que receberá os dados do sensor, fará um tratamento e terá o envio programado desses para o coordenador. Pelo Arduino ser programável e possuir uma interface muito amigável, simplifica essa ponte entre a coleta de dados e a transmissão. E sua alta disponibilidade no mercado , assim como o raspberry, facilita sua obtenção.

- microcontrolador ATmega328
- Voltagem de entrada - 7-12V
- 14 Pinos Digital I/O (6 PWM de saída)
- 6 Inputs Analógicos
- 32k de memória Flash
- 16Mhz de Relógio

3.5.4.4 XBee

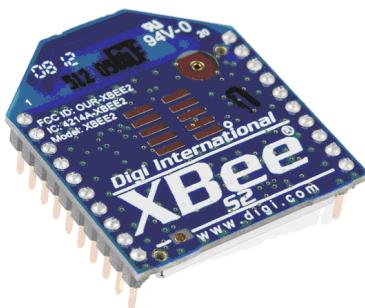


Figura 9 – XBee Serie 2

É um módulo que permite uma comunicação simples e confiável entre micro-controladores, computadores, sistemas através de uma porta serial com um consumo menor de energia. Pode ser utilizado em redes ponto-a-ponto e multi-ponto. Foram escolhidos módulos da série 2 por serem configuráveis. Algumas outras especificações são:

- entradas de 3.3V @ 40mA
- transmissão de dados máxima de 250kbps
- potência de saída: 2mW (+3dBm)
- alcance máximo de 120m
- 08 pinos digitais entrada/saída
- encriptação 128-bit
- configuração local ou remota
- conector de antena RPSMA

3.5.4.5 XBee Explorer Dongle

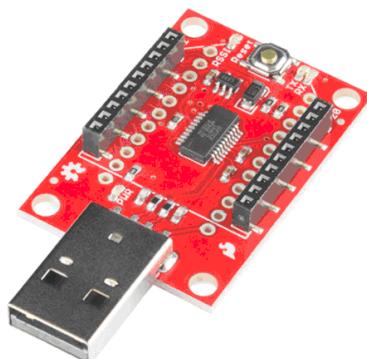


Figura 10 – XBee Explorer Dongle

É um módulo com porta USB que faz a conexão do módulo XBee a um computador. Isso é necessário para ter acesso aos pinos de comunicação serial e de programação. Ele possui um conversor USB-serial, que traduz os dados entre o computador e o XBee. Possui um botão de reset e um regulador de voltagem para suprir a voltagem necessária para XBee. Além disso possui 4 leds para debug: RX, TX, RSSI e indicador de energia. No projeto, este módulo é utilizado para fazer as configurações iniciais de todos os XBees e para conectar o XBee coordenador ao Raspberry Pi. Apesar de não ser um dispositivo essencial, este facilita muito nas tarefas citadas, principalmente por lidar com a alimentação de 3,3V do XBee.

3.5.4.6 XBee Shield

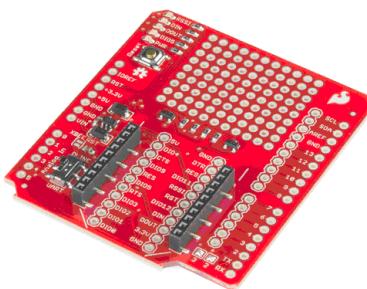


Figura 11 – XBee shield do arduino UNO

É um módulo que faz a conexão entre um módulo XBee e um Arduino. Ele possui opções para escolher se a conexão vai ser nos pinos UART ou qualquer outros pinos digitais do Arduino. A alimentação de 5V vinda do Arduino é regulada para 3.3V

VDC antes de chegar no módulo XBee. O XBee Shield inclui LEDs para indicar a utilização dos pinos DIN, DOUT, RSSI e DIO5 do XBee. É usado um módulo XBee Shield para cada par XBee + Arduino.

3.5.4.7 Arduino Stackable Header Kit - R3

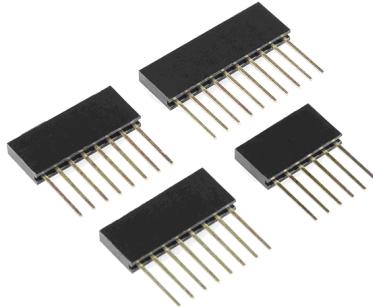


Figura 12 – Headers usados no XBee shield

São conectores usados para encaixar o módulo XBee Shield no Arduino Uno R3. Estão inclusos 4 headers, 2 x 8 pinos, 1 x 10 pinos e 1 x 6 pinos, suficientes para 1 módulo XBee Shield. Como há 2 sensores no projeto, serão usados 2 kits, com um adicional de reserva.

3.6 Software

3.6.1 Classes e atributos

A seguir estão descritas as classes do sistema e seus respectivos atributos. As classes implementadas estão representadas pelo diagrama de classes (figura 13).

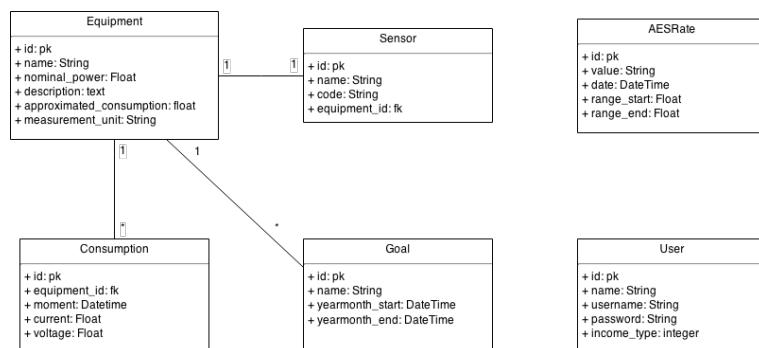


Figura 13 – Diagrama de Classes

3.6.1.1 Equipment

Classe: Equipment

Descrição: um equipamento monitorado

Atributos:

1. id (integer): Identificador do equipamento
2. name (String): Nome do equipamento
3. description (Text): descrição do equipamento
4. nominal_power (float): potência do equipamento descrita no manual do equipamento
5. measurement_unit (String): unidade do valor dado em nominal_power
6. approximated_consumption (float): consumo aproximado do equipamento dado pelo fabricante

3.6.1.2 Sensor

Classe: Sensor

Descrição: um sensor do sistema

Atributos:

1. id (integer): identificador do sensor dentro do software.
2. name (String): nome dado pelo usuário para o sensor
3. code (String): identificador do sensor entre outros sensores. Informação configurada no próprio módulo do sensor.
4. equipment_id (integer): equipamento a qual está associado

3.6.1.3 Consumption

Classe: Consumption

Descrição: Representa uma medida feita de um equipamento em um dado instante

Atributos:

1. id (integer): identificador do consumo
2. moment (DateTime): a data e a hora de quando foi feita a medida
3. current (float): corrente no momento da medida em amperes
4. voltage (float): voltagem da tomada do equipamento. 220V ou 110V

3.6.1.4 User

Classe: User

Descrição: Representa um usuário do sistema

Atributos:

1. id (integer): identificador do usuário
2. name (String): Nome do usuário
3. username (String): Nome de usuário usado para efetuar o login
4. password (String com Criptografia): Senha do usuário usada para efetuar o login
5. income_type (String): O tipo de renda do usuário, Residencial ou Residencial de baixa renda, definida pela AES eletropaulo.

3.6.1.5 Goal

Classe: Goal

Descrição: Representa uma meta de consumo por mês

Atributos:

1. id (integer): identificador da meta
2. name (String): Nome da meta
3. value_in_percent (float): Consumo pretendido em percentagem (em relação ao mês anterior)
4. yearmonth_start (DateTime): Mês/Ano de início do período da meta
5. yearmonth_end (DateTime): Mês/Ano de fim do período da meta

3.6.1.6 AESRate

Classe: AESRate

Descrição: Representa a taxa de conversão da AES eletropaulo de kilowatts hora para reais. Esses valores obtidos através da página de tarifas do site da AES Eletropaulo ([ELETROPAULO, 2015](#))

Atributos:

1. id (integer): identificador da taxa de conversão
2. value (float): O valor da taxa de conversão no instante
3. date (DateTime): O instante que a taxa de conversão foi buscada
4. range_start (float): O início da faixa que define a taxa de conversão
5. range_end (float): O fim da faixa que define a taxa de conversão

No sistema é possível cadastrar apenas uma entidade principal os equipamentos eletrônicos monitorados, sendo prevista a possibilidade de que um sensor possa mudar de um equipamento para outro, sendo que tal mudança deve ser cadastrada no sistema pelo usuário na tela de configurações, como mostrado na tela de configurações no diagrama de navegação (figura 14). Essa possibilidade de mudança da configuração dos sensores explica a relação do equipamento e as medidas de consumo: caso o usuário troque o sensor de equipamento ainda será possível visualizar dados anteriores de outros equipamentos já monitorados.

Os sensores devem ser criados automaticamente pelo sistema uma vez que eles sejam colocados no sistema. Eles enviam um sinal inicial que informa seu identificador para que o sistema o cadastre. O usuário poderá, então, colocar um nome que preferir nesse sensor. Porém, como não há qualquer informação que o sistema pode indicar ao sistema em qual aparelho ou em que tipo de aparelho o sensor foi instalado, tal associação deve ser feita manualmente antes que os dados comecem a ser coletados.

Adquiridas as medidas, é possível visualizar esses dados em uma tabela de consumo na tela de consumo. Nessa tela, é possível construir o gráfico do consumo em função de vários períodos de tempo, no caso, o consumo por dia e por mês, assim como metas de consumo de energia dos equipamentos selecionados e previsões de consumo que serão calculadas a partir do consumo nominal dos equipamentos.

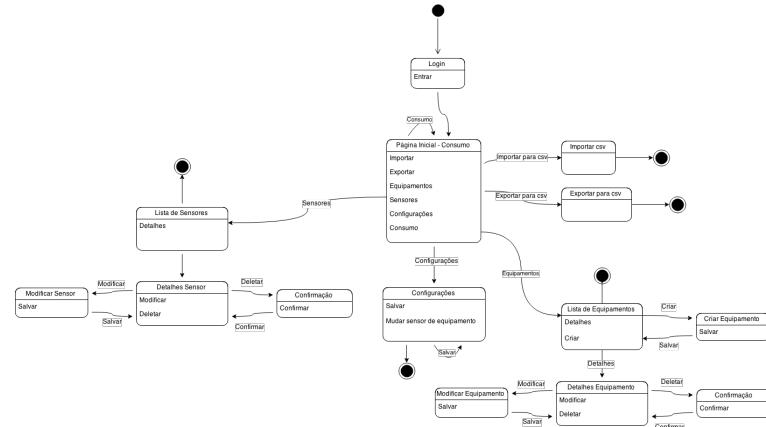


Figura 14 – Diagrama de Navegação

3.6.2 Atores

usuário: Como o sistema vai ser utilizado apenas pelo(s) responsável(is) pela residência, há apenas um tipo de usuário, que é o usuário comum

módulo coordenador: É o componente de hardware que enviará informações de consumo para o sistema

3.6.3 Casos de uso

Os casos de uso do sistema estão listados na tabela 1.

3.6.4 Descrição dos casos de uso

A seguir são descritos os casos de uso do sistema.

3.6.4.1 Caso de Uso 1: Gerenciar conta

3.6.4.2 Caso de Uso 1.1: Fazer cadastro

Descrição: inserção de um novo usuário comum no sistema

Evento iniciador: solicitação de cadastro

Atores: usuário

Pré-condição: sistema exibindo tela de solicitação de cadastro

Sequência de eventos:

Funções	Casos de uso
Gerenciar conta	Fazer cadastro Fazer login Fazer logout Recuperar senha
Gerenciar equipamentos	Criar equipamento Editar equipamento Remover equipamento
Gerenciar sensores	Detectar sensores Editar sensor Remover sensor
Gerenciar metas	Criar meta Editar meta Remover meta
Gerenciar consumo	Criar consumo Visualizar consumo Importar consumo Exportar consumo
Atualizar taxas da AES	Atualizar taxas da AES
Configurar sistema	Configurar sistema

Tabela 1 – casos de uso.

1. Usuário solicita cadastro
2. Sistema exibe o formulário de cadastro
3. Usuário insere os seus dados
4. Sistema insere o novo usuário e exibe o resultado

Pós-condição: novo usuário cadastrado, usuário é logado automaticamente e é exibida a tela inicial

Extensões:

1. **Usuário a ser cadastrado já existe:** sistema apresenta uma mensagem ao usuário (passo 4)

2. **Dados do usuário não consistentes:** sistema apresenta mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar usuário (passo 4)

3.6.4.3 Caso de Uso 1.2: Fazer login

Descrição: criar uma sessão do usuário no sistema

Evento iniciador: solicitação de login

Atores: usuário

Pré-condição: usuário cadastrado e não há usuário logado

Sequência de eventos:

1. usuário solicita login
2. sistema exibe formulário para login
3. usuário insere os dados de login
4. sistema cria uma sessão para o usuário e redireciona para a página inicial

Pós-condição: sessão criada e sistema exibe a tela inicial

Extensões:

1. **Usuário não encontrado:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)
2. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar usuário (passo 4)

3.6.4.4 Caso de Uso 1.3: Fazer logout

Descrição: encerrar a sessão do usuário atual no sistema

Evento iniciador: solicitação de logout

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado

Sequência de eventos:

1. usuário solicita logout
2. sistema encerra a sessão atual, e redireciona para a página de login

Pós-condição: sessão encerrada e sistema exibe tela de login

3.6.4.5 Caso de Uso 1.4: Recuperar senha

Descrição: recuperar a senha do usuário

Evento iniciador: solicitação de recuperação de senha

Atores: usuário

Pré-condição: usuário cadastrado, não há usuário logado e sistema exibindo tela de login

Sequência de eventos:

1. usuário solicita recuperação de senha
2. sistema exibe formulário para recuperação de senha
3. usuário insere o e-mail
4. sistema envia e-mail para recuperar a senha e exibe mensagem
5. usuário clica no link para recuperar senha no e-mail
6. sistema exibe o formulário para recuperar a senha
7. usuário insere os dados pedidos
8. sistema atualiza a senha do usuário, autentica o usuário e redireciona para a tela inicial

Pós-condição: senha do usuário atualizada, usuário autenticado e sistema mostra a tela inicial

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4, 8)
2. **Senha antiga incorreta:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 8)

Inclusões:

1. Buscar usuário (passo 8)

3.6.4.6 Caso de Uso 2: Gerenciar equipamentos

3.6.4.7 Caso de Uso 2.1: Criar equipamento

Descrição: criar um novo equipamento

Evento iniciador: solicitação de criação de equipamento

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado e sistema exibindo listagem de equipamentos

Sequência de eventos:

1. usuário solicita criação de equipamento
2. sistema exibe formulário para criação
3. usuário insere os dados para criação
4. sistema cria um equipamento e redireciona para a listagem de equipamentos

Pós-condição: equipamento criado e sistema exibe listagem de equipamentos

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)
2. **Equipamento já existe:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar equipamento (passo 4)

3.6.4.8 Caso de Uso 2.2: Editar equipamento

Descrição: editar um equipamento

Evento iniciador: solicitação de edição de equipamento

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem equipamentos e sistema exibindo listagem de equipamentos

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona o equipamento desejado para edição

2. sistema exibe formulário para edição
3. usuário altera os dados desejados
4. sistema atualiza o equipamento e redireciona para a listagem de equipamentos

Pós-condição: equipamento atualizado e sistema exibe listagem de equipamentos

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar equipamento (passo 2, 4)

3.6.4.9 Caso de Uso 2.3: Remover equipamento

Descrição: remover um equipamento

Evento iniciador: solicitação de remoção de equipamento

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem equipamentos e sistema exibindo listagem de equipamentos

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona o equipamento desejado para remoção
2. sistema pede confirmação para remoção
3. usuário confirma
4. sistema remove o equipamento e redireciona para a listagem de equipamentos

Pós-condição: equipamento removido e sistema exibe listagem de equipamentos

Extensões:

1. **Usuário não confirma:** sistema não remove e volta para a tela de listagem (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar equipamento (passo 2, 4)

3.6.4.10 Caso de Uso 3: Gerenciar sensores

3.6.4.11 Caso de Uso 3.1: Detectar sensor

Descrição: detectar um sensor

Evento iniciador: solicitação de detecção de sensores

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado e sistema exibindo listagem de sensores

Sequência de eventos:

1. usuário solicita detecção de sensor
2. sistema detecta e cria um sensor no sistema com status ativo e atualiza a lista de sensores

Pós-condição: sensor criado e sistema exibe listagem de sensores

Extensões:

1. **Sensor já existe no sistema:** sistema atualiza o status do sensor para ativo (passo 2)

Inclusões:

1. Buscar sensor (passo 2)

3.6.4.12 Caso de Uso 3.2: Editar sensor

Descrição: editar um sensor

Evento iniciador: solicitação de edição de sensor

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem sensores e sistema exibindo listagem de sensores

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona o sensor desejado para edição
2. sistema exibe formulário para edição
3. usuário altera os dados desejados
4. sistema atualiza o sensor e redireciona para a listagem de sensores

Pós-condição: sensor atualizado e sistema exibe listagem de sensores

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar sensor (passo 2, 4)

3.6.4.13 Caso de Uso 3.3: Remover sensor

Descrição: remover um sensor

Evento iniciador: solicitação de remoção de sensor

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem sensores e sistema exibindo listagem de sensores

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona o sensor desejado para remoção
2. sistema pede confirmação para remoção
3. usuário confirma
4. sistema remove o sensor e redireciona para a listagem de sensores

Pós-condição: sensor removido e sistema exibe listagem de sensores

Extensões:

1. **Usuário não confirma:** sistema não remove e volta para a tela de listagem (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar sensor (passo 2, 4)

3.6.4.14 Caso de Uso 4: Gerenciar metas

3.6.4.15 Caso de Uso 4.1: Criar meta

Descrição: criar uma nova meta

Evento iniciador: solicitação de criação de meta

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado e sistema exibindo listagem de metas

Sequência de eventos:

1. usuário solicita criação de meta
2. sistema exibe formulário para criação
3. usuário insere os dados para criação
4. sistema cria uma meta e redireciona para a listagem de metas

Pós-condição: meta criada e sistema exibe listagem de metas

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)
2. **Meta já existe:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar meta (passo 4)

3.6.4.16 Caso de Uso 4.2: Editar meta

Descrição: editar uma meta

Evento iniciador: solicitação de edição de meta

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem metas e sistema exibindo listagem de metas

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona a meta desejada para edição
2. sistema exibe formulário para edição
3. usuário altera os dados desejados
4. sistema atualiza a meta e redireciona para a listagem de metas

Pós-condição: meta atualizada e sistema exibe listagem de metas

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar meta (passo 2, 4)

3.6.4.17 Caso de Uso 4.3: Remover meta

Descrição: remover uma meta

Evento iniciador: solicitação de remoção de meta

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem metas e sistema exibindo listagem de metas

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona a meta desejada para remoção
2. sistema pede confirmação para remoção
3. usuário confirma
4. sistema remove a meta e redireciona para a listagem de metas

Pós-condição: meta removida e sistema exibe listagem de metas

Extensões:

1. **Usuário não confirma:** sistema não remove e volta para a tela de listagem (passo 4)

Inclusões:

1. Buscar meta (passo 2, 4)

3.6.4.18 Caso de Uso 5: Gerenciar consumos

3.6.4.19 Caso de Uso 5.1: Criar consumo

Descrição: inserir consumos no sistema

Evento iniciador: solicitação para criação de consumo

Atores: módulo coordenador

Pré-condição: módulo coordenador ligado e sistema online

Sequência de eventos:

1. módulo coordenador solicita criação de consumo
2. sistema cria o consumo

Pós-condição: consumo criado

Extensões:

1. **Perda de conexão:** consumo não é criado (passo 2)

3.6.4.20 Caso de Uso 5.2: Visualizar consumo

Descrição: visualizar os consumos na forma de gráficos

Evento iniciador: solicitação de geração de gráfico

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem consumos e sistema exibindo tela de consumo

Sequência de eventos:

1. usuário configura os parâmetros e solicita geração do gráfico
2. sistema exibe o gráfico de consumo

Pós-condição: sistema exibe gráfico de consumo

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 2)

Inclusões:

1. Buscar consumos (passo 2)

3.6.4.21 Caso de Uso 5.3: Importar consumos

Descrição: importar consumos por csv

Evento iniciador: solicitação de importação de consumos

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, sistema exibindo tela de consumo

Sequência de eventos:

1. usuário insere o arquivo csv e solicita importação de consumos
2. sistema lê o csv, cria os consumos e exibe tela de consumo

Pós-condição: novos consumos criados e sistema exibe tela de consumo

Extensões:

1. **Dados não consistentes:** sistema apresenta uma mensagem de erro ao usuário (passo 2)

3.6.4.22 Caso de Uso 5.4: Exportar consumos

Descrição: exportar consumos por csv

Evento iniciador: solicitação de exportação de consumos

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado, existem consumos e sistema exibindo tela de consumo

Sequência de eventos:

1. usuário seleciona o período desejado do consumo para exportação
2. sistema disponibiliza o download do csv

Pós-condição: sistema exibe arquivo de csv

Inclusões:

1. Buscar consumo (passo 2)

3.6.4.23 Caso de Uso 6: Atualizar taxas da AES

Descrição: atualizar dados de custo da AES Eletropaulo no sistema

Evento iniciador: solicitação de atualização das taxas

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado e sistema exibindo tela de listagem de taxas

Sequência de eventos:

1. usuário solicita atualização de taxas
2. sistema busca dados do site da AES Eletropaulo e cria taxas no sistema

Pós-condição: taxas criadas e sistema exibe listagem de taxas

Extensões:

1. **Taxa já existe no sistema:** sistema atualiza a taxa correspondente (passo 2)

Inclusões:

1. Buscar taxa (passo 2)

3.6.4.24 Caso de Uso 7: Configurar sistema

Descrição: mudar configuração do sistema

Evento iniciador: solicitação de mudança de configuração do sistema

Atores: usuário

Pré-condição: usuário logado e sistema exibindo tela de configuração

Sequência de eventos:

1. usuário muda a configuração e solicita salvar a configuração
2. sistema salva as configurações e retorna para tela de configuração

Pós-condição: configurações salvas e sistema mostra tela de configuração

Extensões:

1. **Dados inconsistentes:** sistema mostra mensagem de erro ao usuário (passo 2)

Inclusões:

1. Buscar configuração do usuário (passo 2)

3.6.5 Regras de negócio

As medidas serão feitos em uma taxa de uma vez a cada dez minutos, o que leva a 6 amostras por hora, 144 por dia e 4320 por mês. Dado que cada amostra é uma linha de uma tabela, torna-se necessário algum tipo de redução desses dados para que o banco na nuvem não chegue a seu ponto máximo, dado que no projeto será usado

um serviço cloud com taxa gratuita e, portanto, muito limitada. Logo, foi decidido que a janela temporal que o usuário conseguirá visualizar será restrita ao mês anterior e o mês atual quando o gráfico for uma função das horas do dia, e os outros dados mais antigos serão agrupados em meses para que ainda possa ser possível visualiza-los quando o gráfico for uma função dos meses. Caso seja necessário, será usado um plano pago, o que resolveria esse problema.

3.6.6 Tecnologia

3.6.6.1 Django e Python

Para o aplicativo será utilizado o framework Django, devido ao uso da linguagem python, que é uma linguagem limpa, de fácil utilização e com ampla disponibilidade de bibliotecas gratuitas e de fóruns para auxílio na implementação. Há também algumas outras razões para escolher tais ferramentas:

Uma das vantagens do python nesse caso é uma pequena vantagem de compatibilidade, uma vez que o “pi” em “raspberry pi” vem de “python, já que o hardware foi construído com a intenção do aprendizado de programação com python ([FOUNDATION, 2015](#)) (apesar da possibilidade de usar outras linguagens). Outra vantagem provinha do conhecimento prévio dos integrantes do grupo e do framework que reduzia muito o tempo de desenvolvimento. E por último, a possibilidade de, se necessário, rodar o servidor da aplicação no próprio raspberry sem a necessidade de acrescentar muitos outros módulos externos, uma vez que no raspberry python já é uma linguagem nativa, sendo necessário instalar apenas as dependências do django.

3.6.6.2 Heroku

Heroku é uma plataforma em nuvem que fornece múltiplos serviços para dar suporte a uma aplicação web. Desenvolvedores web podem fazer deploy de aplicações em linguagens como Node, Ruby, Java, PHP, Python, Go, Scala, ou Clojure, e Heroku o deixará pronto para a utilização do público e a manterá no ar sem a necessidade da intervenção do desenvolvedor. É uma opção para os desenvolvedores que precisam se focar na criação e atualização da aplicação, sem se deixar distrair pela parte de hardware e infraestrutura.

Heroku utiliza os chamados dynos, que representam máquinas/computadores que executam comandos. Cada tipo de dyno possui a sua limitação de memória RAM, fração de CPU, se é dedicada ou não e a velocidade do processamento, que refletem nos custos, porém, existe a opção gratuita que permite colocar uma aplicação no ar,

suficiente para atender tráfegos pequenos. Nos planos pagos, o sistema é escalável (pode-se alterar o limite do número de processos executando na máquina do sistema, memória RAM, entre outros) para atender a momentos de tráfego mais intenso.(INC., 2015c)

Durante a fase de teste do sistema em questão é utilizado o plano gratuito do Heroku.

4 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido com base de uma pesquisa de trabalhos acadêmicos, convergindo em um protótipo funcional. Para tanto, o trabalho foi dividido em algumas etapas principais:

- Etapa 1: Pesquisa de trabalhos passados similares, agregação da base teórica envolvida;
- Etapa 2: Reflexão sobre possíveis caminhos alternativos e desenvolvimento de planos paralelos redundantes;
- Etapa 3: Implementação teórica da arquitetura do sistema, levantamento de peças necessárias, orçamento, preparação do ambiente de trabalho com ferramentas de depuração e testes;
- Etapa 4: Implementação prática do planejamento feito na etapa anterior;
- Etapa 5: Testes comparativos com os dados esperados;
- Etapa 6: Finalização do projeto e do protótipo;

Com essa metodologia, foi possível levantar os requisitos do sistema sem que houvessem mudanças bruscas no resultado final, tendo sempre um caminho paralelo a seguir caso ocorresse algum inesperado.

5 Implementação

A fase de implementação envolve o desenvolvimento do software e a configuração e montagem dos componentes físicos especificados na seção [3](#).

5.1 Aplicativo Web

O componente de software teve como base de implementação o framework para desenvolvimento web Django, para a linguagem python. Várias funções especificadas anteriormente possuem uma certa interdependência entre elas, por exemplo, a função Criar Meta necessita que a função Criar Equipamento esteja previamente desenvolvida. Para isso, adotou-se a seguinte ordem de implementação de funções:

1. Fazer cadastro
2. Fazer login
3. Fazer logout
4. Recuperar senha
5. Criar equipamento
6. Editar equipamento
7. Remover equipamento
8. Criar meta
9. Editar meta
10. Remover meta
11. Atualizar taxas da AES
12. Detectar sensores
13. Editar sensor
14. Remover sensor
15. Configurar sistema
16. Criar consumo

17. Importar consumo

18. Exportar consumo

19. Visualizar consumo

5.1.1 Telas principais

5.1.1.1 Listagem de equipamentos

Nome	Valor Nominal	Ações
Ar condicionado	1300,0	
Forno elétrico	800,0	
Geladeira	1231,0	
Máquina de secar	2000,0	

Mostrando de 1 até 4 de 4 registros

Criar

Figura 15 – Listagem de equipamentos

5.1.1.2 Criar meta

Figura 16 – Criar meta

5.1.1.3 AES

AES Eletropaulo

Última atualização: 14/09/2015

10 resultados por página Pesquisar

Nome	Intervalo	TUSD	TE	Válido a partir de
B1 - RESIDENCIAL	qualquer consumo	0,198960	0,237150	04/07/2015
B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA	até 30 kW	0,067470	0,083000	04/07/2015
B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA	31 kW até 100 kW	0,115660	0,142290	04/07/2015
B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA	101 kW até 220 kW	0,173480	0,213430	04/07/2015
B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA	a partir de 220 kW	0,192760	0,237150	04/07/2015
B2 - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	qualquer consumo	0,139270	0,166000	04/07/2015
B2 - RURAL	qualquer consumo	0,139270	0,166000	04/07/2015
B2 - SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	qualquer consumo	0,119380	0,142290	04/07/2015
B3 - DEMAIS CLASSES	qualquer consumo	0,198960	0,237150	04/07/2015

Mostrando de 1 até 9 de 9 registros

Figura 17 – AES

5.1.1.4 Configurar sistema

SMRUE Admin Consumo Equipamentos Sensores Configurações AES Metas

Minhas configurações

Tipo de Renda: B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA

Equipamentos e Sensores:

- Geladeira
- Forno elétrico
- Ar condicionado (Sensor 2)
- Máquina de secar

Sensores:

- Sensor 1
- Sensor 3

Salvar

Figura 18 – Configurações

5.1.2 Heroku

Heroku é uma plataforma que oferece serviços em cloud. Esse serviço é usado no projeto para hospedar a aplicação desenvolvida. A grande vantagem do serviço é o fato de ser gratuito com algumas limitações, que não se tornaram empecilhos para o trabalho, e retirar a responsabilidade do módulo coordenador de segurar a aplicação.

5.2 Módulo Sensor e Módulo Coordenador

5.2.1 XBee: configuração

O tutorial usado para configurar a rede dos dispositivos XBee encontra-se em ([INC., 2015a](#)).

As configurações utilizadas foram:

5.2.1.1 Módulo Sensor:

- Versão de Firmware:
 - Product Family: XB24-ZB
 - Function Set: ZigBee Router AT
 - Firmware Version: 22A7
- Pad ID: BABABA
- Destination Address High: 13A200
- Destination Address Low: 40E4429B
- Data bits: 8
- Baud Rate: 9600
- Parity: No parity
- Stop Bits: One Stop Bit

5.2.1.2 Módulo Coordenador:

- Versão de Firmware:
 - Product Family: XB24-ZB

- Function Set: ZigBee Coordinator API
- Firmware Version: 21A7
- Pad ID: BABABA
- Destination Address High: 13A200
- Destination Address Low: 40E44285
- Data bits: 8
- Baud Rate: 9600
- Parity: No parity
- Stop Bits: One Stop Bit

5.2.2 Raspberry: Sistema Operacional

Raspberry Pi é um computador, como tal é possível usá-lo sobre um sistema operacional. O sistema operacional usado é o Raspian, baseado no Debian customizado para rodar no raspberry pi. Apesar de teoricamente não ser necessário o raspberry usar um sistema operacional, facilita muito o desenvolvimento tal equipamento conter uma interface amigável para seu uso.

5.2.3 Raspberry: Adaptador Wifi

Após o sistema Raspian ser instalado no cartão de memória, foi necessário configurar o adaptador Wifi. O modelo usado é o TP-Link TL-WN723N.

5.2.3.1 Procedimentos



Figura 19 – Adaptador wifi usado no raspberry

5.2.4 Raspberry x Arduino: comunicação

Para testar a comunicação entre o Módulo Coordenador (figura 20) e o módulo sensor (figura 21), foi montado o esquema representado na figura 22 e foram executados dois programas. O programa 5.1 foi utilizado no módulo sensor para transmitir o valor "123123" por um datagrama a ser enviado pela rede do XBee. Já o programa 5.2 foi utilizado no Módulo Coordenador para receber o datagrama ZigBee e imprimir no console do Raspberry.



Figura 20 – Teste de comunicação: Módulo Coordenador



Figura 21 – Teste de comunicação: Módulo Sensor

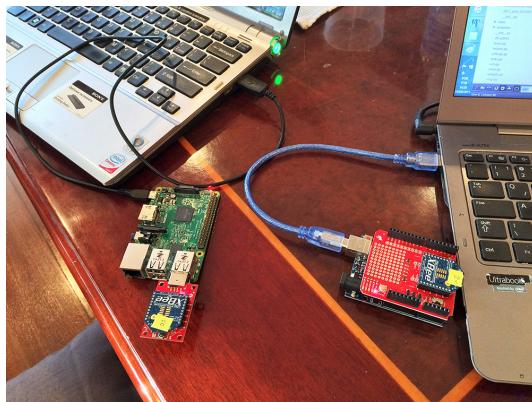


Figura 22 – Teste de comunicação: Montagem

```
// SoftwareSerial para comunicacao com XBee:  
#include <SoftwareSerial.h>  
SoftwareSerial XBee(2, 3); // RX, TX  
  
void setup(){  
    XBee.begin(9600);  
    Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop(){  
    XBee.print("123123");  
    delay(1000);  
}
```

Listing 5.1 – teste-inicial-arduino.c

```
from xbee import ZigBee  
import serial  
  
ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600)  
xbee = ZigBee(ser)  
  
while True:  
    try:  
        response = xbee.wait_read_frame()  
        print(response)  
    except:  
        break;  
  
ser.close()
```

Listing 5.2 – teste-inicial-raspberry.py

```
pi@raspberrypi ~$ python python_xbee_test.py
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
{'source_addr_long': '\x00\x13\xA2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123', 'source_addr': '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
```

Figura 23 – Teste de comunicação Raspberry e Arduino

5.2.5 Verificador de tensão

Para verificar a tensão foi usado um transformador para rebaixar a tensão da tomada. Na imagem é possível observar uma tomada de 110V sendo rebaixada para 7,2 V.

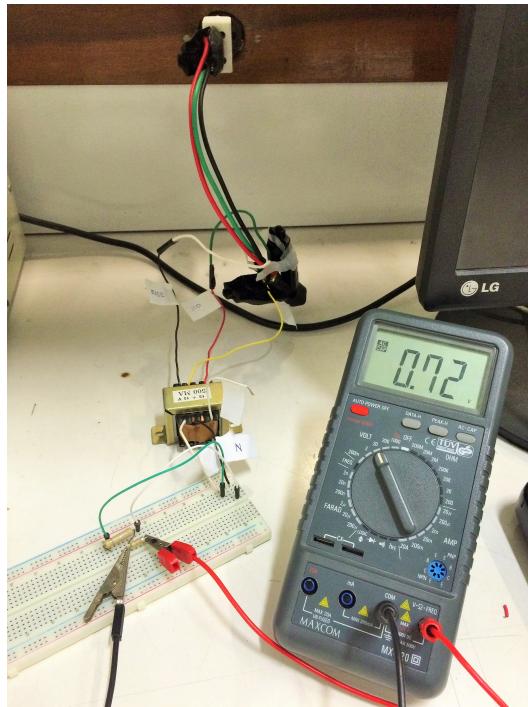


Figura 24 – Teste do transformador

Em seguida a saída foi retificada com um retificador de onda completa e filtrada com um capacitor e dividida por divisão de tensão com resistores para que fosse possível diferenciar uma tensão de 220V e 110V no arduino para enviar ao raspberry.

A figura 25 mostra a montagem para tal e a figura 26 mostra a saída no osciloscópio.

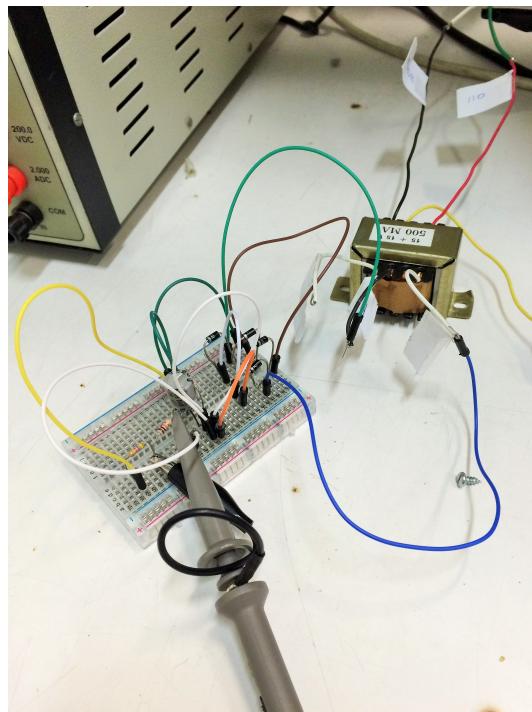


Figura 25 – Teste de medição de voltagem

Em seguida a saída retificada e dividida foi posta como entrada para um pino de leitura analógica do Arduino para a medição, para 110V e em seguida, 220V. A saída resultante no terminal serial do arduino [26](#) foi a seguinte

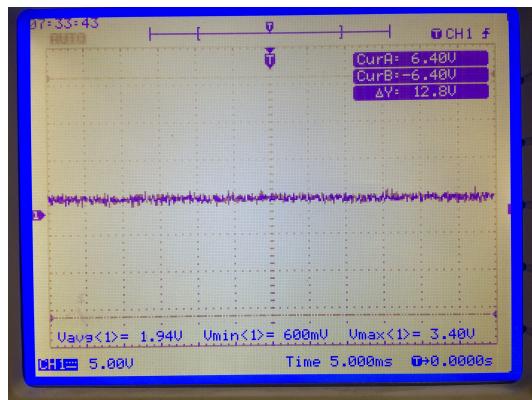


Figura 26 – Teste de medição de voltagem com arduino - saída do osciloscópio

Para o sensor de corrente, dado que a saída do sensor é alternada, foi necessário fazer um pequeno circuito para que as informações coletadas estivessem em uma faixa legível ao arduíno. Para isso, foi colocado uma resistência entre as saídas do sensor, resistência essa que deveria, em 30A (corrente máxima do sensor), resultar em uma voltagem máxima de 2,5V para então adicionar um offset de 2,5V, possibilitando amostragens em todos os pontos da onda. Como apenas o valor de pico é relevante para calcular a potência aparente. No caso, a resistência utilizada foi de 150 omhs.

Já no arduino, para fazer a leitura, não era possível apenas ler diretamente o valor da entrada analógica, pois estávamos interessados no valor eficaz da corrente. Por isso foi utilizado da raiz da média dos quadrados (tradução livre de RMS - root mean square), fazendo várias leituras sucessivas, assim como o nome do método diz, faz-se a raiz da média dos quadrados das leituras para obter o valor eficaz.

Com o circuito de corrente pronto, foi possível fazer algumas leituras teste. No caso foi usado o ferro de passar para que fosse usada uma corrente mais alta.

Como se pode ver nos testes, apesar da corrente lida no amperímetro ser 9,3A eficazes (figura 27), as leituras no arduíno resultaram em valores ligeiramente menores entre 8,9 e 8,8A eficazes (figura 28), resultando em um erro de aproximadamente 7%, que é um erro relativamente alto se pensado em uma leitura de longo prazo.

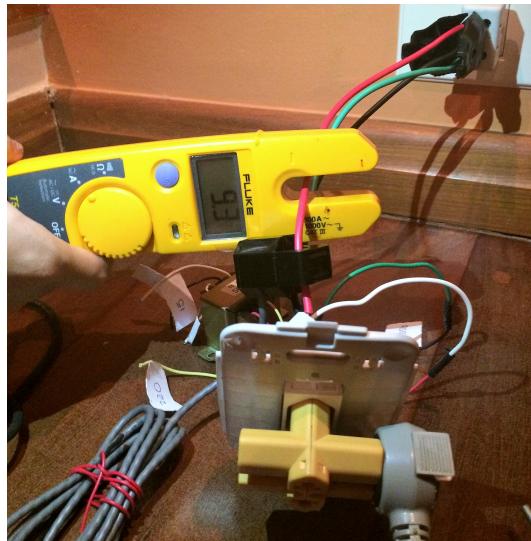


Figura 27 – Medição com amperímetro

```
COM5
Envir
[{"v":220.00, "i": 8.69}, {"v":110.00, "i": 8.65}, {"v":110.00, "i": 8.65}, {"v":110.00, "i": 8.61}, {"v":110.00, "i": 8.63}, {"v":220.00, "i": 8.62}, {"v":110.00, "i": 8.66}, {"v":220.00, "i": 8.65}, {"v":110.00, "i": 8.64}, {"v":110.00, "i": 0.79}, {"v":110.00, "i": 0.80}, {"v":110.00, "i": 0.80}, {"v":110.00, "i": 0.80}, {"v":110.00, "i": 0.81}, {"v":110.00, "i": 0.80}, {"v":110.00, "i": 0.80}]

Auto-rolagem
Ambos, NL e CR
9600 velocidade
```

Figura 28 – Teste de medição da corrente e voltagem

5.2.6 Integrando as partes

Após os testes anteriores de comunicação entre o módulo sensor, módulo coordenador e a medição de corrente e voltagem, o conjunto foi testado. O código 5.3 foi carregado no arduino para a coleta dos dados de corrente e voltagem e o envio destes para o módulo coordenador.

```
// SoftwareSerial para comunicacao com XBee:  
#include <SoftwareSerial.h>  
SoftwareSerial XBee(2, 3); // RX, TX  
  
float current = 0;  
float voltage = 0;  
int currentPin = 5;  
int voltagePin = 3;  
String bufferString = "";  
  
float analogToFloat(int reading){  
    return (float)reading / 1024 * 5;  
}  
  
float readVoltage(){  
    float reading = analogToFloat(analogRead(voltagePin));  
    if(reading < 2.5){  
        return 110 * sqrt(2);  
    }else{  
        return 220 * sqrt(2);  
    }  
}  
  
float readCurrent(){  
    return analogToFloat(analogRead(currentPin));  
}  
  
void setup(){  
    Serial.begin(9600);  
    XBee.begin(9600);  
}  
  
void loop(){  
    bufferString += "{ 'v' : " ;  
    bufferString += analogToFloat(analogRead(voltagePin));  
    bufferString += ", 'i' : " ;  
    bufferString += readCurrent();  
    bufferString += " }" ;  
    Serial.println(bufferString);  
    XBee.print(bufferString);
```

```

bufferString = "";
delay(100);
}

```

Listing 5.3 – arduino.c

O módulo coordenador foi configurado para executar o seguinte programa em python (código 5.4), logo após ligar o raspberry, para a inicialização da interface entre os sensores e a aplicação web. Uma vez com o programa em execução, o módulo coordenador estará pronto para escutar as requisições de envio de dados coletados dos módulos sensores.

```

from xbee import XBee, ZigBee
import serial
import httplib, urllib, urllib2

WEB_ENDPOINT = "http://smrue-mi.herokuapp.com/consumption/create"
ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600)
xbee = ZigBee(ser)
output = "output.txt"

def sendDataToWeb(hashFormattedData):
    params = urllib.urlencode({
        "code": hashFormattedData['source_addr_long'].encode("hex"),
        "current": 1,
        "voltage": 1
    })
    req = urllib2.Request(WEB_ENDPOINT, params)
    response = urllib2.urlopen(req)

def readConsumption():
    output_file = open(output, "w")
    while True:
        try:
            response = xbee.wait_read_frame()
            output_file.write("Options\n")
            output_file.write(str(response['options'].encode("hex"))$)
            output_file.write("Src_addrs"+ "\n")
            output_file.write(str(response['source_addr'].encode("h$"))
            output_file.write("Src_addrs_long"+ "\n")
            output_file.write(str(response['source_addr_long'].enco$)
            output_file.write(str(response)+"\n")
            print(response)

        except Exception as e:
            print("Um erro foi dado: ")
            print(e)

```

```
    except KeyboardInterrupt:  
        break  
    output_file.close()  
    ser.close()  
  
readConsumption()
```

Listing 5.4 – raspberry.py

6 Testes e Avaliação

6.1 Introdução

Assim como foi especificado pelo grupo no planejamento, foram consideradas duas fases de testes, uma para o software e outra para integração, sendo que na fase de integração também será testado o hardware, uma vez que o hardware não possui nenhuma habilidade de regras de negócio, o foco foi no software que as possui e a integração que era um ponto que envolvia a confirmação da captura dos dados e sua visualização.

6.2 Plano de Testes do Software

As funcionalidades foram divididas em funcionalidades críticas e funcionalidades não-críticas. As funcionalidades críticas são aquelas que, caso falhassem, interromperiam o desenvolvimento do projeto e as não-críticas eram funcionalidades que em caso de falha atrapalhariam o desenvolvimento do trabalho, se tornando um incômodo, porém não o interromperiam. Isso ajudou os membros na hora dos testes ao indicar a pessoa fazendo o teste se o teste deveria ser mais intensamente testado ou não. Cada teste é subdividido em testes de falha e teste de sucesso. No teste de falha, o sistema se encarrega de tratar informações ou comportamentos não esperados num fluxo de trabalho normal (ex: submissão de formulário em branco, erro de autenticação, objetos não encontrados no banco de dados, entre outros). No teste de sucesso, o sistema realiza as tarefas esperadas para um fluxo de trabalho normal (ex: submissão de dados válidos num formulário)

6.2.1 Funcionalidades Críticas

- realizar login
- visualizar o consumo através de gráficos por equipamento ou total
- Obtenção dos dados da AES eletropaulo
- importar os dados de consumo de um equipamento

6.2.2 Funcionalidades Não-Críticas

- exportar os dados de consumo de um equipamento

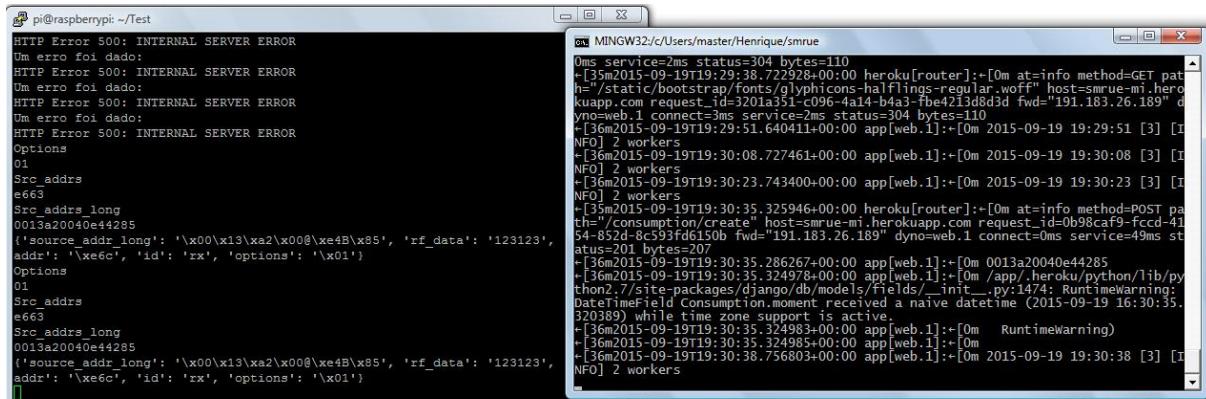
Com essas funcionalidades categorizadas, foram criados casos de teste para verificar o funcionamento do sistema.

1. Criação de entidade
2. Leitura de entidade
3. Atualização de entidade
4. Remoção de entidade

Feitos esses testes, foi possível descobrir erros, sendo os mais graves na visualização de dados no gráfico e na obtenção de dados do AES devido à mudanças da estrutura do HTML do site, o que impossibilitava a obtenção dos dados, o que mostrou que tal funcionalidade deve ser mantida periodicamente para que tal funcionalidade funcione sempre, pois não é possível prever tais mudanças.

6.3 Integração

Uma rota foi criada no sistema na parte web para receber requisições de cadastro de consumo pelo módulo coordenador. O objetivo do segundo teste foi detectar a presença do sensor na rede e cadastrá-lo caso não estivessem registrado no banco de dados. Além disso foi necessário verificar que existe um equipamento associado àquele sensor, caso contrário, o sistema não aceitará o registro de consumos. Para isso, o programa do primeiro teste foi reescrito para receber o pacote e então enviá-lo via http para cadastrar o consumo teste.



The image shows two terminal windows side-by-side. The left window is titled 'pi@raspberrypi: ~/Test' and contains a series of 'HTTP Error 500: INTERNAL SERVER ERROR' messages, each followed by a stack trace. The right window is titled 'MINGW32/c/Users/master/Henrique/smruie' and shows log entries from a Heroku application. It includes timestamps, log levels (INFO, DEBUG), and detailed application logs related to requests for '/consumption/create' and internal Django model field validation.

```

pi@raspberrypi: ~/Test
HTTP Error 500: INTERNAL SERVER ERROR
Um erro foi dado:
HTTP Error 500: INTERNAL SERVER ERROR
Um erro foi dado:
HTTP Error 500: INTERNAL SERVER ERROR
Um erro foi dado:
HTTP Error 500: INTERNAL SERVER ERROR
Options
 01
Src_addr
e663
Src_addr_long
0013a20040e44285
{'source_addr_long': '\x00\x13\xa2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123',
addr: '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
Options
 01
Src_addr
e663
Src_addr_long
0013a20040e44285
{'source_addr_long': '\x00\x13\xa2\x00@\xe4B\x85', 'rf_data': '123123',
addr: '\xe6c', 'id': 'rx', 'options': '\x01'}
```

```

MINGW32/c/Users/master/Henrique/smruie
[...]
2015-09-19T19:29:51.316Z] [INFO] 2 workers
[...]
2015-09-19T19:30:08.722928+00:00 heroku[router]:->[0m at=info method=GET path="/static/bootstrap/fonts/glyphicons-regular.woff" host=smruie-mi.herokuapp.com request_id=3201a351-c096-4a14-b443-fbe4213d6d3 fwd="191.183.26.189" dyno=web.1 connect=ms service=2ms status=304 bytes=110
[...]
2015-09-19T19:30:11.640411+00:00 app[web.1]:->[0m 2015-09-19 19:29:51 [3] [INFO] 2 workers
[...]
2015-09-19T19:30:23.743400+00:00 app[web.1]:->[0m 2015-09-19 19:30:23 [3] [INFO] 2 workers
[...]
2015-09-19T19:30:35.325946+00:00 heroku[router]:->[0m at=info method=POST path="/consumption/create" host=smruie-mi.herokuapp.com request_id=0b98caf9-fcd-4154-852d-8c593fd6150b fwd="191.183.26.189" dyno=web.1 connect=0ms service=49ms status=201 bytes=207
[...]
2015-09-19T19:30:35.3286267+00:00 app[web.1]:->[0m 0013a20040e44285
[...]
2015-09-19T19:30:35.324978+00:00 app[web.1]:->[0m /app/.heroku/python/lib/python2.7/site-packages/django/db/models/fields/_init_.py:1474: RuntimeWarning: DateTimeField Consumption.moment received a naive datetime (2015-09-19 16:30:35.320389) while time zone support is active.
[...]
2015-09-19T19:30:35.324983+00:00 app[web.1]:->[0m RuntimeWarning)
[...]
2015-09-19T19:30:35.324985+00:00 app[web.1]:->[0m
[...]
2015-09-19T19:30:38.756803+00:00 app[web.1]:->[0m 2015-09-19 19:30:38 [3] [INFO] 2 workers
```

Figura 29 – Teste de criação de sensor e de consumo

Em um primeiro momento, quando o sensor nem está no sistema, o servidor retorna um erro HTTP 500 (erro de servidor), isso porque apesar do sensor ter sido criado no sistema, este não está vinculado a nenhum equipamento. Após vincular o sensor a um equipamento na tela de configurações, pode-se ver que o servidor então retorna um status 201, que mostra que o consumo foi criado.

6.4 Resultados

Os testes revelaram algumas necessidades adicionais do sistema, como a necessidade de manutenção periódica da aplicação na nuvem, assim como outras imperfeições que limitaram a exatidão do sistema. Porém os resultados foram positivos ao resultar em uma arquitetura escalável e modularizada, o que aumenta as possibilidades do sistema.

7 Considerações Finais

O projeto permitiu o uso dos conhecimentos vistos em aula relacionados à microeletrônica, redes, sistemas digitais, engenharia de software, banco de dados, entre outros. Pelo fato da implementação ter envolvido uma grande variedade de conhecimentos cujas noções básicas foram ensinadas no percorrer da faculdade, o projeto foi muito interessante do ponto de vista de aprendizado, porém dificultou muito a implementação que divergiu um pouco da área de especialização do curso, mas ainda concentrando-se na engenharia.

Ainda relacionado, um grande desafio esteve na parte da implementação dos circuitos, uma vez que o projeto exigia o manuseio direto da rede elétrica, isso deixou os integrantes bem apreensivos, sendo que ao final do projeto o medo foi superado.

O sistema tinha como objetivo prover ao usuário do sistema uma noção do consumo de cada equipamento para que esse tivesse mais controle sobre seus gastos. Além disso, o sistema deveria ser simples de montar e de baixo valor. Pode se dizer que tais objetivos foram alcançados, apesar do alto custo de investimento inicial, sendo que cada equipamento adicional a ser monitorado custaria um adicional de aproximadamente 200 reais (contando o custo do dólar em aproximadamente 4 reais). A teoria envolvida também pode ser considerada simples, dado que hoje em dia há uma diversidade de fontes abertas para o aprendizado. Portanto, o gargalo para a construção do sistema se torna mesmo a vontade que o usuário tem em aprender as técnicas, tecnologias e ferramentas envolvidas e a disponibilidade monetária que esse possui.

8 Trabalhos Futuros

O trabalho ainda não passa de um protótipo, tendo vários pontos de melhoria. Das melhorias possíveis do sistema, podem ser citadas:

- Controle da rede de sensores pela aplicação ou outros meios: uma das funcionalidades envisionadas no início do projeto era a possibilidade de controlar a rede pela aplicação a rede para, por exemplo, controlar a periodicidade das amostragens dos módulos sensores ou forçar os módulos a dormir, o que possibilitaria ao sistema monitorar de uma maneira mais eficiente os equipamentos existentes. Tal funcionalidade é possível devido a utilização de XBee no sistema.
- Medição de potência real e reativa: no trabalho, uma das premissas foi o uso de um fator de potência unitário, o que pode, na maioria dos casos, ser aproximada em residências. Porém, se tais grandezas fossem medidas seria possível um controle da qualidade da rede, aproximando o usuário à qualidade do serviço do distribuidor. Ou então o uso do sistema em empresas, que usam mais intensamente a rede.
- Possibilitar vários usuários no sistema: ao possibilitar a entrada de mais de um usuário no sistema possibilitaria escalar o protótipo para um produto onde vários usuários poderiam, por exemplo, comparar seus gastos com outras residências similares aumentando o grau de educação dele.

Referências

- CO., D. *Digi - Products Documentation*. 2015. <http://ftp1.digi.com/support/documentation/html/90001399/90001399_A/Files/XBee-concepts.html#_Toc384719504>. 20, 21
- ELETROPAULO, A. 2015. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica/>>. 35
- FERDOUSH, S. M. *A LOW-COST WIRELESS SENSOR NETWORK SYSTEM USING RASPBERRY PI AND ARDUINO FOR ENVIRONMENTAL MONITORING APPLICATIONS*. Dissertação (Mestrado) — University of North Texas, may 2014. 19
- FOUNDATION, R. P. *Raspberry Pi Site Oficial*. 2015. <<https://www.raspberrypi.org/>>. 49
- G1. *Aneel aprova aumento de até 17,04% nas tarifas da Eletropaulo*. 2015. <<http://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/2015/06/aneel-aprova-aumento-de-ate-1704-nas-tarifas-da-eletropaulo.html>>. 17
- INC., D. I. *Exploring XBee and XCTU*. 2015. <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu>>. 56
- INC., G. A. 2015. Disponível em: <<http://www.greenant.com.br/>>. 17, 18
- INC., H. *Heroku Platform*. 2015. <<https://www.heroku.com/home>>. 50
- INC., N. 2015. Disponível em: <<http://neur.io/>>. 18
- OPENENERGYMONITOR. *Open-source tools for energy monitoring and analysis*. 2015. <<http://openenergymonitor.org/emon/>>. 18
- RAMOS, J. de S. B. *Instrumentação Eletrônica sem fio - Transmitindo Dados com Módulos XBee ZigBee e PIC16f877A*. 1. ed. [S.I.]: Editora Érica Ltda., 2012. 20, 21
- S.PAULO, O. E. de. *Reajustes deixam tarifa de energia em novo nível*. 2015. <<http://www.energia.sp.gov.br/lenoticia.php?id=733>>. 17
- YICK BISWANATH MUKHERJEE, D. G. J. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 2008. 20

APÊNDICE A – Orçamento

Componentes	qtd	Total(R\$)	Total(\$)
XBee 2mW PCB Antenna	4		\$103,80
XBee Explorer Dongle	1		\$24,95
Kit Raspberry Pi2	1	R\$309,89	
Sensores de Corrente	3		\$29,85
XBee Shield	3		\$44,85
Arduino Stackable Header Kit	4		\$6,00
Arduino Uno - R3	3	R\$ 137,70	
Totais		R\$447,59	\$209,45

Tabela 2 – Orçamento do projeto.