

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
INSTITUTO METRÓPOLE DIGITAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

Domótica de baixo custo usando princípios de IoT

Marcelo Varela de Souza

Orientador: Prof. Dr. André Maurício Cunha Campos
Co-orientador: João Moreno Vilas Boas de Souza

Natal-RN
Agosto/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
INSTITUTO METRÓPOLE DIGITAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

Domótica de baixo custo usando princípios de IoT

Marcelo Varela de Souza

Orientador: Prof. Dr. André Maurício Cunha Campos
Co-orientador: João Moreno Vilas Boas de Souza

Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Software do Instituto Metrópole Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Software.

Natal-RN
Agosto/2016

Catálogo da Publicação na Fonte
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Sistema de Bibliotecas Biblioteca Central Zila
Mamede / Setor de Informação e Referência

Souza, Marcelo Varela de.

Domótica de baixo custo usando princípios de IoT / Marcelo Varela de Souza. - 2016.
48 f. : il.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Instituto Metrópole Digital, Pós-Graduação em Engenharia de Software. Natal, RN, 2016.

Orientador: André Maurício Cunha Campos.

Coorientador: João Moreno Vilas Boas de Souza Silva.

1. Automação residencial - Dissertação. 2. Domótica - Dissertação. 3. Arduino -
Dissertação. I. Campos, André Maurício Cunha. II. Silva, João Moreno Vilas Boas de Souza.
III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 681.5

Domótica de baixo custo usando princípios de IoT

Autor: Marcelo Varela de Souza
Orientador: Prof. Dr. André Maurício Cunha Campos

RESUMO

A procura por soluções domésticas abriu caminho para a automação residencial por meio de sistemas que se propõe a melhorar a qualidade de vida e economizar recursos. O presente trabalho faz um breve estudo sobre domótica e os componentes eletrônicos necessários para sua aplicação. Descreve ainda o método para o desenvolvimento de um projeto de automação residencial usando conceitos de IoT e a plataforma Arduino. O sistema proposto possui, além do baixo custo, uma interface de fácil utilização, e é composto por uma aplicação para smartphones e sensores de controle para equipamentos domésticos, como lâmpadas e condicionadores de ar. O desenvolvimento deste sistema se deu através da utilização de emissores e receptores infravermelhos, módulos de radiofrequência XBee e plataformas microcontroladas Arduino, nas versões Mega e Uno e microcontroladores ESP8266.

Palavras-chave: Domótica, Automação Residencial, Arduino, ZigBee, ESP8266

Low cost domotic using principles of IoT

Author: Marcelo Varela de Souza
Advisor: Prof. Dr. André Maurício Cunha Campos

ABSTRACT

Demand for domestic solutions opened the way for the home automation through systems that proposes to improve the quality of life and save resources. This paper makes a brief study of home automation and electronic components required for your application. It also describes the method for the development of a home automation project using concepts of IoT and the Arduino platform. The proposed system has, in addition to low cost, a friendly interface, and consists of an application for smartphones and control sensors for household appliances such as lamps and air conditioners. The development of this system was made through the use of infrared transmitters and receivers, XBee radio frequency modules and Arduino microcontrolled platforms, in some versions, and microcontrolled ESP8266.

Key-words: Domotics, Residential Automation, Arduino, ZigBee, ESP8266

Sumário

1. Introdução.....	6
1.1. Contextualização.....	6
1.2. Justificativa	11
1.3. Objetivos	12
2. Conceitos e tecnologias.....	13
2.1. Internet das Coisas (IoT).....	13
2.2. Comunicação entre dispositivos	15
2.3. Arduino	22
2.4. Microcontrolador ESP8266	24
2.5. Domótica.....	26
3. Materiais e Métodos.....	29
3.1. Arquitetura do sistema	30
3.1.1. Centrais de Controle	31
3.1.1.1. Central de Controle 1	32
3.1.1.2. Central de Controle 2	33
3.1.1.3. Central de Controle 3	33
3.1.2. Funcionamento das Centrais de Controle	35
3.1.2.1. Funcionamento das Centrais 1 e 2 – Xbee.....	35
3.1.2.2. Funcionamento da Centrais 3 – ESP8266.....	37
3.1.3. Comparação entre as centrais Arduino/XBee e ESP8266	37
3.2. API de comunicação	39
3.3. Aplicação Mobile.....	41
3.3.1. Aplicação para smartphone.....	41
4. Considerações finais.....	44
5. Referências.....	46

1. Introdução

1.1. Contextualização

A tecnologia tem evoluído a um ritmo acelerado, impondo novas regras ao mundo em que vivemos, sendo nós próprios, mesmo que inconscientemente, usuários dessa tecnologia ao sermos forçados a nos adaptar a este processo evolutivo.

Área em constante crescimento, a automação tem um vasto campo de atividades – desde a integração de sensores que permitem detectar fumaça, fluxo de líquidos ou vazamentos de gás, até o processamento automático de lâmpadas, televisores, projetores multimídia e condicionadores de ar.

Automação é a denominação para sistemas automáticos de controle, pelos quais os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência humana. Atualmente, a automação está presente em diferentes níveis de atividades do homem, desde as residências e sistemas de controle de tráfego, até processos industriais, projetos de pesquisas e jornadas espaciais.

Esses avanços tecnológicos, aliado à busca por conforto, acessibilidade e segurança, vêm fazendo com que as residências possuam cada vez mais sistemas automatizadores. Esses sistemas são capazes de detectar eventos como a presença das pessoas em determinados cômodos da casa, capturar alterações nas condições de temperatura e umidade ambiente. Quando esses eventos acontecem, reações são aplicadas ao ambiente seguindo configurações definidas previamente no sistema (BOLZANI, 2004).

Aqui no Brasil, segundo o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), entre os anos de 1996 e 2006, a população com idade superior oitenta anos passou de 11,5% para 13,2%, mostrando a tendência de envelhecimento da população. Essa população de idosos quer manter

independência e morar sozinho é o símbolo de sua autonomia. Porém, com o avançar da idade, precisam de cuidados especiais, pois alguns possuem limitações de locomoção ou algum tipo de deficiência, como auditiva e visual. Levantamentos mostram que 30% dos idosos caem ao menos uma vez ao ano e dessas, 70% ocorrem dentro de suas residências (SUS, 2006). A domótica pode oferecer um ambiente mais seguro e confortável para este público.

O termo Domótica foi adotado para nomear residências que empregam serviços automatizados. Tecnicamente falando, uma rede domótica pode ser caracterizada como um conjunto de serviços diretamente conectados que são responsáveis por realizar tarefas de gerenciamento e atuação na área residencial (MARIOTONI, 2002).

São várias as aplicações possíveis da domótica, desde luzes ativadas por sensores de presença – para economizar energia – até controles de acesso – para maior segurança residencial. Essas soluções automatizadas buscam consolidar interfaces de fácil uso para a finalidade desejada, seja ela de aprimoramento na segurança, entretenimento ou controle de dispositivos como televisores e condicionadores de ar.

Atualmente os valores para implantação de sistemas automatizados em residências ainda são elevados e estão associados ao luxo e ao conforto. Entretanto, acreditamos que esta área deve ser vista como uma necessidade, principalmente no tocante à eficiência e eficácia de seus benefícios em relação a segurança, autonomia e mobilidade, além de ampliar seu uso em residências de menor poder aquisitivo. Estes aspectos da automação se tornam ainda mais relevantes quando o aplicamos a economia e melhor uso de um recurso, como água ou energia elétrica ou a proporcionar mais independência aos moradores com dificuldades de locomoção dentro de casa.

Outrossim, ao passo em que a domótica vem reduzindo seu custo de implantação, vem crescendo o número de pessoas com acesso à internet. Hoje, pode-se afirmar que vivemos em um mundo conectado onde as fronteiras são mais reduzidas em virtude da comunicação.

Chega a ser inacreditável o avanço científico ocorrido nas últimas décadas, principalmente no tocante à capacidade de comunicação e transmissão de dados entre indivíduos, organizações ou até mesmo nações.

Há pouco mais de vinte anos seria impossível imaginar que, em duas décadas, possuiríamos um pequeno computador de bolso que nos manteria em contato com o mundo, fosse através ligações ou por meio de informações em tempo real. Mesmo a internet era pouquíssima conhecida ou difundida nessa época.

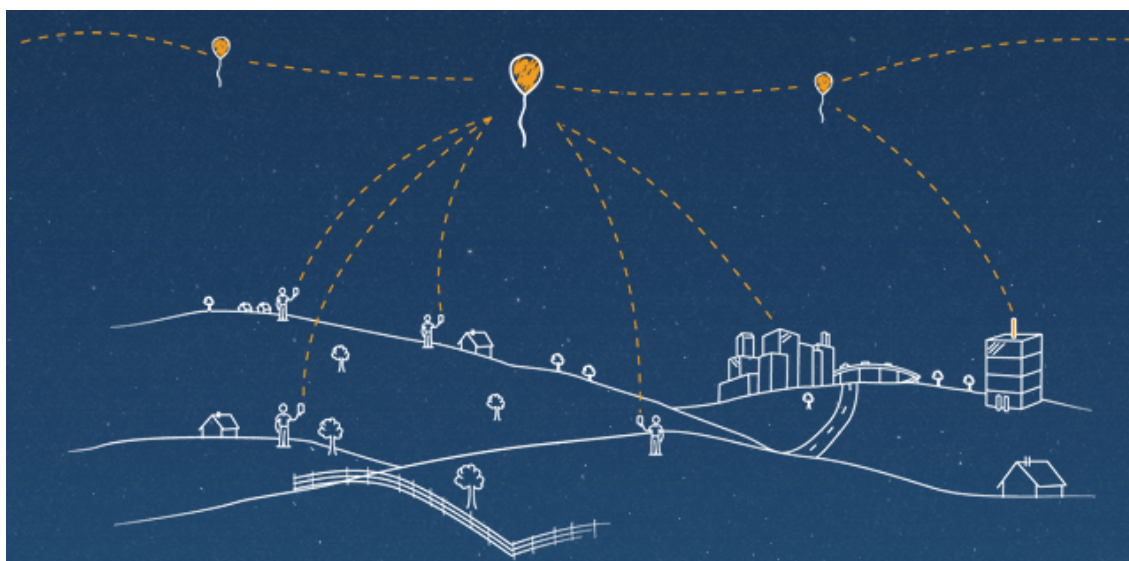
Porém, hoje as coisas mudaram de maneira substancial. Segundo pesquisa realizada pelo IBOPE Media no primeiro trimestre de 2013, o total de pessoas com acesso à internet no Brasil chegou a 102,3 milhões, atingindo um marco inédito.

Esses dados dão o tom sobre nível de transformações que a sociedade está sofrendo. A própria maneira de ver o ensino está mudando com a inserção de ferramentas tecnológicas que auxiliam a relação professor-aluno no processo de ensino-aprendizagem, sejam em modalidades EaD ou presencial.

Segundo Castro (2012), as políticas de inclusão digital foram fomentadas por países que adquiriram, mais rapidamente, o manejo dos aparatos info-tecnológicos para assegurar o desenvolvimento sustentável, o combate à pobreza e às desigualdades sociais no mundo.

Hoje, o Brasil já figura entre os países com maior número de usuários de internet do mundo (IBGE, 2015). Aliado a isso, grandes empresas do mundo da tecnologia também têm divulgado iniciativas em relação à inclusão digital. O Facebook, a Nokia e a Samsung, por exemplo, fazem parte do internet.org, parceria que tem como objetivo levar a Internet a áreas remotas. Já a empresa Google pretende ampliar o acesso à internet por meio de balões no que chama de "*Project Loon*" (Figura 01).

Figura 01: Esquema de transmissão da internet no Projeto Loon.



Fonte: <http://www.google.com/intl/pt-BR/loon/how/>

O Projeto Loon iniciou um piloto na Ilha Sul da Nova Zelândia, em junho de 2013, usando trinta balões levaram a Internet a um pequeno grupo de pessoas selecionadas para o teste inicial. A partir daí novos testes-piloto foram surgindo e mais pessoas foram sendo incluídas no mundo conectado pela internet. Segundo o Google, o Projeto Loon continuará se ampliando com a meta de estabelecer um anel de conectividade ininterrupta em certas latitudes do hemisfério Sul. Com isso as pessoas que participaram dos testes nessas latitudes terão um serviço contínuo de Internet fornecida por balão.

Em 2014, o Google concluiu a primeira fase de testes ao lançar seus primeiros balões no Piauí, no Nordeste brasileiro. Foram dois lançamentos: o primeiro, em 28 de maio de 2014, uma escola na zona rural de Campo Maior teve sua primeira aula com acesso à internet. O segundo foi em 6 de junho do mesmo ano em Teresina. Os balões sobrevoaram as áreas, transmitindo sinal 4G LTE fornecido pela Vivo.

Desta forma, conforme o exposto acima, o objetivo deste trabalho é apresentar uma solução de baixo custo, utilizando algumas das tecnologias WiFi disponíveis atualmente e uma aplicação para smartphones que visa viabilizar a automação residencial através de um

acesso remoto via internet. Foram usadas neste trabalho as instalações do LAICA como ambiente simulado de uma residência.

LAICA

Localizado no campus Natal Central do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande Norte, o LAICA (Laboratório de Pesquisa em Informática, Comunicação e Automação) tem como propósito a pesquisa acadêmica nas áreas de interesse de Domótica, Robótica Educacional.

Figura 02: banca de estudos do LAICA.



1.2. Justificativa

O tema escolhido é atual e carente de soluções no mercado de forma mais ampla e acessível, o que possibilita uma nova oportunidade de negócio tendo em vista seu crescimento e aplicação.

A habitação está passando por transformações de cunho social e tecnológico que trazem mudanças e possibilidades para novas infraestruturas de automação. Essa dissertação tem por objetivo propor uma infraestrutura de baixo custo para promover e ampliar o uso dos sistemas domóticos e, como consequência, viabilizar a comercialização deste produto.

Estudos realizados pela Associação Brasileira de Automação Residencial apontam que mais de 1,8 milhões de residências com potencial para a utilização de sistemas automatizados. Entretanto, até o ano de 2013, apenas 300 mil residências haviam tido sua demanda atendida. Desta forma, urge a necessidade de atender de imediato a um déficit superior a 1,5 milhão de residências (MURATORI, 2014).

Esta dissertação trabalhou com a hipótese de que, usando um protocolo simples para troca de informações e módulos Arduino para aplicação na domótica, pode-se oferecer um sistema domótico de baixo custo nas residências, onde o usuário poderá contar com serviços que proporcionarão maior conforto e comodidade para tarefas do dia-a-dia dentro de seu lar.

1.3. Objetivos

Objetivo geral

Diante do cenário apresentado, este trabalho tem por objetivo propor um modelo de baixo custo para aplicação da domótica como ferramenta de conforto, independência e entretenimento em residências comuns, considerando as tecnologias de comunicação sem fio disponíveis e os dispositivos de baixo custo para seu funcionamento. Também será desenvolvida uma aplicação para smartphone para interface com o usuário e as várias tecnologias dentro do modelo proposto.

Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podemos apontar os seguintes:

- Identificar o que está sendo feito sobre domótica, em termos de padronização, no Brasil e no mundo;
- Propor um modelo de sistema de domótica residencial que use dispositivos de baixo custo;
- Comparar os modelos de sistema de domótica residencial usando Arduino com XBee e usando ESP8266;
- Implementar o sistema, a título de protótipo, em um laboratório experimental nas instalações do IFRN/Campus Natal Central, para validação do modelo proposto.

2. Conceitos e tecnologias

Este capítulo contém a revisão dos principais conceitos das tecnologias relacionadas à proposta deste trabalho. Para facilitar o entendimento, o presente capítulo está organizado em seções que revisam cada tecnologia separadamente.

2.1. Internet das Coisas (IoT)

O termo Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), também chamado de Internet dos Objetos, é um paradigma que vem crescendo no cenário moderno de telecomunicações sem fio (GIUSTO, 2010).

A principal característica deste conceito é a presença de um conjunto de objetos, sensores e dispositivos eletrônicos e comunicação que são capazes de interagir entre si, a partir de uma rede (como a Internet) com um objetivo de colaboração. Sendo assim, pode-se esperar que a Internet, que hoje conecta pessoas entre si, passe a conectar também pessoas a objetos e objetos a outros objetos.

Um dos cenários onde a IoT mais exerce impacto é no cotidiano e nos aspectos de comportamento das pessoas (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Atualmente é muito comum aplicações que permitem o acompanhamento e monitoramento de atividades físicas, mesmo para atletas amadores, combinando o uso de uma aplicação para smartphone e um monitor de batimentos cardíacos, por exemplo. Outro cenário comum está voltado para o ambiente doméstico automatizado – foco deste trabalho. Ligar e desligar aparelhos de nossa casa, monitorar a temperatura do nosso quarto ou mesmo ligar os regadores do jardim de forma programada e automática, tudo isso a distância, são alguns exemplos de como a IoT pode estar presente em nosso dia-a-dia.

Uma outra característica marcante na IoT é a mobilidade. Sabemos que a Internet possui um alcance global e possibilita que

dispositivos conectados a ela se comuniquem ao redor do mundo. Este benefício também é válido para os objetos pois poderão ser mudados de local mantendo-se ainda disponíveis na rede para serem controlados. Dispositivos com capacidade de comunicação são capazes de se conectarem a outros dispositivos para controlá-los ou monitorá-los, trocando informações.

A aplicação dos conceitos de IoT requer uma vasta gama de elementos tecnológicos, seja em relação ao uso de sensores eletrônicos para os mais diversos tipos de monitoramento, seja em relação a parte de computação para programação e transmissão de dados.

Com o uso de tecnologias como XML e/ou JSON, que especificam como o dado deve ser formatado e interpretado, os dispositivos conseguem estabelecer uma forma de troca de dados na camada de aplicação, permitindo a tradução dos dados para o acionamento das funcionalidades dos dispositivos. Essas tecnologias são de fundamental importância para trazer interoperabilidade IoT, pois são independentes de plataformas, linguagens de programação ou do próprio hardware, bastando apenas que as duas pontas sejam capazes de entender os dados trocados entre eles.

Ainda há um longo caminho a ser percorrido até que a IoT se torne uma realidade ao grande público, como é atualmente a rede elétrica, gás e água e esgoto. A adoção de padrões de protocolos e tecnologias ainda precisam de mais normatização e regras, para que seja possível a comunicação direta a integração dos dispositivos e sistemas de forma o mais independente possível do fornecedor, oferecendo assim uma escala maior para adoção da IoT.

2.2. Comunicação entre dispositivos

Pensando em automação residencial, um dos principais fatores é a comunicação entre os vários dispositivos dentro da casa. Para tornar possível essa operação, precisamos de objetos inteligentes. Neste cenário, um objeto inteligente pode ser caracterizado por um objeto do dia-a-dia, com sensores conectados a ele para captar informações sobre como temperatura, presença de corrente elétrica, movimento etc., ligados a um microcontrolador que possibilite a comunicação deste objeto a outros objetos.

Nas próximas subseções faremos uma breve descrição sobre as tecnologias mais difundidas na intercomunicação de dispositivos dentro do cenário da IoT.

TCP/IP

O TCP/IP foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, em 1969, como um recurso para um projeto experimental chamado de ARPANET (Advanced Research Project Agency Network) para atender a necessidade de comunicação entre um grande número de sistemas de computadores e organizações militares ao redor do mundo. O objetivo do projeto era disponibilizar links de comunicação, usando redes de comutação de pacotes. Este protocolo deveria ter a capacidade de encontrar a melhor rota entre dois pontos, além de procurar rotas alternativas caso alguma delas tivesse sido desativada.

O TCP/IP é um conjunto (ou pilha) de protocolos de comunicação para computadores ligados em rede. Sua nomenclatura vem da junção de dois outros protocolos: o TCP (Transmission Control Protocol) e o IP (Internet Protocol). Há várias semelhanças com o Modelo OSI, que permite ver os protocolos em camadas, onde cada camada é responsável

por um grupo de funções bem definidas, fornecendo um conjunto de serviços para o protocolo da camada superior.

A camada de aplicação é a camada usada pelos programas que usam a rede como forma de trocar informações com outros programas a partir de seus protocolos específicos. Diversos protocolos típicos de aplicações que fazem acesso a Internet estão nesta camada, dentre eles estão os exemplos a seguir:

- HTTP (Hypertext Transport Protocol) – usado para a publicação de sites da Internet;
- FTP (File Transfer Protocol) – usado para transferência de arquivos pela Internet;
- SMTP (Simple Mail Transport Protocol) – usado o envio de mensagens de e-mail.
- IMAP (Internet Mail Access Protocol) – usado para recepção de mensagens de e-mail.

A camada de transporte gerencia como os dados são enviados na rede. Os principais protocolos desta camada são o TCP (Transmission Control Protocol) e o UDP (User Datagram Protocol). No TCP, a troca de dados é orientada à conexão, fazendo o controle de fluxo e garantindo a entrega dos pacotes de forma ordenada. O UDP, no entanto, não oferece nenhuma dessas garantias, contudo oferece em troca a velocidade, sendo adequado para transmissões via streaming e em tempo real, onde a perda de pacote é aceitável.

No modelo TCP/IP, a camada de Internet é responsável pelo roteamento de pacotes, adicionando ao datagrama (pacote de dados) informações sobre o caminho que ele deverá percorrer. Os principais protocolos contidos nesta camada são IP, ARP e ICMP.

Por fim, a camada de acesso a rede é responsável especificar a forma na qual os dados devem ser encaminhados, independentemente do tipo de rede utilizada. A camada acesso rede contém ainda as especificações relativas à transmissão de dados em uma rede física, seja ela uma rede local (*token-ring*, *Ethernet*, *FDDI*), uma conexão com uma linha telefônica ou qualquer outro tipo de ligação a uma rede.

Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fio, via interface de rádio, que possibilita que dispositivos eletrônicos se conectem uns aos outros, dentro de um determinado raio de alcance, trocando informações dentro de uma rede *ad hoc* (HAARTSEN, 1998).

As características da tecnologia Bluetooth são robustez, baixo consumo de energia e curto raio de alcance. Esse padrão de comunicação sem fios tem a vantagem de não precisar ter visada direta entre os diversos dispositivos, como acontece com o infravermelho.

Para que seja possível atender vários cenários e tipos de dispositivos, o alcance máximo nominal do Bluetooth foi dividido em três classes:

- Classe 1: potência máxima de 100 mW, alcance máximo de 100m;
- Classe 2: potência máxima de 2,5 mW, alcance máximo de 10m;
- Classe 3: potência máxima de 1 mW, alcance máximo de 1m.

Quando dois ou mais dispositivos se comunicam por meio de uma conexão Bluetooth, eles formam uma rede denominada *piconet*. O dispositivo que iniciou a conexão assume o papel de mestre, enquanto os demais se tornam escravos. Cabe ao dispositivo mestre a função de regular a transmissão de dados na rede e manter o sincronismo entre os dispositivos. Cada *piconet* pode suportar até 8 dispositivos, sendo um mestre e mais sete escravos, contudo, é possível aumentar o número de dispositivos conectados a partir da sobreposição de *piconets*. Vale ressaltar que um dispositivo escravo pode fazer parte de mais de uma *piconet* ao mesmo tempo, enquanto que um mestre pode ocupar este papel em somente uma *piconet*.

As aplicações do Bluetooth são muitas, entre elas podemos citar as seguintes: controle de equipamentos sem fio e transferência de arquivos.

Bluetooth LE

Também conhecido como Bluetooth Smart ou Bluetooth 4.0, é uma tecnologia de transmissão de dados, via comunicação sem fio, evoluída a partir do Bluetooth convencional, usa os mesmos 2.4 GHz porém com baixo consumo de energia, mantendo o alcance e fortemente focada IoT.

O Bluetooth LE foi concebido para ser usado em equipamentos que possam consumir o mínimo de energia possível como medidores cardíacos, beacons, entre outros. Tem atualmente largo uso em sistemas para casas inteligentes, soluções de geo-referenciamento e pagamentos móveis.

ZigBee

Por fim, a tecnologia ZigBee é um padrão para redes de telemetria sem fio, de baixa potência e com bateria de longa duração (NORRIS, 2005). O ZigBee oferece uma rede de arquitetura em malha de baixo custo. Por ser de baixo custo, facilita a adoção dessa tecnologia em cenários de aplicações de monitoramento e controle sem fio.

Uma rede ZigBee pode ser aplicada a três topologias: estrela, malha e árvore. Na topologia estrela, um dispositivo com função de coordenador, destinado ao controle dos parâmetros, deve ser colocado em cada rede. Em redes estrela, o coordenador é o nó central. Na topologia árvore, a duas possibilidades de direção: o nó se comunica apenas com seus nós-filho ou diretamente com seu nó pai. Já na topologia de malha, os nós se comunicam com todos os demais nós que estejam ao seu alcance.

O padrão ZigBee se encaixa muito bem em aplicações embarcadas não muito complexas e que têm de baixo consumo de energia, taxa de transferência de dados baixa e custo reduzido (FARAHANI, 2008). Possui ainda baixa latência, com curto espaço de tempo (cerca de 30ms)

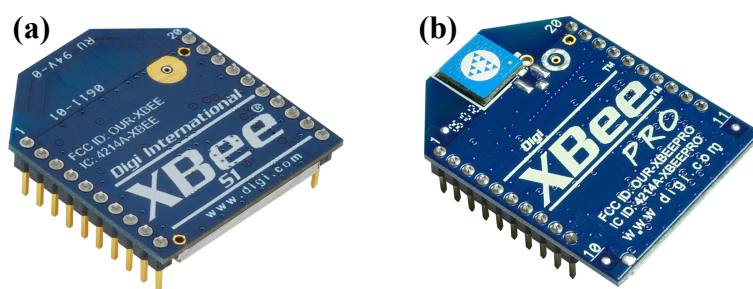
para a ligação a rede e rapidez nas transições entre do modo de espera e o modo de transmissão.

Em virtude do seu baixo custo, flexibilidade, difusão e padronização, o ZigBee torna-se facilmente aplicável a automação residencial/predial, sistema de controle industrial entre outros. Os microcontroladores Arduino possuem adaptadores para trabalhar com módulos XBee, que implementam o protocolo ZigBee para troca de dados.

Existem uma vasta gama de modelos de XBee disponíveis no mercado, cada um com suas próprias características, como capacidade de potência e transmissão, as quais se adequam aos mais diversos tipos de projetos. Uma vez configurado e conectado a uma fonte de energia, o módulo XBee se conecta automaticamente à rede ZigBee e envia dados do microcontrolador para outros nós da rede.

Todavia, independentemente da série ou do tipo, os Xbee possuem seus *pinouts* semelhantes, ou seja, suas entradas e saídas de alimentação, TX e RX estão no mesmo lugar, tornando esses chips muito intercambiáveis (Figura 04).

Figura 04: (a) módulo XBee e (b) XBee-Pro.



Quanto à família, nós podemos classificar os Xbee's em: Série 1, Série 2, 2B, 900MHz, XSC e S3B. A Série 1, também conhecida como XBee 802.15.4, é a mais simples, pois não necessita de configuração prévia. Ela é indicada para aplicações mais simples, funcionando em uma arquitetura ponto-a-ponto. Já na Série 2, os módulos podem ser executados em modo transparente ou trabalhar com comandos API, dependendo da atualização do firmware. Eles também podem ser executados em uma rede de malha tornando-os altamente

configuráveis. A desvantagem é o fato das séries 1 e 2 não serem compatíveis. Os demais modelos visam aplicações com maiores alcances, podendo chegar a até 50km.

Existem também algumas diferenças entre os dispositivos com relação ao tipo de antena utilizadas, as quais podem ser: chip, wire, U.FL, RPSMA ou PCB.

As mensagens trafegadas em uma rede ZigBee são modeladas na forma de frames que contém dados relevantes para sua comunicação entre os nós da rede. Para tanto, o formato das informações enviadas na comunicação entre os módulos XBee's é definido por uma API (*Application Program Interface*), favorecendo o gerenciamento dos módulos por outros programas.

Tabela 01: Modelos de XBee disponíveis no mercado.

Modelo	Antena	Protocolo	Alcance	Consumo	Frequ.	Pot.	Taxa
XBee S1	Chip	802.15.4	90m	50mA	2,4GHz	1mW	250kbps
	Externa	802.15.4	90m	50mA	2,4GHz	1mW	250kbps
	Wire	802.15.4	90m	50mA	2,4GHz	1mW	250kbps
	PCB	802.15.4	90m	50mA	2,4GHz	1mW	250kbps
	Trace	802.15.4	90m	50mA	2,4GHz	1mW	250kbps
XBee S2	Externa	ZigBee Mesh	120m	40mA	2,4GHz	2mW	250kbps
	Wire	ZigBee Mesh	120m	40mA	2,4GHz	2mW	250kbps
	PCB	ZigBee Mesh	120m	40mA	2,4GHz	2mW	250kbps
	RPSMA	ZigBee Mesh	120m	40mA	2,4GHz	2mW	250kbps
ZBee Pro S1	Externa	802.15.4	1,8km	205mA	2,4GHz	60mW	250kbps
	Wire	802.15.4	1,8km	205mA	2,4GHz	60mW	250kbps
	PCB	802.15.4	1,8km	205mA	2,4GHz	60mW	250kbps
XBee Pro S2	Externa	ZigBee Mesh	1,8km	295mA	2,4GHz	50mW	250kbps
XBee Pro S2B	Externa	ZigBee Mesh	1,8km	295mA	2,4GHz	63mW	250kbps
	Wire	ZigBee Mesh	1,8km	295mA	2,4GHz	63mW	250kbps
	PCB	ZigBee Mesh	1,8km	295mA	2,4GHz	63mW	250kbps
XBee Pro 900	Externa	Multiponto	11km	210mA	900Hz	50mW	156kbps
	Wire	Multiponto	11km	210mA	900Hz	50mW	156kbps
	RPSMA	Multiponto	11km	210mA	900Hz	50mW	156kbps
XBee Pro 900 XSC	RPSMA	Multiponto	27km	256mA	900Hz	100mW	9,6kbps
XBee Pro 900 SB3	Wire	Multiponto	50km	215mA	900Hz	250mW	10kbps

O microcontrolador presente no módulo XBee efetua o tratamento necessário nas mensagens para que sejam transmitidas entre os

módulos seguindo as especificações do padrão ZigBee. Por exemplo, caso o módulo coordenador não seja capaz de enviar a mensagem para o módulo de destino, o módulo coordenador sinalizará a partir de uma mensagem que não foi possível executar o comando enviado. Essa função é muito útil pois oferece confiabilidade ao sistema, tornando possível que a aplicação possa lidar com estes casos onde ocorreram erros na transmissão de comandos.

Neste nosso projeto utilizamos o protocolo TCP/IP como base para comunicação entre o aplicativo do smartphone e a central de automação residencial. A partir do módulo Arduino Ethernet podemos receber solicitações pela internet por meio da camada de aplicação do TCP/IP.

Entre as tecnologias sem fio Bluetooth e ZigBee, optamos pelo ZigBee. Tanto o Bluetooth como o ZigBee têm suas aplicações apropriadas. O Bluetooth se comporta bem, por exemplo, para aplicações de troca áudio como fone sem fio e transferência de dados entre dispositivos como smartphones e impressoras. Já o ZigBee é mais adequado para as aplicações de controle, redes de sensores ou redes com muitos dispositivos. O ZigBee se mostra uma opção mais interessante para cenários onde se trafegam pequenos pacotes de dados e onde consumo de bateria é crucial (CORREIA, REAL, 2006). A Tabela 02 apresenta as principais características das duas tecnologias.

TABELA 02: Comparações entre Bluetooth e ZigBee.

Característica	Bluetooth	ZigBee
Taxa de Transferência	1Mbps-3Mbps	250Kbps
Corrente de Transmissão	40mA	30mA
Corrente em Standby	200µA	3µA
Memória	< 100KB	> 32KB
Tempo de Acesso a Rede	3s	30ms
Tempo de Transição de Escravos	3s	30ms
Tempo de Acesso ao Canal	2ms	15ms
Alcance	1m-100m	1m-100m+
Número de Dispositivos	8	65535
Consumo de bateria	dias	anos

2.3. Arduino

O projeto Arduino iniciou na Itália em 2005, no Interaction Design Institute, onde professor Massimo Banzi pesquisava uma forma de seus estudantes trabalharem com tecnologia com simplicidade e baixo custo. Na época, ficou constatado que os produtos disponíveis no mercado não atendiam às premissas estabelecidas quanto ao preço e complexidade. Desta forma, Banzi e outros pesquisadores optaram por projetar um microcontrolador que custasse ao estudante o equivalente ao valor de um bom jantar e que fosse intuitivo e fácil de utilizar. A nova placa desenvolvida por eles foi batizada de Arduino e teve uma tiragem inicial de duzentas placas. (SARTORI et al., 2015).

Desde que o Arduino Project teve início, centenas de milhares de placas Arduino foram vendidas em todo o mundo. O número de placas-clone não oficiais sem dúvida supera o de placas oficiais, assim, é provável que mais de 1 milhão placas Arduino e suas variantes tenham sido vendidas. Sua popularidade não para de crescer e cada vez mais pessoas percebem o incrível potencial desse maravilhoso projeto de fonte aberta para criar projetos interessantes rápida e facilmente, com uma curva de aprendizagem relativamente pequena.

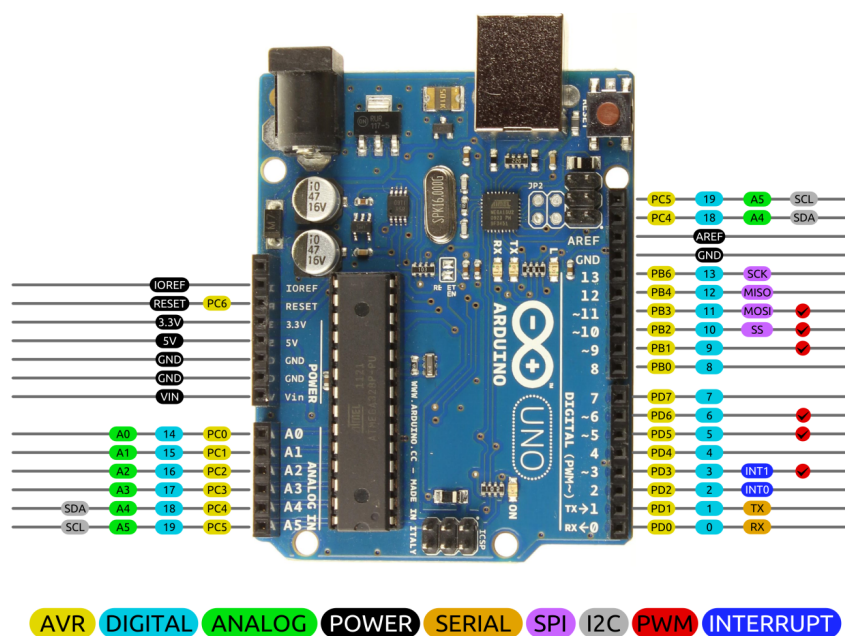
Da sua idealização aos dias de hoje, a plataforma Arduino vem sendo utilizada em várias aplicações. Por se tratar de uma plataforma livre e de baixo custo é muito utilizada no ensino, seja de crianças, adolescentes, jovens ou adultos (PEREZ, 2013).

A maior vantagem do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização, uma vez que as pessoas que não pertencem à área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto (MACROBERTS, 2015).

Em termos práticos, o Arduino é um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o

dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (MACROBERTS, 2015). Essa interação pode ocorrer por meio de sensores de temperatura, luz, som, etc, ou através de atuadores como leds, motores, displays, alto-falantes, dentre outros, criando possibilidades ilimitadas (GUIMARÃES, 2007).

Figura 05: Pinout Arduino UNO R3.

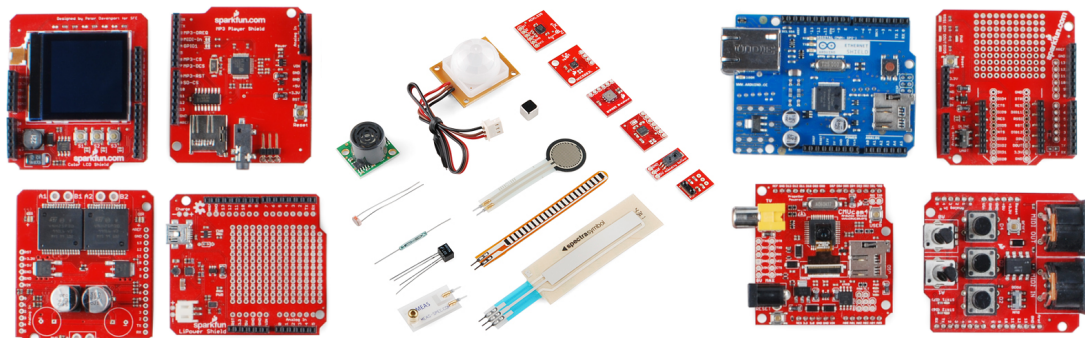


Há uma diversidade de placas de prototipagem Arduino no mercado, inclusive desenvolvidas no Brasil. Cada modelo dessas placas possui suas próprias características, as quais as diferem das demais, tais como velocidade, memórias, pinos I/O, dentre outras. O Arduino Uno R3, por exemplo, (Figura 5) é a última geração de uma série bastante popular de placas Arduino, a qual inclui o Duemilanove (2009 em italiano). Esta placa utiliza um microcontrolador ATmega328, tensão de operação de 5V, 14 pinos de entrada/saída digital, 6 pinos de entrada/saída analógicos, 32 KB de memória flash, 2 KB de SRAM,

1 KB de EEPROM e velocidade de clock de 16 MHz (GOMES, TAVARES, 2013). Além disso, pode-se utilizar também a modulação por largura de pulso, ou o PWM, capaz de controlar a velocidade de rotação do motor através da modulação do ciclo de trabalho de um sinal, mantendo a amplitude dos pulsos constantes e variando-se a largura de forma proporcional ao sinal modulador. A figura abaixo (Figura 6) demonstra a posição de todas as portas Analógicas, Digitais e PWM do Arduino modelo Uno R3 (SILVA Jr., 2012).

Existem ainda uma infinidade de sensores, módulos e shields Arduino compatíveis que permitem medir diversos tipos de variáveis físicas/químicas, tais como: temperatura, umidade, nível, vazão, pressão, torque, luz infravermelha, luz ultravioleta, distância, dentre outros. A Figura 06 apresenta alguns desses componentes.

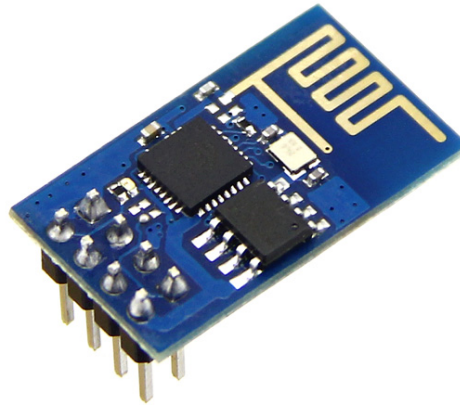
Figura 06: Módulos e Shield compatíveis com a plataforma Arduino.



2.4. Microcontrolador ESP8266

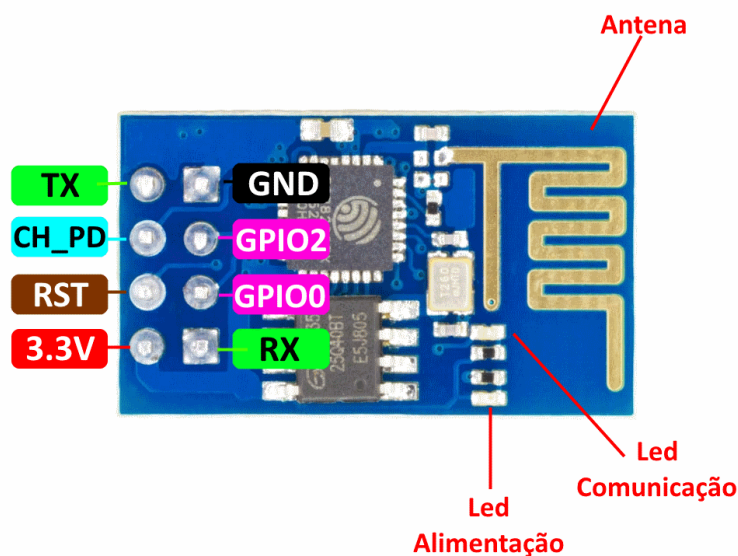
O microcontrolador ESP8266 oferece uma solução completa em rede Wi-Fi, permitindo que ele hospede uma página web ou consulte outras páginas como cliente. O ESP8266 é uma solução para a Internet das Coisas (IoT). Ele é um *System-on-a-chip* (SoC), ou seja, uma solução completa para criar um dispositivo que necessite conexão Wi-Fi.

Figura 07: Microcontrolador ESP8266 – ESP-01



Este microcontrolador possui uma memória Flash interna que pode ser utilizada para armazenar arquivos, uma memória interna para o Firmware, uma antena embutida e portas GPIO. Esta capacidade de processamento e armazenamento e permite que ele seja integrado com os sensores e outros. É dotado ainda de um modo *sleep/wake* de rápida transição, polarização de rádio adaptável, o que faz com que opere em um baixo consumo de energia, baseado em uma tensão de 3,3V, usando um regulador de tensão interno.

Figura 08: Distribuição dos componentes do microcontrolador ESP8266



Dois outros pontos positivos facilitam a adoção deste microcontrolador: o primeiro é o seu preço baixo, em média US\$ 4,00. No Brasil, pode ser encontrado por cerca de R\$ 35,00, dependendo do modelo. O segundo é o seu tamanho reduzido, em média 24mm x 16mm, tornando ele fácil de embutir em *cases* e facilitando a distribuição em cenários de automação.

A programação deste microcontrolador pode ser efetuada no software disponibilizado pela Arduino, após a instalação das bibliotecas que contêm a informação dos registos internos do microcontrolador. Há ainda um programa original desta placa de desenvolvimento é feita em linguagem Lua Scripting.

Principais características

- Suporte a 802.11 b/g/n
- Wi-Fi Direct (P2P), Soft-AP
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1×1 MIMO, 2×1 MIMO
- Consumo em Standby menor que 1.0mW (DTIM3)
- Suporte para antenas
- Protocolo TCP/IP embutido

Principais aplicações

- Domótica
- Câmera IP
- Controle de sensores via internet
- Localização de dispositivos

2.5. Domótica

A palavra "Domótica" resulta da junção da palavra latina "Domus", que significa casa, com "Robótica", que pode ser entendido como controle automatizado de algum processo ou equipamento

(ABREU, VALIM, 2011). A domótica vem evoluindo dia a dia, e já apresenta valiosos recursos tecnológicos que podem ser incorporados às instalações domésticas e com isso promoverem, além de conforto e segurança, a redução de barreiras que dificultam as atividades das pessoas idosas, as quais representam uma faixa cada vez mais numerosa da população (REITER JR., 2006).

Através de aplicações para smartphones, por exemplo, pode-se executar controle de automação, uma vez que as referidas aplicações atendem a interface de usuário como base para o envio de sinais e comando para o dispositivo controlador Arduino com Ethernet Shield (MORALES, GUEVARA, 2012).

Como qualquer novidade, a domótica inicialmente é percebida como um símbolo de status e modernidade. Porém, em um segundo momento, os benefícios proporcionados por essa tecnologia suplantam qualquer pré-conceito existente. Em futuro próximo, a tendência é que essa tecnologia se torne uma necessidade vital e um fator de economia, assim como ocorreu com os celulares.

De acordo com Trentin e de Biasi (2012), é possível programar determinadas tarefas, como travamento automático de portas e janelas, irrigação de jardim e acionamento de alarme. Casas dotadas de sistemas como esses são conhecidas como casas inteligentes. O custo de implementação de soluções atuais em domótica é demasiado alto, tornando esta prática viável para somente um número seletivo de pessoas.

Compreender a evolução da tecnologia ajuda a entender como a Domótica evoluiu na Habitação. O desenvolvimento de tecnologias de infraestrutura no início do século XX, como as redes de água e esgoto, gás encanado e eletricidade fizeram com que as residências se conectassem com o meio externo, tornando-se um nó de uma grande rede (FORTY, 1986). Com o advento da Internet, essa ligação se acentuou, permitindo ainda mais conectividade.

A partir das tecnologias disponíveis atualmente, pretendemos mostrar que o controle de equipamentos simples, como os citados

acima podem ser feitos de maneira simples e com custo reduzido. O controle remoto para algum dispositivo deve ser feito de maneira simples, permitindo que qualquer usuário interaja facilmente com o sistema funcional, garantido controle e segurança do que se está fazendo, além de garantir a preservação da identidade do agente acionador. A maioria dos dispositivos eletrônicos convencionais usados em casas e prédios não permite um controle personalizado e remoto (a maiores distâncias), o que pode limitar suas funções e reduzir a comodidade do usuário. A exemplo disso, temos os alarmes, portas e portões eletrônicos, que são acionados apenas com a presença do usuário tendo em mãos o respectivo controle. Em casos da ausência de tal controle, fica restrita a possibilidade de interação com esses dispositivos visto que eles não apresentam um segundo método de acionamento.

O uso da domótica pode trazer significativas vantagens aos seus usuários como a otimização e gestão de recursos, praticidade e segurança, controle e monitoramento remoto dos dispositivos automatizados, além de promover a inclusão social e independência para pessoas com algum tipo de limitação física como idosos e portadores de necessidades especiais. Atualmente, uma das principais barreiras que ainda encontramos é o investimento inicial alto para o grande público.

3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento deste trabalho segue em etapas, dentre as quais aponta-se: a idealização do produto, a escolha dos materiais, a criação de códigos para aplicar ao microcontrolador e uma o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis para acionar remotamente os dispositivos automatizados.

O mercado atual, em sua maioria, disponibiliza placas de prototipagem sem qualquer plataforma de desenvolvimento, tornando-se indispensável para a sua aplicação o uso de componentes eletrônicos, como resistores e diodos. Entretanto, uma das características do controle portátil é o baixo custo na produção e aquisição, sendo esse o motivo responsável pela rejeição à obtenção de microcontroladores sem estes itens associados – os quais, por sinal, apresentam elevado valor de compra. Visto isso, optou-se pela placa eletrônica de hardware livre Arduino, a qual já conta com uma série de elementos eletrônicos passivos que permitem fácil utilização e comunicação tanto de sensores analógicos quanto digitais, aliado a um software de controle embarcado em um smartphone.

Dentre os materiais utilizados estão: um celular Apple iPhone 6 16GB, com sistema operacional iOS 9.3.2 (a mesma aplicação poderia ter sido aplicada a um outro modelo de smartphone que use a plataforma Android, versão 4.2 ou superior), contendo uma aplicação desenvolvida em Delphi, compondo a aplicação móvel para controle remoto dos dispositivos automatizados. Escolhemos a linguagem Delphi devido a expertise do autor nesta tecnologia e por ser uma ferramenta que vem investindo forte em componentes de programação para IoT e aplicações móveis.

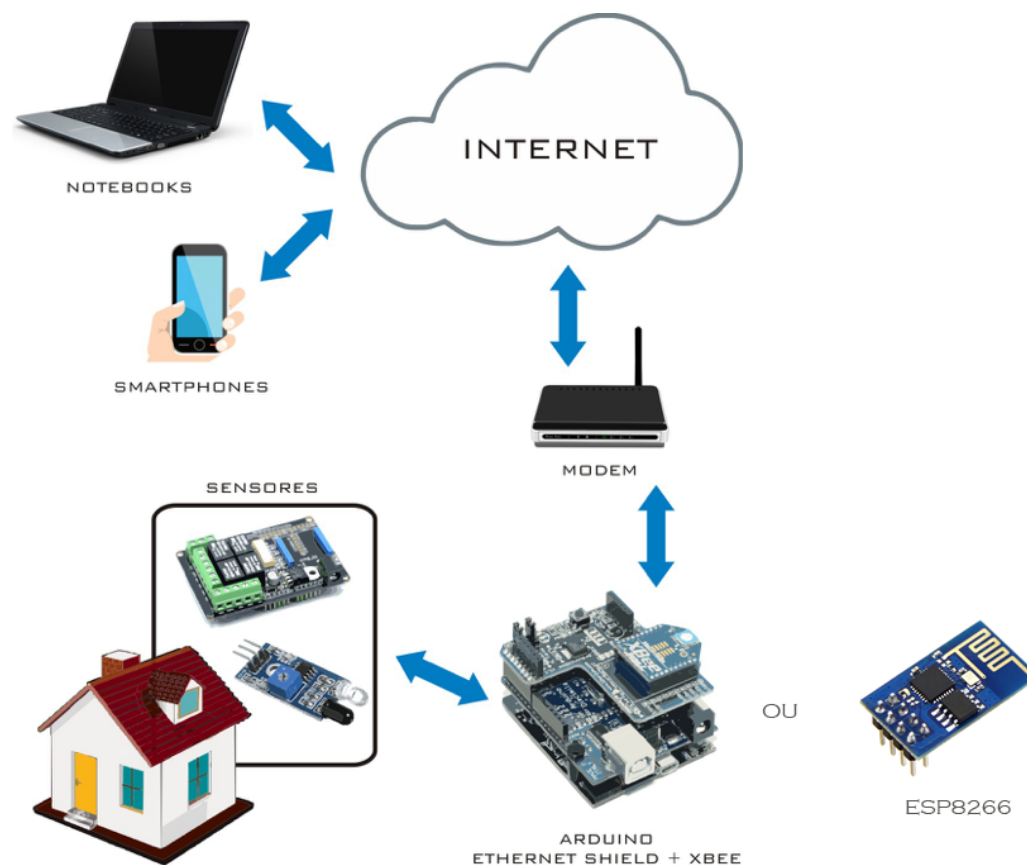
Para as centrais de comunicação temos duas possibilidades: um microcontrolador Arduino Mega, um Ethernet Shield, um XBee Shield ou; um microcontrolador ESP8266. Para os módulos folhas escolhemos os seguintes componentes: sensores infravermelhos (IR), módulos relés, sensores de corrente, XBee Shield (*slave*) ou microcontrolador ESP8266

(*slave*). Neste cenário, a aplicação no celular, enviará um comando, via rede wi-fi, para o central, que receberá o sinal e passará para o respectivo módulo folha para controle dos equipamentos.

3.1. Arquitetura do sistema

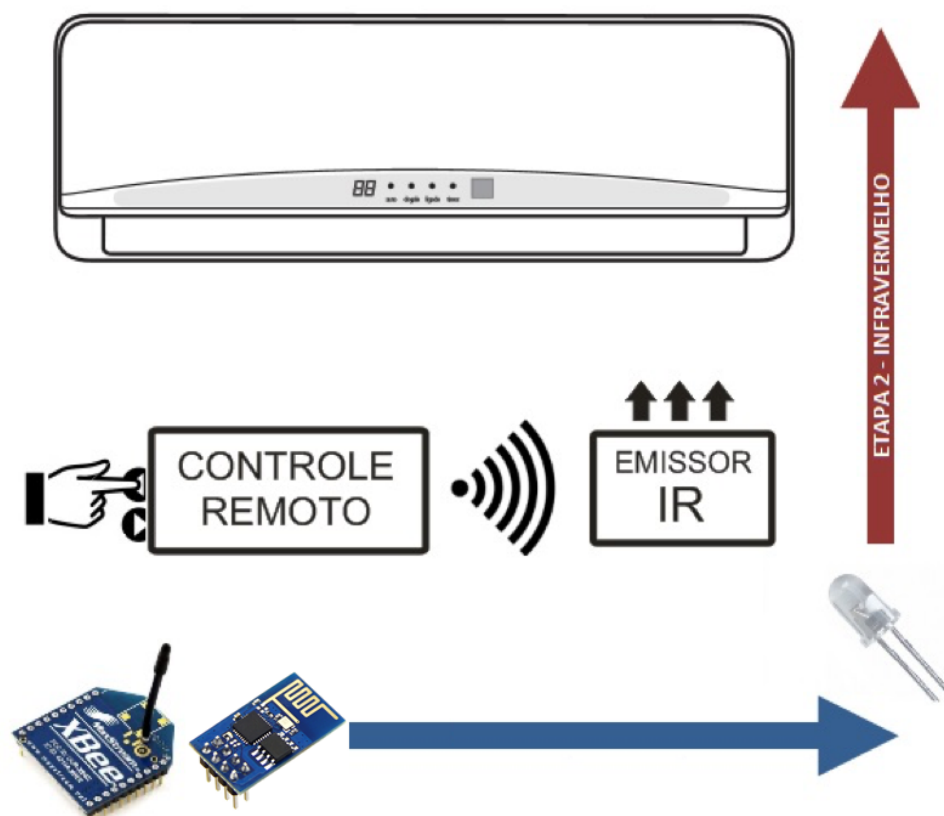
O sistema se propõe ao controle remoto dos equipamentos automatizados dentro do projeto de domótica, permitindo, por exemplo, que o usuário ligue uma lâmpada ou defina a temperatura do condicionador de ar de um determinado cômodo mesmo sem estar em casa. Para tanto, a aplicação do smartphone acessará, via Internet, a central de automação para mudar o estado de algum equipamento ou consultar seu estado.

Figura 09: Arquitetura proposta para o sistema



Nossa arquitetura foi projetada para funcionar com as tecnologias sem fio XBee e Wifi para comunicação entre os módulos do sistema, como podemos observar no esquema da Figura 10.

Figura 10: Esquema de comunicação entre os módulos do sistema.



3.1.1. Centrais de Controle

A arquitetura do sistema baseia-se em uma central de controle para os dispositivos automatizados. No nosso cenário temos três possibilidades de Central de controle:

- Central 1: baseada em Arduino, controlada por um teclado acoplado a este módulo e a um visor LCD, com comunicação entre a central e os módulos nos dispositivos via XBee;
- Central 2: baseada em um Arduino, via *shield* Ethernet, controlada por uma aplicação em um smartphone, com

comunicação entre a central e os módulos nos dispositivos via XBee;

- Central 3: baseada em um Microcontrolador ESP8266, controlada por uma aplicação em um smartphone, com comunicação entre a central e os módulos nos dispositivos via ESP8266.

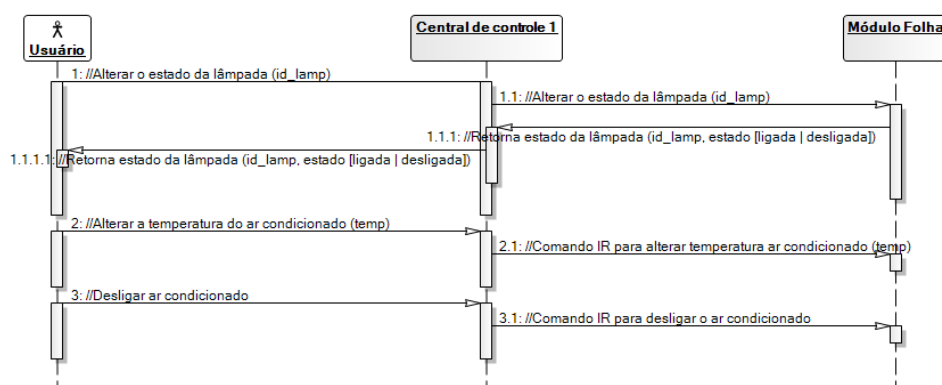
3.1.1.1. Central de Controle 1

Esta central de controle foi desenvolvida pelos integrantes do LAICA, como protótipo inicial para validação e controle do modelo de automação proposto.

A central de automatização é composta por um módulo Arduino Mega, um módulo Visor LCD, um módulo Teclado Numérico e um módulo XBee. Nesta composição o módulo do Visor mostra instruções ao usuário que, por sua vez, envia comando pelo Teclado Numérico para o módulo XBee que enviará os comandos de controle para os demais módulos XBee distribuídos nos equipamentos automatizados.

Esta central é bastante funcional, contudo está limitada ao uso dentro do ambiente da própria residência. A ideia deste projeto de dissertação foi criar uma forma dos usuários terem a possibilidade de monitorarem e controlarem suas casas de forma remota. Sendo assim adicionamos mais dois projetos de centrais de controle: um baseado em Arduino e outro em ESP8266.

Figura 11: Diagrama de sequência da Central 1



3.1.1.2. Central de Controle 2

Esta central foi desenvolvida neste trabalho de mestrado, como protótipo para validação e controle do modelo de automação proposto usando uma aplicação via smartphone e um shield Arduino Ethernet.

A central de automatização é composta por um módulo Arduino Mega, um módulo Ethernet e um módulo XBee. Nesta composição o shield Arduino Ethernet é que vai permitir que os controles sejam acessados a partir da Internet. Ele estará ligado ao roteador da residência e configurado para responder aos comandos a partir do padrão REST de comunicação de serviços Web.

O módulo Ethernet fornecerá acesso ao mundo externo a partir de uma API REST para controle e consulta dos estados dos equipamentos que receberá comandos via aplicação para smartphone. Estes comandos serão enviados para o módulo XBee que se comunicará com os demais módulos XBee distribuídos nos equipamentos automatizados.

Esta central trouxe flexibilidade para o usuário por permitir que o controle do sistema seja feito o controle dos dispositivos de forma remota, a partir a conexão a internet, via placa Ethernet e estimulada pela aplicação móvel.

3.1.1.3. Central de Controle 3

Esta central foi desenvolvida neste trabalho de mestrado, como protótipo para validação e controle do modelo de automação proposto usando uma aplicação via smartphone e um microcontrolador ESP8266.

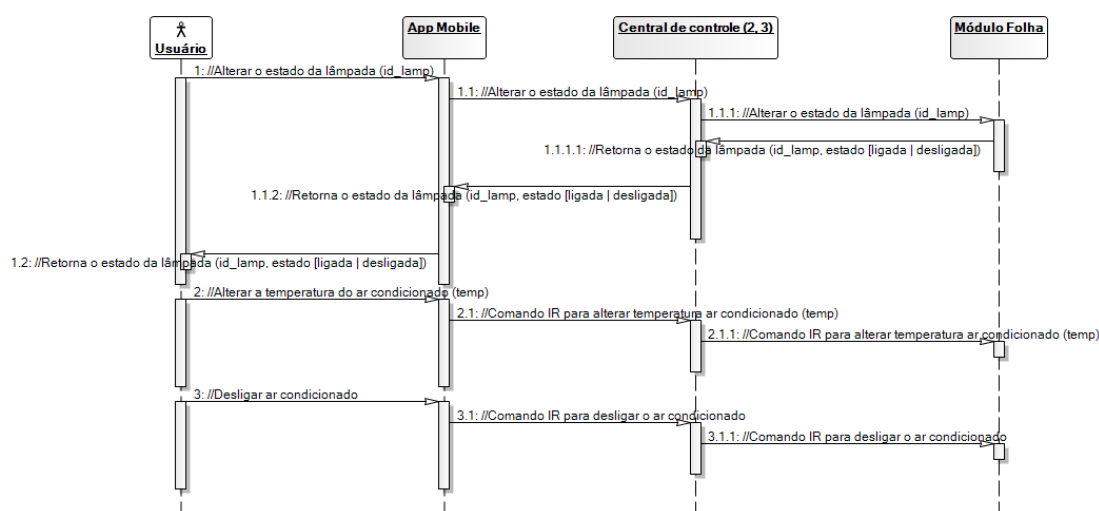
A central de automatização é composta por um microcontrolador ESP8266. Nesta composição o ESP8266 é que vai permitir que os controles sejam acessados a partir da Internet. Ele estará ligado ao

roteador da residência e configurado para responder aos comandos a partir do padrão REST de comunicação de serviços Web.

O microcontrolador ESP8266 fornecerá acesso ao mundo externo a partir de uma API REST para controle e consulta dos estados dos equipamentos que receberá comando via aplicação para smartphone. Estes comandos serão repassados para os demais ESP8266 distribuídos nos equipamentos automatizados.

Está central, além do benefício de controle remoto, presente também na Central 2, trouxe ainda uma redução expressiva de custos e uma fácil implementação. Com ela conseguimos uma integração entre os dispositivos sem a necessidade de módulos Arduino e XBee. Apenas o microcontrolador ESP8266 é necessário para a central. Nos demais pontos, eliminamos a necessidade de placas Arduino e de módulos XBee nos dispositivos automatizados, substituindo por microcontroladores ESP8266, controlando módulos relés e infravermelhos para interagir com os dispositivos, como lâmpadas e aparelhos de ar condicionado.

Figura 12: Diagrama de sequência das Centrais 2 e 3



3.1.2. Funcionamento das Centrais de Controle

As centrais de controle usam duas formas de comunicação diferentes: XBee e ESP8266. A seguir será descrito o funcionamento de cada uma.

3.1.2.1. Funcionamento das Centrais 1 e 2 – Xbee

Nestas duas centrais, a troca de informações entre a central e o módulo de controle do dispositivo é feita a partir de módulos XBee. Sendo que na Central 1 o usuário envia os comandos a partir de um teclado, já na Central 2 o usuário usa uma aplicação móvel, conforme descrito nas seções acima (3.1.1.1 e 3.1.1.2).

Para que a comunicação serial entre os módulos XBee fosse realizada corretamente, fez-se necessária a configuração dos mesmos. Nesta etapa, é imprescindível que um XBee seja programado como transmissor e o outro como receptor, conforme tabela abaixo.

A comunicação serial consiste no envio de caracteres digitados na saída serial da placa do Arduino que será enviada pelo XBee transmissor. Em seguida, esta mesma informação será recebida pelo XBee receptor e interpretada pelo Arduino que, por sua vez, irá acionar o led emissor infravermelho, o qual emitirá os pulsos necessários para o receptor do dispositivo condicionador de ar ou projetor de multimídia que será controlado.

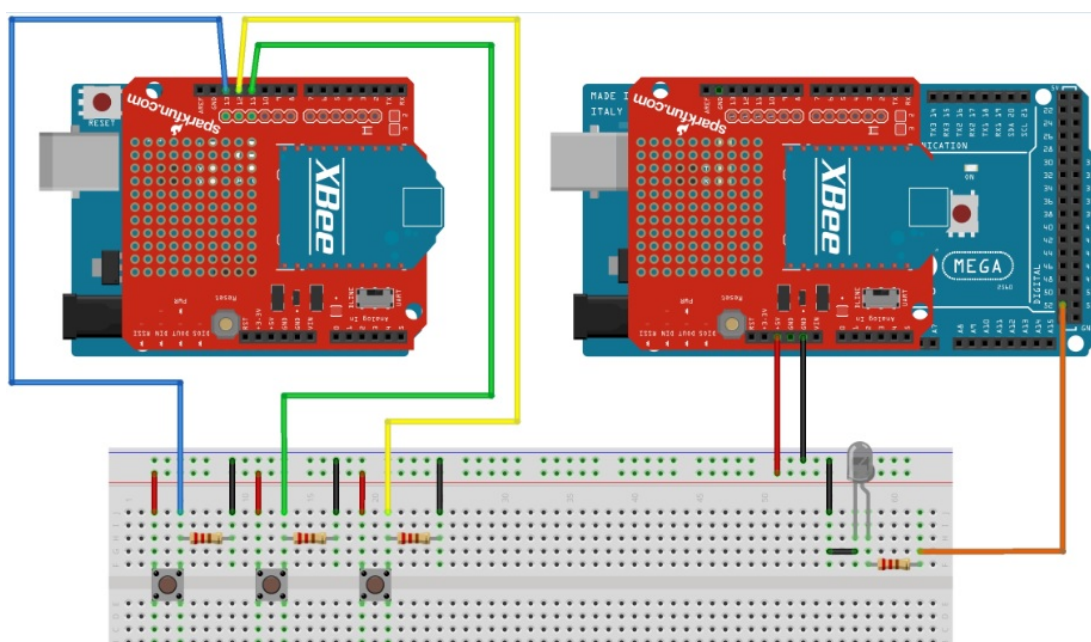
No entanto, devido ao tamanho extenso dos códigos transmitidos pelos leds infravermelhos, estes deverão se encontrar previamente armazenados em um cartão de memória SD, haja vista a capacidade limitada de memória presentes nos Arduino. Atualmente, os modelos Uno e Mega contam com apenas 32-128KB de memória flash e 1-4K de memória EEPROM, respectivamente, tamanho insuficiente para armazenar os códigos IR.

Tabela 03: Configuração XBee como modo link serial.

TRANSMISSOR			RECEPTOR		
Comando	Valor	Função	Comando	Valor	Função
+++	-	Abre modo de comando	+++	-	Abre modo de comando
ATID	10	Rede	ATID	10	Rede
ATDL	2	Endereço do módulo de destino	ATDL	1	Endereço do módulo de destino
ATMY	1	Endereço do módulo local	ATMY	2	Endereço do módulo local
ATNI	TRA	Nome do módulo	ATNI	REC	Nome do módulo
ATIR	-	Grava as configurações	ATD0	-	Grava as configurações
ATIT	-	Fecha modo de comando	ATD1	-	Fecha modo de comando

Antes de desenvolver o projeto físico, foi feita sua representação na *protoboard* através do software Fritzing, mostrando cada detalhe do circuito a ser reproduzido no produto final.

Figura 13: Projeto dos protótipos dos módulos de controle remoto utilizando Arduino e XBee e do módulo emissor de infravermelho.



3.1.2.2. Funcionamento da Centrais 3 – ESP8266

Assim como nas duas centrais anteriores, para que a comunicação entre os módulos ESP8266 fosse realizada corretamente, fez-se a configuração dos mesmos. Configuramos o ESP8266 desta central como o receptor das mensagens enviadas pelo aplicativo móvel. Os microcontroladores ESP8266 ligados aos módulos nos dispositivos automatizados tiveram sua configuração de endereço IP fixo dentro da rede do cliente. Sendo assim, os comandos enviados pelo smartphone chegam até a central e, dependendo do dispositivo que se deseja controlar, o sinal é repassado para o módulo do dispositivo correspondente.

A comunicação entre os microcontroladores ESP8266 da central e dos módulos nos dispositivos automatizados (lâmpadas, aparelhos de ar condicionado etc.) consiste na troca de informações, no formato caracteres, usando o protocolo UDP. Ou seja, a central recebe um estímulo da aplicação *mobile*, identifica o dispositivo a ser controlado e envia a informação para o ESP8266 receptor correspondente que, por sua vez, interpreta o comando e acionará o *led* emissor infravermelho (ar condicionado) ou o relé (lâmpadas) alterando assim o estado do dispositivo controlado.

3.1.3. Comparação entre as centrais Arduino/XBee e ESP8266

Novas tecnologias na área de microeletrônica surgem diariamente e, muitas vezes, complementam e/ou aperfeiçoam outras tecnologias que as precederam. Em um primeiro levantamento bibliográfico com a finalidade de avaliar as tecnologias de redes sem fio, este trabalho buscou determinar qual o protocolo de comunicação e o microcontrolador mais apropriado para implementar em sistemas no

cenário da domótica, o protocolo ZigBee, por meio do módulo XBee, se mostrou muito vantajoso e mais viável pelo fato do baixo consumo de energia e por ter um protocolo específico para utilização em redes de sensores sem fio (RSSF). Seu uso acoplado ao microcontrolador Arduino é o bastante estável e flexível por possuir elementos básicos para conexão com diversas outras tecnologias, além de ser um conjunto bastante atrativo para iniciantes, por ser muito disseminado e prático na prototipação do projeto.

Dando sequência a avaliação das tecnologias, foi feito um estudo também no ESP8266. Como já foi dito na seção 2.4, o ESP8266 é um módulo eletrônico menor, mais rápido e mais barato do que o Arduino e já possui conexão Wi-Fi embutida, possibilitando o uso desse microcontrolador em diversos cenários conectados à Internet. Contudo seu formato (ESP-01) dificulta a prototipação em uma *protoboard*, tendo em vista a disposição de sua pinagem. A gravação de códigos nos módulos ESP8266 não são tão simples quanto a do conjunto Arduino/XBee, sendo necessário um conversor USB/Serial (FTDI), para que seja possível transferir o código compilado do computador para o microcontrolador. Outro fator que gera um trabalho adicional nos módulos ESP8266 é que eles utilizam 3,3V, frente ao padrão de 5V do Arduino, sendo necessário o uso de um regulador de tensão. Há um módulo ESP8266, o NodeMCU, não avaliado neste trabalho, que elimina boa parte destas dificuldades iniciais.

Pensando em nosso cenário residencial e com um enfoque de baixo custo, o ESP8266 trouxe resultado mais alinhado com esses objetivos, diante do seu tamanho reduzido, tornando fácil de embutir/esconder, flexibilidade e seu baixo preço. Se o objetivo for automação de espaço maiores como fazendas, ranchos etc., além da necessidade do uso de diferentes topologias de rede ou modos de operação como beaconing, que transmitem periodicamente sinalização a confirmar a sua presença aos outros nós da mesma rede, o uso do XBee é mais adequado.

3.2. API de comunicação

Para padronizar a comunicação entre a aplicação no smartphone, ou mesmo a partir de outras plataformas, foi desenvolvida uma API contendo os métodos necessários para controle e consulta de estados dos dispositivos automatizados.

Para troca de informações, escolhemos o padrão REST por ser leve e de fácil adoção em software, especialmente em aplicações *mobile* e web. Para o nosso cenário e pretensões comerciais, o padrão de comunicação REST facilita a integração da nossa aplicação *mobile* com central e ainda permite que terceiros possam desenvolver suas próprias aplicações móveis para controle do ambiente ligado a nossa central. Essa arquitetura possibilita que as partes de hardware (central e módulos de controle dos dispositivos) e software (aplicação *mobile*) sejam desacopladas.

Alternativamente, pode-se realizar a implementação dos métodos no módulo Ethernet, configurando-o como um servidor UDP, ao invés de um servidor REST. O protocolo UDP é comumente aplicado a indústria para controles de equipamentos.

REST

Representational State Transfer (Transferência Representacional de Estados) ou simplesmente REST, é um padrão arquitetural para serviços Web. Este padrão permite fazer uso dos métodos HTTP, como GET, PUT, POST e DELETE para fazer chamadas a métodos por meio de uma URI/URL. É possível trafegar dados nos dois sentidos, ou seja, pode-se solicitar dados e também enviar dados para o servidor.

Este padrão nos permite padronizar a comunicação entre aplicações heterogêneas, no nosso cenário o módulo Arduino Ethernet e a aplicação para o smartphone, de forma a simplificar o processo de desenvolvimento.

Métodos da API

Os métodos disponíveis na central são:

- Método 01: `http://domo.address/devices/` -> [GET] retorna todos os dispositivos automatizados no endereço fornecido.
- Método 02: `http://domo.address/devices/:deviceid` -> [GET] retorna o estado do dispositivo indicado pelo deviceid
- Método 03: `http://domo.address/devices/ { deviceid: 1, state: true }` -> [POST] altera o estado do dispositivo indicado pelo deviceid.

A partir dos métodos acima, o aplicativo instalado no smartphone poderá fazer o controle dos dispositivos disponíveis dentro da casa, usando a conexão de Internet a partir de qualquer local. Cada método disponível na API retornará para a aplicação no smartphone um resultado, na forma de objeto JSON, que sinalizará o sucesso ou a falha do comando enviado.

O JSON (*JavaScript Object Notation*) é uma formatação leve e independente do sistema operacional e da linguagem de programação, o que o torna um padrão útil para troca de dados entre sistemas e/ou dispositivos heterogêneos. O JSON pode ainda ser formado por duas estruturas: a) uma coleção de pares nome=valor; uma lista ordenada de valores. Em ambos os casos a leitura e manipulação dos dados por uma linguagem de programação contemporânea é uma tarefa simples.

Os exemplos abaixo mostram retornos propostos para os métodos da API:

Código 01: exemplo de retorno do método de retorno do estado de uma lâmpada

```
{"state": true}
```

A partir da execução de um dos seus métodos, enviará um comando para a central, que por sua vez enviará o um sinal de comando para os módulos escravos responsáveis por cada dispositivo distribuído pela casa, fazendo a alteração ou consulta do estado do dispositivo desejado.

3.3. Aplicação Mobile

Para o desenvolvimento da aplicação para o smartphone, utilizaremos a Ferramenta Embarcadero Delphi 10 Seattle.

Embarcadero Delphi 10 Seattle

O Embarcadero Delphi 10 Seattle é uma solução de desenvolvimento de software para construir rapidamente aplicações nativas para Windows, Mac, iOS e Android a partir de uma única base de código. Essas aplicações podem ser conectadas a bancos de dados corporativos, serviços nas nuvens, dispositivos, sensores e gadgets. O Delphi pode ser utilizado para diversos tipos de desenvolvimento de projeto como Serviços, Aplicações Web, Móveis (iOS e Android) ou mesmo voltadas para Internet das Coisas – foco de estudo nesta dissertação.

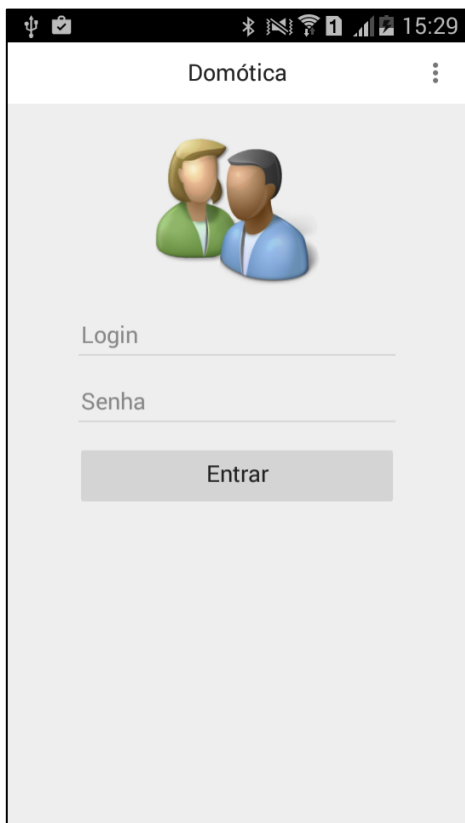
3.3.1. Aplicação para smartphone

Como interface de comunicação propomos uma aplicação do smartphone que acessará, via Internet, a central de automatização para consultar ou mudar o estado de algum equipamento. A seguir são listadas as funcionalidades da aplicação mobile assim como também o protótipo de suas telas.

Tela de Login no sistema (Figura 14a): nesta tela, o usuário deverá informar um usuário e uma senha para ter acesso aos equipamentos de sua residência.

Figura 14: tela de Login e de configuração respectivamente.

a)



b)



Na tela de Configuração (Figura 14b), o usuário deverá informar o endereço IP (ou URI) da sua central de automação de sua residência. Será feita uma configuração no roteador para que as solicitações sejam repassadas para a placa Ethernet da central e assim possa ser acessada. Opcionalmente, pode-se ainda fazer uma configuração usando o software NoIP (ou similar) para situações onde o endereço IP do cliente for dinâmico, evitando que ele tenha que refazer essa configuração no aplicativo sempre que o endereço IP do roteador de sua residência mudar.

Uma vez que o cliente tenha configurado a aplicação e esteja devidamente autenticado, ele terá acesso a tela de controle dos equipamentos (Figura 15a). Nesta tela o usuário terá acesso ao estado de todos os equipamentos automatizados disponíveis em sua residência, podendo consultar ou alterar o estado de qualquer um deles conforme sua necessidade com um único clique. Caso o equipamento

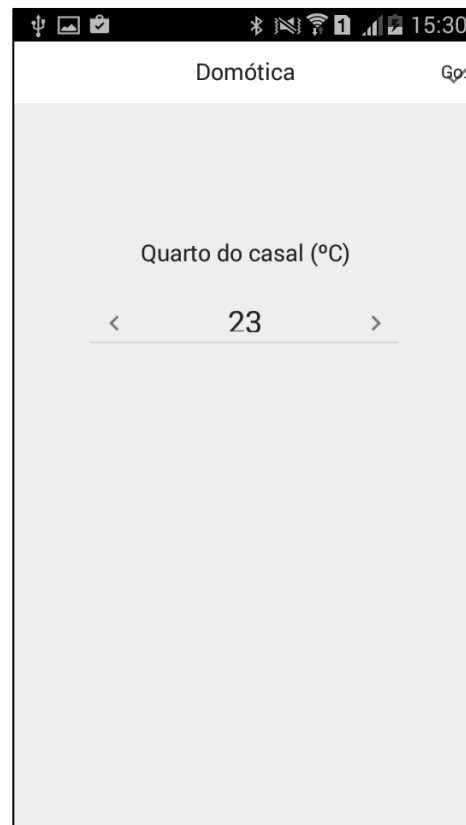
requiera alguma configuração especial ou mais complexa para efetuar sua mudança de estado, uma tela de detalhamento (Figura 15b) seja exibida para o usuário.

Figura 15: tela de listagem de equipamentos e ajuste do dispositivo de ar condicionado respectivamente

a)



b)



4. Considerações finais

Frente a toda análise da natureza do produto exposto até então, acredita-se que o projeto está traçando meios efetivos para reduzir os gastos para implantar um projeto de domótica. O projeto de domótica proposto por este trabalho, usando a Central de Controle por ESP8266, tem seu custo estimado, em equipamentos, de R\$ 60,00 para a central, mais R\$ 100,00 para cada cômodo de iluminação e R\$ 70,00 para cada cômodo com infravermelho. Diante do objetivo deste trabalho em oferecer um modelo de domótica de baixo custo, este microcontrolador foi considerado satisfatório se comparado a valores de projetos similares no mercado. No entanto, é importante salientar que os custos reais e a comparação com projetos similares disponíveis no mercado só serão detalhados na entrega final do documento de dissertação.

Durante o funcionamento no laboratório do LAICA/IFRN, o sistema demonstrou-se estável, respondendo prontamente aos comandos do usuário. No nosso cenário, foram utilizadas duas lâmpadas e dois aparelhos de ar condicionado e a eles aplicados comandos conforme a necessidade do usuário.

Diante da limitação de tempo e de não possuírmos alguns dos sensores desejados e pertinentes a um projeto de automação residencial, tais como sensor de temperatura, sensor de luminosidade, dimer, sensor de vazão de água, sensor de odor (vazamento de gás), faremos um cenário baseado em controle de lâmpadas e de aparelhos de ar condicionado. Contudo o foco deste trabalho é viabilizar a infraestrutura básica necessária em termos de aplicação, fornecendo uma API para que novos recursos/equipamentos sejam facilmente plugáveis à central de automação.

Este trabalho não tem como objetivo validar, neste momento, aspectos relacionados a segurança da rede domiciliar do usuário do sistema de domótica. Partimos do pressuposto que sua rede atende aos critérios mínimos de segurança e que somente dispositivos devidamente autenticados/autorizados terão acesso a esta rede.

O projeto tem sua implementação usando como base o microcontrolador Arduino, por isso, simplifica o manuseio dos equipamentos eletrônicos, sem atrelar à sua confecção um ônus elevado, de forma que em uma relação de custo-benefício, acaba se mostrando como excelente canal alternativo para implantação de sistemas domóticos em residências sem a necessidade de grandes investimentos financeiros.

Com os dados obtidos, projetamos um efetivo aumento na praticidade e velocidade no manuseio de tais dispositivos, trazendo conforto aos moradores e, pela simplificação do uso dos equipamentos por parte dos usuários, ainda possibilitando a redução de custos de energia elétrica.

Como expansão das funcionalidades já descritas neste trabalho, pode-se dá enfoque em uma vertente do programa que contemple um conjunto de pessoas com necessidades especiais, de forma que apresenta meios de lhes fornecer meios de exercer controle sobre os mais diversos recursos eletroeletrônicos, ainda que a locomoção física lhe seja limitada.

5. Referências

ABREU, E. R.; VALIM P. R. O. Domótica, controle de automação residencial utilizando celulares Bluetooth. In: VIII SEGet - Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 2011.

ARAÚJO, A. et al. Integrating Arduino-Based Educational Mobile Robot in ROS. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2015.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: a survey. Comput. Netw., New York, NY, USA, v.54, n.15, p.2787–2805, 2010.

Automação residencial: busca de tecnologias visando o conforto, a economia, a praticidade e a segurança do usuário. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco – AEDB. Disponível em: <<http://correio.aedb.br/seget/artigos05/>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

BOLZANI, C.A.M. Desenvolvimento de um simulador de controle de dispositivos residenciais inteligentes: uma introdução aos sistemas domóticos. São Paulo, Dissertação (mestrado), Universidade de São Paulo, 2004.

CASTRO, D. T. Sociedade da Informação, Inclusão e Cidade Digital em Palmas - TO. Tese (Doutorado em Comunicação e Culturas Contemporâneas) - Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2012.

FARAHANI, Shahin. ZigBee Wireless Network and Transceivers. Burlington: Newnes, 2008.

FOLHA DE SÃO PAULO. Internet já tem quase 3 bilhões de usuários no mundo, diz ONU. Em: <<http://www1.folha.uol.com.br/tec>>, Acesso em 27/06/2015.

GIUSTO, D. The Internet of Things - 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications. Springer, 2010.

GIZMODO - BRASIL. Os primeiros passos do Projeto Loon no Brasil, que leva internet via balões do Google. Em: <<http://gizmodo.uol.com.br/google-loon-brasil/>>, Acesso em 05/07/2015.

GOMES, E. L. B.; TAVARES, L. A. Uma solução com Arduino para controlar e monitorar processos industriais. Revista Controle & Instrumentação, v. 185, 2013.

GUIMARÃES, F. A. Desenvolvimento de robô móvel utilizado para a exploração de ambientes hostis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul/SP, 2007.

HAARTSEN, J. (1998). Bluetooth - the universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. Ericsson Review, 3, v.75, n.3, p. 110 – 117.

MARIOTONI, C. A.; ANDRADE JR., E. P. Descrição de Sistemas de Automação Predial Baseados em Protocolos PLC Utilizados em Edifícios de Pequeno Porte e Residências, Revista de Automação e Tecnologia de Informação. v. 1, n. 1, 2002.

MCROBERTS, M. Arduino Básico, Novatec Editora, São Paulo, 2015.

MORALES R. A.; GUEVARA, J. J. Aplicaciones domóticas con Android y Arduino. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, El Salvador, 2012.

FORTY, A. Objetos de Desejo: Design e Sociedade desde 1750. Tradução: Pedro Maia Soares, São Paulo, 2007, Ed. Cosac Naify. 352p., 1986.

MURATORI, J. R. Os desafios do mercado da Automação Residencial. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/a/os-desafios-do-mercado-daautomacao-residencial_8192>. Acesso em jan. 2016.

NORRIS, M. (2005). Sidle-Chip zigbee for indoor mobile telemetry. The IEEE Seminar on Telemetry and Telematics, p 10/1 – 10/4.

CORREIA, C. M. P. e REAL, F. J. C. (2006). Rede Sensorial Wireless em Tecnologia ZigBee. Disponível em: <
[http://gtcom.de.utad.pt/~projectos/2006/Doc/PRJ-M%20RelatorioPreliminar %2001FEV2006.pdf](http://gtcom.de.utad.pt/~projectos/2006/Doc/PRJ-M%20RelatorioPreliminar%2001FEV2006.pdf)>. Acesso em: 13 de agosto de 2006.

COSTA, RAFAEL ANTÔNIO ASATIANY E MENDES, LUIS AUGUSTO MATTOS. Evolução das Redes Sem Fio: Um Estudo Comparativo Entre Bluetooth e ZigBee.

PEREZ, A. L. F. *et al.* Uso da Plataforma Arduino para o Ensino e o Aprendizado de Robótica. In: International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning. Florianópolis/SC, 2013.

RAMOS, A. L. C.; SANTOS, J. E. L. Sistema integrado de automação residencial com comunicação sem fio. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2015.

REITER Jr., A. R. Sistema de automação residencial com central de controle microcontrolada e independente de PC. TCC (Graduação em Ciências da Computação) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau/SC 2006.

REVISTA OLHAR DIGITAL. Mais da metade dos brasileiros tem acesso a internet. Em: < <http://olhardigital.uol.com.br/noticia>>. Acesso em 15/06/2015.

SARTORI, G.; MOLINA L. A.; LIMA, W. C. G. Desenvolvimento de um sistema microcontrolado de baixo custo utilizando smartphone para aplicações de automação residencial. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2015.

SILVA Jr., A. G. *et al.* Os dispositivos móveis nos processamentos de robôs de baixo custo. *Holos (Natal. Online)*, v. 1, p. 164-171, 2012.

TRENTIN, P. M.; DE BIASI, H. H. Domótica via dispositivos móveis com Arduino. *UNESC*, v. 6, 2012.