

## **SISTEMA DE INTERLIGAÇÃO E MONITORAMENTO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Maxsuell Roger Caetano<sup>1</sup>

Elias de Souza Gonçalves<sup>2</sup>

### **RESUMO**

A iluminação pública é essencial para a vida das pessoas, pois se relaciona diretamente com a segurança e a qualidade de vida. Geralmente, problemas estruturais na iluminação pública somente são solucionados quando os usuários do sistema entram em contato com a empresa responsável pela manutenção ou quando são realizadas inspeções de rotina na rede de distribuição. Este trabalho tem como objetivo criar um mecanismo de interligação entre os pontos de iluminação pública através de uma rede wi-fi em malha, aplicando conceitos de Internet das Coisas e usando dispositivos embarcados, permitindo, assim, controle e monitoramento mais eficazes. Falhas como iluminação em horários impróprios e problemas com as lâmpadas podem ser identificadas mais rapidamente. Testes experimentais foram conduzidos com um modelo do sistema composto por luminárias reais e os resultados foram satisfatórios. Verificou-se que a distância de comunicação estável máxima chegou a 100m e, ao detectar um problema com a iluminação, o dispositivo embarcado imediatamente envia uma notificação por SMS com detalhes da ocorrência a um número de celular previamente definido.

Palavras-chave: Iluminação Pública. Internet das Coisas. Rede em malha.

### **ABSTRACT**

Public lighting is essential for people's lives because it is directly related to safety and quality of life. Generally, structural problems in street lighting are only solved when system users contact the company responsible for maintenance or when routine inspections are performed on the distribution network. This work aims to create an interconnection mechanism between public lighting points through a mesh wi-fi network, applying concepts of Internet of Things and using embedded devices, thus allowing more effective control and monitoring. Failures such as lighting at inappropriate times and problems with the lamps can be identified more quickly. Experimental tests were conducted with a system model composed of real luminaires and the results were satisfactory. It has been found that the maximum stable communication distance has reached 100m and, upon detecting a problem with the illumination, the embedded device immediately sends an SMS notification with details of the occurrence to a previously defined cellular number.

---

<sup>1</sup> Faculdades Doctum de Caratinga. E-mail: maxr.engenheiro@gmail.com

<sup>2</sup> Faculdades Doctum de Caratinga. E-mail: falarcomelias@gmail.com

Keywords: Public lighting. Internet of Things. Mesh networking.

## INTRODUÇÃO

A iluminação, seja ela natural ou artificial, tem um papel fundamental para a humanidade, pois está diretamente ligada à evolução. Define-se como conceito de iluminação pública, o serviço que tem por objetivo prover luz aos logradouros públicos no período noturno, em caso de ocorrer escurecimento diurno, ou ainda em locais que necessitem de iluminação permanente durante o dia (ANEEL, 414/2010).

A ILP (Iluminação Pública) é de grande importância, pois contribui de forma significativa para uma melhor qualidade de vida da população, principalmente no que diz respeito à segurança. O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade da aplicação de um sistema de monitoramento da iluminação pública através de protótipos, utilizando ferramentas de baixo custo para posteriormente ser aplicado em cidades do Brasil, sob as mesmas características. Atualmente, segundo a resolução 414/2010 da ANEEL (2010), a manutenção de qualquer ILP é de responsabilidade do poder público municipal, que pode contratar concessionárias ou empresas de energia elétrica para manter os pontos de iluminação.

Ao longo dos anos o sistema de ILP sofreu um grande desenvolvimento, mas no Brasil e em diversos países o sistema ainda carece de tecnologia. Os parques de ILP são responsáveis pela maior parcela de energia elétrica gasta pelas Prefeituras (Gimenes et al., 2011). Adotando um novo sistema de trabalho, esses gastos poderiam ser reduzidos, evitando não só o desperdício de energia elétrica, como também diminuindo os gastos com a empresa contratada para a manutenção do sistema.

Os problemas na iluminação pública, são na maioria das vezes resolvidos através de reclamações da população, ou são identificados pelas empresas responsáveis pela manutenção através de inspeções, devido à falta de acessibilidade direta ao defeito. As empresas responsáveis precisam disponibilizar plantões 24h por dia, todos os dias da semana, para atender reclamações de clientes. Por esse motivo se faz necessário um monitoramento mais eficaz, tendo um controle de todos os pontos de iluminação.

As redes de comunicação sem fio, estão em constante desenvolvimento e com o surgimento da *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas, responsável por conectar dispositivos do dia a dia à Internet, essa situação pode mudar. O presente trabalho visa interligar via *wireless* (rede sem fio) os pontos de iluminação, realizando um monitoramento de toda ILP, podendo assim identificar problemas, como: iluminação em horários impróprios e falhas na iluminação.

Existe um modelo de rede chamado de ad hoc (Mobile Ad hoc NETWORKS, ou MANETs), ou rede sob demanda.

No modelo sob demanda ad hoc (Mobile Ad hoc NETWORKS - MANETs), a rede é formada por nós que trabalham se comunicando através de troca de informações entre nós das proximidades, realizando o papel de dispositivo final (*host*) e realizando também a função de roteador encaminhando o tráfego dos nós mais próximos presentes na rede. Para a interligação dos pontos de iluminação será utilizada a topologia de redes *mesh*, ou redes em malha, que é um tipo de rede ad-hoc que possui nós fixos cobrindo uma determinada área e se comunicando entre si, através de múltiplos saltos que se cooperam criando uma grande rede. Por não possuir um AP (*Access Point*) e por cada nó ser independente, é possível recalculá-la a rota das mensagens, caso algum nó venha a parar de funcionar (Alencastro, 2012).

O diferencial do sistema desenvolvido nessa pesquisa é a inovação com excelente custo benefício, pois os componentes utilizados possuem funções com um baixo custo, entre eles, um microcontrolador responsável por receber a leitura de corrente elétrica, de um sensor conectado a um fio após o reator e antes da lâmpada, responsável também por receber a leitura de luminosidade realizada por outro sensor. Este microcontrolador ainda identifica cada ponto de iluminação do sistema de ILP. Outro componente utilizado é um relógio de tempo real, este módulo é responsável por identificar a data e a hora das leituras dos sensores. E por fim, entre os principais componentes, está também um módulo responsável por enviar mensagens de texto, avisando uma central sobre as falhas encontradas no monitoramento.

Desta forma a população terá grandes benefícios, como: utilizar em segurança o espaço público no período noturno, favorecendo o lazer; prevenir a criminalidade; embelezar as áreas urbanas. Será possível também evitar falhas, realizar manutenções preventivas, tendo então um grande ganho profissional.

Oferecendo ainda um ganho social, em que os usuários serão os grandes beneficiados.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta alguns dos trabalhos utilizados para o embasamento teórico da pesquisa realizada.

### 1.1. Redes Mesh

As redes *mesh*, também conhecidas como redes em malha, são redes que “interligam vários roteadores em uma mesma rede, sob um formato de uma malha [...]” (Silva, 2011, p.1). São constituídas por *backbone* (espinha dorsal) sem fio, ou seja, um ponto principal onde todos os dados passam e são retransmitidos. São formadas geralmente em lugares que seria impossível utilizar uma infraestrutura física ou teria um custo alto para montagem. É uma evolução das redes *ad hoc*.

Cada nó possui localização fixa com poder de processamento, possui capacidade de armazenamento e alguns recursos relacionados à energia, o que torna possível ser um provedor de internet para qualquer nó da rede, basta conectar um ou mais nós fisicamente à Internet, e os demais nós estarão funcionando como *hosts* ou roteadores, que precisarão apenas estarem ligados à energia elétrica, desta forma estabelecerão rotas para outros nós da rede (Alencastro, 2012).

Uma importante característica das redes *mesh* é trabalhar com a transmissão multissalto, onde a comunicação é feita de roteador a roteador, atendendo uma grande área de clientes, sendo assim não existe um servidor que gerencie ou dê prioridades a algum nó da rede.

O trabalho realizado por Alencastro (2012), relata o êxito na criação de uma rede *mesh* metropolitana na cidade de Cuiabá, pois segundo o autor a rede *mesh* é ampla, de fácil instalação, configuração e manutenção. Tem o potencial de cobrir uma cidade inteira com uma infraestrutura de comunicação sem fio.

Para conseguir o maior proveito de uma rede em malha, é necessário realizar um planejamento. Existem alguns meios, como: simulações, algoritmos e até modelos matemáticos, mostrados por Silva (2011), porém não serão detalhados

neste trabalho, pois o intuito é verificar a viabilidade de utilizar sistemas microcontrolados em uma rede *mesh*, compostos por pequenos dispositivos eletrônicos que possuem um grande potencial em desempenhar funções específicas.

## 1.2. Internet das Coisas

Com a atual realidade tecnológica observou-se que houve um crescimento enorme das tecnologias de informação e comunicação. Com o passar dos dias as pessoas tendem a ficar mais dependentes de dispositivos conectados à Internet, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, que são utilizados em atividades cotidianas nas mais diversas áreas profissionais e de lazer.

A disponibilidade de acesso à Internet por dispositivos móveis, acarretou em uma rápida popularização nas últimas décadas. Cenário favorável para inovações, ideias, teorias, como também divulgação e distribuição de novas tecnologias, entre elas, a Internet das Coisas.

O pesquisador do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) Kevin Ashton, utilizou-se do termo Internet das Coisas pela primeira vez, em 1999, em uma apresentação direcionada a empresa Procter & Gamble (Serafim, 2014). A IoT em uma definição mais abrangente, se relaciona com uma infraestrutura de *hardware*, *software* e serviços que têm o objetivo de conectar os mais diferentes objetos físicos, chamados de coisas, à rede de computadores (de Oliveira Neto, 2015).

A IoT permite que os objetos conectados possuam a capacidade de disponibilizarem informações sobre sua atuação, proporcionando a eles inteligência e permitindo um melhor controle e monitoramento, disponibilizando notificações de alterações em seu estado (Ferreira, 2014).

Lacerda (2015, p. 159) afirma que “interligados em rede, os objetos são capazes de realizar ações de forma independente e gerar dados em quantidade e variedade exponenciais, como produto das interações [...]”.

Em complemento ao exposto antes, a Figura 1 (de Oliveira Neto, 2015) apresenta três dimensões ligadas a IoT: lugar, momento e coisa. Estas dimensões incentivam e influenciam novas oportunidades, exemplos de mobilidade em

diferentes situações de infraestrutura de rede. Isso torna a IoT uma tecnologia presente em toda parte.

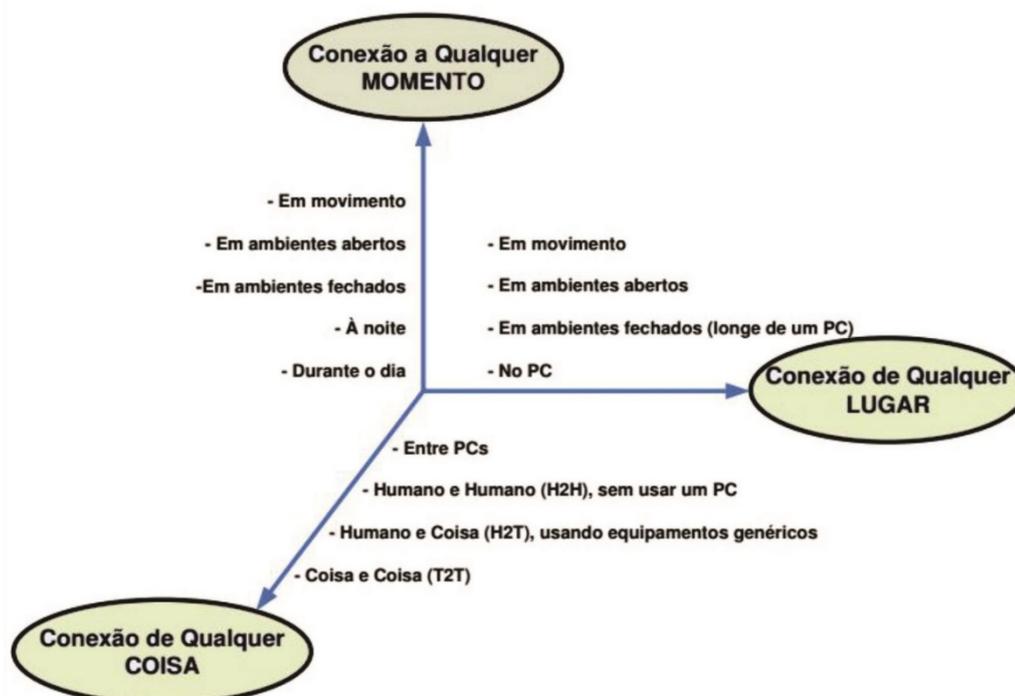


Figura 1 - Dimensões de comunicação e compartilhamento de informação na IoT

Um grande fator que ainda pesa na decisão da usabilidade desta tecnologia, é a segurança da conexão, pois os usuários da Internet já estão em constantes ataques que exploram as pequenas brechas. E como a maioria dos dispositivos que compõem a IoT, possuem funções e recursos limitados como o processamento, memória e energia, são mais suscetíveis a ataques. Por isso, de Oliveira Neto (2015, p. 21) mostra que o grande desafio é impedir o crescimento de tais ameaças ou pelo menos mitigar o seu impacto".

Vale ressaltar que não é o intuito deste trabalho o aprofundamento em técnicas relacionadas à segurança em Internet das Coisas, mas mostrar o funcionamento de protótipos baseados em IoT.

### 1.3. Sistemas embarcados

Em 1945, John Von Neumann criou um modelo de arquitetura para computadores que foi uma grande revolução para a ciência e tecnologia do século XX. Esta descoberta foi tão importante que ainda hoje todos os processadores

funcionam com base nesta ideia. Ela é constituída por três características principais: a existência de um programa armazenado; uma unidade de processamento com funcionalidades particionadas; e um ciclo de busca-decodificação-execução (de Moraes, 2009).

Os sistemas embarcados desenvolvidos nos dias de hoje se baseiam nos sistemas da década de 1980. Nesta época, de acordo com (de Moraes, 2009), eram constituídos por um conjunto de periféricos aos quais eram possíveis receber um conjunto de instruções através de um programa para realizar determinada tarefa. Era composto por um microcontrolador, uma memória e portas de entrada e saída analógica e digital. Diante da realidade vivida, foram criados arquiteturas de processadores essenciais para o funcionamento dos sistemas.

São conhecidos também como sistemas embutidos, diferentemente de um PC (*Personal Computer* - Computador Pessoal), que trabalha com diversas funções, processos, periféricos, os sistemas embarcados executam uma tarefa, ou um conjunto de instruções predefinidos, utilizando toda unidade de processamento. São especializados em funções específicas, quando um processo necessita de exclusividade (do Rosário, 2010).

As seções seguintes tratam dos principais dispositivos que utilizam-se de sistemas embarcados, neste trabalho.

#### **1.4. ESP8266**

O ESP8266 é um microcontrolador que tem seu próprio sistema de comunicação Wi-Fi, e TCP/IP, que o faz ser um produto muito utilizado na área de IoT e sistemas embarcados. Vários fabricantes tiveram interesse em criar placas de desenvolvimento com esse chip e vale ressaltar que todas elas levam o mesmo processador, o que difere uma da outra é a quantidade de pinos GPIOs (*General-purpose input/output*), a quantidade de memória flash fornecida e outros fatores relacionados a construção, mas do ponto de vista da programação são todos iguais (Kolban, 2016; Oliveira, 2017).

O módulo utilizado neste trabalho é a versão 12 deste microcontrolador. Ela é uma das mais populares e comercializadas, pelo fato de possuir um grande número de GPIOs, sendo 9 no total, que o torna eficiente para as conexões que

necessitarem de uma maior quantidade de módulos externos. O ESP-12 possui um *firmware* que permite comandos AT, esses comandos são a forma básica de acionar e configurar o ESP8266, mas é aconselhável instalar o *firmware* NodeMCU, tornando possível programá-lo em Lua, uma linguagem extensível (união de linguagens), desenvolvida para a expansão de aplicações. Com o NodeMCU também é possível a utilização do IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino para realizar a programação (Oliveira, 2017).

### 1.5. NodeMCU

De acordo com Kolban (2016), o NodeMCU é um kit de desenvolvimento e *firmware* de código aberto, baseado no ESP8266, desenvolvido para ajudar na criação de protótipos e projetos IoT.

Possui uma placa bastante amigável com interface usb-serial, um regulador de tensão 3.3V e uma grande variedades de GPIOs, como pode ser visto na Figura 2, porém possui apenas uma porta analógica. Para aumentar a quantidade de portas desse tipo é necessário utilizar um multiplexador.



Figura 2 - Placa de desenvolvimento NodeMCU

### 1.6. Módulo GSM/GPRS SIM800L

O SIM800L é um módulo GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Services*) de quatro bandas, que funciona nas frequências GSM-850MHz, E-GSM-900MHz, DCS-1800MHz e PCS-1900 MHz. Sendo assim, trabalha com as principais frequências existentes no mundo (SIMCOM, 2017).

O SIM800L foi projetado principalmente para integrar projetos que utilizam microcontroladores, podendo conectá-los à Internet por meio da comunicação GPRS, realizar ligações, como também enviar SMS (*Short Message Service*). É configurado e controlado por sistema integrado UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), podendo funcionar como um telefone celular (SIMCOM, 2017). O módulo possui um *slot* para SIM de tamanho convencional. Outra característica é a pinagem para conexão com fone de ouvido e para microfone. Diante disso pode-se dizer que o SIM800L, se torna um meio portátil de comunicação com distância de operação amplificada.

### **1.7. Sensor de corrente SCT013-000**

Ele é baseado em um transformador de corrente e reproduz no seu circuito secundário, a corrente que circula no seu enrolamento primário, sua relação de transformação é igual a 100A/50mA. Ou seja, quando estiver medindo 100 A, fornecerá na saída 50 miliampère (YHDC, 2017).

É compatível com microcontroladores, como o Arduino e o ESP8266 NodeMCU, o que torna-o viável para muitos projetos de automação e IoT. Além de realizar um monitoramento de corrente, o SCT013-000 é capaz de compor a proteção de motores de corrente alternada, sistema de iluminação, compressor de ar, dentre outros. É um sensor não invasivo, sendo assim não é necessário interromper o circuito para realizar a medição, basta envolver um dos fios para conseguir a leitura, que será lida por uma porta analógica.

## **2. METODOLOGIA**

Essa seção descreve todos os procedimentos adotados na condução dos experimentos realizados neste trabalho.

### **2.1. Configuração da rede utilizada**

Para a interligação do sistema proposto, foi utilizada uma rede Wi-Fi *mesh* de microcontroladores NodeMCU. De acordo com a ESPRESSIF (2017), é possível

interligar até 87 dispositivos, em 5 níveis da malha e 100 metros para um único salto. O que pode ser observado na Figura 3, também da (ESPRESSIF, 2017).

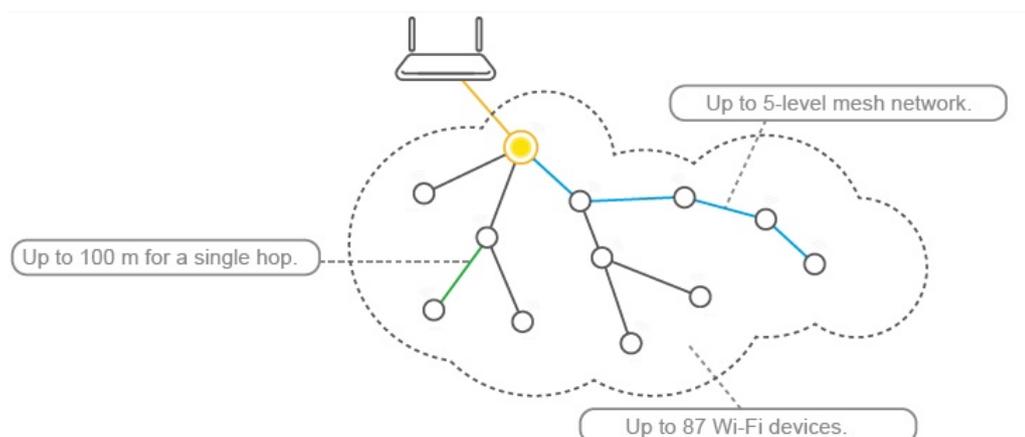


Figura 3 - Rede *mesh* formada por ESP8266

O primeiro nó foi configurado para além de trabalhar como *router*, também trabalhar como AP, que tem um papel extremamente importante, pois é responsável por interligar várias redes *mesh*, é responsável também por organizar e estabelecer uma ordem de conexão, que depois de organizada, se por algum motivo algum nó parar, a rede não irá cair. Através do AP também poderá haver entrada de uma conexão com a Internet, ou conexão com outros dispositivos, como por exemplo, um *notebook* para monitoramento. Vale ressaltar que tanto o AP como qualquer outro nó da rede, não depende do protocolo TCP/IP, pois os nós se comunicam através de números inteiros de 32 bits, denominados IDs, que são organizados no início do funcionamento da rede pelo primeiro nó.

O segundo nó é o de maior quantidade na rede, ele conta com um NodeMCU que recebe a leitura de corrente elétrica do sensor SCT013-000, este envolvido em um dos fios ligados a lâmpada após o reator. O NodeMCU conta também com um sensor de luminosidade LDR e um módulo relógio de tempo real, conectado a ele, que são responsáveis por concluir a veracidade dos parâmetros definidos para o funcionamento do sistema, e após este processo decide qual informação será enviada para o próximo nó, contendo a informação do funcionamento normal, ou a informação do defeito, significando a ausência ou presença do fluxo de corrente de forma anormal, baseado nos parâmetros definidos.

Os parâmetros definidos são os seguintes:

- De 07h00min às 18h59min não é permitido o fluxo de corrente, a não ser que o sensor LDR prove que escureceu neste período;
- De 19h:00m às 06h59min não é permitido a falta de fluxo de corrente, é considerado noite.

Se surgir um problema referente a uma possível sombra gerada por cima do relé fotoelétrico, o sistema age da seguinte forma: o nó que envia mensagens conhece o *status* de todos os outros nós. Se ele comparar o *status* de um nó, cuja sombra alterou a luminosidade, com os de outros nós, ele saberá que somente aquele nó está com problema. Se ele comparar com os outros nós, e os outros também apresentarem níveis parecidos de luminosidade pode-se concluir que escureceu.

O terceiro nó, denominado neste trabalho de nó principal, possui um NodeMCU que recebe a leitura de corrente do sensor SCT013-000 instalado no ponto de iluminação, recebe também informações dos outros nós próximos, recebe a validação do LDR, e após este processo, quando necessário, utiliza o módulo GSM/GPRS SIM800L para enviar um SMS à uma central, informando o(s) ponto(s) defeituoso(s). Após o primeiro envio o nó aguarda um determinado período, que pode ser configurado, para reenviar o SMS, caso o problema não seja solucionado. O papel deste nó é muito importante, pois é decisivo para a identificação de problemas. Se por algum motivo ele parar de funcionar, a comunicação na rede prossegue, até que o próximo nó principal seja encontrado.

As condições estabelecidas para o envio de SMS, podem ser vistas na Figura 4. De acordo com os experimentos realizados, em todas as luminárias foram obtidos valores de correntes acima de 1 A. Sendo assim, foi definido nos parâmetros que se o valor de corrente estiver acima de 0,50 A, em horários impróprios, passará para a próxima condição que envolve o LDR.

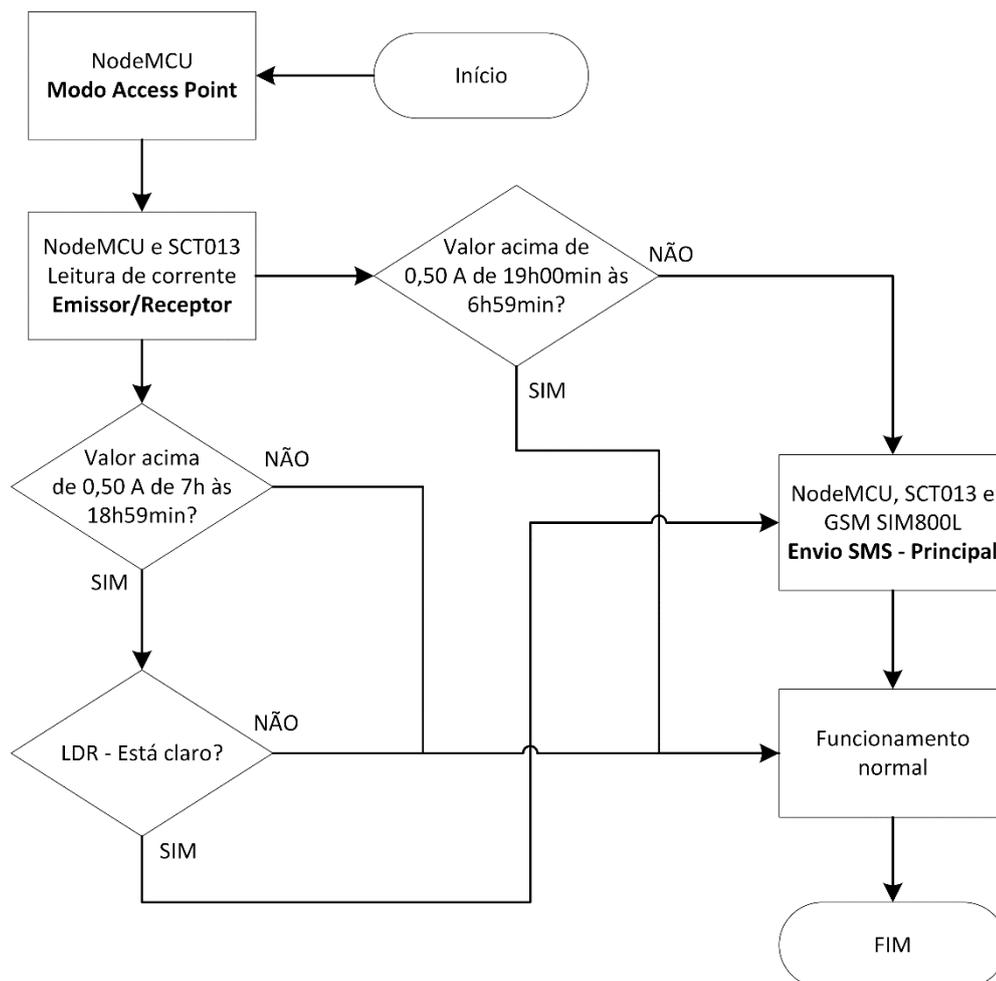


Figura 4 - Fluxograma do sistema desenvolvido

## 2.2. Estrutura da mensagem

Conforme a Figura 5, depois de iniciado o processo, o primeiro campo, representado pelos *bytes* de 0 a 1, é o verificador, ele determinará se uma mensagem de falha será enviada ou não para os nós. Havendo falha um SMS deve ser enviado. Do contrário não há necessidade de enviar SMS, a mensagem é então disparada para todos os nós informando o *status* do nó, que está funcionando normalmente.

O segundo campo, representado pelos *bytes* de 2 a 6, informa o valor de corrente que está sendo lido naquele nó.

O terceiro campo (*bytes* 7 a 11), informa o valor de luminosidade lido pelo LDR.

O quarto campo (*bytes* 12 a 14), identifica a hora em que os dados foram extraídos.

E por fim, o quinto campo, representado pelos *bytes* 15 a 24, identifica o ID do NodeMCU do ponto defeituoso e envia para toda a rede, após chegar em um nó principal a mensagem é enviada por SMS para a central de manutenção.

Cada caractere é representado por 8 *bits* digitalmente, que equivalem a 1 *byte*, e 8 *bytes* é o tamanho da cadeia de caractere na memória. Dessa forma, como a mensagem principal é composta por outras cinco mensagens independentes, cada mensagem trocada no sistema desenvolvido pode chegar a 40 *bytes*, sendo que, em condições normais de funcionamento 25 *bytes* são suficientes para representar as mensagens trocadas no sistema, como apresentado na Figura 5.

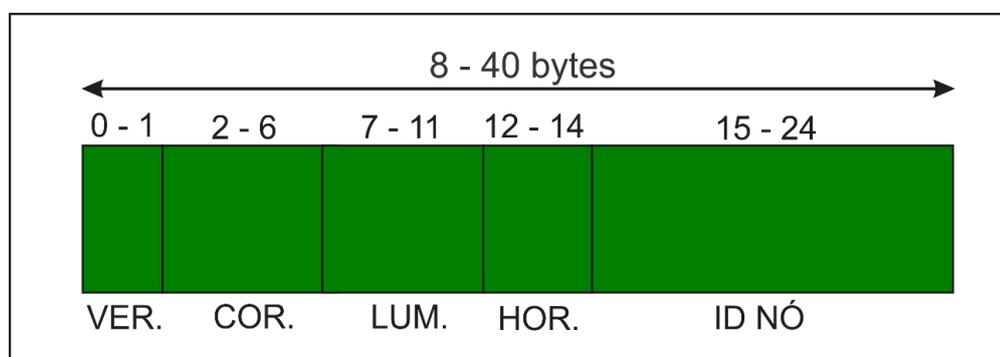


Figura 5 - Estrutura da mensagem

### 2.3. Descrição e planejamento dos experimentos

Foram realizados dois cenários de testes, sendo eles:

1. Distância: Verificou-se até que distância em metros é possível uma comunicação estável entre os nós da rede;
2. Simulação: Foram utilizadas três luminárias. Duas delas completas (lâmpada e reator), contendo o protótipo do segundo nó, ou seja, com todos os componentes descritos neste nó, inclusive o sensor de corrente. A terceira luminária foi configurada para ser o nó denominado Principal, mas por falta de recursos, não foi possível utilizar o sensor de corrente, sendo utilizado apenas o módulo GSM conectado ao NodeMCU, juntamente com um LDR para comparar as informações de luminosidade recebidas. Utilizou-se também um NodeMCU configurado em modo *API/Router*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta detalhadamente todos os experimentos realizados e as discussões dos resultados obtidos.

Antes de realizar os experimentos mencionados na Metodologia, foi necessário validar os componentes com suas respectivas funções separadamente, após a validação, os protótipos foram construídos e os experimentos realizados. O resultado final da construção dos protótipos, pode ser visto nas Figuras 6 e 7, sendo apresentados, respectivamente, nó Emissor/Receptor e nó Principal.

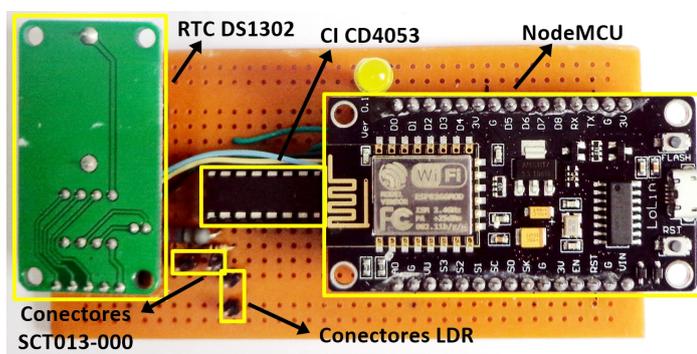


Figura 6 - Protótipo do nó Emissor/Receptor finalizado

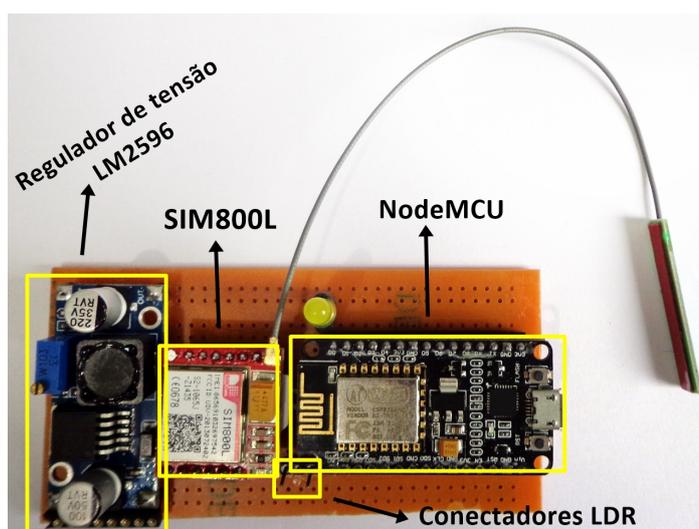


Figura 7 - Protótipo do nó Principal finalizado

#### 3.1. Cenário 1 – Distância

Com o intuito de verificar a distância possível de uma comunicação estável, foi configurado um NodeMCU em modo AP e três NodeMCUs configurados de forma diferente, sendo verdadeiros nós *mesh*, emissores e receptores que se auto organizam na rede, possuindo a função de enviar *status* a todos os nós da rede e receber mensagens do nó mais próximo.

O AP, juntamente com um segundo NodeMCU de função diferente a dele, foram alimentados a tensão necessária de funcionamento. Foi conectado um nó emissor/receptor ao *notebook* para depuração da comunicação. Para medir a distância foi utilizado o GPS de um *smartphone*, assim distanciando gradativamente até que a comunicação começasse a falhar, foi constatado a veracidade da informação obtida no documento da Espressif (ESPRESSIF, 2017), que os nós poderiam se comunicar até 100 metros de distância e o resultado obtido foi exatamente este.

Vale ressaltar que o alcance do dispositivo não é direcionado à um só lugar, na teoria se estivesse em um ambiente aberto, sem barreiras o sinal alcançaria 100 metros em todas as direções. Ressalta-se ainda que neste experimento não foram utilizados os componentes dentro da luminária.

De acordo com a Figura 8, alcançado os primeiros 100 metros (Ponto B), o NodeMCU foi alimentado por um *power bank* (carregador portátil), e pendurado a um poste, para que fosse possível realizar a comunicação de mais um nó na rede. Distanciando-se gradativamente do Ponto B, novamente o limite para uma comunicação estável foi de 100 metros. Concluindo-se que em 200 metros (Ponto C), houve uma excelente comunicação *mesh*.



Figura 8 - Detalhes do experimento que verificou distância de comunicação entre os nós

### 3.2. Cenário 2 – Simulação

Foram utilizadas três luminárias e cada uma recebeu em seu interior um protótipo. Foram inseridos de modo que o sensor LDR ficasse para fora, para que a escuridão dentro da luminária, não atrapalhasse o funcionamento do sistema. O sensor de corrente utilizado em duas luminárias, foi colocado em um dos fios após o reator e antes da lâmpada.

A simulação foi muito importante, pois através dela foi possível verificar a eficácia dos protótipos. Conforme citado na seção Descrição e planejamento dos experimentos, o cenário contou com dois nós Emissores/Receptores, um nó Principal e um nó AP/Router, como mostra a Figura 9.

O experimento foi realizado em ambiente *indoor*, pois devido as condições climáticas alguns recursos que possibilitariam o funcionamento em ambiente externo, não estavam acessíveis. Os nós foram colocados aproximadamente a 6 metros de distância uns dos outros. O experimento iniciou-se às 20h20min. Os protótipos foram colocados em funcionamento somente após ligar as luminárias, para que o SMS não fosse disparado, pois de acordo com os parâmetros definidos, isto seria uma falha.

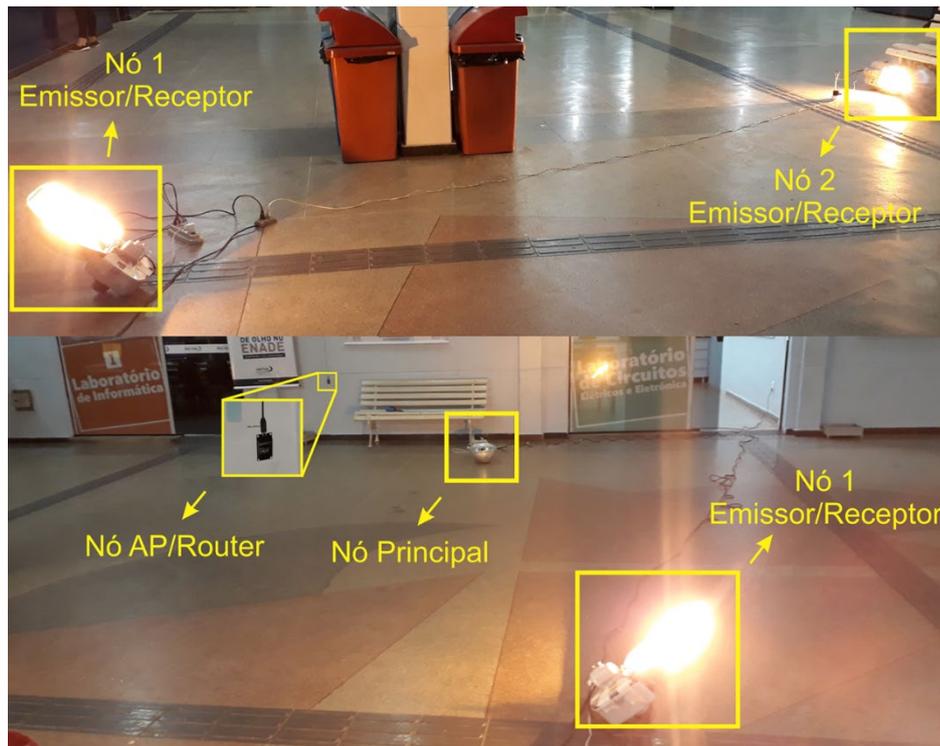


Figura 9 - Cenário com os componentes necessários para a simulação

Com as luminárias em funcionamento, juntamente com os protótipos, aconteceu da seguinte maneira: o nó *AP/Router* organizou a rede iniciando a comunicação *mesh*, os outros nós começaram a se conectar uns aos outros. Para simular uma falha na Iluminação Pública, foi desligada a primeira luminária, passados alguns instantes foi desligada a segunda.

Para que fosse comprovado definitivamente a proposta do trabalho, os SMSs foram recebidos conforme planejado, como apresentado na Figura 10.

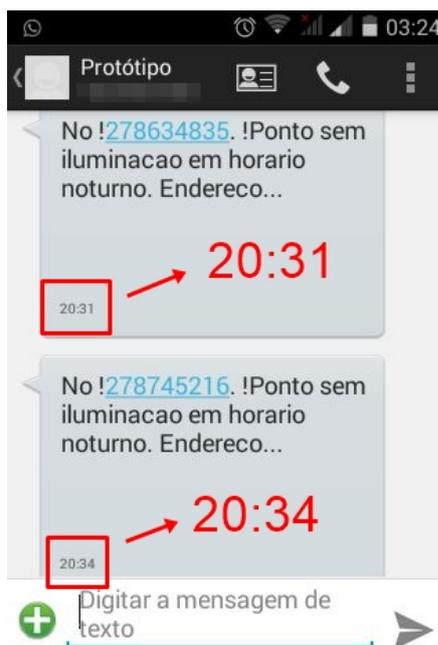


Figura 10 - Dois SMSs recebidos de IDs diferentes

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho, possibilitou analisar a viabilidade de um sistema eficaz de monitoramento da Iluminação Pública. Diante dos experimentos realizados, a expectativa era de constatar que a população pudesse ser beneficiada através de uma tecnologia de baixo custo. O objetivo foi justamente oferecer uma opção inovadora que gerasse qualidade de vida e ganho social.

De modo geral os experimentos realizados foram satisfatórios. O primeiro experimento apurou a potência e comunicação do sistema *wireless* do ESP8266. Quatro dispositivos atuaram em uma rede *mesh*, sendo possível alcançar uma distância de 100 metros do primeiro ao segundo, e mais 100 metros do segundo ao terceiro com os dispositivos fora da luminária.

O segundo experimento examinou que o protótipo Emissor/Receptor conseguiu operar a 1,5 metros da rede de média tensão, sem sofrer anormalidades, conseguindo por 30 minutos obter as leituras dos sensores. O experimento ainda permitiu verificar que a interferência elétrica, e interferência de redes WLAN nas proximidades, não prejudicaram o envio e recebimento de mensagens entre dois nós a 30 metros, também por 30 minutos.

Já o segundo experimento certificou a eficácia do sistema desenvolvido neste trabalho, sendo possível criar uma simulação, que contou com três luminárias, onde duas delas foram colocadas em funcionamento, juntamente com um protótipo Emissor/Receptor em seu interior. Ao desligar as luminárias o sistema agiu conforme programado, enviando um SMS para o telefone celular que representava o número da central de manutenção.

Para alcançar os resultados, foram utilizados diversos dispositivos embarcados, que trabalharam com um conjunto de instruções programadas. Esta programação elaborada foi imprescindível para o êxito do trabalho. Cada um dos dispositivos exerceu sua respectiva função isolada, porém todos se integraram para o alcance do resultado final. Os cenários utilizados contribuíram para que os experimentos se aproximassem da realidade.

O objetivo principal do trabalho era articular uma forma de que havendo a falta de luz, provida da queima de lâmpadas, ou havendo lâmpadas acesas durante o dia, os responsáveis pela manutenção da Iluminação Pública fossem acionados, mediante a detecção automática do problema. Através dos experimentos realizados no decorrer do trabalho, foi possível programar o envio de um SMS, com o intuito de informar e logo solicitar a resolução do problema.

Dada a importância do tema, se torna necessário o desenvolvimento de complementos, que possam colaborar com a melhoria e eficácia do trabalho em questão, como:

- Trabalhar técnicas de segurança para a rede proposta neste trabalho;
- Conectar novos dispositivos na rede, para acessar o sistema e saber o estado atual, sem a necessidade de esperar um SMS;
- Criar novas redes *mesh*, interligando os *API Routers*, gerando assim uma rede maior;
- Implementar função que controle e monitore também o reator;
- Implementar função de dimerização para as lâmpadas que permitem este processo.
- Implementar função que identifique a localização do nó, se ele parar de funcionar.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, Rothschild Alencastro. **Instalação de uma rede mesh metropolitana utilizando padrão IEEE 802.11a e implementação do serviço voip (WMAN-VOIP)**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado Automação) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira - UNESP, Ilha Solteira, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução normativa 414: **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. 2010. 211 p.

ESPRESSIF. **Mesh User Guide**. Disponível em: <<https://espressif.com/en/support/download/-documents>>. Acesso em: 23 maio. 2017.

FERREIRA, Hiro Gabriel Cerqueira. **Arquitetura de Middleware para Internet das Coisas**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GIMENES, André Luiz Veiga et al. **Sistema integrado de monitoramento, controle e dimerização em Sistemas de iluminação pública: Análise de desempenho, atendimento à normalização e proposta para implantação no Brasil (GET)**. XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 23 a 26 de Outubro de 2011, Florianópolis - SC.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP8266**. 2016. Disponível em: <[https://leanpub.com/-ESP8266\\_ESP32](https://leanpub.com/-ESP8266_ESP32)>. Acesso em: 02 abr. 2017.

LACERDA, F. **Arquitetura da informação pervasiva: projetos de ecossistemas de informação na internet das coisas**. 2015. 226 f. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MORAIS, Antônio Higor Freire de. **eOSI: Um modelo para Desenvolvimento de Sistemas Embarcados Tolerantes a Falhas**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

OLIVEIRA, Ricardo Rodrigues. **Uso do microcontrolador ESP8266 para automação residencial**. Rio de Janeiro: UFRJ Escola Politécnica, 2017. 55 p. Projeto de Graduação.

OLIVEIRA NETO, Inael Rodrigues de. **Síntese de Requisitos de Segurança para Internet das Coisas Baseada em Modelos em Tempo de Execução**. 2015. 116 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ROSÁRIO, Desnes Augusto Nunes do. **Desenvolvimento e aplicações de sistemas embarcados em FPGA**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso.

SERAFIM, Edvaldo. **Uma estrutura de rede baseada em tecnologia IoT para atendimento médico a pacientes remotos**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Faculdade Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, 2014.

SILVA, Marlon da. **Planejamento de Redes em malha sem fio com Atendimento a Parâmetros de Qualidade de Serviço**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2011.

SIMCOM. **SIM800**. Disponível em:  
<http://simcomm2m.com/En/module/detail.aspx?id=138->. Acesso 10 nov. 2017.

YHDC. **SCT013-000**. Disponível em:  
<http://en.yhdc.com/product1311.html?productId=401>. Acesso em: 09 out. 2017.