

# Sistema de Monitoramento de Consumo Energético Via LoRa

Victor Santos da Cruz 10/48473  
Universidade de Brasília-UnB  
vycthur@hotmail.com

3 de agosto de 2019

## Resumo

Esse trabalho apresenta uma abordagem de monitoramento de consumo energético de maquinário industrial via tecnologia LoRa<sup>®</sup>. O sistema atua de forma a gerenciar o consumo para que o mesmo possa ser mantido em níveis aceitáveis. Sensores são usados para coleta de dados de consumo e módulos de Rádio Frequência para a comunicação entre os componentes. O serviço de GateWay entre os módulos e o comando é feito pelo Microcomputador **Raspberry Pi**.

**Palavras-chaves:** LoRa<sup>®</sup>, Rádio Frequência, Raspberry Pi

## 1 Justificativa

Um dos pilares de uma produção industrial é o consumo de energia elétrica. Consumo este que está atrelado ao custo produtivo. A gestão eficiente da energia traz uma redução nos custos proporcionando uma maior competitividade de mercado, assim como uma otimização da produção.

Tendo como meta a redução dos gastos com energia elétrica, a tendência no cenário industrial é utilizar da tecnologia para coletar dados referente ao consumo e definir estratégias para uma melhor gestão energética.

Há situações que o monitoramento em médias ou longas distância, causam inconvenientes na produção industrial. Seja por causar atrasos na produção ou por dispendir mão de obra para checagem periódicas.

Assim, a coleta imediata de dados de consumo de médias ou longas distâncias, permite tomar decisões de otimização e obter a

eficiência energética por meio de indicadores.

## 2 Objetivo

O intuito é pesquisar e desenvolver um sistema de monitoramento em médias ou longas distâncias que utilize da comunicação em Rádio Frequência- RF para coleta de dados de consumo e controle das máquinas. Precisamente, o sistema utilizará da tecnologia LoRa<sup>®</sup> para a comunicação dos módulos de controle.

Desenvolver e confeccionar o software de comunicação e controle dos módulos LoRa, assim como também confeccionar o hardware da central do sistema de monitoramento.

Utilizar o microcomputador **Raspberry Pi** para produzir um Gateway para recebimento dos dados enviados pelos módulos e gerenciamento.

### 3 Requisitos

O sistema proposto funciona de forma que verifica uma situação de consumo de um maquinário industrial e atua sobre esse maquinário visando melhorar a eficiência energética.

Para tanto é necessário verificar o fornecimento de energia elétrica para o maquinário e posteriormente uma situação de operação.

Nessa situação de operação é verificado se há funcionamento atuando diretamente na máquina caso contrário a mesma deve ser desligada ou direcionada para um modo de operação inteligente, caso o consumo esteja acima do tolerado.

A verificação de consumo deve ser feita de forma não invasiva, por meio de sensoriamento. Feito a leitura de consumo pelo sensor, os dados obtidos devem ser transmitidos via Radiofrequência utilizando tecnologia LoRa®.

Estes dados devem ser recebidos por um Gateway e armazenados em um banco de dados para posteriormente serem tratados. Com estes dados armazenados o sistema deve tratar e gerar resultados a cerca do consumo.

Portanto, o sistema atuará conforme:

- \* Verificar fornecimento de energia elétrica pela rede;
- \* Identificar a situação de operação;
- \* Verificar consumo;
- \* Coletar e armazenar dados de consumo;
- \* Tomar decisão a cerca do consumo.

#### 3.1 Medição do Consumo

A medição do consumo energético é obtida por meio de operações matemática seguindo as leis da física. Essa medição deve ser feita de forma não invasiva, portanto,

utilizando-se de sensoriamento. A expressão matemática que calcula o consumo está representada na equação 1.

$$C_{consumo} = \frac{P_{watts} \times t_{horas} \times T_{mês}}{1000} \quad (1)$$

Sendo que:

$$P_{watts} = V_{volts} \times I_{ampers} \quad (2)$$

##### 3.1.1 Sensor de Corrente

Como a Potência é uma grandeza física, definida como a quantidade de energia fornecida ao equipamento num intervalo de tempo.

Para o cálculo da potência, e consequentemente do consumo energético do maquinário, é preciso definir a quantidade de corrente consumida pela máquina elétrica. Portanto, para essa medida será usado o sensor de corrente SCT-013-000.



Figura 1 – Sensor Medidor de Corrente Alternada SCT-013-000

O sensor SCT-013-000 é muito versátil e tem como principal vantagem de ser um instrumento eletrônico não invasivo e não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não precisamos abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas “abraçar” um dos fios ligados ao equipamento a ser monitorado.

O SCT-013-000 pode medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua

saída tem valores entre 0 a 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal.

Como a leitura da corrente passara por um módulo LoRa será preciso montar um circuito auxiliar para que essa corrente percorra um resistor e assim possa converter os valores de correntes gerado pelo sensor em valores de tensão.

### 3.2 Módulo RF

Como objetivo do projeto a comunicação em RF deverá ser utilizado dois módulos RN2483 do Kit LoRa da Microchip® figura 2.

Este módulo apresenta um Arm mbed, com tranceptor lora integrado, apresentando assim interfaces I2c, SPI, serial, pinos digitais e analógicos, garantindo comunicação com a estação base de 15 km.

Parâmetros de funcionamento do módulo:

- \* Frequência de operação de 868/915 MHz;
- \* Tecnologia disponível: ARM e LoRa com modulação CSS e frequência variável, I2c, SPI, UART, PWM, ADC, GPIO;
- \* Alcance do sinal: > 15KM;
- \* Potência de transmissão : 5 a 20 dBm
- \* Processamento : Processador STM32F411RET , ARM Cortex -M4 Core, 96MHz, 128kB RAM, 512kB Flash



Figura 2 – Módulo de Rádio LoRa mDot

Porém, por motivos de inviabilidade será usado o conjunto de módulos Transmissor(Tx) e Receptor(Rx) RF433Mhz figura 3. Esses módulos são bem populares e de fácil obtenção.

A comunicação é unidirecional , isto é, os dados são enviados pelo transmissor e recebidos pelo receptor, diferente dos módulos LoRa

As aplicações mais comuns para esse conjunto de módulos são:

- \* transmissão de dados à curta distância,
- \* controle remoto,
- \* automação residencial,
- \* sistema de segurança – Alarme,
- \* Registro remoto de dados (Log).

Nesse projeto esse conjunto será utilizado para a transmissão de dados de um sensor à curta distância para verificar a viabilidade do projeto.

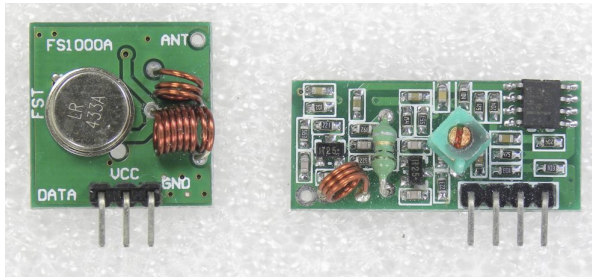


Figura 3 – Módulo RF433Mhz

### 3.3 Microcomputador

Para serviço de GateWay LoRa e controle será utilizado o Microcomputador **Raspberry Pi** conhecida como Rasp, figura 4.

A Rasp é uma série de Microcomputadores de placa única. Nele pode ser conectado um monitor de computador, um teclado e um mouse padrão.

Foi desenvolvido pela *Fundação Raspberry Pi* do *Reino Unido*. Todo o hardware é integrado numa única placa.



Figura 4 – Raspberry Pi modelo B

Com a Rasp se tem uma vasta gama de projetos, tais como : Projetos robóticos, projetos com satélite , servidores web, automação residencial, em projetos de microcontroladores, como um computador embarcado em um carro, entre outras.

Características de funcionamento:

- \* CPU: ARM 11 de 700 MHz e a GPU de 250 MHz, que suportam inclusive overclock;
- \* GPU: Broadcom VideoCore IV 250MHz;
- \* Alimentação : 1V a 5V;
- \* RAM: 512MB.
- \* GPIO: 26;
- \* USB: 2 portas;
- \* HDMI: 1 porta;
- \* Ethernet: 1 porta;
- \* Saída de vídeo: HDMI e RCA;
- \* Saída de áudio: HDMI e JACK 3.5mm;
- \* Entrada de Vídeo: CSI connector;
- \* Saída de Display: DSI connector
- \* Armazenamento: SD;
- \* UART;
- \* Barramento I2C;
- \* Barramento SPI;

## 4 Benefícios

O produto fim do projeto é uma solução de mercado para o gerenciamento de consumo energético para indústrias ou segmentos que necessitam manter níveis de consumo. Contribuindo também para indicadores de consumo.

O controle a média e longa distância é um conveniente do projeto uma vez que proporciona eficiência no gerenciamento. O projeto é indicado para cenários que não podem depender da conexão da internet ou Wi-Fi<sup>TM</sup>.

## 5 Processo de Fabricação

### 5.1 Gateway

O Gateway é uma ferramenta versátil presente em vários ambientes de rede que tem como uma das funções principais fazer a intermediação entre um dispositivo final e a internet.

O Gateway desse projeto é constituído pelo Raspberry Pi 2 modelo B e tem a função de receber os dados que chegam no receptor e disponibiliza-los na rede. Esses dados são armazenados para serem encaminhados para um servidor TTN.

### 5.2 Receptor

O Receptor é formado pelo módulo Receptor RF433Mhz e a RaspberryPi. Ele tem a função de receber do transmissor as leituras feita pelo sensor de corrente. Essas leituras são passados para o Gateway.

### 5.3 transmissor

O transmissor é um circuito formado por três componente eletrônicos:

- Módulo Transmissor RF433Mhz - Que possui a função de receber do microcontrolador via UART-Rx os dados de leitura em forma digital;
- O microcontrolador ESP Wemos D1 mini - Recebe do sensor as leituras analógicas e passa para o módulo dados digitais referentes as leituras;
- O sensor de corrente SCT013 - Responsável por fazer as leituras de corrente do circuito analisado.

Posteriormente os dados tratados por esse circuito são transmitidos para o receptor via UART-Tx.

#### 5.3.1 Circuito medidor de corrente

Para leitura da corrente foi utilizado um microcontrolador ESP Wemos D1 mini. Figura 5:

No modulo transmissor tem-se o circuito para medição da corrente de interesse com um sinal de tensão alternada variando entre 2.5V positivo e 2.5V negativo. O ESP não pode medir tensão negativa, então precisamos somar o offset ao sinal para que ele varie entre 0V a 5V.

Então esse circuito e formado por um divisor de tensão que usa a alimentação de 5V que a placa ESP Wemos fornece. Assim, consideramos R1 e R2 iguais a 10k e com isso, a tensão sobre eles será igual, pois os 5V provenientes do ESP se dividirá igualmente entre eles. Em seguida e adicionado um capacitor eletrolitico entre a saída e o terra do circuito funcionando como bateria de 2,5v. O circuito pode ser visto na vigura 6:

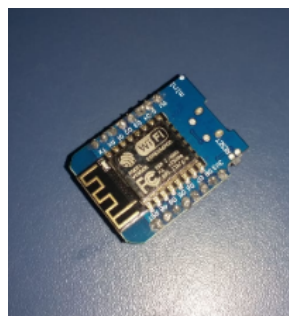


Figura 5 – ESP Wemos

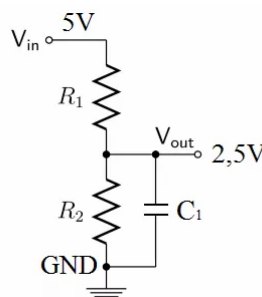


Figura 6 – Divisor de tensão

## 5.4 Concentrador

O concentrador é formado pelo Gateway e o módulo Receptor(Rx)RF433Mhz.

É nesse circuito que temos a interface do projeto com portas USB, ethernet, HDMI e micro USB.

A micro USB é usada para alimentação de energia da RASPI que por sua vez alimenta todo o circuito elétrico. A ethernet para logar na rede local.

Para controle e programação do concentrador por meio da Raspi é usado o VNC (Virtual Network Computing) que é um sistema de compartilhamento entre sistemas operacionais.

### 5.4.1 Código Gateway

O código fonte do concentrador foi confeccionado em linguagem C. Escrito e executado diretamente na linha de comando do VNC viewer.

Um dos convenientes do Gateway é a conexão direta com plataformas como o The Things Network(TTN) que é uma rede de dados de código aberto de propriedade e operada pelos usuários, construída sobre o protocolo LoRaWAN.

serviço de transmitir para o concentrador a leitura feita pelo sensor.



Figura 7 – Central concentrador

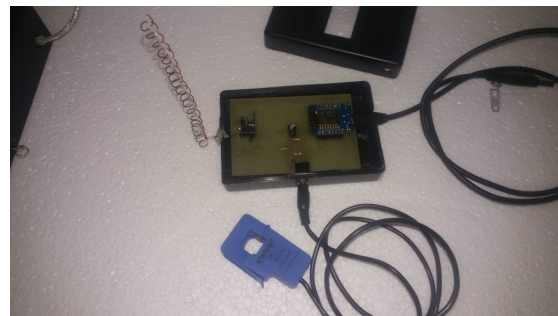


Figura 8 – Módulo transmissor, visão interna

## 6 Resultados

A pesquisa e desenvolvimento do projeto resultou num protótipo funcional que possui:

- \* Um módulo concentrador receptor Figura 7 constituído de um Raspberry que faz o serviço de gateway e um módulo receptor RF433;
- \* Um módulo transmissor Figura 8 internamente, que é formado por um circuito medidor de corrente, um microcontrolador ESP wemos D1 mini que faz a leitura da corrente medida, por um sensor de corrente SCT-013 e um módulo Transmissor RF433 que faz o



Figura 9 – Módulo Transmissor, visão externa



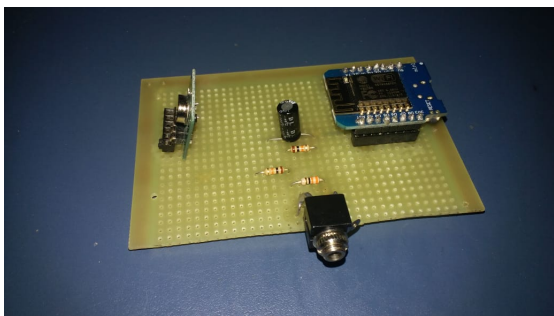


Figura 10 – Circuito de medição

A princípio o projeto preve a utilização da tecnologia LoRa<sup>®</sup>. porém, não foi possível nessa fase do projeto utilizar dessa tecnologia por uma dificuldade na configuração do kit. A alternativa encontrada foi a utilização de um conjunto de módulos de RF de fácil configuração e mas acessível.

O projeto atingiu em parte sua finalidade que é fazer medições de consumo energético com o envio dessas leituras por meio de Rádio Frequência.

Há a necessidade de armazenar em nuvem os dados coletados por esse sistema para que possam ser utilizados em plataformas de IoT.

Nessa configuração com um módulo de Rádio Frequência de baixo custo o alcance das transmissões não passou de 4m em locais sem obstáculos e 2m em recintos.

## 7 Conclusão

O circuito demonstrou-se parcialmente funcional. As medições de corrente foram possíveis por meio do circuito medidor. A comunicação do concentrador e o módulo de leitura e transferência foi possível.

Assim pode se verificar que o monitoramento a distância é possível com ferramentas tecnológicas acessíveis demonstrando assim uma tendencia de mercado que é o avanço em serviços de IoT.

## 8 Bibliografia

- <https://www.raspberrypi.org/>
- <http://blog.everpi.net/2013/12/transmitindo-rf-com-o-raspberry-pi.html>
- <http://www.ppgee.eng.ufba.br/teses/a2a2f6b0a19ad446fc>
- Joacy Teixeira Santana, Dimensionamento de uma rede de sensores para agricultura dentro do conceito de IoT/ Joacy Teixeira Santana. – Brasília, DF, 2018
- <https://www.acoplastbrasil.com.br/como-melhorar-o-controle-dos-recursos-energeticos-na-industria/>
- João Luis Grizinsky de Brito - Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino - Londrina, 2016
- <file:///C:/Users/user/Downloads/DaniloHenriquePelegri>
- <https://www.sparkfun.com/products/retired/11546> - Características Raspberry Pi
- <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>
- <https://github.com/TTN-Recife/rpi-pkt-fwd/wiki/Criando-seu-gateway-LoRaWAN-com-Raspberry-Pi>
- <https://blog.eletrogate.com/guia-basico-dos-modulos-tx-rx-rf-433mhz>

## 9 Anexos

### 9.1 Fluxogramas

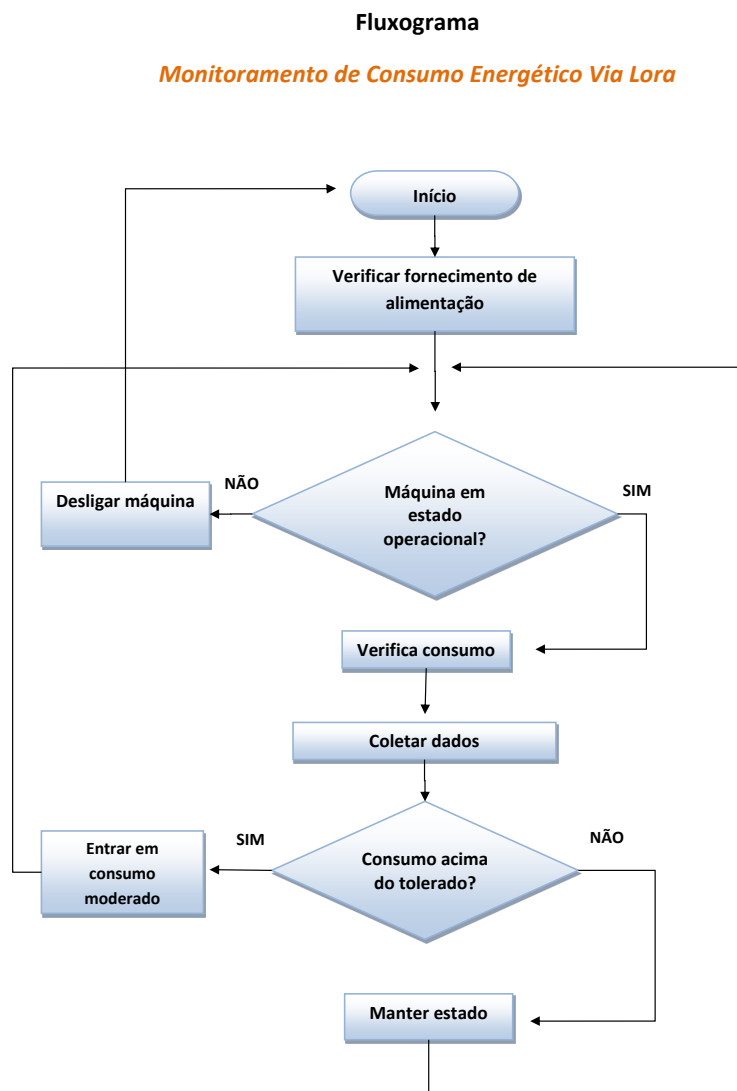


Figura 11 – Fluxograma de funcionamento do sistema



## 9.2 Diagramas

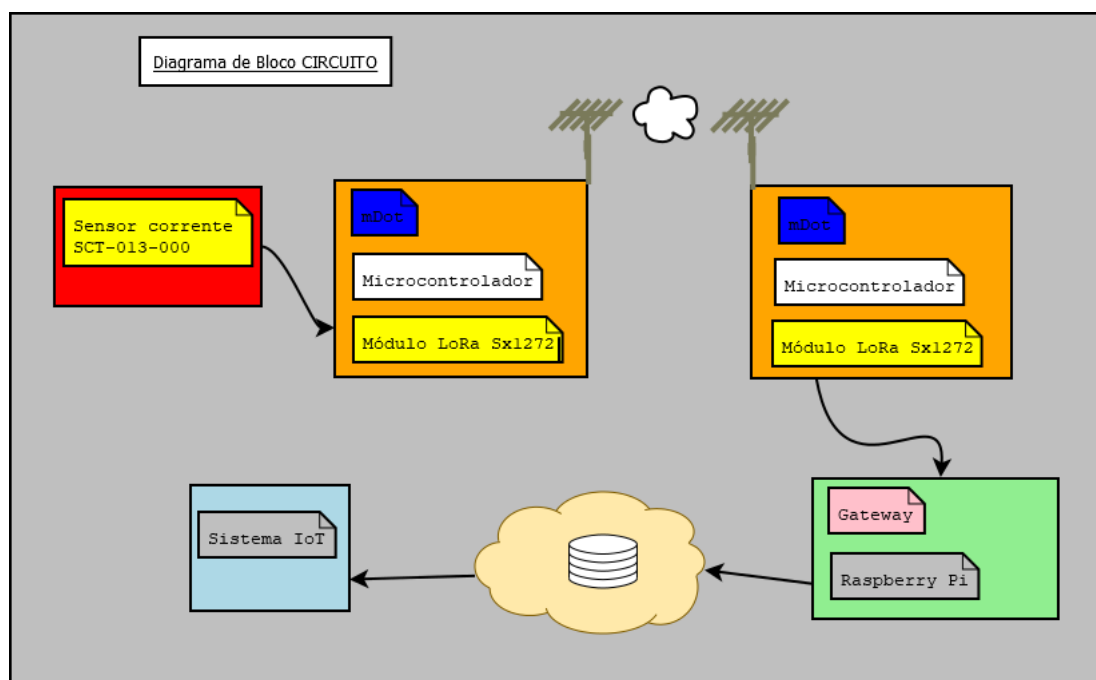


Figura 12 – Diagrama de Bloco do Circuito



### 9.3 Código fonte concentrador

```
#include "../rc-switch/RCSwitch.h"

#include <stdlib.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#include <wiringPi.h>

#include <lcd.h> //LCD

#include <stdint.h>


//USE WIRINGPI PIN NUMBERS

#define LCD_RS 0      //Register select pin

#define LCD_E  2      //Enable Pin

#define LCD_D4 3      //Data pin 4

#define LCD_D5 12     //Data pin 5

#define LCD_D6 13     //Data pin 6

#define LCD_D7 14     //Data pin 7


//#define PIN 7


RCSwitch mySwitch ;


int main(int argc, char *argv[]) {


    //Declaração componentes Lcd

    int fd=0;
```

```

wiringPiSetup();

fd = lcdInit(2,16,4,0,2,3,12,13,14,0,0,0,0);

int PIN = 7;

if(wiringPiSetup() == -1) {
    printf(" wiringPiSetup failed, exiting...");
    return 0;
}

int pulseLength = 0;

    // validação de mensagem e tamanho
if (argv[1] != NULL) pulseLength = atoi(argv[1]);

mySwitch = RCSwitch();

if (pulseLength != 0) mySwitch.setPulseLength(pulseLength);
mySwitch.enableReceive(PIN); // Receiver on interrupt 0 => that is pin #2

while(1) {

if (mySwitch.available()) //Mensagem disponível
{

```

```

    int value = mySwitch.getReceivedValue();

    if (value == 0) {
        printf("Unknown encoding\n");
    } else {

        printf("Corrente(A) %i\n",value );

    }

    //Amostrando valores no Lcd.

    int valor_clt= mySwitch.getReceivedValue();
    int Pot_clt = valor_clt*220;

    lcdPosition(fd,0,0);
    lcdPrintf(fd,"Corrente(A)%i\n",valor_clt);
    lcdPosition(fd,0,1);
    lcdPrintf(fd,"Potencia(W)%i\n",Pot_clt);

//    lcdHome(fd);

    fflush(stdout); //Atualizando tela
    mySwitch.resetAvailable();// limpando mensagens
}

usleep(100);

```

```
}
```

```
exit(0);
```

```
}
```



```

#include <RCSwitch.h>

#include "EmonLib.h"

RCSwitch mySwitch = RCSwitch();

EnergyMonitor SCT013;

int PINSCT = A0;    // Sensor SCT013 conectado no pino Analógico

void setup() {

  pinMode (1, OUTPUT); // Pino de Dados

  pinMode (A0, INPUT); // Declaração para evitar polarização reversa na porta

  pinMode (15, INPUT);

  SCT013.current(A0, 6060.6); // 60.606 Chamada de função corrente

  Serial.begin(115200);

  mySwitch.enableTransmit(1); // Transmissão no Pino nº1

}

void loop() {

  double Irms = SCT013.calcIrms(1480);

  mySwitch.send(Irms, 24);

  delay(100);

}

```