

# Desenvolvimento de um Protótipo IOT Visando Economia de Recursos Energéticos

Arthur H. Fuzinato\*. Leandro Chies\*\*

Instituto Federal de Santa Catarina, Chapecó, SC, Brasil, CEP 89813-000

(\*e-mail: arthur.hf@hotmail.com \*\*e-mail: leandro.chies@ifsc.edu.br)

**Abstract:** The development of a modular IoT prototype on the Arduino® platform is presented. The system consists of a central module, a lighting control module, an air conditioner control module and a ScadaBR® supervisory. The communication between the modules was carried out with LoRa technology that allows communications over long distances with low energy consumption. The project achieved the goal of reducing the waste of electricity and water in the educational institution, contributing to sustainability.

**Resumo:** É apresentado o desenvolvimento de um protótipo modular IoT sobre a plataforma Arduino®. O sistema é composto por um módulo central, um módulo de controle de iluminação, um módulo de controle de condicionador de ar e um supervisor em ScadaBR®. A comunicação entre os módulos foi realizada com a tecnologia LoRa que permite comunicações em longas distâncias com baixo consumo de energia. O projeto atingiu o objetivo de diminuir o desperdício de energia elétrica e de água na instituição de ensino, contribuindo para a sustentabilidade.

**Keywords:** IoT; LoRa; ScadaBR; Energy saving; Building automation.

**Palavras-chaves:** IoT; LoRa; ScadaBR; Economia de energia; Automação predial.

## 1. INTRODUÇÃO

Todos as plantas de geração de energia, considerando todo o processo de implantação, geram impactos ambientais, em menor ou maior grau, um desses impactos é o aumento das concentrações de gases do efeito estufa (Brasil. Ministério de Minas e Energia, 2017). Com a criação do Protocolo de Quioto foi estabelecido que parte dos países desenvolvidos devem atingir uma redução média de 5% nas emissões dos gases do efeito estufa durante o período de 2008 a 2012 e redução de 18% entre 2013 e 2020 do nível registrado em 1990. Países em desenvolvimento, apesar de isentos dos compromissos assumidos, devem buscar o princípio de responsabilidade comum, visto que todos serão afetados pelo aquecimento global, portanto a responsabilidade é de todos os países (Inatomi and Udaeta, 2005; Falleiro, 2015). As emissões desses gases no Brasil per capita, em 2018, foram de 9,3 toneladas/ano sendo mais altas do que a média mundial de 7,2 toneladas/ano. No Brasil, o setor de energia responde por 21% dessas emissões (Angelo and Rittl, 2019).

A busca da sustentabilidade requer a inserção de novas fontes de energia, que sejam renováveis e impactem o mínimo possível no meio ambiente. Além disso, a implantação de tecnologias que minimizem o consumo de energia se mostra como uma solução mais ecológica do que a implantação de novas gerações de energia (Bandarra, Valdez and Pereira, 2016). Considerando esse aspecto no Instituto Federal de Santa Catarina, câmpus Chapecó, (IFSC-CCO) é possível identificar desperdício de energia em fontes de iluminação artificial e condicionadores de ar, quando eles estão ligados e não há pessoas nos ambientes ou quando é possível utilizar outros recursos naturais em seus lugares. Cabe ressaltar, que o IFSC-

CCO possui mais de 800 alunos e em torno de 70 espaços físicos climatizados, em 2019. A alta rotatividade de pessoas torna um trabalho de conscientização difícil de ser implementado. Em vista disso, um sistema que permita o monitoramento e acionamento automático e remoto dos equipamentos que causam desperdício se faz necessário. A conexão desses equipamentos à internet para monitoramento/controle é denominada internet das coisas ou IoT (*Internet Of Things*). Sistemas automáticos, quando bem projetados, tem tendência a serem altamente confiáveis e operarem por longos períodos sem a intervenção humana. (Alves and Thangaraj, 2016). Existem sistemas de controle comerciais de baixo custo que implementam somente a função de ligar/desligar a iluminação através da rede WIFI como o *Sonoff*®, porém não possuem a função de detecção de movimento no ambiente. Ou ainda soluções mais completas como o sistema *iHouse*® e o *BTicino*®, composto por vários módulos que utilizam comunicação *Zigbee*® ou sistema cabeado. Estes são voltados para o uso doméstico e, combinados, possuem as capacidades desejadas no sistema proposto, porém o custo de aquisição desses equipamentos é alto. O custo é um fator que dificulta a aquisição por instituições públicas de ensino quando considerada a situação econômica nacional, na qual seguidos cortes de orçamento estão sendo direcionados a educação, conforme descrito por (Tenente and Figueiredo, 2019). Além disso, as redes sem fio (IEE 802.11) que utilizam certificados digitais para autenticação consomem um grande custo computacional do dispositivo cliente IoT (Kim, Han and Min, 2017). Cabe ressaltar que não se pretende comparar custo de aquisição de produtos finais, com o protótipo construído. O levantamento de sistemas comerciais serve, somente, como motivação

inicial para uma proposta desenvolvida em um trabalho de conclusão de curso.

Este trabalho propõe a criar os seguintes protótipos: a) uma central IoT de supervisão e controle, a qual permite que módulos fins de controle sejam adicionados; b) módulo fim de controle do sistema de iluminação, com as funções de acionar a iluminação dos ambientes e de estimar o consumo de energia em iluminação; c) módulo fim de controle de condicionador de ar, com as funções de estimar o consumo de energia, de ligar/desligar, de mudar o modo de operação e de trocar a temperatura selecionada para o condicionador de ar. Como também monitorar a temperatura ambiente. O sistema foi testado no LABICON laboratório de instrumentação e controle do IFSC-CCO.

## 2. SISTEMA IMPLEMENTADO

O sistema implementado segue o esquemático da figura 1.

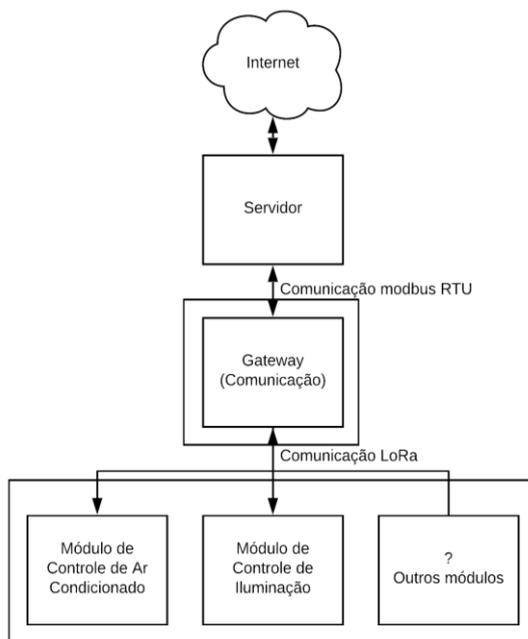


Fig. 1 Esquemático do sistema desenvolvido.

Cada bloco representa uma divisão do sistema, estes serão descritos detalhadamente nas seções a seguir.

### 2.1 Servidor

O servidor é um microcomputador que serve para monitoramento e manutenção dos serviços criados. Nele está instalado o sistema supervisorio desenvolvido. Sistemas supervisorios, também conhecidos como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), utilizam um software para monitorar variáveis e dispositivos de sistemas de controle conectados através de protocolos específicos, e tem como objetivo capturar e armazenar informações sobre um processo de produção ou um ambiente em um banco de dados (Groover, 2011). Há vários programas SCADA em destaque no mercado, dentre eles o ScadaBR<sup>®</sup> que foi escolhido por possuir código fonte aberto e ser gratuito (Sensorweb, 2017).

### 2.1.1 ScadaBR

O ScadaBR<sup>®</sup> é uma aplicação multiplataforma fundamentada em Java e executada em *Apache Tomcat* que pode ser acessada a partir de um navegador de internet, onde é possível configurar protocolos de comunicação com o microcontrolador, determinar as variáveis de entrada e saída e desenvolver interfaces gráficas (Silva, 2016).

O sistema idealizado possui uma tela para cada sala instalada. Nessa tela é possível visualizar os consumos estimados de energia em cada dispositivo e controlar o acionamento da iluminação e do equipamento de condicionador de ar. No supervisorio ainda é possível visualizar graficamente o histórico dos valores coletados ou ter uma visão geral de todas as medidas monitoradas na lista de supervisão.

### 2.2 Gateway

O gateway é um módulo central que realiza a conversão entre dois meios físicos e seus protocolos a fim de possibilitar a interconexão entre os módulos fim e o supervisorio. O hardware do dispositivo, vide figura 2, é composto de um Arduino Uno<sup>®</sup> e uma placa desenvolvida para conexão dos componentes.

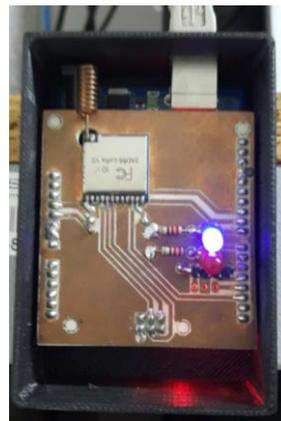


Fig. 2 Módulo central.

### 2.2.1 Comunicação com o servidor

A comunicação entre o gateway e o servidor foi realizada através da utilização do protocolo Modbus<sup>®</sup>, por possuir integração nativa com o sistema supervisorio. Modbus<sup>®</sup> é um protocolo criado na década de 70 e atualmente possui o código aberto. O protocolo ganhou popularidade quando vários fabricantes começaram a implementar em seus controladores industriais, além de recentemente ganhar novos mercados como a automação residencial (Freitas, 2014).

O Modbus<sup>®</sup> não implementa a camada física de comunicação, somente o protocolo de comunicação, deste modo é possível utilizá-lo acima dos barramentos RS232 e RS485 ou como uma supercamada sobre o TCP-IP em uma rede Ethernet (Freitas, 2014). Neste sistema foi utilizado o Modbus<sup>®</sup> RTU sobre a comunicação serial disponível na porta USB do Arduino<sup>®</sup> utilizado no módulo central. Dessa forma, não é

necessário utilizar um conversor adicional. As funções de Modbus® foram adicionadas ao microcontrolador do projeto utilizando uma biblioteca Modbus® para Arduino®.

### 2.2.2 Comunicação com os módulos fim

Para realizar a comunicação com os módulos fim, foram elencadas várias opções disponíveis no mercado levando em conta que, para atender aos requisitos do sistema, é necessário possuir as seguintes características: a) Possibilitar comunicação bidirecional; b) Não interferir na rede sem fio existente no local; c) Possuir algum tipo de criptografia dos dados; d) Distância de comunicação mínima de aproximadamente 135 metros, para permitir a utilização de apenas um módulo central (distância estimada entre os blocos mais remotos do câmpus).

Com estes dados, foi elaborado o comparativo disposto na tabela 1 listando os dispositivos disponíveis no mercado e suas características.

**Tabela 1. Comparativo de dispositivos de comunicação sem fio**

Módulo	Comunicação Bidirecional	Interferência com WIFI	Criptografia	Alcance
<b>LoRa1276</b>	<b>sim</b>	<b>não</b>	<b>sim</b>	<b>2 a 4km</b>
HC-12	sim	não	não	1000m
RF433MHz	não	não	não	200m
ESP8266	sim	sim	sim	30 a 100m
HC-05	sim	sim	sim	10m
NRF24L01	sim	sim	não	10 a 50m
ZigBee	sim	sim	sim	100m

Assim, por atender aos requisitos propostos foi selecionado o módulo RF LoRa1276. Baseado no chip SX1276, este possui potência de 100 mW, podendo alcançar 2 km de distância. A comunicação é realizada com o microcontrolador via protocolo SPI. Importante destacar que, para o Brasil, a frequência de operação é 915 MHz, esta frequência é liberada para uso em dispositivos domésticos (até 1W), pois já está regulamentada perante a ANATEL.

A rede LoRa foi criada pela *Semtech Corporation* e é promovida pela *LoRa Alliance*®. LoRa, do inglês *Long Range*, é uma tecnologia de rede de comunicação sem fio, derivada da modulação CSS – *Chirp Spread Spectrum*. Foi desenvolvido para aplicações de baixo consumo de energia, longo alcance e baixa taxa de transmissão. A utilização da modulação CSS torna a rede LoRa resistente a ruído e interferência, acarretando com que o receptor receba a mensagem precisa mesmo com uma relação sinal ruído baixa (Centenaro et al., 2016). LoRa é implementada somente na camada física deixando livre as camadas de nível mais alto (Semtech Corporation, 2015). Em vista disso, é necessário que exista um protocolo operando junto ao LoRa. Atualmente, o LoRaWAN® é a pilha de protocolos mais difundida e possui arquitetura de rede aberta. Apesar da arquitetura da LoRaWAN® ser bem completa, sua implementação representaria um grau de complexidade desnecessário ao projeto, assim foi escolhido aplicar somente a camada física

LoRa. A implementação do módulo LoRa foi possível através da biblioteca LoRa para Arduino®. Essa utiliza somente um canal LoRa, criando uma rede estrela *half duplex* pelo qual são enviados os pacotes entre o módulo central e os módulos fins. Com a necessidade de implementar um protocolo, foi optado por enviar os dados com o formato de quadro da tabela 2.

**Tabela 2. Composição do quadro do protocolo desenvolvido**

Ordem	Dado	Tamanho
1	Destinatário	1 byte
2	Remetente	1 byte
3	Número da mensagem	1 byte
4	Tamanho da mensagem	1 byte
5	Mensagem	1-255 bytes

Assim, ao receber uma mensagem os módulos podem verificar o destinatário, remetente, se houveram perdas de mensagens pelo número de controle e se o tamanho da mensagem condiz com o tamanho da mensagem recebida e então decodificar a mensagem recebida tratando cada comando, que dentro da mensagem são separadas pelo caractere “;” (ponto e vírgula).

Em testes preliminares, a rede atingiu alcance de aproximadamente 135 metros, distância entre os blocos mais remotos da instituição, sendo que há construções no raio de medição. Este alcance se mostrou satisfatório aos requisitos do projeto.

Na figura 3 encontra-se a conexão do módulo utilizado ao microcontrolador. Para o protótipo foi desenvolvido uma placa do tipo *shield* para conexão rápida e segura entre os dispositivos.

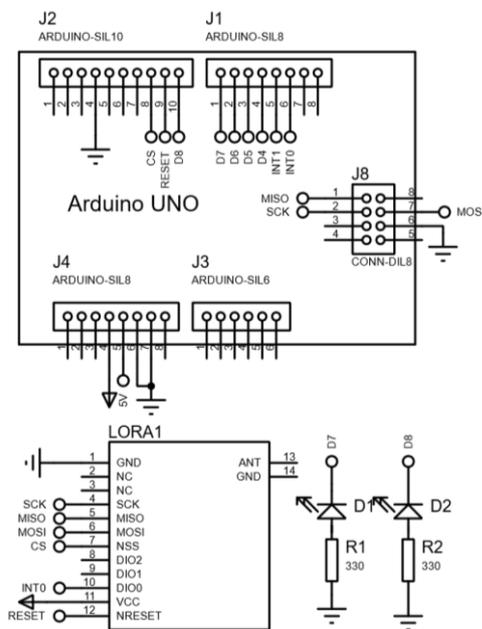


Fig. 3 Esquemático de ligação do módulo central.

### 2.3 Módulos fim

Os módulos fim executam as funções específicas do sistema e comunicam-se com o módulo central através da rede LoRa.

### 2.3.1 Módulo de controle de condicionador de ar

O módulo de controle de condicionador de ar tem a função de monitorar a temperatura da sala, estimar a potência aparente RMS de consumo através da medição de corrente e controlar, através de sinal infravermelho, o equipamento. Para isso, o módulo foi construído com um Arduino pro mini®, baseado no microcontrolador ATmega 328P e outros dispositivos descritos abaixo. O esquemático de conexões do módulo pode ser visualizado na figura 4.

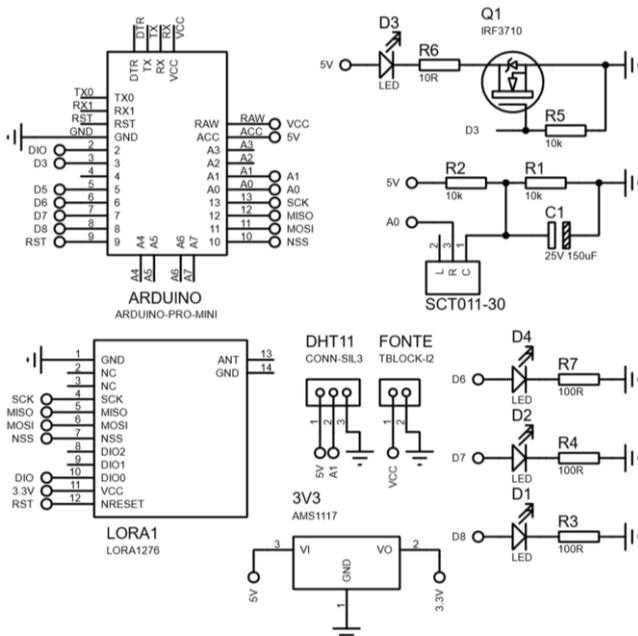


Fig. 4 Esquemático de ligação do módulo de controle de condicionador de ar.

O monitoramento da temperatura do ambiente é realizado através de um sensor DHT11, que foi escolhido pela disponibilidade do dispositivo no LABICON.

Para estimativa da potência de consumo é utilizado um método não invasivo, pois dispensa o corte do cabo. O modelo do sensor selecionado para a medição é o SCT013-30, que funciona através de um transformador de corrente. Este é acoplado ao cabo de energia e possui um resistor interno gerando 1V em sua saída para cada 30A de corrente no cabo ao qual está acoplado. Este tipo de medição só funciona para correntes alternadas, sendo que a saída é uma onda senoidal. Para ser possível a medição no ADC do Arduino® é necessário deslocar o sinal gerado pelo sensor, de modo que não haja componente negativa. Para deslocar este sinal foi adicionado um nível de tensão DC à referência do sensor, através de um divisor de tensão composto por dois resistores de 10kΩ e um capacitor eletrolítico para estabilização da referência. O sistema de medição de corrente apresenta amplitude máxima de medição de 30A e resolução aproximada de 147mA. A resolução poderia ser melhorada utilizando toda a amplitude do ADC. Apesar do sinal estar deslocado para a faixa de medição do ADC, ainda é um sinal senoidal e é necessário calcular o valor RMS. Para isso foi utilizado no *software* do Arduino a biblioteca EMONLIB que executa a rotina de

cálculo de valor RMS. O valor estimado de potência medida possui um erro devido a dois fatores principais: a) Irá considerar a corrente em fase com a tensão da rede, o que não ocorre em um sistema indutivo; b) A tensão da rede não será monitorada e esta pode sofrer variação.

Para controlar o condicionador de ar é utilizado um LED infravermelho e são reproduzidos os códigos transmitidos pelo controle original. O código transmitido pelo controle possui uma frequência de modulação de 38 kHz e segue um padrão proprietário do condicionador de ar controlado. A cópia do código foi realizada com um receptor TSOP1838. Este realiza a filtragem do sinal de modulação e entrega somente os pulsos do sinal em sua saída. Para realizar coleta do sinal o sensor é conectado a uma porta digital de um Arduino que armazena os tempos correspondentes aos pulsos do sinal. Esses pulsos são repetidos através de um LED Infravermelho, utilizando um MOS-FET para fornecer a corrente necessária.

Apesar de existirem bibliotecas para a obtenção e repetição dos códigos IR, o condicionador de ar instalado no ambiente, possui um código extenso, sendo que as bibliotecas encontradas realizam um armazenamento não otimizado do código, o que acaba utilizando muita memória RAM do microcontrolador. A utilização excessiva de memória estava ocasionando travamento e reinicializações por isso foi necessário reescrever o código.

Através da análise do comprimento dos intervalos de sinal ligado e desligado foi possível verificar que o código possuía um padrão onde o início da mensagem possui um pulso de 4500ms ligado e 4500ms desligado, indicando no início da mensagem. Após isso seguem 16 bits de cabeçalho e 32 bits que indicam a função onde cada bit 1 é representado por um pulso de 550ms ligado e 550ms desligado e cada bit 0 é representado por um pulso de 550ms ligado e 1650ms desligado, então um espaço de 5200ms desligado para representar o reinício do envio e o sinal é repetido. Esta decodificação é específica para este equipamento, mas o método utilizado pode ser aplicado para qualquer aparelho que utilize comandos transmitidos por infravermelho. Com essa análise, foi possível reduzir a ocupação da memória do microcontrolador, de 88% para 33%. Essa redução foi possível com a troca de 396 bytes por 32 bits para cada função armazenada do condicionador de ar.

Para validação dos dados foi realizada uma comparação entre os valores adquiridos pelo módulo com equipamentos de medidas disponíveis no laboratório. Os dispositivos utilizados foram: a) Para medição da temperatura ambiente um termômetro infravermelho; b) Para a corrente RMS um osciloscópio digital Tektronix®, modelo DPO2024 equipado com uma prova de corrente Tektronix®, modelo A622; c) para medição da distância máxima de alcance de infravermelho (IR) foi realizada a comunicação com o controle original do dispositivo e medido a máxima distância de comunicação. A distância de comunicação do módulo foi testada com o mesmo método. Para cada item foram realizadas dez medições e realizada a média entre os valores. Os resultados dos testes podem ser conferidos na tabela 3.

**Tabela 3. Composição do quadro do protocolo desenvolvido**

Grandeza medida	Valor de referência	Valor medido	Erro percentual
Temp. (°C)	24	23	-4,2 %
Corrente RMS (A)	6,57	6,34	-3,5%
Alcance IR (m)	5,6	4,1	-26,8%

Através dos dados coletados foi possível gerar o gráfico da figura 5. Onde é possível observar que após ser acionado as 19h16min o equipamento consome até 3000W enquanto o compressor está acionado e ao entrar e modo de ventilação às 19h18min passa a consumir 111W até ser desligado às 19h20min.

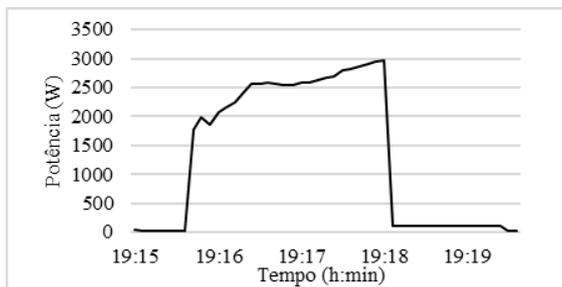


Fig. 5 Potência do condicionador de ar em relação ao tempo.

O sistema de controle do condicionador de ar se mostra eficiente em estimar e armazenar o consumo de energia. Também, possibilita o controle de forma remota das funções básicas do aparelho e monitora a temperatura ambiente da sala.

### 2.3.2 Módulo de controle de iluminação

O módulo de controle de iluminação permite o acionamento de forma remota das lâmpadas, monitora o consumo de energia e o estado do interruptor físico da sala, além de verificar a presença de pessoas no ambiente através de sensores PIR (*passive infrared*) que detecta a variação de luz infravermelha no ambiente, indicando que houve movimentação no local.

Para o acionamento da iluminação é utilizado um módulo de quatro relés, dois relés para cada circuito controlado, conectados conforme a figura 6, onde AC é a representação da rede elétrica, INT a representação do interruptor e CARGA a representação das lâmpadas. Assim se o sistema estiver desligado, o interruptor fica em *bypass*, possibilitando o acionamento manual do interruptor da iluminação.

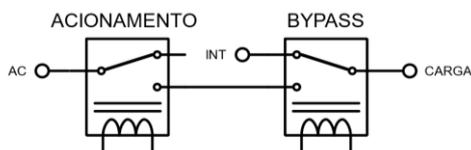


Fig. 6 Conexão dos relés para acionamento da iluminação.

Já para detectar o estado do interruptor foi utilizado o circuito da figura 7, no qual um retificador de meia onda aciona um

optoacoplador e este manda um sinal para a porta digital do microcontrolador.

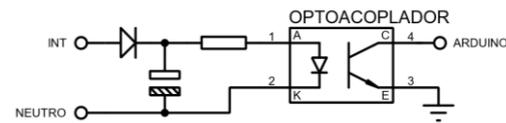


Fig. 7 Circuito de detecção de fase.

O consumo de energia foi estimado através da utilização do sensor de corrente ACS712. Este é um sensor analógico que realiza a medição através de efeito hall e, conforme folha de dados do fabricante, suporta uma corrente máxima de 30A pico a pico fornecendo um sinal de 0,5V a 4,5V. O ADC que realiza a conversão do sinal possui uma resolução de 10 bits, a resolução final do sistema é de aproximadamente 36,67mA. Para calcular o valor RMS da medição também é utilizada a biblioteca EMONLIB.

Para o monitoramento da presença de pessoas no ambiente foi utilizado o sensor PIR HC-SR501 (Infravermelho passivo) que aciona sua saída quando é medida uma diferença no nível de luz infravermelha no ambiente. O módulo desenvolvido possui duas entradas para aumentar o raio da detecção de presença. Vide na figura 8 as conexões entre os componentes.

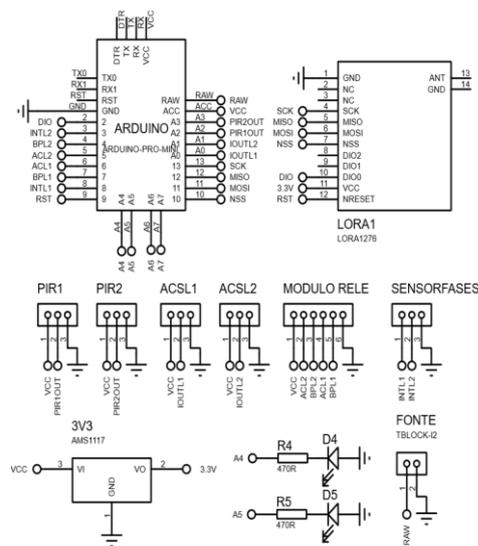


Fig. 8 Esquemático elétrico do módulo de controle de iluminação.

Para validação do módulo foram realizadas comparações com outros instrumentos, assumidos como padrão de referência. A estimativa de corrente de consumo foi comparada com o osciloscópio Tektronix® já citado neste artigo. Já para validar o funcionamento do sensor PIR foi realizado um experimento prático: foi instalado somente um dos sensores em uma sala sem movimento de pessoas, então foram realizados movimentos em vários pontos da sala de modo que fosse verificado a distância e a abertura do sensor. Foram realizadas 10 medições e a média foi considerada para a comparação entre os valores medidos e os informados na folha de dados do módulo, vide tabela 4.

**Tabela 4. Comparativo da detecção de movimento**

Grandeza medida	Valor na folha de dados	Módulo desenvolvido	Erro percentual
Raio (°)	110	102	-7,2 %
Alcance(M)	7	5,2	-25,7%

Com o intuito de verificar a linearidade das medidas de corrente foi realizado um experimento prático utilizando uma resistência e um *variatic*. Conforme a tabela 5 é possível verificar que em correntes muito baixas o erro de medição cresce bastante, porém próximo a região comum de operação do sistema a diferença se torna aceitável para uma estimativa de consumo.

**Tabela 5. Comparativo das medições realizadas**

Medida Real (Osciloscópio) (A)	Medida Sistema (A)	Diferença entre medidas (%)
0,15	0,10	-33,3%
0,20	0,16	-20,0%
0,25	0,22	-12,0%
0,30	0,27	-10,0%
0,35	0,33	-5,7%
0,40	0,39	-2,5%
0,45	0,44	-2,2%
0,50	0,50	0,0%
0,55	0,56	1,8%
0,60	0,62	3,3%
0,65	0,67	3,1%
0,70	0,72	2,9%
0,75	0,78	4,0%
0,80	0,84	5,0%
0,85	0,89	4,7%
0,90	0,95	5,6%
0,95	1,00	5,3%
1,00	1,05	5,0%

Através da coleta de dados realizada pelo sistema instalado foi possível gerar o gráfico da figura 9 que demonstra a potência gasta em iluminação durante 12 horas, no gráfico é possível visualizar os acionamentos do desligamento automático em cada vale do gráfico.

Através do monitoramento, com o sistema desabilitado, durante 12 horas, foi possível estimar um consumo de 2750Wh. Com o funcionamento do sistema, conforme os dados do gráfico da figura 9, foi contabilizado o consumo de 2403Wh, mostrando economia de 347 Wh que representa 12,6% em um dia de funcionamento. Em testes preliminares o sistema apresentou acionamentos no modo de economia de energia de forma significativa, possibilitou estimar e armazenar o histórico do consumo de energia gasto na iluminação do ambiente. Além de permitir o acionamento de forma remota, é possível, através da análise dos gráficos gerados, inferir o reconhecimento de alguns defeitos, tais como: consumo elevado ou lâmpadas queimadas.

2.4 Especificações elétricas do sistema

Para a correta aplicação e instalação dos dispositivos desenvolvidos, nas tabelas tabela 6, tabela 7 e tabela 8, são descritas as características elétricas do sistema para cada dispositivo do protótipo.

**Tabela 6. Especificações elétricas do módulo central**

Especificação	Valor
Tensão de alimentação	5 V (USB)
Potência de consumo do módulo	300 mW
Alcance máximo LoRa	160 m

**Tabela 7. Especificações elétricas do módulo de controle de condicionador de ar**

Especificação	Valor
Tensão de alimentação	5 V
Potência máx. consumo do módulo	600 mW
Corrente máxima RMS	~ 21 A
Resolução de corrente	~ 147 mA
Faixa de controle da temperatura	0° C - 50° C
Resolução da temperatura	1° C
Alcance do LED IR	4,1 m

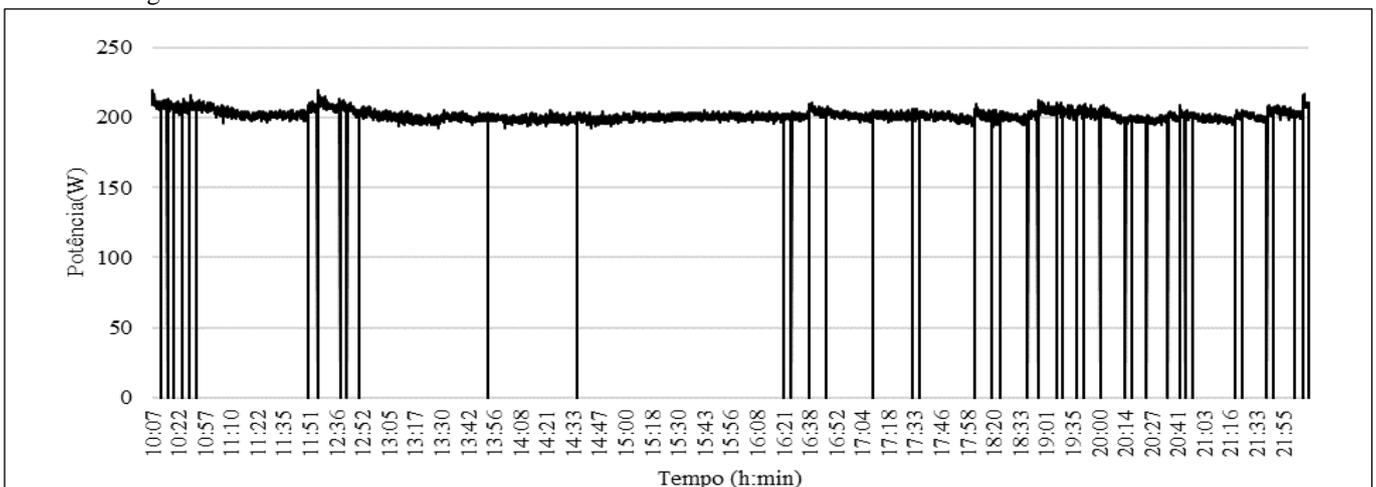


Fig. 9 Potência da iluminação em relação ao tempo

**Tabela 8. Especificações elétricas do módulo de controle de iluminação**

Especificação	Valor
Tensão de alimentação	5 V
Potência máx. consumo do módulo	2 W
Corrente máxima (Acionamento)	10A
Corrente máxima RMS (Medição)	~21 A
Resolução de corrente	~36,67 mA
Distância de detecção de movimento	5,2 m
Tempo de desligamento automático programável	3 min

### 2.5 Outros módulos

Devido a flexibilidade do projeto, é possível integrar outros dispositivos usando a mesma estrutura do projeto, ou seja, desenvolver módulos que utilizem LoRa e o protocolo criado para que seja possível sua configuração no sistema supervisorio do projeto.

Como o projeto é modular, foi possível desenvolver e integrar ao sistema um módulo de monitoramento das caixas d'água do campus. O módulo está instalado e totalmente integrado com o sistema desenvolvido neste projeto. Através deste sistema já foi possível detectar vazamentos de grande porte devido a um sistema de irrigação defeituoso e antecipar falta de água do local monitorado, causada por um desligamento acidental de uma bomba hidráulica.

O sistema permite uma análise sobre o consumo de água potável e de reuso e permite reduzir o uso de água potável através do emprego de água de reuso para privadas e limpeza (água da chuva captada em cisterna).

Na figura 10 visualiza-se o gráfico de nível da água de reuso, monitorado pelo sistema, em um dia de limpeza, onde é possível observar um consumo aproximado de 2000 litros de água durante o período das 07:00 às 18:00 horas.

### 3. CONCLUSÃO

Através da implementação dos módulos foi possível verificar o funcionamento dos métodos escolhidos, evidenciando que os sistemas se mostram eficazes em estimar o consumo dos dispositivos monitorados com pouca variação em relação aos meios utilizados para comparação das medições. Através do módulo de controle de iluminação, em um dia, conforme análise prévia neste documento foi possível contabilizar 12,6% de economia em 12 horas de funcionamento mostrando que há possibilidade de economia real de energia, somente realizando o desligamento dos dispositivos quando não há pessoas nos ambientes.

Já, para melhorar a estimativa de economia de energia proporcionada pelo sistema será necessária uma análise a longo prazo, por exemplo, utilizando dois sistemas em salas com condições ambientais e de uso parecidas, em uma sala será realizada somente medição de consumo, enquanto na outra o sistema realiza o processo de desligamento automático, que sugiro como trabalho futuro.

Para a complementação do projeto seria necessário implementar mais telas para o supervisorio e criar usuários de acesso ao supervisorio. O sistema criado sofre muito com interferência e a rede criada apresenta alguns erros de comunicação, causando perda de pacotes de dados e fazendo com que as mensagens fiquem ilegíveis então a implementação de correção de erros no protocolo se mostra necessária.

A metodologia aplicada para implementar a comunicação infravermelho do controle com o condicionador de ar também pode ser um adendo para outros projetos, pois o código fonte desenvolvido se torna genérico para qualquer dispositivo que utilize infravermelho para comunicação.

A utilização da combinação Arduino® com Modbus® e ScadaBR® facilita a implementação rápida para prototipagem.

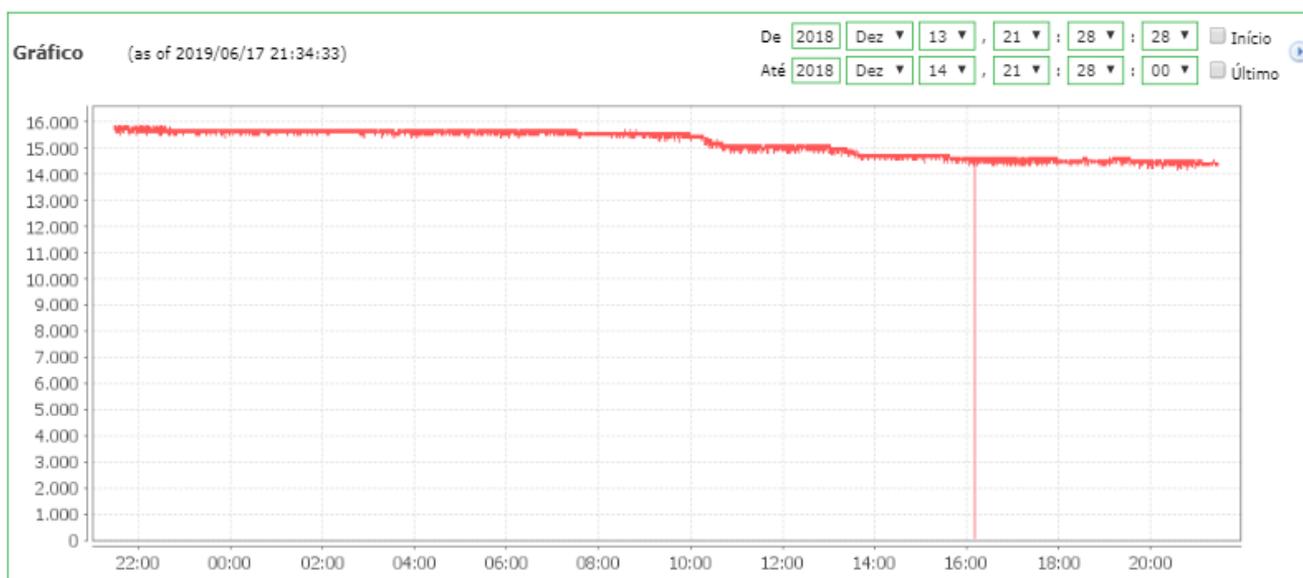


Fig. 10 Tela do supervisorio monitorando o nível da caixa de água de reuso em um dia de alto consumo.

Outros projetos podem ser desenvolvidos tendo como base a comunicação LoRa, como sistemas de monitoramento remoto de umidade de grãos, comunicação de longa distância com sensores meteorológicos autoalimentados, comunicação com veículos autoguiados dentre outros acionamentos e monitoramentos remotos.

#### AGRADECIMENTOS

Grande agradecimento aos professores, principalmente ao orientador, aos técnicos de laboratório, a todos os amigos que apoiaram durante a realização do projeto. Agradeço ao IFSC por proporcionar o ambiente para desenvolvimento e aplicação do sistema.

#### REFERÊNCIAS

- ALVES, F.A.M. and THANGARAJ, C. (2016). A scalable modular heterogeneous system for home and office automation. In: *2016 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC)*. 2016 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC). IEEE, Cambridge, MA, USA.
- ANGELO, C. and RITTL, C. (2019). *Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970 -2018*. Observatório do Clima, São Paulo, SP, Brasil.
- BANDARRA, P., VALDEZ, M.T. and PEREIRA, A. (2016). Solutions for monitoring and analysing for energy consumption — Energy management systems. In: *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*. 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC). IEEE, Coimbra, Portugal.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2017). *Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2026*. Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, Brasil.
- CENTENARO, M. et al. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, (23), [Online] Available from: doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743.
- FALLEIRO, A. DE M. (2015). *Desafios e oportunidades dos projetos de energia renovável registrados no primeiro período do protocolo de Quioto*. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- FREITAS, C.M. (2014). *Protocolo Modbus: fundamentos e aplicações - Embarcados*. [Online] Embarcados. Available from : <https://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/> [Accessed 12/11/18].
- GROOVER, M.P. (2011). *Automação industrial e sistemas de manufatura*. Pearson Education do Brasil, São Paulo, SP, Brasil.
- INATOMI, T.A.H. and UDAETA, M.E.M. (2005). Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos. In: *Anais do III Workshop Brasil-Japão em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*. III Workshop Brasil-Japão em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, pp. 1–14.
- KIM, K.-W., HAN, Y.-H. and MIN, S.-G. (2017). An Authentication and Key Management Mechanism for Resource Constrained Devices in IEEE 802.11-based IoT Access Networks. *Sensors*, (17), p. 2170.
- SEMTECH CORPORATION (2015). *AN1200.22 - LoRa™ Modulation Basics*. [Online] Semtech Corporation. Available from : <http://wiki.lahoud.fr/lib/exe/fetch.php?media=an1200.22.pdf> [Accessed 13/09/20].
- SENSORWEB (2017). *O que é o ScadaBR?*. [Online] SCADABR. Available from : <http://www.scadabr.com.br/> [Accessed 30/10/19].
- SILVA, W.S. DA (2016). *Sistema Scada para Supervisão de Temperatura e Umidade*. TCC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil.
- TENENTE, L. and FIGUEIREDO, P. (2019). Entenda o corte de verba das universidades federais e saiba como são os orçamentos das 10 maiores. *g1.globo.com*, 15 May.