



Análise dos medidores electrónicos de energia eléctrica e proposta de um sistema inteligente do pré-pago para a ende

Analysis of electronic electricity meters and proposal for an intelligent prepaid system for the ende

Análisis de medidores electrónicos de electricidad y propuesta de un sistema prepago inteligente para el sector final

António Gonçalves Piedade¹ <https://orcid.org/0009-0009-8374-3400>

¹Universidade Jean Piaget. Luanda-Angola. engelectricopiedade@gmail.com

Recebido: 26 de novembro de 2024

Aceite: 15 de dezembro de 2024

RESUMO

A Internet das Coisas (IoT) envolve a conexão de objetos físicos à internet, permitindo que operem de maneira automatizada e inteligente. Dentre suas diversas aplicações, destaca-se o uso em casas inteligentes, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida. Este artigo examina os desafios da implementação da IoT no contexto de redes elétricas inteligentes com cobrança pré-paga. Essas redes oferecem benefícios em comparação aos sistemas tradicionais, como maior eficiência na gestão e medição do consumo de energia. O estudo resultou no desenvolvimento de um protótipo de medidor de energia pré-pago com comunicação sem fio, capaz de integrar recargas de celulares diretamente ao sistema de energia das residências. O modelo exibe informações de consumo em tempo real e permite que as distribuidoras monitorem remotamente o sistema, auxiliando na detecção de fraudes e na melhoria da eficiência operacional.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT), Medidor de energia, Modelo e protótipo.

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) involves connecting physical objects to the internet, enabling them to operate in an automated and intelligent manner. Among its various applications, its use in smart homes stands out, with the aim of improving quality of life. This paper examines the challenges of implementing IoT in the context of smart grids with prepaid billing. These networks offer benefits compared to traditional systems, such as greater efficiency in managing and measuring energy consumption. The study resulted in the development of a prototype prepaid energy meter with wireless communication, capable of integrating cell phone recharges directly into the home's energy system. The model displays consumption information in real time and allows distributors to remotely monitor the system, helping to detect fraud and improve operational efficiency.

Keywords: Internet of Things (IoT), Energy meter, Model and prototype.

RESUMEN

La Internet de las cosas (IoT) implica conectar objetos físicos a Internet, lo que les permite funcionar de forma automatizada e inteligente. Entre sus diversas aplicaciones destaca su uso en hogares inteligentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida. Este artículo examina los desafíos de implementar IoT en el contexto de redes inteligentes con facturación prepaga. Estas redes ofrecen beneficios frente a los sistemas tradicionales, como una mayor eficiencia en la gestión y medición del consumo energético. El estudio resultó en el desarrollo de un prototipo de medidor de energía prepago con comunicación inalámbrica, capaz de integrar recargas de celulares directamente al sistema energético del hogar. El modelo muestra información de consumo en tiempo real y permite a los distribuidores monitorear el sistema de forma remota, ayudando a detectar fraudes y mejorar la eficiencia operativa.

Palabras clave: Internet de las cosas (IoT), Medidor de energía, Modelo y prototipo.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental no mundo moderno, sendo essencial para o funcionamento de praticamente todas as atividades e sistemas, tanto de maneira direta quanto indireta. A interrupção no fornecimento de eletricidade gera uma série de desafios e prejuízos, impactando negativamente a economia, a mobilidade e a segurança de sociedades e organizações em todo o mundo (Silva, 2019). Nesse contexto, a automação de sistemas elétricos e a inovação na gestão do consumo de energia têm se tornado cada vez mais relevantes, especialmente com a introdução de sistemas de tarifação pré-paga.

Os sistemas de pagamento pré-pago para o consumo de eletricidade oferecem aos usuários maior controle e monitoramento sobre seus gastos energéticos, permitindo um acompanhamento em tempo real do uso da energia (Andrade, 2021). Comparado ao modelo tradicional de tarifação pós-pago, que exige maior esforço por parte das distribuidoras de energia, o sistema pré-pago apresenta vantagens operacionais, como a

simplificação da cobrança e a redução de custos associados à leitura de medidores e emissão de faturas (Ferreira, 2020).

Entretanto, o sistema pré-pago apresenta algumas desvantagens, como a desconexão automática quando os créditos de energia se esgotam, o que pode ser visto como um obstáculo para sua adoção em larga escala. Além disso, o custo inicial dos equipamentos necessários para a implementação dessa modalidade ainda é elevado em comparação com os sistemas pós-pagos (Santos, 2020). Apesar desses desafios, diversos modelos de medidores de energia pré-paga estão sendo desenvolvidos para otimizar a gestão de energia e facilitar a vida dos consumidores.

Este trabalho tem como objetivo propor um medidor de energia elétrica com comunicação via rede sem fio, permitindo que os usuários realizem a recarga remotamente e oferecendo às distribuidoras mecanismos mais eficientes para detectar fraudes. A implementação de tais sistemas visa promover uma gestão energética mais eficaz, ao mesmo tempo que reduz custos operacionais e aumenta a transparência no consumo de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo classificado como estudo de campo focou na observação direta e em entrevistas para compreender a realidade da empresa ENDE-EP, responsável pela distribuição de energia elétrica em Angola. A pesquisa exploratória incluiu levantamento bibliográfico e entrevistas com especialistas, utilizando o método Hipotético-Dedutivo para identificar lacunas e testar hipóteses sobre o esforço físico dos consumidores.

A amostra foi constituída por usuários de tecnologias energéticas da ENDE-EP, visando entender seu impacto e as exigências dos consumidores. Para a coleta de dados, foram empregadas técnicas bibliográficas e documentais, além de um inquérito com questionários que abordaram a aceitação e vulnerabilidades dos medidores eletrônicos. A técnica de observação também foi utilizada, complementada por métodos estatísticos para interpretação dos dados.

Os materiais utilizados incluíram um microcontrolador Arduino, módulo Bluetooth, módulo relé, sensor de corrente e software Proteus, essenciais para o desenvolvimento do sistema proposto.

RESULTADO

O sistema proposto é um medidor de energia elétrica pré-pago que utiliza comunicação sem fio com dispositivos móveis. Este modelo permite que o usuário realize recargas pelo celular, com os créditos sendo automaticamente creditados no medidor, promovendo um melhor controle sobre os gastos mensais. O sistema assegura a segurança dos dados através de criptografia, protegendo as informações dos usuários.

O protótipo foi desenvolvido com componentes como Arduino, um módulo Bluetooth, sensores de corrente, relés e um display LCD. O sensor de corrente é essencial para medir

valores elevados, enviando dados ao microprocessador. O Arduino processa esses dados, convertendo-os de analógicos para digitais, e também gerencia a comunicação sem fio.

Diagrama em Bloco do Sistema

1. Usuário

- Interage com o sistema por meio de um dispositivo móvel (smartphone).

2. Módulo Bluetooth

- Facilita a comunicação sem fio entre o dispositivo móvel e o medidor.

3. Microprocessador (Arduino)

- Recebe os dados do módulo Bluetooth.
- Processa as informações e executa o controle do sistema.
- Converte sinais analógicos dos sensores de corrente em digitais.

4. Sensores de Corrente

- Medem o consumo de energia elétrica.
- Envia dados para o microprocessador.

5. Display LCD

- Exibe informações para o usuário, como saldo de créditos e consumo.

6. Relé

- Controla a conexão/desconexão da energia elétrica ao sistema.

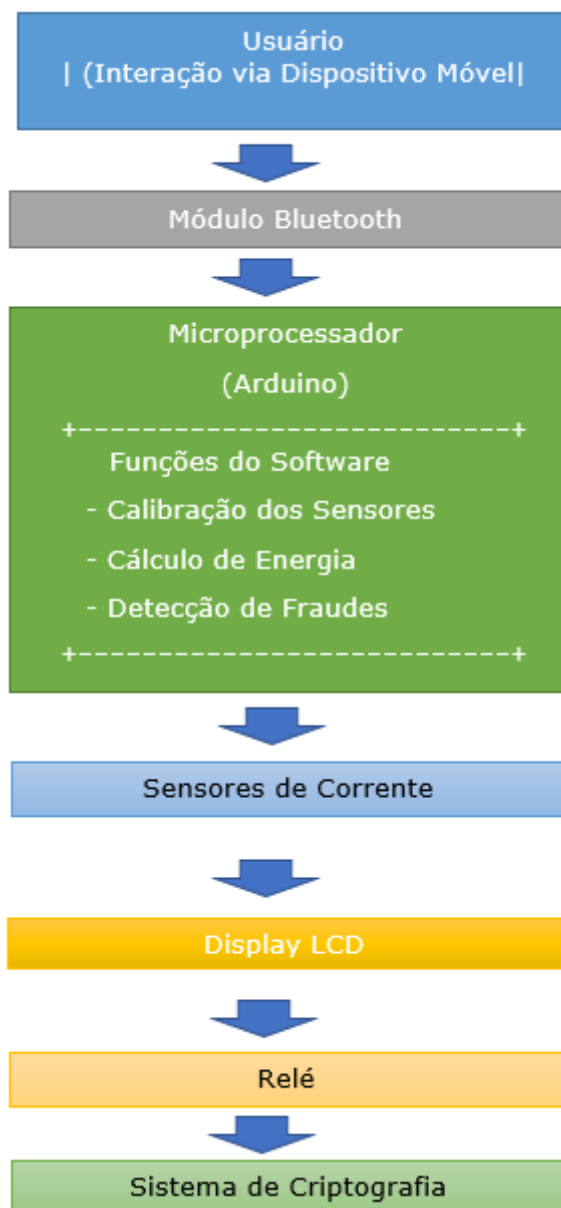
7. Sistema de Criptografia

- Protege os dados e as informações dos usuários durante a comunicação.

8. Funções do Software

- Calibração dos sensores.
- Envio/recebimento de mensagens via Bluetooth.
- Cálculo de energia consumida, restante e potência elétrica.
- Detecção de fraudes e notificações sobre saldo de créditos.

Representação do Diagrama em Bloco



Descrição do Diagrama

- **Usuário:** Inicia a comunicação e interage com o sistema.
- **Módulo Bluetooth:** Permite a troca de dados entre o usuário e o sistema.
- **Microprocessador (Arduino):** A peça central que processa todos os dados e executa as funções principais.
- **Sensores de Corrente:** Medem o consumo elétrico e enviam informações ao microprocessador.
- **Display LCD:** Mostra informações relevantes para o usuário.
- **Relé:** Controla a ligação e desligamento do fornecimento de energia elétrica.
- **Sistema de Criptografia:** Assegura que os dados trocados são seguros.

Esse diagrama é uma representação simplificada do funcionamento do sistema, destacando os principais componentes e suas interações. Você pode ajustar e adicionar detalhes conforme necessário para atender às suas necessidades específicas.

Desenvolvimento do Software

O software foi escrito na linguagem de programação Arduino, que é uma variante de C/C++. Após a montagem dos componentes, o código inicial foi compilado para calcular corrente e tensão. Bibliotecas como "Emonlib.h" são utilizadas para calibrar os sensores de corrente, enquanto "Wire.h" e "LiquidCrystal_I2C.h" facilitam a interação com o display. A comunicação Bluetooth é gerida pela biblioteca "SoftwareSerial.h".

O programa inclui funções que tratam a calibração dos sensores, o envio e recebimento de mensagens via Bluetooth, e o cálculo de energia consumida, restante e potência elétrica. O sistema também detecta fraudes e notifica o usuário sobre o saldo de créditos.



```
pap_teste_1.1.9 | Arduino 1.8.13
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda

pap_teste_1.1.9

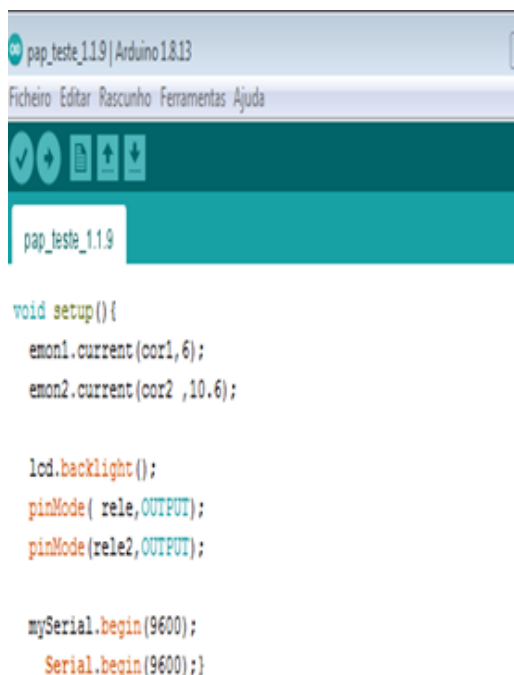
#include <EmonLib.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>

EnergyMonitor emon1;
const int cor1 = A0;
float ruido1=0.05;
EnergyMonitor emon2;
const int cor2 = A1;
float ruido2=0.06;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

int Se;
int Ec;
float Er;
float E;
float Irms1;
float Irms2;
int Temp=0;
int Potencia;
int Volt = 220;
int rele = A2;
```

Fig. 1- Programação do ID do Arduino, inclusão das bibliotecas e variáveis necessárias a entrada, manipulação e saída de dados e informações.

Fonte: (Próprio autor, 2024).



```
void setup() {
  emon1.current(cor1,6);
  emon2.current(cor2 ,10.6);

  lcd.backlight();
  pinMode( rele,OUTPUT);
  pinMode(rele2,OUTPUT);

  mySerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
}
```

Fig. 2- Programação do ID do Arduino, no void setup faz-se a calibração da leitura feita pelos sensores de corrente, reles.

Fonte: (Próprio autor, 2024).



```
void loop() {
  //Variaves para o calibre e leitura da corrente electrica.
  float Irms1 = (emon1.calcIrms(5920)-ruido1);
  float Irms2 = (emon2.calcIrms (740)-ruido2);

  //Condições para entrada e saída de informações via Bluetooth.
  if (mySerial.available()) {
    Se=(mySerial.read());Se=Se-48;
  }
  if (Serial.available()) {
    mySerial.write(Serial.read());
    digitalWrite(rele,HIGH);
    Ec=Se;
  }

  while (Se>0&&Ec<Ec) {
    digitalWrite(rele,HIGH);
    //Variaves para o calibre e leitura da corrente electrica.
    float Irms1 = (emon1.calcIrms(5920)-ruido1);
    float Irms2 = (emon2.calcIrms (740)-ruido2);
    Temp++;
    E= ((Volt*Irms2)*Temp/1000);
    Er=(Ec-E);
    Potencia= (Volt*Irms2);
    if (Irms2>0.03){
      informacao();
    }
  }
}
```

Fig. 3- Programação do ID do Arduino, no void loop, energia comprada, energia consumida, energia restante e potência eléctrica.

Fonte: (Próprio autor, 2024).



```

pap_teste_1.1.9$

if(Irms2<0.03){
  mySerial.println("Sem consumo de energia.");
  Serial.println("Sem consumo de energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Sem consumo de");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print("energia.");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  Temp = 0;
  Irms2 = 0;
  informacao();
}

if(Se>0&&Temp<3){
  mySerial.println("Pagamento feito com sucesso.");
  Serial.println("Pagamento feito com sucesso.");
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Pagamento feito");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(" com sucesso.");
  delay(1000);
}

```

Fig. 4- Programação do ID do Arduino, sem consumo de energia eléctrica.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



```

if(Er<=(0.50)&&Er>=(0.10)){
  mySerial.println("Ja consumiu 30% da sua energia.");
  Serial.println("Ja consumiu 30% da sua energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Ja consumiu 30%");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("da sua energia.");
  delay(4000);
  lcd.clear();
}

if(Irms2<0.03 && Irms1>0.03){
  mySerial.println("Esta avendo furto de energia.");
  Serial.println("Esta avendo furto de energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Esta avendo furto de energia.");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print(" de energia.");
  delay(1000);
  lcd.clear();
}

```

Fig. 5- Programação do ID do Arduino, pagamento feito, consumo de 30% da energia e avendo fraude no sistema.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



```

pap_teste_1.1.9 | Arduino 1.8.13
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda

pap_teste_1.1.9$
digitalWrite(rele,LOW);delay(1000);}
digitalWrite(rele,LOW);
Se=0; Temp=0; E=0; Ec=0; Er=0;

if(Irma2<0.03&&Irma1<0.03){
  mySerial.println("A casa esta sem energia.");
  Serial.println("A casa esta sem energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  delay(1000);
  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("A casa esta sem");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print("energia.");
  delay(1000);
  lcd.clear();}

if(Er<=0.00){
  mySerial.println("Seu saldo acabou, faça o carregamento.");
  Serial.println("Seu saldo acabou, faça o carregamento.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  delay(1000);

  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Seu saldo acabou.");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("faça o carregamento.");
  delay(1000);
  lcd.clear();}

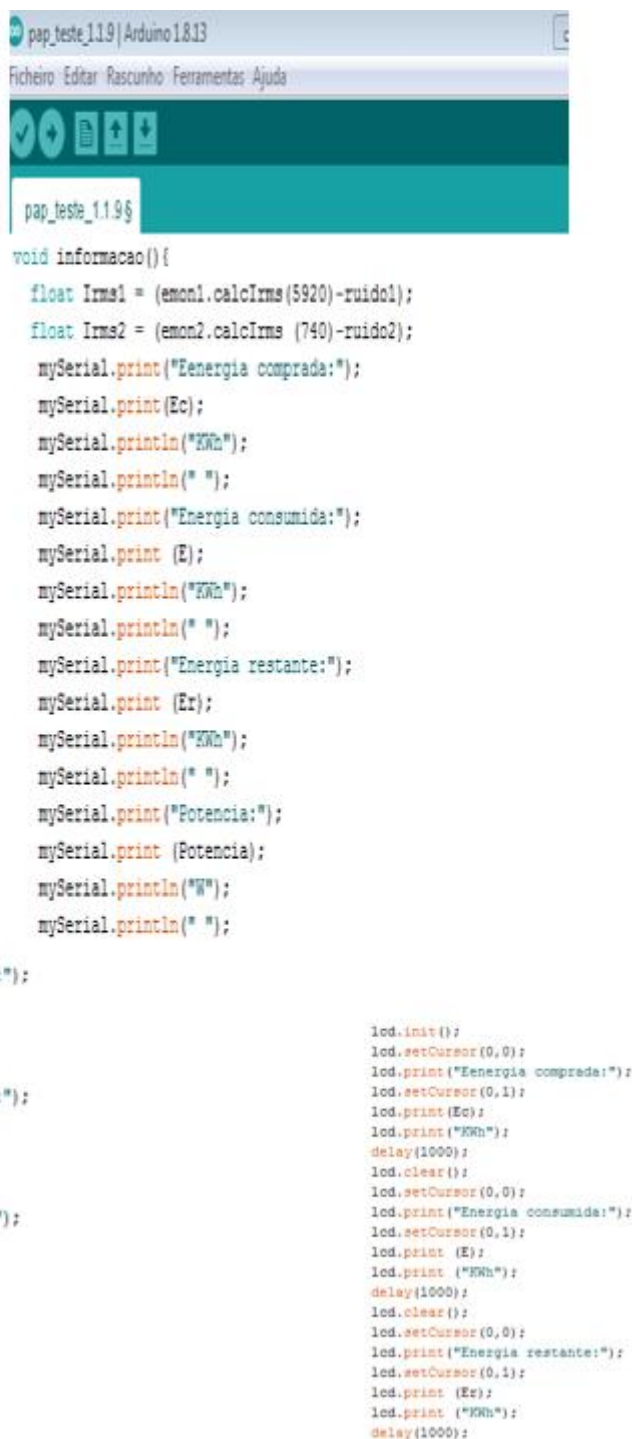
if(Irma2<0.03&&Irma1>0.03){
  mySerial.println("Esta avendo furto de energia.");
  Serial.println("Esta avendo furto de energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  digitalWrite(rele,HIGH);
  delay(1000);}

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Potencia:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print (Potencia);
  lcd.print ("W");
  delay(1000); }

```

Fig. 6- Programação do ID do Arduino, falta de energia na casa, e fraude de energia eléctrica.

Fonte: (Próprio autor, 2024).



```

pap_teste_1.1.9$

void informacao(){
  float Irms1 = (emon1.calcIrms(5920)-ruído1);
  float Irms2 = (emon2.calcIrms(740)-ruído2);

  mySerial.print("Energia comprada:");
  mySerial.print(Ec);
  mySerial.println("KWh");
  mySerial.println(" ");
  mySerial.print("Energia consumida:");
  mySerial.print(E);
  mySerial.println("KWh");
  mySerial.println(" ");
  mySerial.print("Energia restante:");
  mySerial.print(Er);
  mySerial.println("KWh");
  mySerial.println(" ");
  mySerial.print("Potencia:");
  mySerial.print(Potencia);
  mySerial.println("W");
  mySerial.println(" ");

  Serial.print("Energia comprada:");
  Serial.print(Ec);
  Serial.println("KWh");
  Serial.println(" ");
  Serial.print("Energia consumida:");
  Serial.print(E);
  Serial.println("KWh");
  Serial.println(" ");
  Serial.print("Energia restante:");
  Serial.print(Er);
  Serial.println("KWh");
  Serial.println(" ");
  Serial.print("Potencia:");
  Serial.print(Potencia);
  Serial.println("W");
  Serial.println(" ");

  lcd.init();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Energia comprada:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(Ec);
  lcd.print("KWh");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Energia consumida:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(E);
  lcd.print("KWh");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Energia restante:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(Er);
  lcd.print("KWh");
  delay(1000);
}

```

Fig. 7- Programação do ID do Arduino, energia comprada, energia consumida, energia restante e potência total das cargas ligadas a rede eléctrica da casa.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



Fig. 8- Tela inicial do sistema de medição.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

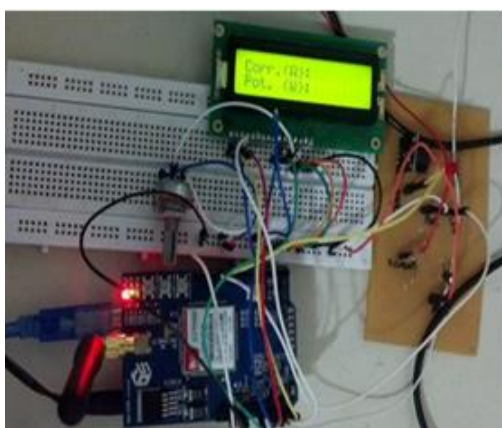


Fig. 9- Protótipo antes de realizar a recarga Display-LCD desligado.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

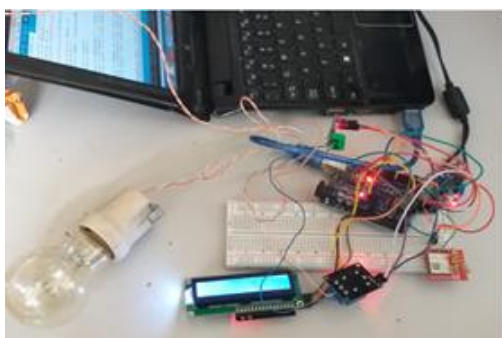


Fig. 10- Sistema desligado antes de realizar a recarga.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



Fig. 11- Interface do medidor após o consumidor realizar a recarga.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

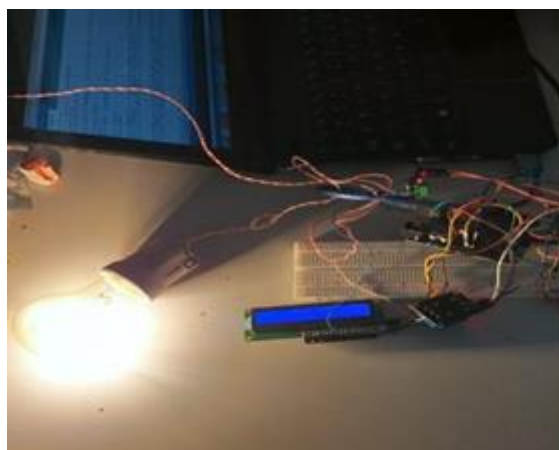


Fig. 12- Sistema em funcionamento após realizarem a recarga.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

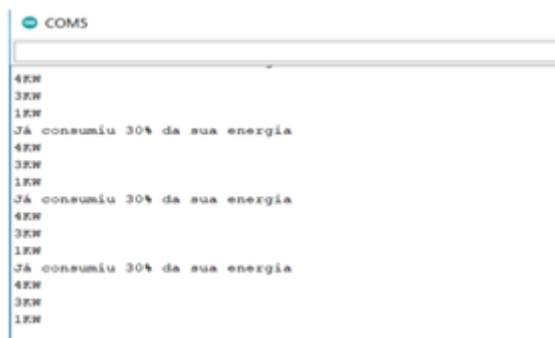


Fig. 13- Sistema de alerta ao consumidor em funcionamento.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

Identificação de fraudes

O sistema é projetado para detectar fraudes, monitorando o consumo de energia em tempo real. Ele utiliza dados históricos para identificar discrepâncias entre a energia registrada e a consumida. Os benefícios incluem uma detecção mais rápida de fraudes, eficiência operacional e melhoria na confiabilidade do serviço, ajudando as distribuidoras a proteger receitas e garantir uma distribuição justa de energia.

O medidor apresenta uma interface amigável, facilitando a comunicação e o controle por parte do consumidor, com funcionalidades que asseguram um gerenciamento eficaz do consumo de energia.



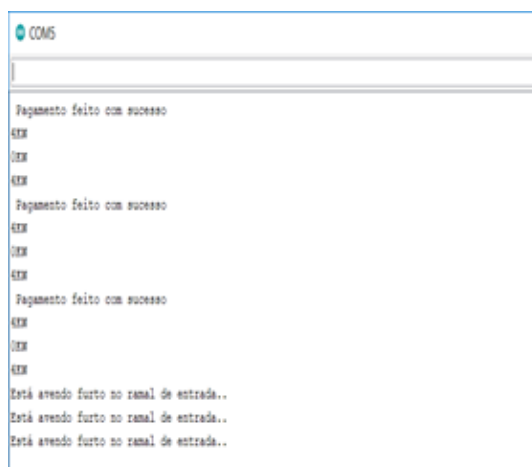
```
pap_teste_1.1.9

if(Er==(Ec*30)/100){
  mySerial.println("Ja consumiu 30% da sua energia.");
  Serial.println("Ja consumiu 30% da sua energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");}

if(Irms2<0.03&&Irms1>0.03){
  mySerial.println("Este avendo furto de energia.");
  Serial.println("Este avendo furto de energia.");
  mySerial.println(" ");
  Serial.println(" ");
  digitalWrite(rele,LOW);digitalWrite(rele2,LOW);delay(1000);}}

digitalWrite(rele,LOW);
```

Fig. 14- Programação do ID do Arduino indicando fraude de energia eléctrica.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



```
COM5

Pagamento feito com sucesso
RX
TX
RX
Pagamento feito com sucesso
RX
TX
RX
Pagamento feito com sucesso
RX
TX
RX
Está avendo furto no ramal de entrada..
Está avendo furto no ramal de entrada..
Está avendo furto no ramal de entrada..
```

Fig. 15- Fraude de energia electrica.
Fonte: (Próprio autor, 2024).



Fig. 16- Interface final do medidor indicando sem recarga.
Fonte: (Próprio autor, 2024).

DISCUSSÃO

O artigo analisa a aplicação da Internet das Coisas (IoT) em redes elétricas inteligentes, focando no desenvolvimento de um medidor de energia pré-pago com comunicação sem fio. Essa inovação visa aumentar a eficiência no controle de consumo e a transparência nas cobranças, permitindo que os usuários recarreguem suas contas via dispositivos móveis. A pesquisa abordou os desafios da implementação desses sistemas, incluindo a necessidade de um custo inicial elevado e a desconexão automática em caso de créditos esgotados. O protótipo desenvolvido possibilita a detecção de fraudes em tempo real, promovendo maior segurança e confiabilidade no serviço de distribuição de energia. Os resultados demonstraram que a integração de tecnologias de comunicação sem fio não apenas melhora a gestão do consumo energético, mas também oferece uma interface amigável para os usuários, facilitando o monitoramento de suas contas de energia.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão a Deus pela vida e sabedoria. Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Adão Correa Sebastião e Maria António André Simão, pelo apoio incondicional durante minha formação. Sou grato à minha esposa, a psicóloga clínica Nady Sebastião Manuel Piedade, e aos meus filhos, Dulce, António e Mário, por sua compreensão em relação às minhas ausências e por me fortalecerem nos momentos difíceis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. E. (2021). *Sistemas de tarifação pré-paga para o consumo de eletricidade e Benefícios*.

Ferreira, L. (2020). *Eficiência operacional em sistemas de pagamento pré-pago de energia elétrica*.

Santos, P. (2020). *Desafios e perspectivas da adoção de medidores pré-pagos de energia elétrica*.

Silva, R. (2019). *Impactos da interrupção no fornecimento de eletricidade na economia e segurança*. Revista de Políticas Energéticas.

Declaração de conflitos de interesses:

A autor do artigo declara não existir qualquer conflito de interesses que afecte a publicação do artigo.

Contribuição de Autoria:

A autor contribuiu igualmente na conceção, delineamento e pesquisa bibliográfica, que possibilitou o desenvolvimento e revisão do conteúdo para aprovação final da versão a publicar.



Este trabalho está sob uma [Licença Creative Commons Reconhecimento-NãoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)