

Uso de Internet das Coisas para Monitoramento do Consumo de Gás GLP Envasado

Leonardo R. Demarco, Luiz Henrique T. Comaretto e Rafael B. Schvitz

Centro de Ciências Computacionais (C3)

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Rio Grande, Brasil

{demarcorleo, luizhenrique.comaretto, rafael.schvitz}@gmail.com

Abstract—The gas LPG also known as cooking gas, is present in 100% of the Brazilian cities, and it is mainly used for cooking food and for heating water for showers. Being marketed mostly in canisters made of very resistant steel plates. However, this material ends up making it impossible for its consumer to identify the level of the gas inside the canister. As a result, consumers end up being harmed, due to the fact that they often run out of gas unexpectedly and with that some families in a situation of socioeconomic vulnerability end up not being able to purchase a new canister quickly. With the aim of identifying the level of the LPG gas and looking for a low cost equipment, this work was developed, creating an equipment that is capable of measuring the weight of the canister, which through this data manages to discover its gas level still present and transmit this information to a smartphone through bluetooth. For this, a microcontroller, two load cells, two HX711 modules and a few more materials were used to build a prototype. This prototype will facilitate the day-to-day life of the LPG gas consumer, as he will be able to know at any time what is the level of the gas, so he will be able to replace it before it runs out, avoiding unforeseen events and the loss of food, as well as making financial planning possible for the acquisition of the next canister.

Index Terms—Load Cell, ESP32, Arduino Uno, Liquefied Petroleum Gas, HX711.

I. INTRODUÇÃO

Em 1936, o gás liquefeito de petróleo (GLP) chegou ao Brasil, e desde então os níveis de consumo não pararam de crescer. Além de abastecer fogões, começaram a ser utilizados em aquecedores de água, escolas, hospitais, hotéis e indústrias. Na indústria, tornaram-se muito importantes na produção de plásticos, sendo utilizados no aquecimento das máquinas de injeção, possibilitando assim os primeiros brinquedos de plástico nacionais [1]. Por conta de sua imensa presença nos lares brasileiros – cerca de 95% deles, segundo [2], o gás de cozinha também acaba sendo alvo de falsificações e adulterações, o que pode representar riscos.

O gás de cozinha é armazenado sob a forma líquida em botijões ou cilindros de tamanhos variados, desde os pequenos e portáteis de 2 kg até os grandes cilindros subterrâneos com toneladas do gás. O mais comum nos lares brasileiros é o de 13 kg. Quando cheios, os recipientes contam com 85% de GLP líquido e 15% em estado gasoso. Existem diversas formas de adulteração, sendo a mais comum aquela em que os falsificadores dividem o conteúdo de um único recipiente em dois botijões, vendendo-os como se tivessem os treze

quilos que deveriam ter, mas na verdade possuem apenas metade desse peso. Para evitar que o consumidor perceba, os falsificadores completam com água ou outro líquido.

Além disso, como os botijões são fabricados em aço, não é possível visualizar o que há dentro nem a quantidade. Dessa forma, também é comum que o gás esteja no fim sem que o consumidor perceba. Muitas vezes, acontece de o gás acabar no meio do preparo de uma refeição, podendo até resultar na perda do alimento devido à espera pelo próximo botijão. Ou, em outros casos, ele pode acabar em um feriado, de modo que a pessoa não encontre um estabelecimento comercial aberto para a substituição do botijão vazio. Podemos também citar a questão financeira, muitas famílias têm seu planejamento financeiro apertado, e sabendo que o valor do botijão de gás tem aumentado cada vez mais, a situação fica difícil quando o gás acaba antes do esperado.

Convivemos com esses problemas há muitos anos, embora já existam medidores de gás GLP, como os mostrados na Figura 1, os quais possuem valores que variam de R\$230 a R\$400. Não é possível encontrar uma solução de baixo custo no mercado, que o consumidor possa ter em sua casa, independentemente de sua classe social. Atualmente, com o surgimento de muitas tecnologias e a ascensão da Internet das Coisas, pensou-se em desenvolver um equipamento que possa mitigar esses problemas.

Fig. 1. Medidor de Gás GLP G1.0



Fonte: [3]

A Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* - IoT) é, na verdade, uma revolução tecnológica que pode proporcionar aos objetos que usamos no dia a dia a capacidade de se conectarem à Internet com capacidade computa-

cional e de comunicação. Cada vez mais é possível observar eletrodomésticos, fechaduras, meios de transporte conectados à Internet. Dessa forma, é possível obter todo o controle desses objetos de qualquer lugar em que estejamos, utilizando apenas nosso *smartphone*. Isso permite, por exemplo, tornar os objetos inteligentes e até aumentar suas funcionalidades.

Mas, para que seja possível usufruir das vantagens da Internet das Coisas, como salvar dados na nuvem, conectar-se com distribuidoras, entre outros, é preciso inicialmente abordar o problema primário e desenvolver um equipamento capaz de medir com precisão o nível de gás no botijão. Diante desses fatos, este projeto foi concebido com o objetivo de criar um dispositivo de baixo custo e de fácil acesso para os lares brasileiros. O equipamento desenvolvido deve ser capaz de medir o consumo de gás do consumidor. Com essas informações, é possível ter um melhor controle dos gastos mensais, permitindo que o consumidor tenha um acompanhamento detalhado do seu consumo e possa prever quando o seu gás está próximo do fim. Com a instalação do equipamento, espera-se evitar o desperdício de alimentos devido à falta de gás, uma vez que o consumidor estará ciente da situação e poderá se preparar antecipadamente para a troca do botijão. Além disso, a disponibilidade em tempo real do nível de gás possibilita a detecção de possíveis adulterações no botijão, fornecendo auxílio ao consumidor em seu dia a dia.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Para que fosse possível escolher uma abordagem prática efetiva, mas também que tenha um bom custo-benefício, foi realizado um estudo de caso teórico para compreender melhor o problema apresentado e, assim, servir como exemplo para definir a melhor solução para a questão apontada. Com isso, algumas soluções dispostas na literatura foram analisadas.

A. YF-S201

Em [4], foi desenvolvido um protótipo que utiliza um sensor de fluxo do modelo YF-S201, ilustrado na Figura 2, e um microcontrolador ESP8266 NodeMCU. Os testes de vazão realizados no protótipo foram feitos com água. No entanto, não há indícios de que o mesmo sensor funcionaria com gás GLP. Além disso, a norma ABNT NBR 15526 ¹ estabelece alguns requisitos para conexões de dispositivos, o que inviabiliza a escolha de certos equipamentos para detecção de vazão de gás envasado. Essa norma estabelece condições mínimas de segurança, uma vez que o GLP é um gás inflamável e perigoso.

B. MPX5700AP

O trabalho proposto por [6] utiliza o sensor de pressão MPX5700AP, ilustrado na Figura 3. Este sensor é conectado diretamente ao botijão de gás por meio de uma adaptação, que insere uma derivação em T no regulador de pressão do botijão. No entanto, o trabalho não realizou testes com um botijão de gás GLP, mas sim com um compressor de ar puro. Segundo o autor, em contato com o fabricante, o sensor não é indicado

¹Fonte:NBR 15526

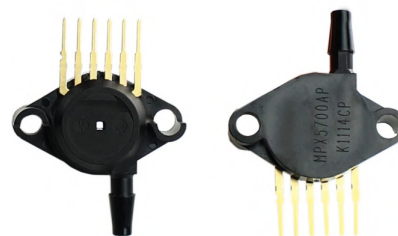
Fig. 2. Sensor de Fluxo YF-S201.



Fonte: [5]

para uso com gás GLP, pois pode danificar o sensor. Além disso, o sensor de pressão não funcionaria como esperado, uma vez que a pressão no botijão depende muito da mistura de propano e butano presentes no GLP. Isso ocorre porque a pressão de vapor saturado do propano é maior do que a do butano. Dessa forma, dois botijões cheios com a mesma quantidade de gás GLP podem ter pressões diferentes devido às suas concentrações, tornando impossível aferir a quantidade de gás presente no botijão apenas pela pressão.

Fig. 3. Sensor MPX5700AP.

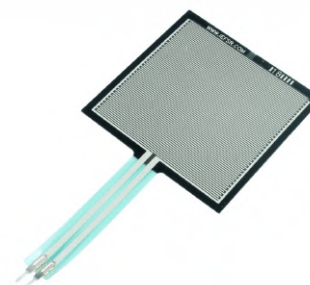


Fonte: [7]

C. Demais trabalhos

Por fim, outros trabalhos utilizam como forma de medição um protótipo de uma balança. Em [8], foi utilizado um sensor de força resistivo, como mostrado na Figura 4, para aferir o peso do botijão. No entanto, esse sensor possui uma limitação de faixa de medição de 100g a 10kg, o que inviabiliza sua utilização para um botijão como o popular P13. O botijão P13 pode chegar a ter aproximadamente 28 kg quando cheio, podendo variar dependendo do fabricante.

Fig. 4. Sensor de Força Resistivo.



Fonte: [9]

III. SENSORES

Para que seja possível automatizar sistemas, tanto industriais quanto residenciais, é necessário conhecer as variáveis físicas desses sistemas. Essa é a função dos sensores: poder monitorar as variáveis de um ambiente, por exemplo, ou de um objeto em específico, como motores, que são amplamente utilizados nas indústrias.

Um sensor é um dispositivo capaz de responder a um estímulo físico e transformá-lo em um sinal elétrico. Os sensores são projetados e desenvolvidos para fornecer informações a uma central eletrônica, que pode ser um Controlador Lógico Programável (CLP), um computador robusto usado para automatizar processos industriais, ou até mesmo um microcontrolador, como Arduino, ESP32, etc. Essa central eletrônica receberá as informações e, com base nelas e em sua programação, poderá tomar uma decisão.

Um exemplo de informação capturada por sensores é a temperatura de um motor em funcionamento. Caso essa temperatura ultrapasse uma faixa determinada na programação, o motor deve ser desligado. Dessa forma, o sensor pode evitar a perda de um motor devido ao superaquecimento. Além da temperatura, os sensores podem medir diversas outras grandezas, como pressão, corrente, aceleração, velocidade, umidade, luminosidade, etc.

É importante ressaltar que, para que um CLP ou um microcontrolador possa fazer a leitura do sinal de um sensor, ambos devem ter características elétricas compatíveis. No entanto, como isso geralmente não ocorre, podem ser utilizadas interfaces, como um amplificador, por exemplo.

A. Extensômetros (Strain Gauges)

Para [10], os extensômetros de resistência elétrica, também conhecidos como "strain gauges", ilustrados na Figura 5, baseiam-se no fato de que os metais mudam sua resistência elétrica quando deformados. Dessa forma, a resistência de um extensômetro pode ser obtida por meio da Equação 1 quando a área do extensômetro está sendo estendida ou pressionada, resultando em uma alteração no comprimento do fio.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Onde:

- ρ - Resistividade do material do fio;
- A - Área da seção transversal do fio;
- l - Comprimento do fio;

Esses sensores são comumente utilizados para medição de peso e força, devido ao seu baixo custo, alta resistência, boa linearidade e fácil instalação. Além disso, eles podem ser submersos em água. Pode-se observar um extensômetro na Figura 5. Os extensômetros de resistência elétrica são normalmente utilizados em células de carga [10].

Fig. 5. Extensômetro.



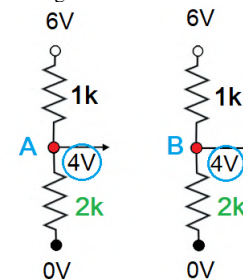
Fonte: [11]

B. Ponte de Wheatstone

Ainda de acordo com [10], para que seja possível fazer a medida da variação da resistência do extensômetro em um corpo de prova, são utilizados circuitos especiais. Um circuito geralmente usado para esse propósito é conhecido como Ponte de Wheatstone. Este circuito é o mais usado, pois apresenta uma melhor precisão na leitura das variações de resistência.

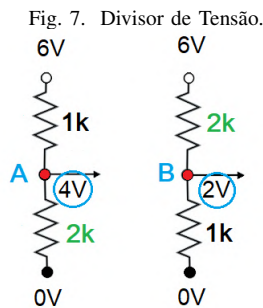
Vamos supor, como exemplo, dois circuitos divisores de tensão com entrada de 6V, cada um com uma resistência variável (destacada em verde na Figura 6). Essas duas resistências irão variar ao mesmo tempo, na mesma intensidade, com base em uma mesma força aplicada a elas. Quando um voltímetro for aplicado entre os terminais A e B, a diferença de potencial entre esses dois pontos será nula, pois $V_A = V_B$.

Fig. 6. Divisor de Tensão.



Fonte: O autor.

Para medir o desequilíbrio entre os valores de tensão entre os pontos A e B, os circuitos da Figura 6 não dariam certo, pois a diferença entre as tensões A e B é sempre zero, como explicado anteriormente. No entanto, se a posição dos resistores variáveis for invertida (como ilustrado na Figura 7), existirá uma diferença de potencial entre os pontos A e B no circuito, e assim, com base no desequilíbrio da ponte, tem-se uma medida de tensão maior ou menor, relativa à força aplicada nas células.



Fonte: O autor.

Logo, a diferença de tensão torna-se proporcional à variação das resistências. Essa medição de desequilíbrio é o princípio da Ponte de Wheatstone. Uma célula de carga nada mais é do que uma ponte de Wheatstone ou uma meia ponte (no caso das células de 3 fios, que serão abordadas posteriormente neste trabalho). No entanto, a variação dessas resistências é muito pequena, e, portanto, a variação da tensão também será.

C. Células de carga

Uma célula de carga é um dispositivo eletromecânico que possui a capacidade de medir a deformação de um corpo e transmitir um sinal elétrico que representa essa deformação. Esse sinal é medido em microvolts e sofre uma pequena alteração conforme uma força ou carga é aplicada à sua estrutura. Mesmo uma deformação mínima é suficiente para transmitir o sinal para o microcontrolador. No entanto, devido ao fato desse valor ser medido em microvolts, é necessário utilizar um circuito amplificador para estabelecer a comunicação entre a célula de carga e o microcontrolador.

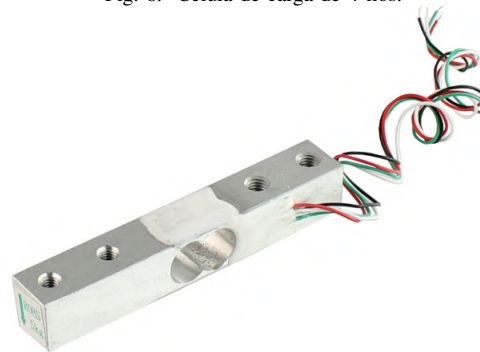
Em alguns tipos de célula de carga, podem existir um ou mais extensômetros, dependendo do tipo de célula. Cada extensômetro está associado a um circuito divisor de tensão, que pode ser considerado como uma meia ponte de Wheatstone. O tipo de célula de carga influencia a quantidade de extensômetros presentes e também determina como será o circuito da ponte (meia ponte ou ponte completa, no caso de dois extensômetros).

1) *Tipos de células de carga*: Existem vários tipos de células de carga, como é apresentado em [12]. No entanto, as células de carga extensométricas são as mais comumente utilizadas e encontradas em nosso cotidiano, como em balanças de cozinha ou em farmácias.

2) *Célula de carga de 4 fios*: Este tipo de célula de carga é facilmente encontrada nas capacidades de 1, 5, 10 e 20 kg e contém dois extensômetros (*Strain Gauges*) colados junto à sua estrutura, os quais variam conforme a força aplicada. Além disso, esse tipo de célula também possui outras duas resistências de referência, resultando em uma ponte de Wheatstone completa com 4 fios, conforme ilustrado na Figura 8 e seu circuito na Figura 9. Elas são comumente implementadas em vários tipos de balanças para medir pequenos pesos de até 20 kg, como balanças de cozinha, por exemplo. Devido à

sua alta precisão, também podem ser utilizadas em projetos de automação de pequeno porte.

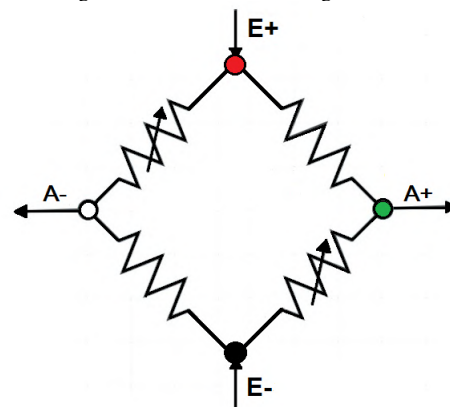
Fig. 8. Célula de carga de 4 fios.



Fonte: [13]

Desses 4 fios, dois são de alimentação elétrica, sendo o fio vermelho (E+) e o fio preto (E-), enquanto os outros dois fios são usados para a leitura do peso, sendo o fio verde (A+ ou B+) e o fio branco (A- ou B-).

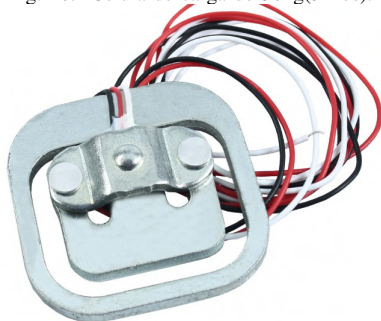
Fig. 9. Circuito célula de carga de 4 fios.



Fonte: O autor.

3) *Célula de carga de 3 fios*: Este modelo possui um formato diferente, como pode ser observado na Figura 10, e tem capacidade de até 50 kg. No entanto, ele contém apenas um extensômetro colado à sua estrutura, que varia de acordo com a pressão aplicada, e uma resistência de referência, formando um circuito de meia ponte de Wheatstone. Portanto, é necessário utilizar esse modelo em conjunto com outra célula de carga do mesmo tipo para formar a ponte completa. Além disso, pode ser utilizado um circuito com outros dois resistores de valores conhecidos, com o objetivo de completar a ponte.

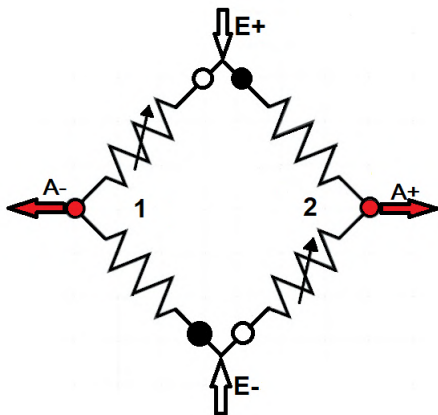
Fig. 10. Célula de carga de 50kg(3 fios).



Fonte: [14]

Como este modelo de célula de carga possui apenas um extensômetro, dos 3 fios disponíveis, dois são para energia, o fio branco (E+) e o fio preto (E-), e apenas um é usado para a leitura do sinal, o fio vermelho (A+ ou A-). Na Figura 11, temos um exemplo da conexão de 2 células de carga desse modelo, formando assim uma ponte de Wheatstone completa.

Fig. 11. Circuito com duas células de 3 fios.

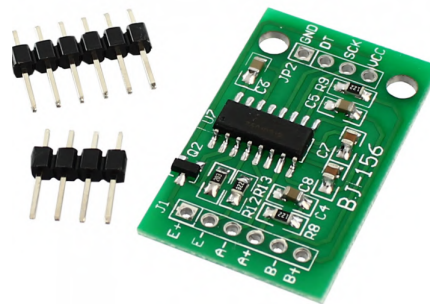


Fonte: O autor.

D. Amplificadores HX711

O módulo HX711 é um amplificador operacional de 24 bits geralmente utilizado para converter um sinal analógico em digital e amplificar a saída para que esse sinal seja reconhecido pelo microcontrolador [15]. Esse módulo foi projetado para trabalhar com células de carga conectadas em ponte, sendo que o multiplexador (MUX) interno seleciona a entrada diferencial (A+ e A-) ou (B+ e B-) para o amplificador de peso. Os pinos (E+ e E-) fornecem alimentação (Vcc e GND) para as células de carga. O pino DT (*Data Output*) envia os dados para o microcontrolador. A entrada SCK (*Serial Clock Input*) deve ser mantida em nível baixo. Quando o pino DT é colocado em nível lógico baixo, indica que os dados estão prontos para serem recuperados. Ao aplicar pulsos de *clock* positivos no pino SCK, os dados são deslocados do pino de saída DT. Cada pulso SCK desloca um bit, começando pelo bit MSB (*Most Significant Bit*) primeiro, até que todos os 24 bits sejam deslocados. O módulo amplificador HX711, juntamente com seus respectivos pinos, pode ser observado na Figura 12.

Fig. 12. Módulo Conversor Amplificador.



Fonte: [16]

E. Microcontroladores

Microcontroladores são pequenos circuitos integrados que consistem em uma unidade de processamento, memórias, contadores, conversores, entradas, saídas, entre outros. Eles podem ser imaginados como pequenos computadores compactos, cuja função é realizar o controle de sistemas embarcados.

Conforme mencionado por [17], esse dispositivo surgiu na década de 70, desenvolvido pelos engenheiros da *Texas Instruments* a partir dos microprocessadores já existentes para cálculos e, posteriormente, para tomada de decisões. Somente depois foram incorporadas as memórias e outras arquiteturas, evoluindo até os dias atuais.

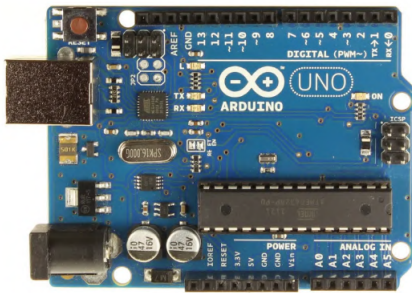
A principal vantagem dos microcontroladores está na integração com dispositivos externos por meio de entradas e saídas, tornando-os muito práticos para aplicações em automação. Também é importante ressaltar a conectividade que esses dispositivos oferecem aos usuários, com capacidade de conexão com a internet. Por todas essas razões, os microcontroladores se tornaram uma excelente opção para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle de dados. Atualmente, existem vários controladores conhecidos e facilmente encontrados no mercado. Neste trabalho, foram considerados dois microcontroladores: Arduino e ESP32, que serão discutidos a seguir.

O Arduino Uno é uma placa microcontroladora que possui um microprocessador ATmega328P, com 32KB de memória interna, onde 0.5KB são ocupados pelo *bootloader*, e 2KB de memória estática de acesso aleatório SRAM (*Static Random Access Memory*). Ele possui 14 pinos de entrada e saída digital, dos quais seis podem ser usados como saídas PWM (*Pulse Width Modulation*). Além disso, o Arduino possui mais seis entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), uma conexão USB, um conector de energia, um cabeçalho ICSP, que permite a programação direta dos microcontroladores da placa usando o protocolo serial SPI, e um botão de *reset*.

Esse dispositivo, ilustrado na Figura 13, pode ser programado com o software Arduino (IDE), disponibilizado pelo fabricante. O Arduino tem uma ampla gama de aplicações, com vários módulos, sensores e atuadores que podem ser conectados a ele. No entanto, uma grande desvantagem é a necessidade de adquirir outros módulos para conexão via

WiFi ou Bluetooth, por exemplo. O seu bom custo-benefício é o que o torna uma ótima opção no mercado para sistemas embarcados.

Fig. 13. Arduino Uno Rev3



Fonte: [18].

O microcontrolador ESP32 foi desenvolvido pela *Espressif Systems*. Ele foi lançado mais recentemente no mercado em relação ao Arduino, porém já é muito conhecido pelo seu *design* robusto, velocidade de processamento, acessibilidade e principalmente pela sua conectividade, pois já vem integrado com *Wi-Fi* e *Bluetooth*.

O modelo ESP32-WROOM, apresentado na Figura 14, possui um processador dual-core de 32 bits, com frequência máxima de *clock* de até 240 MHz, e além disso, tem uma boa capacidade de armazenamento se comparado com o Arduino. Em relação à conectividade, este microcontrolador possui dois módulos integrados, que oferecem acesso a redes de transmissão sem fio, como *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Isso faz do ESP32 uma ótima opção devido à economia de ter uma plataforma com essas conectividades já embarcadas. O ESP32 também possui o modo sono profundo (*Deep Sleep Mode*), que pode ser utilizado em diversas aplicações que requerem economia de energia por um longo período. Com esse modo ativado, o ESP32 é capaz de consumir menos energia.

A sua programação pode ser feita através de alguns softwares compatíveis, mas o mais utilizado é o *Software Arduino IDE*, que, utilizando algumas bibliotecas, permite a conexão e programação do ESP32.

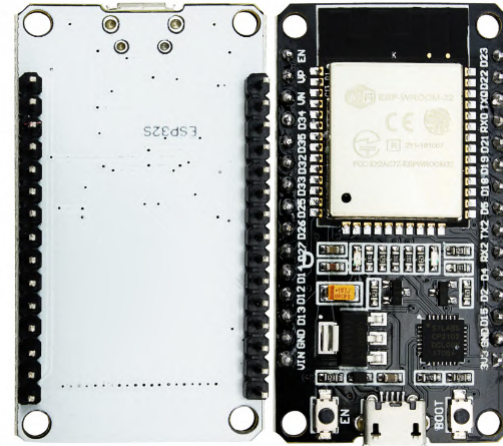
IV. METODOLOGIA

Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos abordados e a metodologia empregada neste projeto. Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente, foi realizado um levantamento dos trabalhos relacionados para identificação do problema. A etapa seguinte foi a definição de que tipo de abordagem seria adotada neste trabalho, com a escolha dos componentes necessários e também do microcontrolador.

A. Identificação do problema

Ao iniciar um projeto de pesquisa, faz-se necessário um estudo aprofundado sobre a área em questão para definir a abordagem e a demanda que a sociedade implica. Com isso em mente, fez-se então uma revisão bibliográfica com o objetivo de entender a necessidade social diante desta problemática.

Fig. 14. ESP32-WROOM-32.



Fonte: [19]

B. Definição da Solução

Primeiramente, a ideia inicial deste trabalho era desenvolver um equipamento capaz de medir a quantidade de gás utilizada em um determinado tempo. Equipamentos que realizam essa medição já existem e são amplamente utilizados em condomínios residenciais, mas possuem um custo elevado. No entanto, para aqueles que residem em uma residência comum e normalmente adquirem o popular botijão P13, esse tipo de equipamento acaba se tornando inviável devido ao seu custo. Diante desses fatos, a ideia evoluiu para o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, que possibilitasse às pessoas o controle do seu consumo de forma acessível, sem gastar um valor elevado com o protótipo e de maneira menos invasiva possível.

Dessa forma, outras possibilidades também poderiam ser exploradas, como mencionado no referencial teórico. Outros trabalhos foram desenvolvidos com diferentes tipos de sensores e métodos de medição. No entanto, o que se mostrou viável e não apresentou grandes obstáculos foi a construção de um protótipo do tipo balança.

1) *Escolha das Células de Carga*: Assim, deu-se a ideia de utilizar células de carga para a construção da balança. No entanto, existem diversos tipos de célula de carga disponíveis. Como o projeto foi definido como de baixo custo, buscou-se utilizar células de carga de baixo custo e que fossem capazes de suportar o peso de um botijão P13 cheio. Nesse sentido, dois modelos de células de carga apresentaram-se como opções, como mencionado na seção anterior: a célula de três fios e a célula de quatro fios.

Optou-se pelo modelo de célula de carga de 4 fios devido à sua relação de custo-benefício. Apenas uma célula de quatro fios já representa uma ponte de Wheatstone completa, enquanto que, para se obter o mesmo efeito utilizando células de três fios, seriam necessárias duas células. Além disso, visando uma maior precisão do protótipo, foram adquiridas

duas células de carga de quatro fios, cada uma com capacidade de 20kg. A montagem do protótipo inclui dois módulos amplificadores HX711, conforme mencionado anteriormente neste trabalho. O principal motivo para a aquisição de duas células de quatro fios foi a sua exatidão devido ao fato de cada célula possuir dois extensômetros, ao contrário da célula de 3 fios que possui somente um. A relação de valores das células de carga mencionadas pode ser vista na Tabela I.

TABLE I
COMPARAÇÃO DAS CÉLULAS DE CARGA.
FONTE: O AUTOR.

Modelo	3 fios	4 fios
Extensômetro	1	2
Preço(por unidade)	R\$ 17,00	R\$ 30,00

2) *Escolha do Microcontrolador*: Para gerenciar e estabelecer conexão com as células de carga e os módulos HX711, bem como possibilitar a conexão com um *smartphone*, é necessário utilizar um microcontrolador. Conforme mencionado na seção anterior, foram considerados dois microcontroladores amplamente conhecidos como opções para este trabalho.

Optou-se pelo microcontrolador ESP32-WROOM, que além de possuir uma capacidade de processamento e armazenamento superior ao Arduino Uno Rev3, também possui *WiFi* e *Bluetooth* integrados. No caso da escolha do Arduino, seria necessário adquirir módulos de conectividade separadamente, o que aumentaria o custo do protótipo. Uma comparação entre os microcontroladores mencionados pode ser observada na Tabela II.

TABLE II
COMPARAÇÃO DOS MICROCONTROLADORES.
FONTE: O AUTOR.

Modelo	ESP 32WROOM	Arduino UNO
Wifi	Sim	Não
Bluetooth	Sim	Não
Preço(por unidade)	R\$ 32,90	R\$ 29,37
Microprocessador	Xtensa 32-bit LX6	Atmega328P

V. PROTÓTIPO

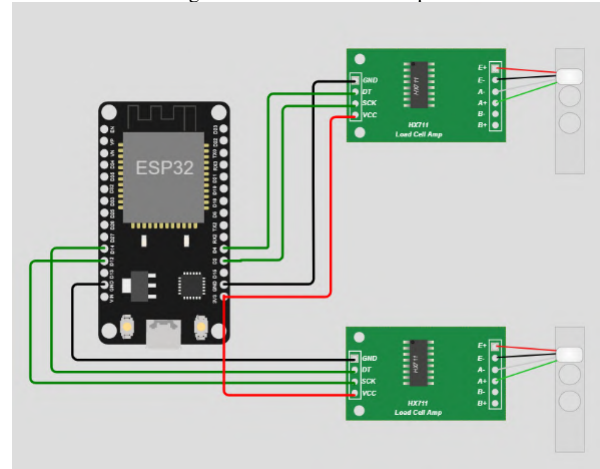
Nesta seção, será apresentada a escolha dos componentes e a construção de um protótipo utilizados neste projeto. Com base na bibliografia consultada, foi realizado um levantamento das possíveis soluções para a problemática apresentada. Com base nas soluções encontradas na literatura, a etapa seguinte consistiu na definição dos componentes a serem utilizados neste projeto, bem como nos aspectos físicos e funcionais do protótipo desenvolvido.

A. Circuito do Protótipo

Como resultado do presente trabalho, foi possível construir um protótipo utilizando uma base de madeira. Nessa base, foram fixadas duas células de carga com capacidade de 20 kg cada, totalizando uma capacidade máxima de até 40 kg. Essa capacidade é suficiente para pesar um botijão P13, que pode conter até 28 kg quando cheio.

Além das duas células de carga de 20 kg, foi necessário conectar dois módulos amplificadores HX711, conforme mencionado anteriormente neste trabalho, para a utilização com esse tipo de célula de carga. Além disso, um microcontrolador ESP32 foi utilizado no protótipo. O esquemático com as conexões elétricas pode ser visualizado na Figura 15.

Fig. 15. Circuito do Protótipo.



FONTE: O autor.

B. Montagem do Protótipo

Primeiramente, para o desenvolvimento e montagem do protótipo, foi necessário construir uma base. Considerando os aspectos físicos, como o peso total que seria aplicado a essa base, optou-se pela utilização da madeira como material, devido ao seu baixo custo e durabilidade. O custo total para o desenvolvimento da base foi compreendido entre o custo da madeira e dos parafusos, cerca de R\$ 20, aproximadamente. As duas células de carga foram fixadas à base, as quais já possuem furos para serem parafusadas, conforme pode ser observado na Figura 16.

Para uma boa fixação dos parafusos na base desenvolvida, foram utilizadas algumas roscas. A Figura 17 apresenta uma visualização da base vista por outro ângulo, demonstrando como as células de carga estão fixadas na base.

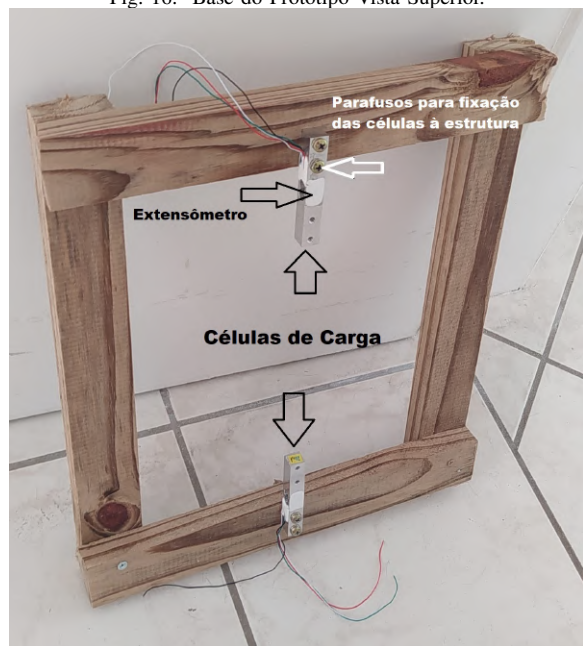
Depois da construção da base e fixação das células de carga, a próxima etapa foi a construção da plataforma que fica fixada em cima das células de carga, onde o peso a ser medido é colocado. Esta plataforma também foi desenvolvida em madeira e fixada nas células de carga. Também foi feita a ligação do circuito, conforme mostrado na Figura 18.

VI. TESTES

Nesta seção, serão apresentados os resultados do teste realizado no protótipo desenvolvido. Será discutido o processo de calibração da balança, através de dois testes distintos: O teste de esforço mecânico prolongado e o teste de precisão. Os resultados desse teste, juntamente com a análise da célula de carga, serão apresentados para validar o protótipo.

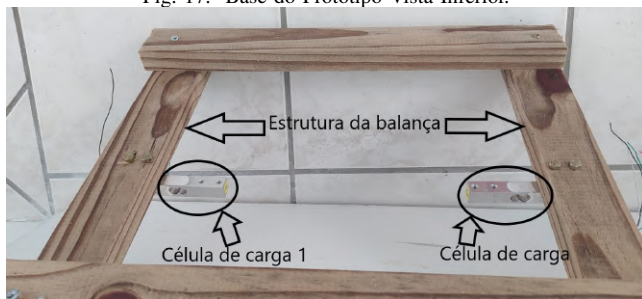
Foi realizado um teste no protótipo usando um balde de 10 litros como objeto de medição. A balança foi calibrada com

Fig. 16. Base do Protótipo Vista Superior.



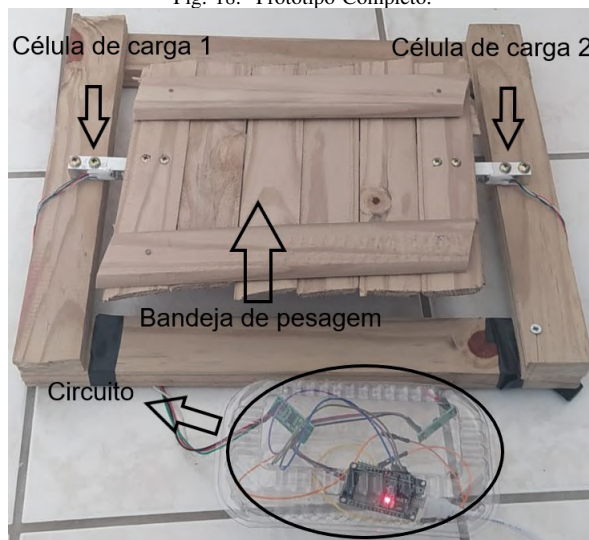
Fonte: O autor.

Fig. 17. Base do Protótipo Vista Inferior.



Fonte: O autor.

Fig. 18. Protótipo Completo.



Fonte: O autor.

TABLE III
LEITURA DO PESO DURANTE UM INTERVALO DE TEMPO.
FONTE: O AUTOR.

Teste mecânico	
Horário	Leitura (kg)
13:45	10,018
	10,02
	10,022
15:37	10,021
	10,022
	10,023
18:21	10,046
	10,046
	10,047
19:48	10,051
	10,051
	10,052
20:59	10,025
	10,025
	10,024
21:11	10,022
	10,021
	10,023
22:48	10,022
	10,022
	10,021

TABLE IV
LEITURA DO PESO, SENDO ADICIONADO PESO POR PESO.
FONTE: O AUTOR.

Teste peso		
Garrafas	Litros	Leitura (L)
1	0,5	0,5
2	1	0,99
3	1,5	1,5
4	2	2
5	2,5	2,49
6	3	3
7	3,5	3,49
8	4	3,98
9	4,5	4,49
10	5	4,98
11	5,5	5,48
12	6	5,96
13	6,5	6,5
14	7	6,98
15	7,5	7,5
16	8	7,99
17	8,5	8,5
18	9	9,1
19	9,5	9,5
20	10	10,1

o balde vazio e, em seguida, o balde foi preenchido com 500 mL de água a cada 10 segundos para garantir a precisão e linearidade. Os resultados da medição podem ser observados na Tabela IV. Essa abordagem foi adotada devido à falta de pesos padrões e à capacidade de usar a quantidade de água no balde como uma medida de peso. Além disso, o protótipo foi submetido a um teste de esforço mecânico prolongado, onde o balde foi enchido com 10 litros de água e colocado na balança por 9 horas. Os resultados desse teste, apresentados na Tabela III, mostraram que a célula de carga manteve sua precisão e linearidade, resistindo ao teste de esforço mecânico com alta precisão.

As células de carga são sensores de alta precisão devido ao seu sistema de medição. No entanto, qualquer intempérie no local onde a balança é instalada pode causar variações na medição, como ventos fortes, vibrações ou a presença de animais sobre a balança. A célula de carga é capaz de detectar essas flutuações. Portanto, mesmo com a variação observada na leitura, considerou-se o protótipo apto a realizar a medição com a eficácia necessária.

VII. TRABALHOS FUTUROS

Visando o aprimoramento do projeto, recomenda-se a substituição da base do protótipo feito anteriormente, que era de madeira, por uma base de metal. Isso tornará a base mais resistente, tanto em relação ao efeito do tempo quanto às intempéries no local de instalação, uma vez que a madeira tende a se deteriorar com o tempo, comprometendo o processo de pesagem. Além disso, o metal torna a base da balança mais leve e versátil, podendo ser instalada em qualquer residência.

No que diz respeito à conexão utilizada anteriormente com o ESP32, que foi feita por meio de *Bluetooth*, em trabalhos futuros pretende-se utilizar a conexão *Wi-Fi* do ESP32 e uma base de dados na nuvem. Com a base de dados desenvolvida, várias possibilidades de visualização dos resultados se tornam viáveis. Além disso, a construção de um aplicativo próprio e o envio dos dados de leitura para a nuvem por meio do modelo IoT também se tornam possíveis, permitindo a visualização em forma de gráficos e consulta ao histórico de leituras de uma determinada residência. Outra melhoria possível é a instalação de um *display* próximo ao recipiente para que a leitura possa ser feita de forma mecânica e evitar falhas no protótipo em caso de problemas com a conexão, seja *Bluetooth* ou *Wi-Fi*.

Ao estudar mais a fundo o funcionamento de balanças comerciais, nota-se que é comum a utilização de apenas uma célula de carga, mesmo em balanças que suportam até 200kg. Nesse sentido, recomenda-se, para trabalhos futuros, o uso de apenas uma célula de carga, uma vez que a precisão desse sensor é suficientemente boa para essa finalidade, pois foi projetado para ser usado dessa maneira. Além disso, o uso de mais de uma célula de carga aumenta o custo do equipamento e também o risco de falhas no protótipo, devido à adição de mais componentes.

REFERENCES

- [1] S. N. das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo, *Os pioneiros: GLP, meio século de história*. O Sindicato, 1990. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=UbtuAAACAAJ>
- [2] SindiGás, “Botijões de gás falsificados oferecem risco,” 2023, acessado em 25 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://www.sindigas.org.br/novosite/?p=6196>
- [3] Daeflex, “Medidor de gás glp,” 2023, acessado em 20 de janeiro de 2023. [Online]. Available: https://daeflex.com.br/produto/medidor-de-gas-g1-0/?gclid=Cj0KCQiA6LyfBhC3ARIsAG4gkF_2_t857w8hZp9B6j-OLLN9C0cy49uNr-qJW0yJD2k_foXMP9g2xlAaAkkMEALw_wcB
- [4] R. C. Spadim, “Desenvolvimento de um sistema de monitoramento para gás de cozinha glp,” B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- [5] Usinainfo, “Sensor de fluxo de água arduino,” 2023, acessado em 16 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-fluxo-arduino-511>
- [6] M. R. Chagas, “Gestão do nível de gás de cozinha (glp),” 2018.
- [7] Usinainfo, “Sensor de pressão mpx5700ap,” 2023, acessado em 16 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-pressao-arduino/sensor-de-pressao-absoluta-mpx5700ap-15kpa-a-700kpa-2968.html?searchquery=mpx+5700aresults=1>
- [8] G. V. d. S. Medeiros *et al.*, “Smartgás: uma plataforma inteligente para o monitoramento de gás de cozinha,” 2017.
- [9] Usinainfo, “Sensor de força resistivo,” 2023, acessado em 18 de janeiro de 2023. [Online]. Available: https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-forca-resistivo-fsr406-43x43mm-6113.html?search_query=sensor+de+forca+resistivo&results=2
- [10] R. P. Andolfato, J. S. Camacho, and G. d. Brito, “Extensometria básica,” *Ilha*, 2004.
- [11] A. Balbinot and V. J. Brusamarello, *Instrumentação e Fundamentos de Medida*. Editora LTC, 2010.
- [12] F. Fusaro, “Uma análise do comportamento das células de carga e dos piezômetros pneumáticos fabricados pela coppe para utilização no metrô do rio de janeiro,” 1983.
- [13] Usinainfo, “Sensor de peso célula de carga 5kg,” 2023, acessado em 18 de janeiro de 2023. [Online]. Available: https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-peso-arduino/sensor-de-peso-celula-de-carga-0-a-5kg-para-arduino-4413.html?search_query=celula+de+carga&results=47
- [14] —, “Sensor de peso célula de carga 50kg,” 2023, acessado em 19 de janeiro de 2023. [Online]. Available: https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-peso-arduino/sensor-de-peso-celula-de-carga-50kg-para-arduino-2573.html?search_query=celula+de+carga&results=47
- [15] A. T. Novato and M. A. Piccinini, “Sistemas para controle de apiário a distância-cad,” *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, vol. 4, no. 2, 2022.
- [16] Usinainfo, “Módulo conversor amplificador hx711,” 2023, acessado em 18 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://www.usinainfo.com.br/amplificadores-de-sinal/modulo-conversor-amplificador-hx711-24bit-2-canais-2818.html>
- [17] R. A. Silva, “Programando microcontroladores pic: Programação em linguagem c,” *São Paulo. Editora: Ensino Profissional*, 2007.
- [18] D. Arduino, “Arduino uno rev3,” 2023, acessado em 20 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>
- [19] Usinainfo, “Esp32 wroom 32u,” 2023, acessado em 20 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://www.usinainfo.com.br/nodemcu/esp32-nodemcu-iot-com-wifi-e-bluetooth-30-pinos-5147.html>