

Desenvolvimento de um Dinamômetro Digital para Avaliação de Equipamentos de Elevação

Cauan Henrique Araujo da Silva
Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo
cauan.silva5@fatec.sp.gov.br

Felipe Basilio Marques
Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo
felipe.marques7@fatec.sp.gov.br

Lucas Fidelis Morelis
Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo
lucas.morelis@fatec.sp.gov.br

Pedro Eduardo Pereira~
Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo
pedro.pereira58@fatec.sp.gov.br

Prof. Me. Marco Antonio Baptista De Sousa
Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib” de São Bernardo do Campo
marco.sousa@fatec.sp.gov.br

RESUMO: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um dinamômetro de fricção eletrônico para talhas elétricas de corrente, integrando uma célula de carga a um microcontrolador ESP32 com conectividade Wi-Fi.

O sistema proposto visa modernizar o processo de calibração das embreagens de fricção, tradicionalmente realizado de forma manual, oferecendo uma solução mais prática, segura e acessível.

A pesquisa compreende desde a fundamentação teórica sobre talhas e embreagens, até a implementação prática de um protótipo funcional, incluindo *hardware*, *firmware* e um aplicativo móvel para monitoramento remoto.

Os testes experimentais validaram a viabilidade da proposta, demonstrando a eficácia da automação na leitura em tempo real. Além disso, o estudo ressalta o impacto positivo da digitalização de processos industriais, reduzindo erros humanos e aumentando a confiabilidade das operações. O projeto contribui com a inovação no setor de movimentação de cargas, servindo como base para futuras melhorias, padronizações e aplicações em diferentes cenários industriais.

Palavras-chave: Talha elétrica. Embreagem de fricção. Célula de carga. ESP32. Automação industrial.

ABSTRACT: This article presents the development of an electronic friction dynamometer for electric chain hoists, integrating a load cell and an ESP32 microcontroller featuring Wi-Fi connectivity. The proposed system aims to modernize the calibration process of friction clutches, traditionally performed manually, offering a more accurate, safe, and accessible solution. The research ranges from the theoretical basis of hoists, clutches, and force sensors to the practical implementation of a functional prototype, including hardware, firmware, and a mobile application for remote monitoring. Experimental tests validated the feasibility of the proposal, demonstrating the effectiveness of automation in real-time measurement. In addition, the study highlights the positive impact of digitizing industrial processes, reducing human error and increasing the reliability of operations. The project contributes to innovation in the material handling sector, aligning with the principles of Industry 4.0, and serves as a basis for future improvements, standardizations, and applications in different industrial scenarios.

Keywords: Electric chain hoist. Friction clutch. Load cell. ESP32 microcontroller. Industrial automation

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ADC – Analog-to-Digital Converter (Conversor Analógico-Digital)
- AP – Access Point (Ponto de Acesso Wi-Fi)
- ATF – ATF Automação
- CI – Célula de Carga Modelo CI (Líder Balanças)
- DSR – Design Science Research (Pesquisa em Ciência do Design)
- ESP32 – Embedded System Platform 32 bits (Microcontrolador Wi-Fi/Bluetooth)
- FRKPS – Friction Clutch Test Kit for Chain Hoists (Equipamento de Teste de Embreagem de Fricção)
- HX711 – Amplificador e Conversor ADC de Alta Precisão para Células de Carga
- IDE – Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
- Kgf – Quilograma-força
- PLA – Ácido Polilático (Polímero para Impressão 3D)
- TP4056 – Módulo Carregador para Bateria Li-Ion 18650 via USB
- Wi-Fi – Wireless Fidelity (Rede Sem Fio)

1. Introdução

O cenário industrial moderno demanda soluções eficientes para movimentação de cargas que atendam aos mais diversos setores produtivos, desde metalurgia pesada até indústrias farmacêuticas com requisitos específicos de higiene. As talhas elétricas emergiram como equipamentos fundamentais neste contexto, oferecendo versatilidade operacional que permite adaptação às necessidades específicas de cada segmento industrial (BRASIL RESPIRA, 2025). Essas talhas são compostas por componentes principais, incluindo o motor elétrico, a corrente, o gancho e a estrutura de suporte. O motor gera a força necessária para movimentar a corrente, que está conectada ao gancho usado para segurar a carga. Dependendo do modelo, as talhas elétricas podem ser de corrente única ou dupla, oferecendo opções que variam em capacidade de carga e velocidade de elevação.

Em suma, as talhas elétricas de corrente são equipamentos essenciais na movimentação de cargas pesadas, oferecendo eficiência, segurança e facilidade de uso em diferentes aplicações. Compreender suas funcionalidades e componentes é o primeiro passo para escolher o equipamento certo para atender às suas necessidades específicas (TERRA EM AR, 2025).

O disco de fricção para talha elétrica é acoplado diretamente à estrutura do motor. A bobina do freio é fixada na tampa do motor, o platô então é pressionado contra os discos de fricção através de molas de compressão. Os discos de fricção fazem parte do elemento girante, que é semelhante a um sistema de embreagens. O disco de fricção para talha elétrica fica acoplado entre a tampa do motor e a platô, assim possuindo duas interfaces de atrito. O disco de fricção para talha elétrica é um dos itens de mais importância, pois devido sua função, caso venha a ter algum defeito os materiais que a talha está elevando podem vir a cair assim causando danos ao material ou até mesmo aos próprios operários (ATF AUTOMACAO, 2025).

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um dinamômetro eletrônico portátil para calibração de talhas de corrente com embreagem de fricção, integrando uma célula de carga a um microcontrolador com conectividade sem fio (ESP32) e uma interface amigável via aplicativo móvel. O dispositivo oferece uma solução acessível, segura e eficiente, capaz de medir a força tracionada em tempo real, armazenar os dados e reduzir a necessidade de intervenções complexas. O estudo concentra-se na criação de um sistema de medição e monitoramento que alia instrumentação, automação e tecnologia embarcada, proporcionando inovação tecnológica aplicada ao setor industrial.

A calibração precisa de talhas de corrente é determinante para a segurança, durabilidade e desempenho dos sistemas de elevação utilizados na indústria. Métodos convencionais, muitas vezes manuais ou baseados em equipamentos de alto custo, exigem mão de obra especializada, demandam tempo significativo e não garantem a repetibilidade ou rastreabilidade dos dados,

limitando a aplicação prática em empresas de menor porte.

O desenvolvimento de um dispositivo portátil, de baixo custo e de operação simplificada, permite medições confiáveis e em tempo real, promovendo maior eficiência, segurança e padronização dos processos de manutenção. Além disso, a integração de componentes eletrônicos e comunicação sem fio contribui para a modernização tecnológica do setor. Dessa forma, o estudo oferece contribuição tanto para a literatura científica, ao apresentar uma alternativa inovadora para calibração de sistemas de fricção, quanto para a indústria, ao propor uma solução tecnicamente viável e economicamente acessível para o aprimoramento de processos críticos de elevação de cargas.

2. Revisão da Literatura

2.1 Talhas elétricas e aplicações industriais

Talhas elétricas de corrente desempenham um papel crucial na indústria moderna, permitindo operações de elevação eficientes, seguras e precisas. Sua seleção deve considerar fatores como capacidade de carga, altura de elevação, ambiente operacional e fonte de alimentação, garantindo desempenho adequado e segurança (EEPOS, 2025).

Manter a segurança é a tarefa mais importante de um equipamento de elevação, e é essencial para uma operação estável (Kito, 2022).

A manutenção regular de talhas é crucial para garantir seu funcionamento seguro e eficiente. Entre os procedimentos básicos de manutenção, a inspeção visual deve ser realizada frequentemente para identificar qualquer sinal de desgaste ou dano, como desgastes nos cabos, correias ou componentes estruturais.

Um aspecto crucial da manutenção de talhas é a prevenção de sobrecargas. Exceder a capacidade máxima da talha não só compromete o equipamento, mas também coloca em risco a segurança dos trabalhadores. Programas de manutenção eficazes ajudam a monitorar e controlar essa variável. (TERRA EM AR, 2025)

2.2 Embreagem e disco de fricção em talhas

O disco de fricção é um componente crítico das talhas elétricas, sendo responsável pelo controle da velocidade de subida e descida do cabo e pela estabilização do movimento da carga. Ele é acoplado à estrutura do motor, com a bobina do freio fixada na tampa e o platô pressionando os discos através de molas de compressão, formando um sistema semelhante a uma embreagem (ATF AUTOMACAO, 2025). Falhas no disco de fricção podem comprometer a segurança, resultando em riscos de acidentes e danos aos materiais manipulados. A

embreagem de fricção é um dispositivo de proteção de sobrecarga de emergência que inativa o motor quando este é sujeito a uma carga excessiva superior à capacidade nominal. O desempenho da embreagem de fricção não é facilmente comprometido com mudanças na temperatura ambiente. No caso de uma carga irregular, ela opera antecipadamente para evitar danos no corpo da talha ou na corrente de carga. No caso de uma carga ser excessivamente elevada ou abaixada, o interruptor de fim de curso desliga o motor, evitando danos na talha ou na corrente de carga (Kito, 2022).

2.3 Calibração e instrumentos de medição

O equipamento destinado à realização de testes em embreagens de fricção de talhas de corrente, denominado FRKPS, constituiu a principal inspiração para o desenvolvimento deste estudo.

O conjunto de teste da embreagem de fricção consiste em um transdutor de força, uma unidade de exibição e as luvas de guia adequadas para a respectiva espessura da corrente. Para verificar a força de liberação da embreagem de fricção, o transdutor de força é enganchado na corrente junto com a luva adaptadora apropriada. Em seguida, eles se movem juntos contra o piso da talha e bloqueiam a corrente no processo. O transdutor de força mede a força máxima que ocorre até que a embreagem de fricção responda e transmita o valor para a unidade de exibição. O usuário pode ler isso facilmente no indicador (WIKA, 2025).

Entretanto, verificou-se que o elevado custo de aquisição do FRKPS limita sua utilização, tornando-o acessível principalmente a grandes empresas ou instituições com maior capacidade de investimento. Essa constatação fundamenta a proposta central deste trabalho: desenvolver uma alternativa de menor custo, que preserve as funcionalidades essenciais do equipamento, ampliando seu acesso a diferentes perfis de usuários.

O objetivo, portanto, consiste em democratizar o uso dessa tecnologia, por meio da criação de uma solução prática, segura e economicamente viável, destinada não apenas a grandes prestadores de serviços, mas também a pequenas equipes de manutenção. Busca-se, assim, conciliar desempenho, simplicidade operacional e custo reduzido, ampliando as possibilidades de aplicação desse tipo de equipamento no mercado.

Figura 1 – Equipamento FRKPS



WIKA

CONJUNTO DE TESTE PARA GUINCHO DE CORRENTE

Modelo KPS35

O Tesis KPS35 é um robusto testador de deslizamento para guindastes/talhas de até 3500 kg. A vantagem do KPS35 é que ele abrange quase todos os tipos de correntes e é muito fácil de manusear por uma única pessoa.

- ✓ De 40 a 35.000 kg
- ✓ IP67
- ✓ Conjunto completo em estojo de alumínio

Fonte: WIKA (2025)

Figura 2 – Especificações técnicas e valor do equipamento FRKPS

ITEM 01

FABRICANTE WIKA

CODIGO: **14255670**

DESCRIÇÃO:

Chain hoist testing set 0.5% 3.5 t in rugged aluminium instrument case incl. charger and 2 batteries

Rated force F_{nom}: 3.5 t

Calibration range: 0 ... 4.2 t

Force limit FL: 200 % F_{nom}

Breaking force FB: > 300 % F_{nom}

Characteristic value (output signal) C: 4 ... 20 mA/2-wire

Relative linearity error: 0.5% F_{nom}

Rated temperature range BT, nom: 0 ... +80° C

Operating temperature range BT, G: -20 ... +80° C

Protection: IP 67/ IP 40 (load cell/ hand-held indicator)

Electrical connection: circular connector M12x1, 4-pin,

Incl. connecting cable 10 m

Power supply unit: AC100-240V 50-60Hz, Output DC12V/450mA

Material of measuring device: stainless steel 1.4542

Adapter at the bottom: A (sizes 07 - 11)

B (sizes 03 - 06)

Adapter at the top: 1 (sizes 08 - 11)

2 (sizes 06 - 07)

3 (sizes 03 - 05)

Certificate: Calibration certificate 3.1 acc. EN10204 with 25% steps up suitable for chain sizes: 3x9-

Other disclosure 11x31 acc. to DIN 5685/ EN 818-2 and 818-7s:

FRKPSX343003

Preço unitário Bruto = R\$ 98.422,00

Prazo de entrega 65 dias uteis

NCM 9031.80.60

ICMS 18% - incluso

Fonte: WIKA (2025)

3. Metodologia

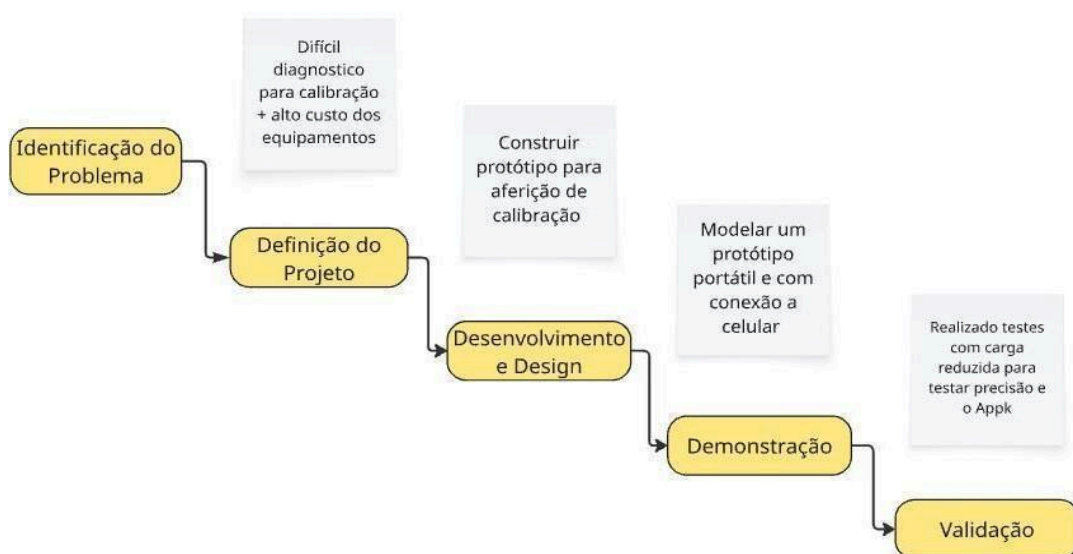
Neste estudo, foi adotada a revisão de literatura como um dos métodos de pesquisa. A análise prévia de trabalhos e publicações relacionadas é fundamental em qualquer investigação científica, pois permite compreender o estado atual do conhecimento sobre o tema. Ao iniciar um projeto, o pesquisador realiza uma busca e avaliação das áreas de interesse, contribuindo para delimitar o problema de pesquisa e fundamentar os objetivos do estudo (Mohammed, 2021).

Ao analisar um artigo científico, independentemente da área de estudo, o autor costuma apresentar inicialmente um panorama das pesquisas já realizadas. Essa abordagem permite contextualizar o tema, identificar lacunas no conhecimento e fundamentar os objetivos e hipóteses do estudo (Lamé, 2019).

Uma revisão de literatura conduzida de forma rigorosa estabelece uma base consistente para o progresso do conhecimento e apoia o desenvolvimento de teorias na área de estudo (Mohammed, 2021).

O segundo método adotado neste estudo será o Design Science Research (DSR), ou Pesquisa em Ciência do Design. Esse método tem origem na engenharia e nas ciências do artificial, e seu principal objetivo é propor soluções para problemas práticos. Além de orientar a criação de soluções, o DSR permite ao pesquisador explorar contextos, desenvolver teorias e projetar artefatos capazes de representar e interagir com os ambientes problemáticos. A abordagem contribui para o aprimoramento do conhecimento aplicado, visando a resolução de situações práticas do cotidiano (Teixeira & Magalhães, 2022).

Figura 3 – Método DSR



Fonte: Autores (2025)

3.1. Identificação dos problemas

O estudo da problemática será realizado considerando o contexto de operação de talhas elétricas utilizadas em ambientes industriais, em que a manutenção do equipamento é feita manualmente, sem instrumentos precisos de aferição. A ausência de um método padronizado para verificar o torque de fricção durante a manutenção e a operação das talhas apresenta diversos desafios. A falta de registros confiáveis e de medições objetivas dificulta a identificação de falhas no sistema de fricção, podendo comprometer a segurança e a eficiência do equipamento.

Atualmente, a regulação da fricção das talhas elétricas é realizada de forma manual, sem o auxílio de sistemas automatizados de medição. Embora já existam equipamentos capazes de registrar e controlar com precisão os valores de fricção, seu alto custo limita a adoção generalizada na indústria. A ausência de um método acessível e automatizado de monitoramento impede a análise sistemática do desempenho das talhas, dificultando a identificação de padrões de falha e a avaliação da eficácia dos ajustes realizados, além de aumentar o risco de desgaste prematuro dos componentes e sobrecarga no motor.

Outro problema identificado é a inexistência de registro digital que documente os valores de fricção medidos durante os testes ou ajustes. Essa lacuna compromete a rastreabilidade do equipamento, dificultando a manutenção preventiva e a conformidade com normas de segurança e operação. Sem um sistema capaz de registrar, controlar e alertar sobre variações na fricção, a confiabilidade das talhas elétricas fica limitada, impactando a produtividade e aumentando os custos com manutenção corretiva.

Portanto, a falta de um método sistemático, preciso e registrado para medir e controlar a fricção das talhas elétricas representa um obstáculo significativo para a segurança operacional, a padronização do processo e a durabilidade dos equipamentos utilizados na indústria.

3.2 Proposta de solução

Será proposta a criação de um sistema eletrônico de medição de fricção para talhas elétricas, baseado em microcontrolador e célula de carga, que desempenhe as mesmas funções do equipamento atualmente existente, porém com menor custo de produção e manutenção. A solução será desenvolvida para registrar de forma precisa os valores de fricção durante testes e ajustes, permitindo a rastreabilidade completa do equipamento.

O artefato será projetado para fornecer dados confiáveis, com interface intuitiva e capacidade de armazenamento de registros digitais, possibilitando a análise do desempenho das talhas e a identificação de falhas potenciais. Além disso, a proposta inclui a redução do número

de componentes de alto custo e a simplificação do circuito eletrônico, sem comprometer a precisão das medições. A avaliação da solução considerará critérios de precisão, confiabilidade, facilidade de uso e redução de custos em comparação com o equipamento tradicional. Espera-se que o sistema proporcione uma alternativa viável para a indústria, mantendo a funcionalidade do equipamento original e, ao mesmo tempo, tornando-o mais acessível.

3.3 Desenvolvimento do projeto

O funcionamento da talha elétrica de corrente baseia-se na elevação e movimentação de cargas por meio de um motor elétrico acoplado a um sistema de engrenagens redutoras e uma corrente metálica de alta resistência. Durante a operação, o motor converte energia elétrica em energia mecânica, transmitindo torque ao eixo de elevação. Para garantir a segurança, o equipamento utiliza um freio de fricção, cuja função é impedir o deslizamento da carga quando o motor é desligado. Esse freio atua através da compressão de discos de fricção, que, ao entrarem em contato, geram a força necessária para manter o eixo imobilizado. O projeto proposto consiste em acoplar um sistema de medição à corrente da talha, utilizando uma célula de carga capaz de avaliar a força exercida durante a operação. Essa medição permitirá identificar o nível de esforço aplicado, possibilitando uma análise precisa do desempenho do freio de fricção e da integridade do equipamento.

Os dados obtidos pela célula de carga são transmitidos para o microcontrolador ESP32 NodeMCU, responsável pelo processamento e análise das medições. Esse microcontrolador converte o sinal analógico proveniente do sensor em valores digitais, possibilitando a comparação com parâmetros pré-estabelecidos. A partir de um peso de referência informado pelo operador, o sistema aplica uma regra de três simples para determinar se a força exercida pela talha está dentro do intervalo considerado ideal. Essa abordagem permite identificar variações no esforço de elevação, que podem indicar desgaste do freio de fricção, sobrecarga ou falhas mecânicas. Dessa forma, o ESP32 atua como o núcleo de controle e diagnóstico do sistema, garantindo a confiabilidade das medições e a precisão dos resultados obtidos.

A partir dessa análise, o ESP32 utiliza sua capacidade de conexão Wi-Fi integrada para estabelecer comunicação direta com o operador por meio de um aplicativo móvel instalado em um smartphone comum. Esse aplicativo foi projetado com uma interface intuitiva, facilitando a visualização das informações sem necessidade de conhecimentos técnicos avançados. Nele, o operador pode acompanhar em tempo real os valores de força medidos pela célula de carga e os resultados processados pelo microcontrolador, recebendo alertas caso sejam detectadas anomalias no funcionamento do freio de fricção. Essa integração entre hardware e software torna o sistema mais acessível, eficiente e seguro, permitindo a avaliação do desempenho da

talha elétrica de forma prática e precisa. Demonstração do funcionamento

Com o sistema devidamente montado, pretende-se realizar testes experimentais aplicando diferentes massas à célula de carga, com o objetivo de avaliar parâmetros como precisão, tempo de resposta e estabilidade das medições. As leituras obtidas serão comparadas aos valores de referência fornecidos por uma balança digital, de modo a verificar a exatidão e o desempenho do sistema proposto. Espera-se que os resultados apresentem baixa latência de comunicação, boa estabilidade e erro de medição dentro de limites aceitáveis, atendendo às exigências de aplicações de pequeno porte.

Dependendo da eficiência e da qualidade dos dados obtidos nos testes preliminares, pretende-se empregar o protótipo em experimentos realizados com equipamentos utilizados em ambientes industriais, como talhas elétricas de corrente em operação. Essa etapa tem como objetivo avaliar a aplicabilidade e a relevância do sistema no contexto real de uso, verificando sua capacidade de monitorar o esforço mecânico e detectar possíveis irregularidades de forma precisa e confiável. Com isso, espera-se validar o potencial do projeto para auxiliar na manutenção preventiva e no aumento da segurança operacional em equipamentos de elevação.

3.4 Avaliação e validação

Nesta etapa, será realizada a análise do desempenho geral do protótipo, com o objetivo de verificar se o sistema atende aos parâmetros de funcionamento propostos durante o desenvolvimento. A avaliação buscará comprovar a eficiência do conjunto de hardware e software, observando o comportamento do sistema sob diferentes condições de carga e operação. Além disso, serão considerados aspectos como confiabilidade, repetibilidade das medições e estabilidade do sinal, assegurando que o dispositivo opere de forma precisa e consistente.

Com base nos resultados obtidos, pretende-se identificar possíveis ajustes no algoritmo de leitura e filtragem dos dados, bem como na calibração da célula de carga, a fim de reduzir eventuais desvios e otimizar a resposta do sistema em situações reais de uso. Também será avaliada a eficiência energética do equipamento, considerando o consumo e a autonomia da bateria, aspecto essencial por se tratar de um dispositivo portátil e destinado a aplicações manuais. Essa análise permitirá validar a relevância e a aplicabilidade do artefato no contexto industrial, confirmando seu potencial para auxiliar na manutenção preventiva e na regulação precisa do sistema de fricção de talhas elétricas de corrente.

4. Desenvolvimento do projeto

4.1 Desenvolvimento do hardware

O desenvolvimento do hardware se separa em: aquisição da célula de carga, construção do suporte e dimensionamento do circuito.

Para a célula de carga foi considerado uma que atendesse o capacidade nominal acima de 1000 Kg para que conseguisse ser usado em testes em talhas reais e ter uso prático, o preço e o sistema de trabalho compatível com o esforço que iremos aplicar. escolhemos a célula de carga da empresa Líder Balanças modelo CI.

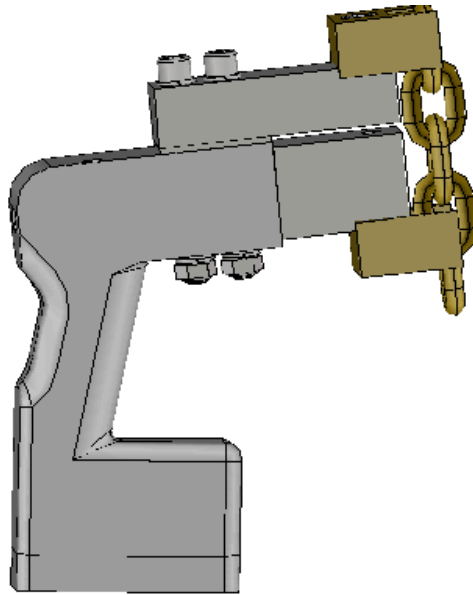
Figura 4: Célula de carga modelo CI



Fonte: Líder de balanças (2025)

A escolha da célula de carga a estrutura, priorizando permitisse a deformação da célula de forma mais linear possível, chegando ao modelo atual do protótipo.

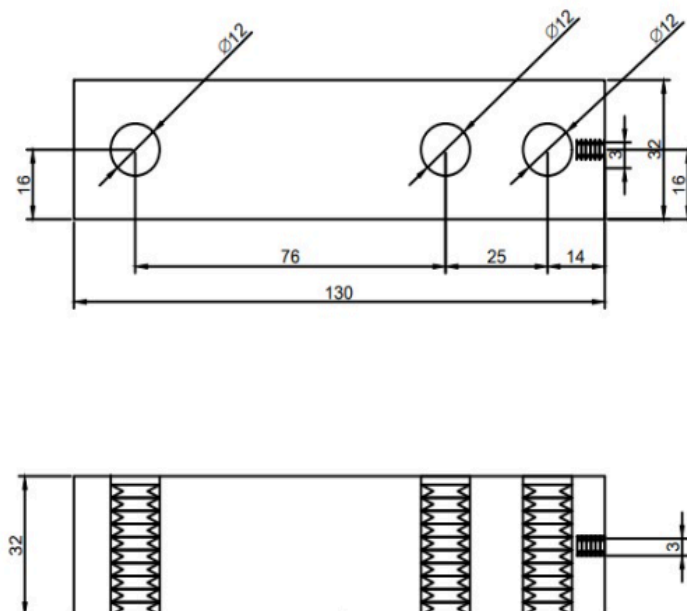
Figura 5: Modelo 3D final do protótipo



Fonte: Autores (2025)

Foi projetado um suporte feito de aço 1045 para que houvesse menos deformação que a célula de carga, oferecendo uma base fixa para a flexão da célula.

Figura 6: Cotas do protótipo



Fonte: Autores (2025)

Para o cabo do dispositivo, foi desenhado e impresso em PLA em uma impressora 3D.

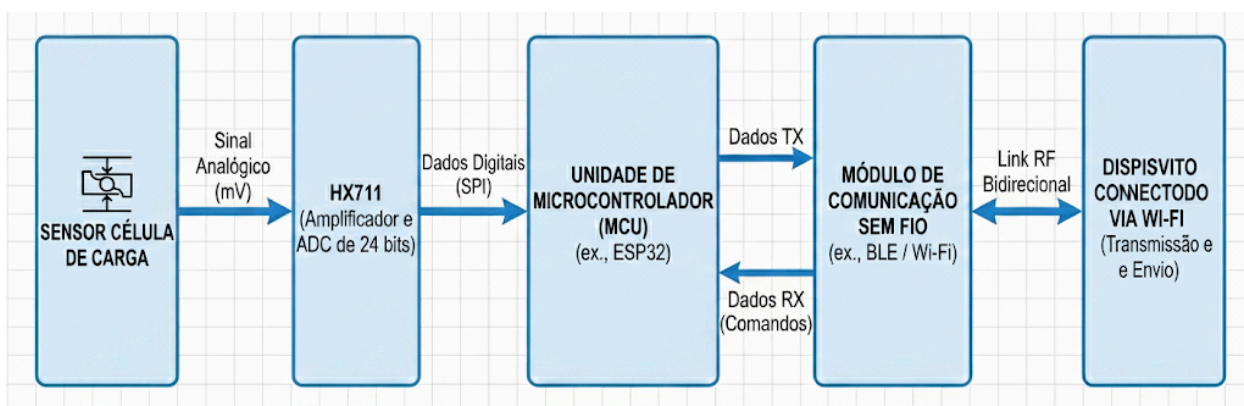
Figura 7: Protótipo montado



Fonte: Autores (2025)

Para os eletrônicos foi pensado em algo que atendesse a portabilidade, necessidade de comunicação wi-fi, bateria recarregável, fácil de ser desmontado e montado e que conseguisse ler as informações da célula de carga.

Figura 8: Diagrama de blocos



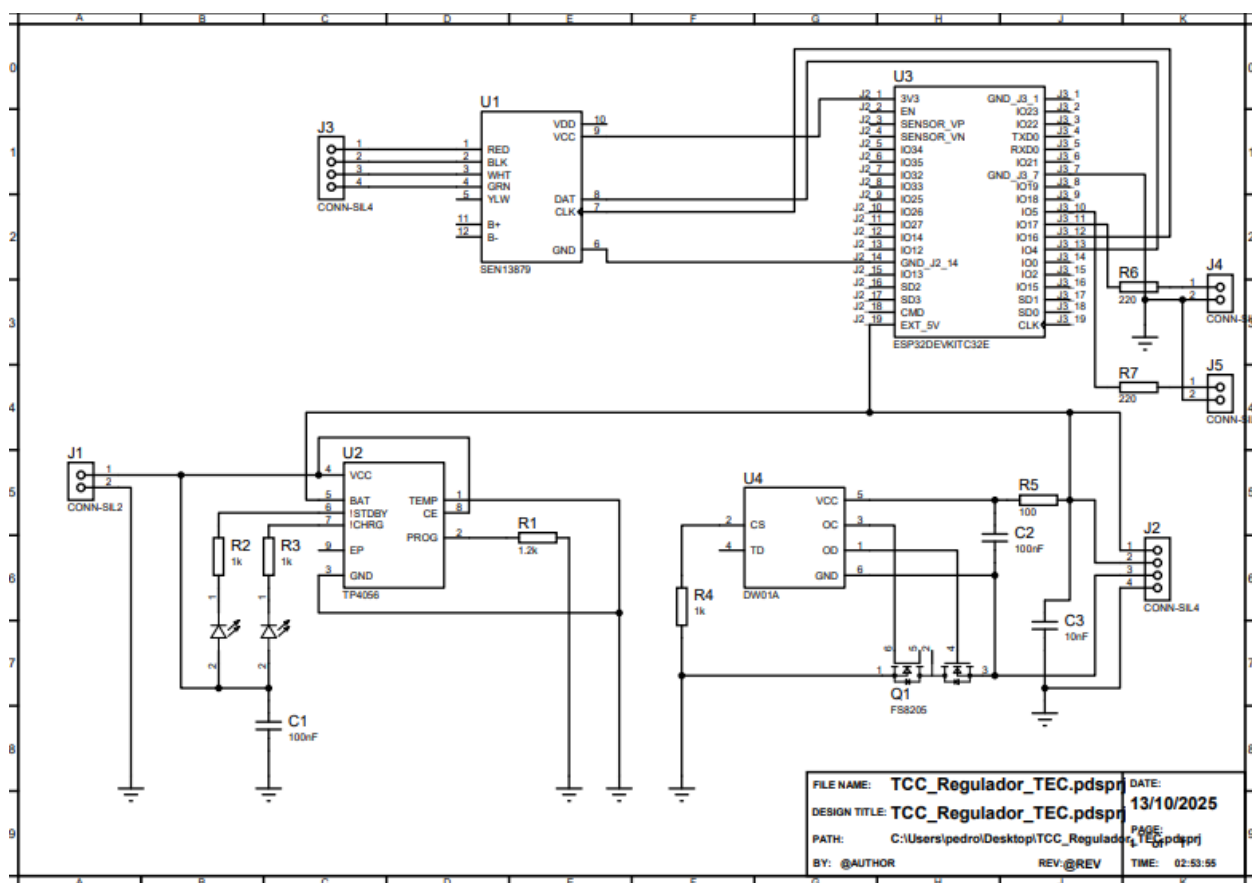
Fonte: Autores (2025)

Para que atendesse nosso projeto, foi escolhida uma placa ESP32 NodeMCU, por conta do preço e a placa de desenvolvimento já vir com comunicação wifi. Foi feito testes com os conversores analógicos-digitais do próprio ESP32, porém houve inconsistências na leitura e falta de precisão, então pesquisamos uma placa que fizesse essa conversão e encontramos a HX711 que atendeu a necessidade de leitura dos dados da célula.

Para a bateria e regulador de tensão para bateria escolhemos o TP4056 e uma célula de lítio e célula de lítio 18650, por já ter disponível, sem necessidade de ser adquirido outra bateria e módulo que atendem a segurança necessária para um dispositivo a bateria.

Também foi considerado 2 canais abertos para botão e led sem modelo específico.

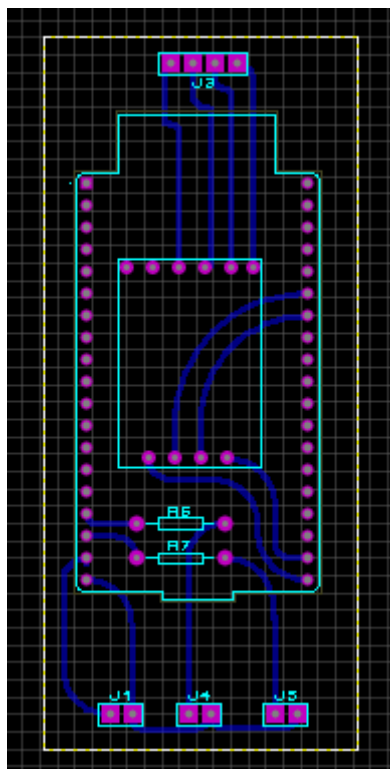
Figura 9: Diagrama elétrico



Fonte: Autores (2025)

Com essas informações já decididas, desenhamos também a placa.

Figura 10: Design circuito elétrico



Fonte: Autores (2025)

Antes de fazer a placa de circuito impresso, foram feitos os testes com placa ilhada.

Figura 11: Parte interna do protótipo



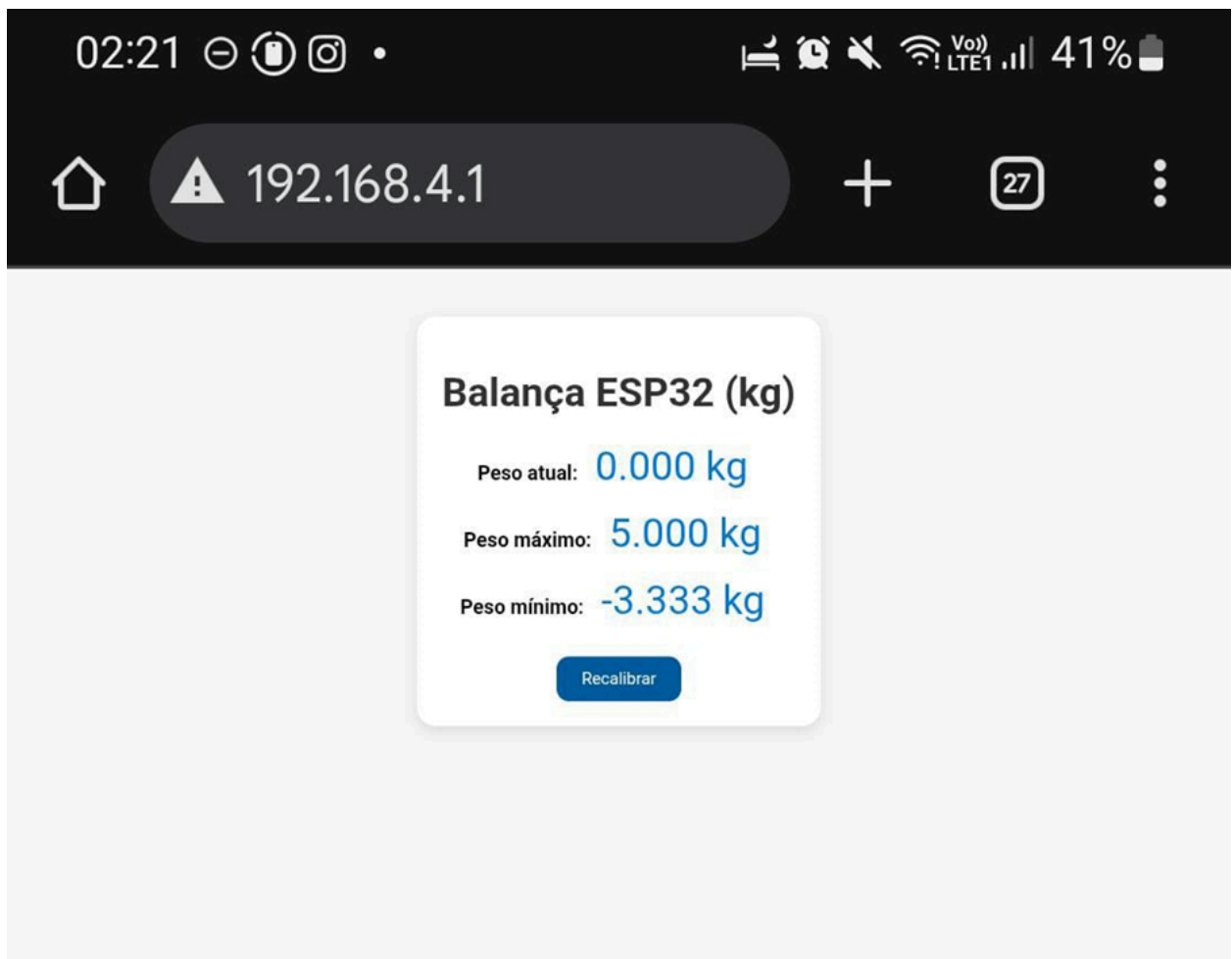
Fonte: Autores (2025)

4.2 Desenvolvimento do Software

O desenvolvimento do FIRMWARE foi realizado no Arduino IDE, utilizando uma rotina capaz de realizar leituras contínuas da célula de carga por meio do módulo HX711. Os valores lidos são processados e enviados através de uma rede Wi-Fi local, criada pelo próprio ESP32 em modo Access Point (AP). A comunicação com a interface web ocorre por meio do protocolo HTTP, com interação simples onde o usuário pode facilmente calibrar e visualizar as máximas históricas e mínimas históricas na mesma tela.

Também a possibilidade de se salvar na memória Flash do dispositivo o último fator calculado na calibração, não necessitando manter o aparelho ligado depois da calibração.

Figura 12: Interface HTTP



Fonte: Autores (2025).

4.3 Demonstração do funcionamento e validação

Os testes experimentais iniciais foram conduzidos utilizando uma talha manual destinada a serviços de menor porte, com o intuito de avaliar o comportamento do sistema em condições controladas antes da aplicação em ambiente industrial. Nessa etapa, foram aplicadas forças progressivas sobre a célula de carga para observar a resposta do conjunto em diferentes níveis de esforço mecânico.

O principal objetivo foi verificar a linearidade das leituras e a estabilidade do sinal obtido pelo módulo HX711, assegurando que as variações de tensão detectadas correspondem proporcionalmente às massas utilizadas. O procedimento também permitiu analisar o desempenho do sensor sob esforço real, simulando o comportamento da talha elétrica durante a elevação de cargas.

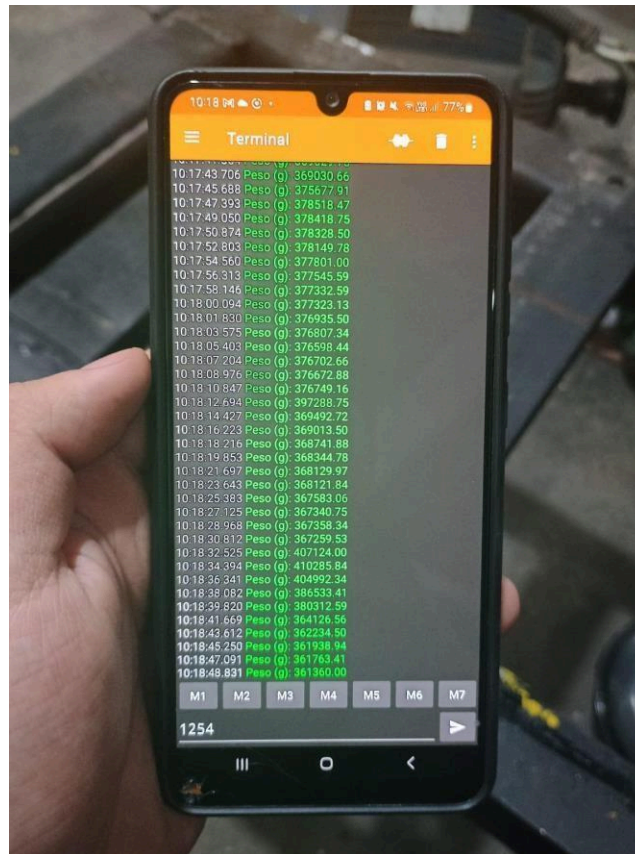
Figura 13: Força sendo aplicada sobre a célula de carga



Fonte: Autores (2025).

Apresenta a primeira versão funcional da interface móvel desenvolvida para o sistema. Por meio dessa interface, o operador pode acompanhar em tempo real as leituras provenientes da célula de carga, exibidas de maneira clara e contínua. A atualização dos valores ocorre via comunicação Wi-Fi entre o ESP32 e o dispositivo móvel, dispensando a necessidade de cabos ou equipamentos adicionais. Além da leitura instantânea, o aplicativo foi projetado para registrar valores máximos e mínimos, facilitando a análise do desempenho do equipamento durante o processo de calibração.

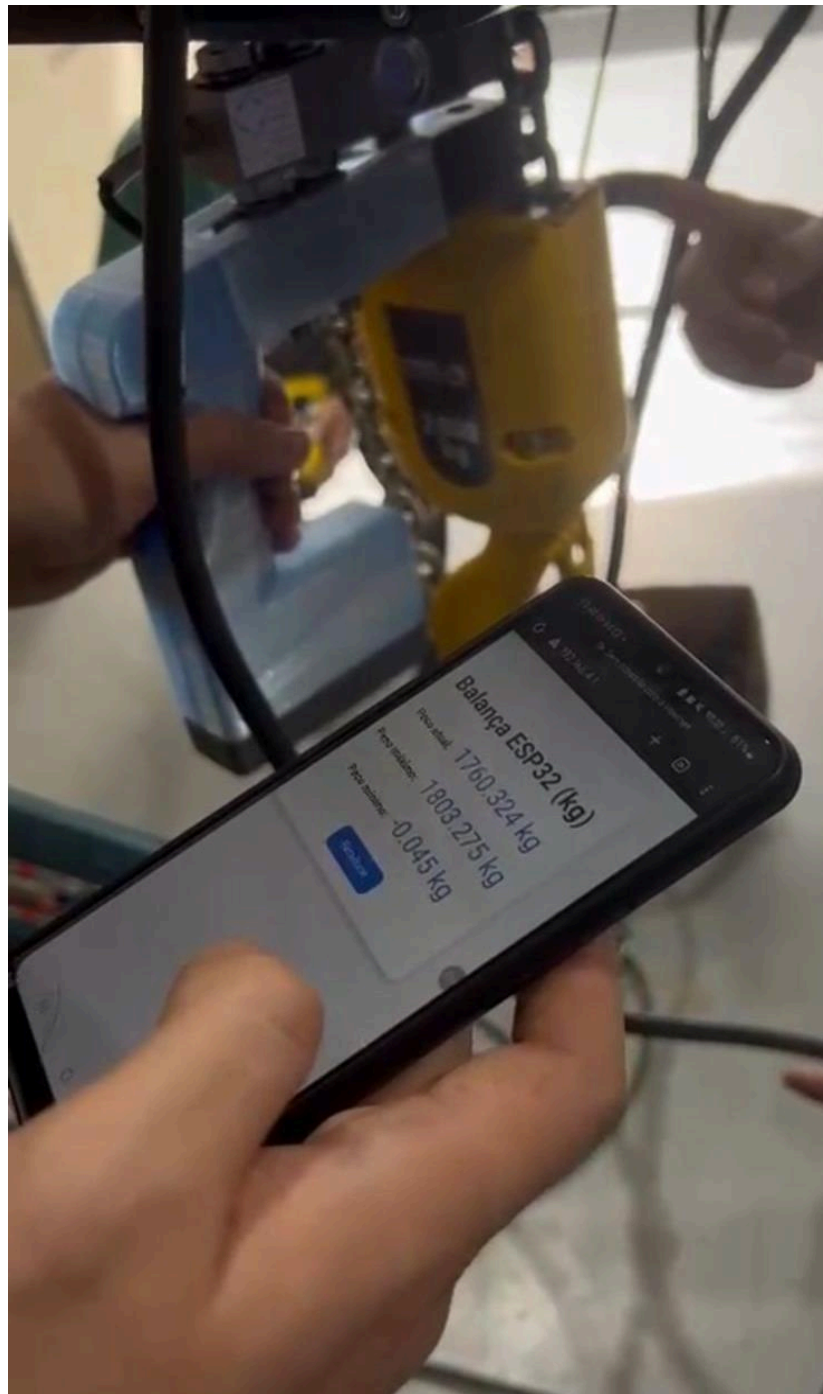
Figura 14: Medição em tempo real aplicativo móvel, primeira versão



Fonte: Autores (2025)

Ilustra o teste de validação realizado em uma talha elétrica de corrente com capacidade de 2 toneladas, valor compatível com a faixa ideal de operação da célula de carga utilizada no protótipo. Essa etapa foi conduzida em ambiente industrial, simulando as condições reais de uso do equipamento, com o objetivo de verificar o desempenho do sistema em situações práticas de elevação de carga. Durante o teste, o dinamômetro eletrônico foi acoplado à corrente da talha, permitindo a leitura direta da força exercida durante o acionamento do motor. As medições foram transmitidas em tempo real ao dispositivo móvel via conexão Wi-Fi, demonstrando a capacidade do sistema de captar, processar e exibir dados com precisão e estabilidade mesmo sob altos níveis de tensão mecânica.

Figura 15: Teste realizado em campo



Fonte: Autores (2025)

Com base nos resultados obtidos nos testes, verificou-se que o protótipo atendeu aos requisitos propostos para medição e monitoramento da força de fricção em talhas elétricas de corrente. O sistema apresentou bom desempenho quanto à precisão, estabilidade e tempo de resposta, além de oferecer facilidade de operação e comunicação sem fio eficiente. As validações demonstraram que o dinamômetro eletrônico desenvolvido representa uma alternativa técnica viável.

5. Considerações finais

O projeto teve como objetivo desenvolver um dinamômetro eletrônico para calibração de talhas elétricas de corrente com embreagem de fricção, oferecendo uma alternativa acessível, segura e eficiente aos métodos tradicionais de medição. O sistema, baseado em um microcontrolador ESP32 e uma célula de carga, possibilitou medições estáveis e comunicação sem fio com interface móvel de fácil utilização. A integração entre hardware e software demonstrou resultados satisfatórios quanto à confiabilidade, repetibilidade das leituras, comprovando a viabilidade técnica da proposta para aplicações em manutenção e calibração de equipamentos de elevação.

Entre as principais contribuições do trabalho, destacam-se o baixo custo de implementação, a portabilidade do dispositivo e a praticidade de uso em diferentes contextos industriais. Apesar dos bons resultados, foram identificadas oportunidades de aprimoramento, como a implementação de um sistema de armazenamento em nuvem para registro e análise dos dados obtidos durante as calibrações, permitindo acompanhamento histórico e geração de relatórios gráficos. Também se destaca a possibilidade de aprimorar a resistência mecânica da estrutura física do protótipo, tornando-o mais robusto e durável para o uso em ambientes industriais intensivos.

De modo geral, o projeto atingiu plenamente seus objetivos e demonstrou ser uma solução viável e eficiente para a calibração de talhas elétricas de corrente. A proposta se mostrou tecnicamente sólida, economicamente acessível, contribuindo para a modernização dos processos de manutenção e controle de equipamentos de elevação. O dinamômetro eletrônico desenvolvido representa, portanto, um avanço relevante para o setor industrial, consolidando-se como uma alternativa prática, inovadora e de alto potencial de aplicação.

REFERÊNCIAS

ATF AUTOMACAO. Disco de fricção para talha elétrica. Disponível em: <https://www.atfautomacao.com.br/disco-de-friccao-para-talha-eletrica>. Acesso em: 21 set. 2025.

BRASIL RESPIRA. Aplicações industriais de talhas elétricas: versatilidade e eficiência. Disponível em: <https://brasilrespira.com.br/aplicacoes-industriais-talhas-eletricas/>. Acesso em: 21 set. 2025.

KITO. Talhas Elétricas de Corrente KITO - EQKDB1501-03. Disponível em: https://kito.com.br/download/2022/09/13/4v7kcnw9oz_EQKDB1501_03.pdf. Acesso em: 21 set. 2025.

LAMÉ, G. Systematic literature reviews: an introduction. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, The Netherlands, 5–8 agosto 2019. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/dsi.2019.169.

TERRA E MAR. Guia completo sobre manutenção de talhas e sua importância. Disponível em: <https://www.terraemar.com.br/blog/blog/artigos/guia-completo-sobre-manutencao-de-talhas-e-sua-importancia>. Acesso em: 21 set. 2025.

TERRA EM AR. Talhas elétricas de corrente: guia completo para escolha e uso. Disponível em: <https://www.terraemar.com.br/blog/blog/artigos/talhas-eletricas-de-corrente-guia-completo-para-escolha-e-uso>. Acesso em: 21 set. 2025.

WIKA. Conjunto de teste de talha de corrente – modelo FRKPS. Disponível em: <https://www.wika.com/pt-br/frkps.WIKA>. Acesso em: 13 nov. 2025.

WIKA. Teste as embreagens de fricção usando um conjunto de teste para talha de corrente. Disponível em: <https://blog.wika.com/pt/know-how/teste-as-embreagens-de-fricaco-usando-um-conjunto-de-teste-para-talha-de-corrente>. Acesso em: 21 set. 2025.

Célula de Carga CI capacidade 150kg a 10000kg. Disponível em: <https://liderbalancas.com.br/produtos/celula-de-carga-ci/>. Acesso em: 11 dez. 2025.

APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE

```
#include <WiFi.h>          // Biblioteca para conexão Wi-Fi no ESP32
#include <Preferences.h>    // Biblioteca para salvar dados de forma permanente na
memória flash

#include "HX711.h"          // Biblioteca para ler a célula de carga usando o conversor
HX711

// === OBJETOS ===
HX711 scale;               // Cria um objeto para acessar funções do HX711
Preferences prefs;         // Cria objeto para acessar a memória flash do ESP32

// --- CONFIG WI-FI ---
const char* ssid = "Balanca_ESP32"; // Nome da rede Wi-Fi que o ESP32 criará
const char* password = "12345678";  // Senha dessa rede
WiFiServer server(80);          // Cria um servidor HTTP na porta 80

// --- PINOS DO HX711 ---
#define PINO_DT 26 // Pino de dados (DT) do HX711 conectado ao ESP32
#define PINO_SCK 27 // Pino de clock (SCK) do HX711 conectado ao ESP32

// --- VARIÁVEIS ---
float fator = 1.0;          // Fator de calibração da balança
bool calibrado = false;     // Indica se já existe um fator salvo
float peso = 0.0;           // Valor atual do peso
float pesoMax = 0.0;        // Valor máximo registrado
float pesoMin = 0.0;        // Valor mínimo registrado
bool primeiraLeitura = true; // Usado para inicializar min/max
bool emCalibracao = false;  // Indica se o processo de calibração está ativo

// === HTML PRINCIPAL ===
String htmlPage = R"rawliteral(
<!DOCTYPE html>
<html lang='pt-br'>
<head>
<meta charset='UTF-8'>
```

<title>Balança ESP32</title>

<style>

/* Estilos visuais do site */

body {

font-family: Arial, sans-serif;

background: #f5f5f5;

text-align: center;

margin-top: 30px;

}

.card {

background: white;

display: inline-block;

padding: 20px;

border-radius: 15px;

box-shadow: 0 4px 10px rgba(0,0,0,0.2);

}

.value { font-size: 2em; color: #0078D7; margin: 8px; }

button {

background: #0078D7;

color: white;

border: none;

padding: 10px 20px;

border-radius: 10px;

cursor: pointer;

}

button:hover { background: #005a9e; }

#calibracaoBox {

display: none;

padding: 15px;

margin-top: 20px;

background: #eef;

border-radius: 10px;

}

</style>

```

<script>
// === Função chamada a cada 500 ms para atualizar valores da balança ===
async function atualizar() {
  try {
    const resp = await fetch('/dados?_=' + Date.now()); // Requisição sem cache
    const data = await resp.json(); // Recebe JSON da balança
    document.getElementById('peso').textContent = data.peso.toFixed(3) + ' kg';
    document.getElementById('max').textContent = data.max.toFixed(3) + ' kg';
    document.getElementById('min').textContent = data.min.toFixed(3) + ' kg';
  } catch (e) {
    console.log('Erro ao atualizar:', e);
  }
}

setInterval(atualizar, 500); // Atualiza valores a cada 0,5 segundos

// === Exibe caixa para iniciar calibração ===
function iniciarCalibracao() {
  document.getElementById('calibracaoBox').style.display = 'block';
  document.getElementById('passo').textContent =
    'Passo 1: Retire qualquer peso da balança e clique em "Pronto".';
}

// === Passo 1 (TARA) ===
async function passoTara() {
  await fetch('/tara'); // Envia comando para o ESP executar tara
  document.getElementById('passo').textContent =
    'Passo 2: Digite o peso padrão (em gramas) e clique em "Avançar".';
}

// === Passo 2 (peso nominal) ===
function passoPeso() {
  const valor = document.getElementById('pesoNominal').value;
  if (!valor || valor <= 0) {
    alert('Digite um peso válido!');
  }
}

```

```

    return;
}
document.getElementById('passo').textContent =
    'Passo 3: Coloque o peso na balança e clique em "Calibrar".';
}

// === Passo 3 (calibração final) ===
async function passoCalibrar() {
    const valor = document.getElementById('pesoNominal').value; // Peso digitado
    const resp = await fetch('/calibrar?peso=' + valor); // Envia ao ESP
    const txt = await resp.text(); // Resposta
    alert(txt); // Exibe mensagem
    document.getElementById('calibracaoBox').style.display = 'none'; // Fecha painel
}
</script>

```

```

</head>

```

```

<body onload='atualizar()'>

```

```

    <div class='card'>

```

```

        <h1>Balança ESP32 (kg)</h1>

```

```

        <!-- Valores da balança -->

```

```

        <p><b>Peso atual:</b> <span id='peso' class='value'>--</span></p>

```

```

        <p><b>Peso máximo:</b> <span id='max' class='value'>--</span></p>

```

```

        <p><b>Peso mínimo:</b> <span id='min' class='value'>--</span></p>

```

```

        <!-- Botão para iniciar a calibração -->

```

```

        <button onclick='iniciarCalibracao()'>Recalibrar</button>

```

```

    </div>

```

```

    <!-- Caixa de calibração -->

```

```

    <div id='calibracaoBox'>

```

```

        <p id='passo'></p>

```

```

        <!-- Campo para digitar peso nominal -->

```

```

<input type='number' id='pesoNominal' placeholder='Peso em gramas'>

<!-- Botões de cada etapa -->
<button onclick='passoTara()'>Pronto (Tara)</button>
<button onclick='passoPeso()'>Avançar</button>
<button onclick='passoCalibrar()'>Calibrar</button>
</div>
</body>
</html>
)rawliteral";

// ==== CONFIGURAÇÃO INICIAL ====
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // Inicia serial
  scale.begin(PINO_DT, PINO_SCK); // Inicia HX711 nos pinos definidos

  prefs.begin("balanca", false); // Abre memória flash
  fator = prefs.getFloat("fator", 0.0); // Recupera fator salvo

  if (fator != 0.0) {
    scale.set_scale(fator); // Aplica fator salvo
    calibrado = true;       // Marca como calibrado
  }

  WiFi.softAP(ssid, password); // Liga modo Access Point
  server.begin();               // Inicia servidor HTTP
}

// ==== LOOP PRINCIPAL ====
void loop() {
  WiFiClient client = server.available(); // Aguarda cliente HTTP
  if (!client) return;
  while (!client.available()) delay(1);    // Espera requisição

  String req = client.readStringUntil('\r'); // Lê requisição HTTP

```

```

client.readStringUntil('\n');          // Consome linha

// --- Atualização da leitura da balança ---
if (calibrado && !emCalibracao) {
    float leitura = scale.get_units(3) / 1000.0; // Lê peso em kg
    if (fabs(leitura - peso) > 0.0005) {          // Filtro anti-oscilação
        peso = leitura;                          // Atualiza peso

        if (primeiraLeitura) {
            pesoMax = pesoMin = peso;             // Inicializa min/max
            primeiraLeitura = false;
        } else {
            if (peso > pesoMax) pesoMax = peso;
            if (peso < pesoMin) pesoMin = peso;
        }
    }
}

// === ROTA /dados (retorna JSON para atualizar página) ===
if (req.indexOf("GET /dados") >= 0) {
    String json = "{\"peso\": " + String(peso, 3) +
        ", \"max\": " + String(pesoMax, 3) +
        ", \"min\": " + String(pesoMin, 3) + "}";

    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-Type: application/json");
    client.println();
    client.println(json);
}

// === ROTA /tara ===
else if (req.indexOf("GET /tara") >= 0) {
    emCalibracao = true;
    scale.tare(); // Zera a balança
}

```

```

client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/plain");
client.println();
client.println("Tara realizada.");
}

// === ROTA /calibrar?peso=XXXX ===
else if (req.indexOf("GET /calibrar") >= 0) {
    emCalibracao = true;
    int pos = req.indexOf("peso=");          // Pega parte do peso
    float peso_real = req.substring(pos + 5).toFloat(); // Converte para número

    long leitura = scale.get_value(10);      // Lê valor bruto
    fator = leitura / peso_real;              // Calcula novo fator
    scale.set_scale(fator);                  // Aplica
    prefs.putFloat("fator", fator);          // Salva na memória
    calibrado = true;
    emCalibracao = false;
    pesoMax = pesoMin = peso;
    primeiraLeitura = true;
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-Type: text/plain");
    client.println();
    client.println("Calibração concluída com sucesso!");
}

// === SERVE A PÁGINA HTML PRINCIPAL ===
else {
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-Type: text/html");
    client.println();
    client.println(htmlPage);
}
client.stop(); // Encerra conexão
}

```