



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO - CECAU**



**BERNARDO GONÇALVES MORAIS**

**CONTRIBUIÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO E TELEMETRIA  
APLICADAS A UMA PERFURATRIZ EM OPERAÇÕES DE  
SONDAGEM**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2025**

**BERNARDO GONÇALVES MORAIS**

**CONTRIBUIÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO E TELEMETRIA  
APLICADAS A UMA PERFURATRIZ EM OPERAÇÕES DE  
SONDAGEM**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.**

Orientador: Prof. João Carlos Vilela de Castro

**Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
2025**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E  
AUTOMACAO



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Bernardo Gonçalves Moraes**

**Contribuições da Instrumentação e Telemetria Aplicadas a uma Perfuratriz em Operações de Sondagem**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 08 de agosto de 2025

**Membros da banca**

M.Sc. João Carlos Vilela de Castro - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Convidado - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel - Convidado - (Universidade Federal de Ouro Preto)

João Carlos Vilela de Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/08/2025.



Documento assinado eletronicamente por **João Carlos Vilela de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/08/2025, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0961408** e o código CRC **B535B4C0**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009889/2025-44

SEI nº 0961408

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163  
Telefone: 3135591533 - [www.ufop.br](http://www.ufop.br)

*Este trabalho é dedicado aos meus familiares e amigos,  
que me apoiaram e incentivaram a chegar ate aqui.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, pela dádiva que é poder viver. À minha família, que sempre foi meu refúgio de resiliência, paz, apoio, compaixão e felicidade, eu amo muito vocês. Ao João Carlos, sou grato pelos valiosos ensinamentos e pela incansável disposição em me acompanhar nesta jornada. À Pattrol, pela oportunidade enriquecedora, e a toda a equipe de manutenção, pelo aprendizado técnico e especializado. Por fim, estendo minha gratidão à universidade, por um ensino público, gratuito e de qualidade. Foi uma longa jornada, da qual saio hoje orgulhoso, transformado pela experiência e pronto para o próximo desafio.

*“O único verdadeiro conhecimento é saber que nada sabe.” (Sócrates)*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento e implementação de um sistema de instrumentação e telemetria para a perfuratriz de sondagem Fraste Multidrill ML (Crawler V), realizado na empresa Pattrol. O objetivo principal foi superar as limitações de um sistema anterior, baseado em tecnologias fechadas, e desenvolver uma solução flexível para otimizar a eficiência e a segurança operacional. A metodologia aborda a instrumentação da perfuratriz com múltiplos sensores, a aquisição de dados via Controlador Lógico Programável (CLP) e o desenvolvimento de um gateway IoT para processamento e transmissão segura dos dados. O estudo detalha os desafios técnicos enfrentados e as estratégias adotadas para a integração dos componentes, desde o sensoriamento até a visualização remota das informações. Ao final, o trabalho analisa o potencial de automação futura dos subsistemas da máquina, possibilitado pela base tecnológica implementada.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0. Automação industrial. Telemetria, Perfuratriz.

## ABSTRACT

*This work presents the development and implementation process of an instrumentation and telemetry system for the Fraste Multidrill ML (Crawler V) drilling rig, carried out at the company Pattrol. The main objective was to overcome the limitations of a previous system based on closed-system technologies and to develop a flexible solution to optimize operational efficiency and safety. The methodology involves the instrumentation of the drill rig with multiple sensors, data acquisition via a Programmable Logic Controller (PLC), and the development of an IoT gateway for secure data processing and transmission. The study details the technical challenges faced and the strategies adopted for the integration of components, from sensing to the remote visualization of information. Finally, the work analyzes the future automation potential of the machine's subsystems, enabled by the implemented technological foundation.*

**Key-words:** *Industry 4.0. Industrial Automation. Telemetry, Drill.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Perfuratriz Fraste Multidrill ML. Fonte: Fraste (2025). . . . .	14
Figura 2 – Cabeçote e Bomba hidráulica. Fonte: Fraste (2025). . . . .	15
Figura 3 – Dimensão da Perfuratriz comparada a um operador. Fonte:Fraste (2025). . .	15
Figura 4 – Painel de controle da Multidrill ML. Fonte: Fraste (2025). . . . .	16
Figura 5 – Logic Controller - Modicon Easy M200. Fonte: Schneider Electric (2024). .	17
Figura 6 – Interface Homem-Máquina Fonte: (PATROL, 2024). . . . .	18
Figura 7 – Sensor de posição indutivo. Fonte: (PATROL, 2024). . . . .	20
Figura 8 – Raspberry Pi 5 Fonte: (Raspberry Pi, 2024). . . . .	22
Figura 9 – Sistema de segurança e conectividade - Hórus. Fonte: (PATROL, 2024). . .	23
Figura 10 – Diagrama Elétrico da Perfuratriz. Fonte: Pattrol (2024). . . . .	26
Figura 11 – Fluxo de dados para monitoramento. Fonte: Pattrol (2024). . . . .	28
Figura 12 – IHM aferindo o nível de inclinação da torre. Fonte: Pattrol (2024). . . . .	29
Figura 13 – CLP Logic Controller modelo Modicon Easy M200 da Schneider Electric Fonte: Pattrol (2024). . . . .	29
Figura 14 – IHM da Schneider Electric, modelo: Harmony-ST6HMIST6400. Fonte: Pat- trol (2024). . . . .	31
Figura 15 – Perfuratriz FRASTE MULTIDRILL ML. Fonte:Pattrol (2024). . . . .	32
Figura 16 – Leitura de pressão de avanço no painel IHM. Fonte: Autor. . . . .	33
Figura 17 – Monitoramento de estado da maquina. Fonte: Pattrol (2024). . . . .	33
Figura 18 – Tempo de operação da maquina. Fonte:Autor. . . . .	34
Figura 19 – Histórico de medições aferidas das pressões de avanço, rotação e de água. Fonte:Pattrol (2024). . . . .	35
Figura 20 – Máquina pronta para operação. Fonte:Pattrol (2024). . . . .	36

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	Contextualização	10
1.2	Objetivos geral e específicos	11
1.3	Justificativa e Relevância	11
1.4	Estrutura do Trabalho	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>13</b>
2.1	Automação aplicada às operações de sondagem	13
2.2	Perfuratriz Fraste Multidrill ML	14
2.3	Instrumentação	16
2.3.1	<i>CLP</i>	17
2.3.2	<i>Interface Homem-Máquina (IHM)</i>	18
2.3.3	<i>Sensores</i>	19
2.4	Telemetria e integração com a nuvem	20
2.4.1	<i>Microcontroladores</i>	21
2.4.2	<i>Serviços em nuvem</i>	21
2.5	Sistema Modular de Monitoramento e Conectividade da Pattrol (Horus)	22
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>24</b>
3.1	Metodologia	24
3.2	Sensoriamento e Instrumentação da Perfuratriz	24
3.3	Sistema de Monitoramento e Telemetria	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>32</b>
4.0.1	<i>Dados Operacionais Monitorados e sua Relevância</i>	32
4.0.2	<i>Impacto Quantificável da Instrumentação e Telemetria</i>	33
4.0.2.1	Monitoramento Remoto e Gestão de Operações	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>37</b>
5.1	Análise e Potencial de Automação dos Subsistemas da Perfuratriz	37
5.1.1	<i>Ordem de Movimentos e Subsistemas para Automação</i>	38
5.1.2	<i>Potencial de Automação dos Acionamentos de Ancoragem</i>	38
5.1.3	<i>Potencial de Automação dos Acionamentos das Patolas</i>	39
5.1.4	<i>Potencial de Automação da Inclinação da Torre</i>	39
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mineração no Brasil remonta ao período colonial, com as primeiras descobertas de ouro no século XVII, especialmente na região de Minas Gerais. Esse marco impulsionou a ocupação do território e a economia da colônia portuguesa. Nos primeiros tempos, a extração mineral era realizada de forma rudimentar, utilizando ferramentas simples como bateias e almocafres para explorar depósitos superficiais. Porém, com o esgotamento dos recursos próximos à superfície, novas técnicas mais complexas começaram a ser implementadas, como a lavra subterrânea, o que demandou maior organização e infraestrutura. Com o tempo, a mineração no Brasil passou por uma evolução significativa, incorporando métodos modernos como a lavra a céu aberto e a subterrânea mecanizada, que se adaptam às características geológicas e às exigências de cada região do país (GERMANI, 2002).

Dentro desse contexto, a perfuratriz se destaca como um equipamento fundamental nas operações de lavra a céu aberto. Ela é utilizada para realizar furos no solo com várias finalidades, como estudos geotécnicos, detonações controladas e coleta de amostras. Esses furos são essenciais para o planejamento adequado das operações, permitindo uma caracterização precisa dos depósitos minerais e a definição de estratégias mais eficientes para a extração. De acordo com Curi (2014), o uso de perfuratrizes é crucial para garantir maior precisão e eficiência no processo de perfuração, além de contribuir significativamente para a segurança das operações. A escolha adequada do tipo de perfuratriz e das técnicas de perfuração impacta diretamente na otimização dos custos operacionais e na mitigação dos impactos ambientais, aspectos que são fundamentais para a sustentabilidade das atividades mineradoras.

A automação tem desempenhado um papel crescente na modernização das operações de sondagem, promovendo maior eficiência e segurança nessas atividades. Segundo Miranda, Reis e Vieira (2017), a implementação de sistemas de monitoramento e automação em perfuratrizes hidráulicas de grande porte permite a coleta e análise em tempo real de variáveis operacionais como pressão, torque e profundidade de perfuração. Esta abordagem não apenas aprimora o processo de perfuração, diminuindo o tempo de operação, mas também oferece um aumento significativo na segurança dos operadores, destacando a automação como uma ferramenta imprescindível para o avanço das técnicas de sondagem.

Este trabalho aborda o processo de instrumentação da perfuratriz Fraste ML, desenvolvido pela empresa Pattrol, com o objetivo de melhorar a eficiência, reduzir custos operacionais e aumentar a segurança das operações. O projeto foi conduzido em etapas, iniciando com a integração de sensores e avançando para o aprimoramento da comunicação com sistemas externos, o que garantiu maior confiabilidade e adaptabilidade às condições operacionais. Este

estudo apresenta as dificuldades enfrentadas e as soluções implementadas para superar os desafios encontrados.

## **1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS**

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o processo de automação e monitoramento de uma perfuratriz, O principal propósito foi estabelecer uma base sólida para a coleta e análise de dados em tempo real, preparando o equipamento para futuras implementações de automação, com foco na melhoria da eficiência operacional e da segurança.

Os objetivos específicos incluem:

- Identificar as limitações do sistema inicial utilizado na automação da perfuratriz;
- Descrever as etapas do desenvolvimento e implementação do novo sistema de automação;
- Avaliar os impactos das mudanças realizadas, com foco na redução de custos operacionais e no aumento da confiabilidade do equipamento;
- Demonstrar como as soluções implementadas atendem às condições adversas e demandas operacionais do setor de mineração;
- Fornecer diretrizes para a aplicação de tecnologias semelhantes em outros projetos industriais.

## **1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

A instrumentação e o monitoramento em operações de sondagem são vitais para garantir a eficiência, a segurança e a confiabilidade nas atividades mineradoras. Contudo, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, principalmente em ambientes com restrições de conectividade e expostos a condições extremas. Este trabalho justifica-se pela necessidade de superar essas limitações, oferecendo soluções que integram armazenamento local, comunicação eficiente e monitoramento adaptada às condições operacionais específicas.

Além disso, o estudo contribui para o avanço das tecnologias aplicadas à perfuração, explorando alternativas que reduzem custos operacionais, aumentam a segurança e melhoram os indicadores de desempenho. Ao documentar as dificuldades enfrentadas e as soluções adotadas, este trabalho serve como um referencial prático para futuros projetos de automação em equipamentos similares.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos:

- **Capítulo 1 – Introdução:** apresenta o tema, objetivos, justificativa e a organização do texto.
- **Capítulo 2 – Revisão da Literatura:** aborda os conceitos de mineração, automação, instrumentação, telemetria e tecnologias aplicadas ao projeto.
- **Capítulo 3 – Desenvolvimento:** descreve a metodologia e as etapas do projeto, incluindo sensoriamento, monitoramento e controle.
- **Capítulo 4 – Resultados:** apresenta os principais resultados obtidos com a aplicação prática do sistema.
- **Capítulo 5 – Conclusão:** resume as contribuições do trabalho, dificuldades enfrentadas e possibilidades de evolução futura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 AUTOMAÇÃO APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE SONDAGEM

A mineração é uma das atividades mais antigas da humanidade, com raízes que remontam ao período colonial no Brasil, especialmente com as descobertas de ouro no século XVII em Minas Gerais. Esse evento foi um marco não só para a economia da colônia portuguesa, mas também para a ocupação do território. Nos primeiros tempos, a extração mineral era feita de forma simples, usando ferramentas como bateias e almocafres para explorar depósitos superficiais. Com o esgotamento dos recursos próximos à superfície, métodos mais avançados começaram a ser empregados, como a lavra subterrânea, exigindo mais organização e infraestrutura. Ao longo dos séculos, a mineração no Brasil evoluiu, adotando tecnologias como a lavra a céu aberto e a subterrânea mecanizada, adaptando-se às particularidades geológicas e às exigências de cada região (GERMANI, 2002).

No processo de lavra a céu aberto, a perfuratriz se tornou um equipamento fundamental. Ela é utilizada para realizar furos no solo, com diversas finalidades, como estudos geotécnicos, detonações controladas e coleta de amostras. Esses furos são essenciais para o planejamento e para o entendimento da geologia do depósito mineral, permitindo que se definam as melhores estratégias para a extração do material. Segundo Curi (2014), o uso das perfuratrizes garante maior precisão e eficiência na perfuração, além de promover maior segurança durante as operações. A escolha correta do tipo de perfuratriz e das técnicas utilizadas impacta diretamente na otimização dos custos operacionais e na redução dos impactos ambientais, aspectos fundamentais para a sustentabilidade das atividades mineradoras.

A automação tem ganhado cada vez mais espaço nas operações de sondagem, trazendo melhorias significativas em eficiência e segurança. De acordo com Miranda, Reis e Vieira (2017), a implementação de sistemas de automação em perfuratrizes hidráulicas de grande porte permite o monitoramento e análise em tempo real de parâmetros como pressão, torque e profundidade de perfuração. Isso não só torna o processo mais ágil, mas também diminui a necessidade de intervenção humana, reduzindo riscos e melhorando as condições de trabalho dos operadores. A automação, portanto, se tornou indispensável para o avanço das técnicas de sondagem, trazendo maior controle e precisão.

A automação também contribui para a eficiência operacional ao possibilitar a análise preditiva. Sensores instalados nas perfuratrizes monitoram constantemente a saúde estrutural do equipamento, detectando possíveis falhas antes que se tornem problemas graves. Isso reduz o tempo de inatividade e os custos com manutenção corretiva, além de garantir maior disponibilidade dos equipamentos. Com sistemas automatizados, os operadores podem tomar decisões com base em dados precisos, otimizando a produtividade e o uso dos recursos.

## 2.2 PERFURATRIZ FRASTE MULTIDRILL ML

A Fraste Multidrill ML, mostrada na Figura 1, é uma perfuratriz projetada para operações de sondagem versáteis, destacando-se por sua robustez, eficiência e adaptabilidade. Fabricada pela empresa italiana Fraste, é amplamente utilizada em geotecnia, mineração e estudos ambientais. Sua confiabilidade em condições operacionais desafiadoras a torna uma das preferidas para aplicações críticas.



Figura 1 – Perfuratriz Fraste Multidrill ML. Fonte: [Fraste \(2025\)](#).

Este modelo é equipado com um avançado sistema hidráulico, proporcionando alta precisão e confiabilidade durante as operações. Sua configuração padrão inclui:

- Acionamento: Hidráulico;
- Profundidade de perfuração: até 1000 metros, dependendo da haste e do tipo de solo;
- Torque máximo: 3.650 Nm;
- Capacidade do guincho: 3.500 kg;
- Sistema de rotação: Cabeçote hidráulico (Figura 2) com variação contínua de velocidade;
- Bomba hidráulica (Figura 2): essencial para a lavagem do furo.

Além disso, a perfuratriz apresenta dimensões compactas, como apresentado na Figura 3 que facilitam sua mobilidade em terrenos irregulares:

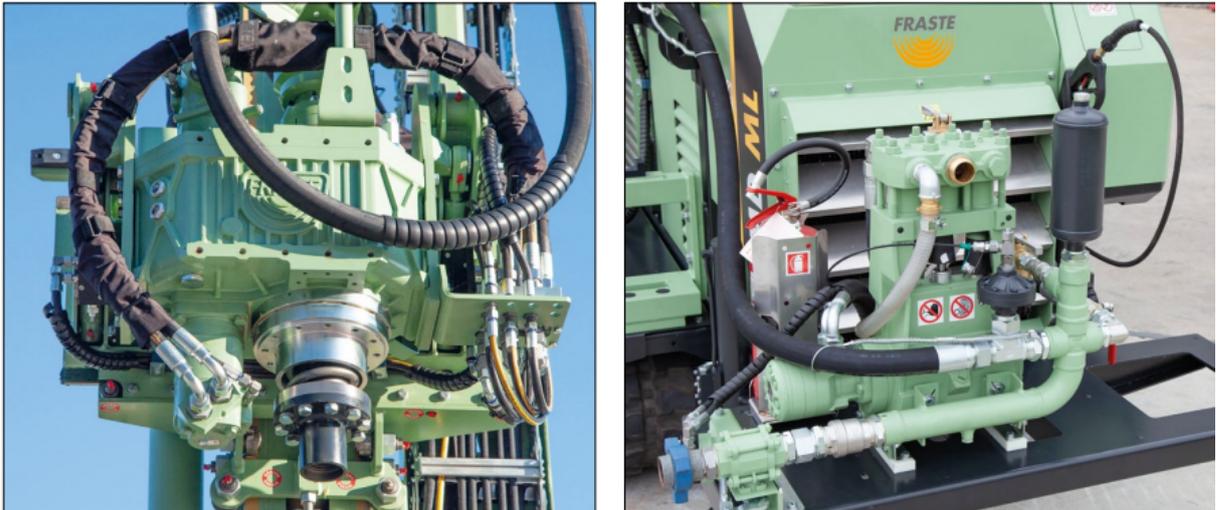


Figura 2 – Cabeçote e Bomba hidráulica. Fonte: [Fraste \(2025\)](#).

- Comprimento: 5,8 metros;
- Largura: 1,6 metros;
- Altura: 2,4 metros.



Figura 3 – Dimensão da Perfuratriz comparada a um operador. Fonte: [Fraste \(2025\)](#).

A cabine de operação foi projetada ergonomicamente, com controles intuitivos para facilitar o manuseio e garantir a segurança do operador. O painel de controle (Figura 4) permite

monitorar variáveis operacionais cruciais, como pressão hidráulica, torque e velocidade de rotação, além de controlar a ancoragem e os sistemas eletropneumáticos, garantindo precisão e segurança durante as perfurações.



Figura 4 – Painel de controle da Multidrill ML. Fonte: [Fraste \(2025\)](#).

## 2.3 INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação tem um papel essencial na mineração, pois garante a precisão e a confiabilidade das medições de variáveis importantes para o controle e otimização dos processos. Segundo [Ribeiro \(1999\)](#), a instrumentação abrange o projeto, fabricação, especificação, montagem, operação e manutenção de dispositivos usados para medição, alarmes, monitoramento e controle das variáveis do processo industrial, como pressão, temperatura, vazão, nível, entre outros.

Na mineração, a instrumentação é usada para monitorar parâmetros críticos, como pressão, temperatura do motor e nível de combustível. Essas medições são vitais para o controle das operações e para a segurança dos trabalhadores. Em ambientes industriais desafiadores, como minas subterrâneas ou a céu aberto, os sistemas de instrumentação se tornam ainda mais importantes para garantir a continuidade da produção e a segurança operacional.

A integração da instrumentação com tecnologias como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), IoT (Internet das Coisas) e inteligência artificial (IA) tem ampliado ainda mais a eficácia desses sistemas. A automação desses sistemas não só permite o monitoramento contínuo, mas também o ajuste automático dos parâmetros operacionais, otimizando o desempenho dos equipamentos e garantindo a manutenção preventiva. Assim, a instrumentação não apenas aumenta a produtividade, mas também contribui para a sustentabilidade e segurança das operações de mineração.

### 2.3.1 CLP

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são dispositivos fundamentais para o controle de processos industriais. Surgiram nos anos 1960, com o objetivo de substituir sistemas de controle complexos, como os baseados em relés, especialmente na indústria automobilística. A General Motors, por exemplo, buscava uma solução mais flexível e confiável para controlar suas linhas de produção. O primeiro CLP comercial foi lançado pela empresa Modicon em 1968, marcando o início da automação moderna (SEGOVIA; THEORIN, 2012).

Os CLPs são dispositivos microprocessados, cuja programação pode ser facilmente modificada, permitindo grande versatilidade. Entre suas funções, destacam-se o processamento de relações lógicas e matemáticas, a manipulação de números inteiros e ponto flutuante, e a realização de operações aritméticas e trigonométricas. Atualmente, os CLPs continuam a evoluir com o avanço da microeletrônica e da informática, sendo amplamente usados em sistemas de automação e controle industrial (ALMEIDA, 2019).

De acordo com Rodrigues (2023) a evolução dos CLPs também foi impulsionada pelo desenvolvimento de novas tecnologias, como a microeletrônica e a informática, que permitiram a criação de CLPs cada vez mais avançados e acessíveis. Além disso, a popularização da internet e das redes de computadores permitiu a integração de CLPs em sistemas de automação mais amplos e sofisticados. Atualmente, os CLPs são amplamente utilizados em sistemas de automação e controle industrial e continuam a evoluir e melhorar, oferecendo novos recursos e capacidades para controlar e monitorar processos industriais.

O CLP é composto essencialmente por uma fonte de alimentação, uma unidade central de processamento (UCP), memórias de armazenamento, dispositivos de entrada e saída, módulos de comunicação e interface de programação. Na Figura 5 visualiza-se o *Logic Controller* modelo *Modicon Easy M200* da *Schneider Eletronics*.



Figura 5 – Logic Controller - Modicon Easy M200. Fonte: Schneider Electric (2024).

### 2.3.2 Interface Homem-Máquina (IHM)

Devido ao aumento significativo de sistemas supervisionados, tornou-se essencial oferecer um controle mais preciso, intuitivo e acessível ao operador. Nesse contexto, a Interface Homem-Máquina (IHM) foi desenvolvida como uma solução eficaz. Por meio de uma interface gráfica equipada com botões, acionadores e outros controles simples, a IHM permite que o operador tome decisões corretas de maneira ágil e eficiente. Considerando que os cálculos envolvidos nos processos de controle são frequentemente complexos, a IHM simplifica as interações, reduzindo a necessidade de profissionais altamente especializados para tarefas rotineiras e otimizando tempo e recursos.

Segundo Pupo (2002), uma IHM deve proporcionar maior precisão e abrangência nas medições, sendo capaz de concentrar o controle de toda uma planta em um único terminal de computador. O design de uma IHM é crítico para a operação, pois funciona como a janela do operador para o estado e controle do sistema. Os programas modernos de IHM são projetados para serem de fácil configuração, permitindo que engenheiros ou até mesmo operadores realizem ajustes sem a necessidade de programadores especializados. Além disso, com arquitetura baseada em objetos distribuídos pela rede, facilita a integração de novos sistemas com sistemas legados, ampliando a flexibilidade e a eficiência operacional.

Hoje, a IHM (Figura 6) é indispensável na indústria, oferecendo uma interface amigável, objetiva e adaptada às necessidades das operações, desempenhando um papel importante para garantir eficiência, segurança e precisão nos processos industriais.

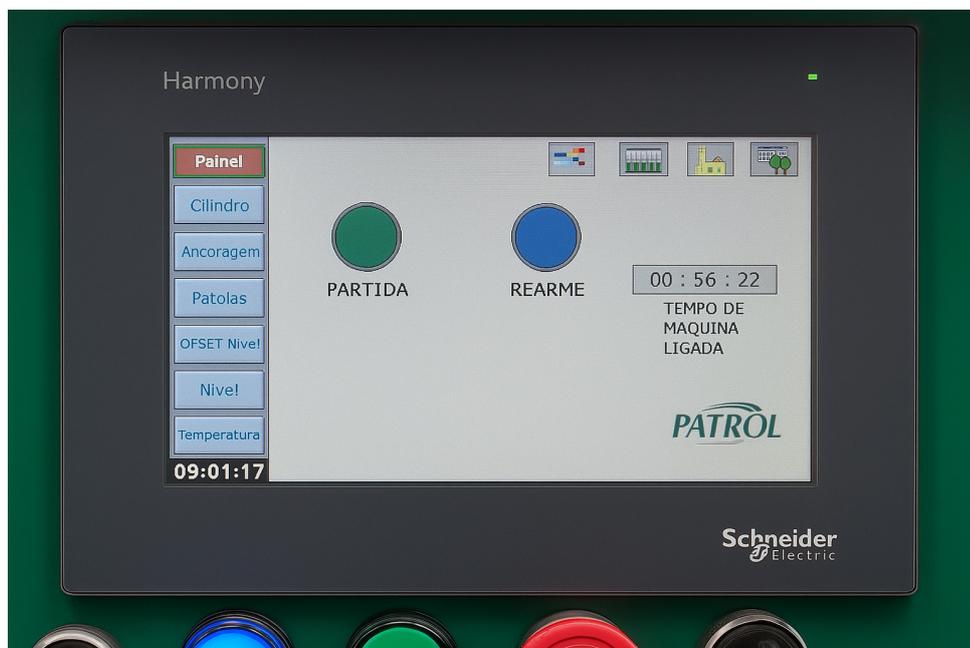


Figura 6 – Interface Homem-Máquina Fonte: (PATROL, 2024).

### 2.3.3 Sensores

De acordo com [Wendling \(2010\)](#), sensores são dispositivos capazes de detectar diferentes formas de energia presentes no ambiente, como energia luminosa, térmica ou cinética. Esses sinais são convertidos em informações utilizáveis, permitindo a medição de grandezas físicas relevantes, como temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração e posição. Em sistemas de controle e automação, os sensores desempenham um papel importante no monitoramento contínuo de variáveis do processo, fornecendo dados que são interpretados por controladores e sistemas supervisórios.

Entretanto, um sensor nem sempre possui as características elétricas ideais para ser diretamente utilizado em um sistema de controle. Normalmente, o sinal de saída do sensor precisa ser manipulado por um circuito de interface antes de ser lido pelo controlador, garantindo que o sinal esteja em um nível apropriado. Quando o nível de tensão gerado pelo sensor é muito baixo, torna-se necessária sua amplificação, sendo esse papel desempenhado por um amplificador que eleva o sinal ao nível adequado para utilização no sistema ([WENDLING, 2010](#)).

Na mineração, conforme destacado por [Rodrigues \(2023\)](#), os sensores precisam atender a requisitos rigorosos devido às condições extremas e adversas do ambiente de trabalho, caracterizado por poeira, umidade, vibrações intensas e temperaturas extremas. Esses desafios exigem que os sensores sejam projetados com características específicas para garantir sua funcionalidade e durabilidade. Entre as principais características exigidas para sensores na área da mineração,, destacam-se:

- **Robustez física:** Para suportar partículas em suspensão e níveis elevados de vibração, comuns em máquinas de grande porte.
- **Precauções contra corrosão:** Necessárias para operar em ambientes empoeirados e altamente corrosivos, protegendo os componentes eletrônicos.
- **Boa relação sinal-ruído:** Importante para garantir medições precisas, mesmo em condições de interferência e desgaste contínuo, como na detecção de falhas em rolamentos.

Além disso, a estabilidade da perfuratriz durante a operação depende do funcionamento coordenado entre a ancoragem e as patolas. Para monitorar o correto posicionamento desses sistemas, sensores são fundamentais. As patolas, por exemplo, são responsáveis por elevar a máquina e garantir seu nivelamento, uma tarefa que exige a detecção precisa de sua posição. Para essa finalidade, frequentemente se utiliza um sensor indutivo ([Figura 7](#)), que é capaz de detectar a proximidade de componentes metálicos sem contato físico, oferecendo a robustez necessária para o ambiente agressivo da mineração. O funcionamento correto desses sensores, em conjunto com o sistema de ancoragem, assegura maior segurança e precisão na perfuração, especialmente em terrenos irregulares.



Figura 7 – Sensor de posição indutivo. Fonte: ([PATROL, 2024](#)).

## 2.4 TELEMETRIA E INTEGRAÇÃO COM A NUVEM

A palavra *telemetria* deriva da união de dois termos gregos: *tele*, que significa "longe", e *metron*, que significa "medir". Assim, telemetria refere-se ao processo de coleta e transmissão de dados de fontes remotas para um ponto central, onde são analisados e monitorados ([MATTOS, 2004](#)). Este processo tem ampla aplicabilidade em diversas áreas, como aeroespacial, agricultura, indústria, mineração e saúde, permitindo o monitoramento e controle remoto de equipamentos e sistemas.

A telemetria é, em muitos casos, a ponte que conecta o ambiente físico ao digital, transformando informações captadas por sensores em dados processáveis por sistemas computacionais. Ela viabiliza o controle remoto e a automação de processos, reduzindo a dependência da intervenção humana em tarefas repetitivas e aumentando a eficiência. Além disso, a telemetria não se limita à coleta de dados; ela também possibilita a geração de percepções valiosas, otimizando processos e melhorando a tomada de decisões em diversas aplicações.

De acordo com [Mattos \(2004\)](#), um sistema de telemetria básico é composto por alguns elementos importantes, incluindo pelo menos um sensor, uma antena transmissora de baixo ganho, uma antena receptora de alto ganho, um receptor e um dispositivo de exibição. Esses componentes, quando integrados, tornam viável o envio, recepção e visualização dos dados de forma eficiente e confiável.

Os primeiros exemplos de aplicação da telemetria remontam ao setor aeroespacial, onde ela é utilizada para monitorar as condições de aeronaves e foguetes durante testes ou missões de voo. Sistemas de telemetria eram usados para transmitir informações como pressão, temperatura e velocidade de dispositivos em movimento para estações terrestres. Outro exemplo notável está na área de energia elétrica, onde a telemetria é implementada para monitorar o desempenho de redes de distribuição em tempo real. Essas aplicações iniciais demonstraram o potencial da tecnologia em ambientes críticos e de difícil acesso, pavimentando o caminho para seu uso em outros setores.

No contexto atual da Indústria 4.0, o conceito de telemetria foi amplamente expandido.

Com o avanço das tecnologias de comunicação, tornou-se possível enviar e receber dados em tempo real, utilizando a internet, satélites ou outros meios de transmissão. Essa evolução transformou a telemetria em um sistema integrado, composto por dispositivos capazes de monitorar, medir e enviar informações, uma infraestrutura de rede para transmissão dos dados, e um receptor que realiza o processamento, análise e interpretação dessas informações de forma eficiente e precisa.

Segundo [Rodrigues \(2023\)](#), para se obter um sistema de telemetria é necessário o conjunto de:

- Hardware embarcado no equipamento para obtenção dos dados e parâmetros do sistema por meio de sensores e dispositivos de processamento;
- Sistema de transmissão de dados que realiza a transferência dos dados via rede cabeada ou wi-fi para o usuário que irá realizar o monitoramento, podendo ser o próprio operador do equipamento ou alguém designado para tal que tenha acesso à rede de dados;
- Software de supervisão para processamento e análise dos dados e que em alguns casos pode permitir a interação com o usuário responsável pelo monitoramento.

#### 2.4.1 Microcontroladores

Os microcontroladores são componentes essenciais em sistemas de telemetria, atuando como intermediários entre os sensores e os sistemas de comunicação. Segundo [Kerschbaumer et al. \(2013\)](#), microcontroladores são circuitos integrados que possuem em seu interior todos os componentes necessários ao seu funcionamento, dependendo unicamente da fonte de alimentação externa. Pode-se dizer que os microcontroladores são computadores de um único chip.

O Raspberry Pi (Figura 8), com sua capacidade de processamento robusta e suporte a sistemas operacionais como Linux, foi empregado como o núcleo do sistema. Sua ampla compatibilidade com interfaces como GPIO, Ethernet e Wi-Fi facilita a integração com diferentes dispositivos e aplicações.

#### 2.4.2 Serviços em nuvem

Os serviços em nuvem são fundamentais em sistemas de telemetria, pois fornecem a infraestrutura necessária para armazenar, processar e analisar os dados coletados pelos microcontroladores. Esses serviços permitem que informações sejam acessadas de forma remota e em tempo real, facilitando a tomada de decisões e a supervisão de sistemas complexos.

Diversas plataformas de computação em nuvem oferecem soluções robustas para a integração de dispositivos IoT (Internet das Coisas). Elas permitem conectar dispositivos de telemetria à nuvem de maneira segura e escalável, suportando a transmissão de grandes volumes de dados em tempo real, o que garante a confiabilidade e segurança das informações.



Figura 8 – Raspberry Pi 5 Fonte: (Raspberry Pi, 2024).

## 2.5 SISTEMA MODULAR DE MONITORAMENTO E CONECTIVIDADE DA PATROL (HORUS)

O sistema modular desenvolvido pela Pattrol é um equipamento inovador projetado para fornecer conectividade e monitoramento em locais de difícil acesso, como os utilizados nas operações de sondagem. Esse sistema se destaca por ser um equipamento totalmente autossustentável, composto por uma carretinha equipada com um banco de baterias, painéis solares, uma torre ajustável de até 6 metros, câmeras para segurança e monitoramento, e conexão à internet via satélite, conforme ilustrado na Figura 9.

A principal função deste sistema é garantir a conectividade necessária para a comunicação entre os equipamentos de sondagem e os centros de controle remoto, possibilitando o envio e recebimento de dados em tempo real. Sendo fundamental para o funcionamento da telemetria, já que a transmissão dos dados coletados pelos sensores das perfuratrizes depende de uma conexão estável, especialmente em regiões afastadas onde a infraestrutura de comunicação tradicional é limitada ou inexistente.

O banco de baterias, alimentado pelos painéis solares, assegura que o sistema permaneça operacional mesmo em locais remotos e sem acesso à rede elétrica convencional. A torre ajustável, que pode ser elevada até 6 metros, proporciona a altura necessária para uma conexão de satélite eficiente, garantindo que a comunicação seja realizada de forma contínua, mesmo em ambientes de difícil acesso.

Além de sua função de conectividade, o sistema modular também desempenha um papel fundamental na segurança da operação. Equipado com câmeras para monitoramento visual, ele permite a vigilância do pátio de sondagem e da área ao redor, garantindo maior controle sobre a segurança do local de trabalho e a proteção dos equipamentos e funcionários.

Em virtude da confidencialidade das informações, opta-se por não detalhar a descrição

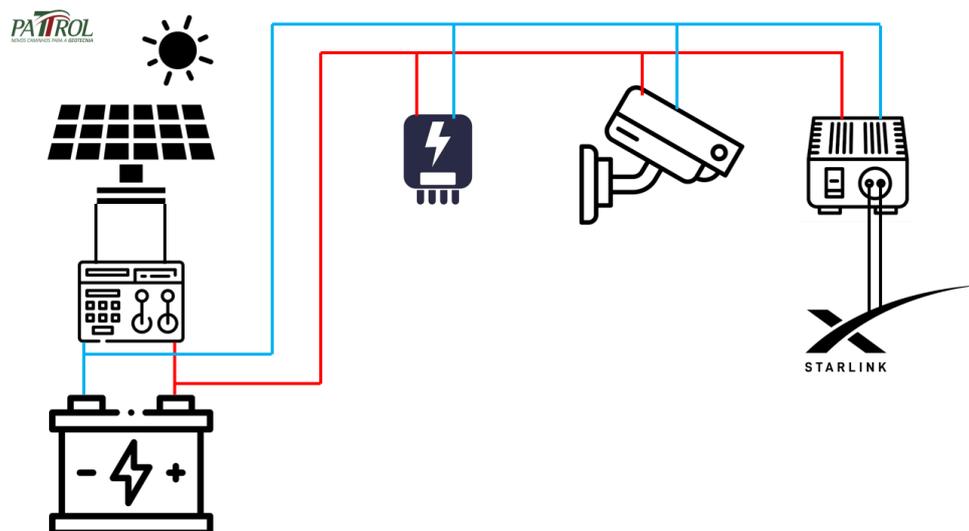


Figura 9 – Sistema de segurança e conectividade - Hórus. Fonte: (PATTROL, 2024).

do equipamento, a fim de proteger a tecnologia proprietária da empresa.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto seguiu uma abordagem sistemática e integrada, com o objetivo de implementar tecnologias de sensoriamento e monitoramento na perfuratriz Fraste Multidrill ML.

O processo de desenvolvimento foi estruturado em etapas interdependentes, abrangendo desde a instrumentação do equipamento até o estabelecimento de um sistema de monitoramento robusto, além da análise do potencial de automação de seus subsistemas. A colaboração estreita entre as equipes de engenharia digital e de manutenção da empresa Pattrol foi crucial para identificar os requisitos e desafios específicos do ambiente de mineração, assegurando que as soluções propostas fossem flexíveis e adaptadas às necessidades operacionais da perfuratriz.

Alem disso, para a elaboração deste trabalho, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, como um assistente de apoio à escrita. O uso da ferramenta concentrou-se nas seguintes tarefas:

- **Aprimoramento Textual:** Refinamento de parágrafos para melhorar a clareza, coesão e fluidez da redação acadêmica, como na otimização de trechos na seção de Desenvolvimento.
- **Revisão Gramatical e Estilística:** Correção de erros ortográficos e sugestão de alternativas para vocabulário técnico, garantindo a conformidade com a norma culta.
- **Auxílio na Estruturação de Ideias:** Organização de argumentos e síntese de informações para a construção de seções específicas.

É fundamental ressaltar que a IA foi empregada como uma ferramenta de produtividade. Todas as sugestões e conteúdos gerados foram submetidos a uma rigorosa revisão crítica, edição e validação pelo autor. A responsabilidade integral pelo conteúdo, incluindo a precisão técnica das informações, a originalidade, a estrutura argumentativa e as conclusões apresentadas, é exclusivamente do autor.

### 3.2 SENSORIAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO DA PERFURATRIZ

O sensoriamento constitui a base fundamental para qualquer sistema de telemetria e automação, sendo responsável pela coleta precisa de dados em tempo real sobre o funcionamento da perfuratriz. A implementação deste sistema foi um esforço colaborativo, envolvendo a

expertise das equipes de engenharia digital e manutenção, que possuem profundo conhecimento das operações diárias e dos desafios de manutenção em equipamentos de perfuração.

A partir de discussões técnicas aprofundadas com eletricitistas e mecânicos, foram identificados os sinais críticos e variáveis operacionais que necessitavam ser monitorados. O foco foi em variáveis que pudessem contribuir diretamente para a redução do tempo de inatividade das máquinas e a prevenção de falhas, melhorando a eficiência e confiabilidade das perfuratrizes. As variáveis mais relevantes para o sensoriamento e os tipos de sensores empregados incluem:

- **Rotação e Translação das Ancoragens:** Sensores de rotação foram instalados para monitorar o movimento das ancoragens, garantindo o posicionamento correto da perfuratriz e seu alinhamento com o solo durante a perfuração. Para a monitoração da translação das ancoragens, que permite o ajuste da posição da perfuratriz conforme as necessidades operacionais, foram utilizados sensores de deslocamento linear.
- **Controle do Cilindro Hidráulico:** Sensores de pressão hidráulica foram empregados para medir a profundidade da perfuração, possibilitando ajustes em tempo real que visam evitar danos ao sistema hidráulico e otimizar a eficiência do processo.
- **Inclinação da Torre:** Sensores de ângulo foram implementados para analisar o nivelamento da torre e permitir que seja perfurado no ângulo correto, aspecto crucial, especialmente em terrenos inclinados. Esta monitoração constante assegura o alinhamento adequado da perfuratriz.
- **Desempenho do Motor:** Sensores de rotação (RPM) e temperatura foram instalados para monitorar o funcionamento do motor, atua preventivamente contra sobrecargas e superaquecimento do equipamento.
- **Nível de Combustível e Temperatura do Óleo:** Sensores de nível de combustível garantem a continuidade das operações, evitando paradas inesperadas da perfuratriz. Adicionalmente, sensores térmicos no sistema hidráulico asseguram que o óleo opere dentro da faixa de temperatura adequada, protegendo os componentes do sistema.

A instalação dos componentes de sensoriamento foi executada com atenção meticulosa, garantindo que não houvesse interferência no funcionamento operacional da perfuratriz. Adicionalmente, um robusto sistema de proteção elétrica foi implementado em estrita conformidade com as diretrizes da Norma Regulamentadora NR-12, visando a salvaguarda dos operadores e a preservação da integridade do equipamento.

Inicialmente, o sistema de sensoriamento foi prototipado na perfuratriz Crawler III, servindo como uma plataforma para aquisição de conhecimento e como alicerce para o desenvolvimento subsequente do sistema de telemetria. A experiência obtida com o modelo Crawler

III revelou-se crucial para aprimorar a flexibilidade e a capacidade de personalização das configurações de sensoriamento no modelo *Crawler V* (Figura 15). Essa evolução tornou o sistema mais adaptável a diversas condições operacionais e possibilitou modificações estruturais que facilitaram a instalação de novos sensores e atuadores, bem como a substituição de acionamentos mecânicos por sistemas eletroeletrônicos.

O diagrama elétrico da máquina *Crawler III* (Figura 10), ilustra a estrutura original do sistema. A análise deste esquema permitiu identificar os principais desafios encontrados durante a fase inicial do projeto, notadamente a alta latência de transmissão entre o Controlador Lógico Programável (CLP), a unidade de Internet das Coisas (IoT Box) e a Interface Homem-Máquina (IHM), a deficiente conectividade via internet e a complexidade na programação personalizada dos equipamentos.

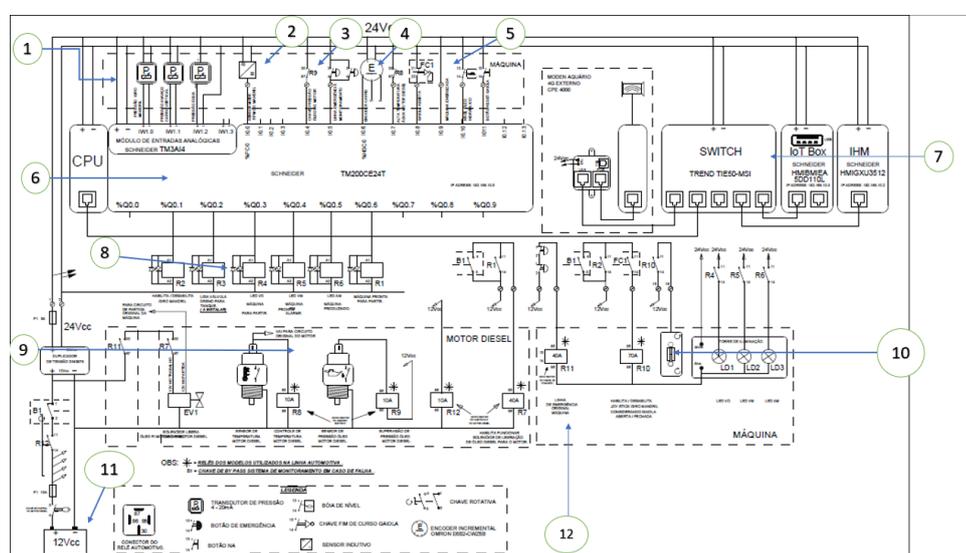


Figura 10 – Diagrama Elétrico da Perfuratriz. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

No desenvolvimento do novo projeto, a atenção foi direcionada à reestruturação da porção superior do diagrama, buscando aprimorar a comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP), a unidade de Internet das Coisas (IoT Box) e a Interface Homem-Máquina (IHM). A validação da comunicação bidirecional com o CLP foi realizada por meio de um hardware baseado em Raspberry Pi. Para tanto, o processo envolveu a conexão de um sensor a uma bomba hidráulica, que por sua vez foi conectada ao CLP. Através do hardware, foram emitidos comandos para acionar a bomba, e a resposta do sistema foi monitorada, confirmando a capacidade de comunicação bidirecional.

Posteriormente, iniciou-se a configuração da Interface Homem-Máquina (IHM), que consistiu no desenvolvimento das telas de visualização necessárias para apresentar dados relevantes ao monitoramento do operador e à análise das equipes internas. Para garantir a confiabilidade da solução, foram conduzidos testes rigorosos em duas frentes: na configuração elétrica, avaliando a estabilidade da alimentação e a integridade das conexões físicas; e no software, verificando o

desempenho em multitarefa e a estabilidade da aplicação após longos períodos de uso contínuo, assegurando assim o funcionamento adequado da interface.

Finalmente, os estados de comunicação da IoT tanto com o CLP quanto com a nuvem foram configurados, culminando na integração completa do sistema no equipamento.

1. **Sensores de Pressão:** Sensores para medição de pressão do mandril e avanço do furo.
2. **Sensor Indutivo de Rotação do Mandril:** Detecta a velocidade de rotação do mandril.
3. **Sistema de Controle de Pressão do Óleo do Motor e Monitoramento de Emergência:** Gerencia a pressão do óleo do motor e ativa linhas de segurança.
4. **Encoder Incremental:** Monitora a posição e o movimento de componentes.
5. **Sensores de Monitoramento Ambiental e de Segurança:**
  - **Sensor de Alta Temperatura da Água:** Previne superaquecimento do sistema de arrefecimento.
  - **Sensor de Fechamento da Gaiola:** Assegura o fechamento da gaiola de segurança.
  - **Status de Emergência da Máquina:** Indica o estado crítico da máquina.
  - **Boia de Nível do Óleo Hidráulico:** Monitora o nível do óleo no sistema hidráulico.
6. **CLP (Controlador Lógico Programável):** Unidade central de controle que processa dados e comanda atuadores.
7. **Sistema de Comunicação e Monitoramento Integrado:**
  - **Switch:** Gerencia a comunicação de rede.
  - **IoT Box:** Permite coleta e transmissão de dados via IoT.
  - **IHM (Interface Homem-Máquina):** Painel de controle para interação do operador.
8. **Relés de Acionamento e Monitoramento Operacional:**
  - **Relé de Acionamento do Mandril:** Controla a ativação e desativação do mandril.
  - **Relé de Nível Dentro do Tanque:** Monitora o nível interno de tanques.
  - **Relé de Partida:** Gerencia o processo de inicialização da máquina.
  - **Relé de Monitoramento da Máquina:** Fornece feedback operacional (produção, alarme, prontidão).
9. **Componentes do Sistema de Lubrificação e Controle Térmico do Motor Diesel:**
  - **Solenóide de Liberação de Óleo para Partida do Motor Diesel:** Controla o fluxo de óleo para a partida do motor.

- **Sensor de Temperatura do Óleo do Motor:** Monitora a temperatura do óleo lubrificante.
- **Controle de Temperatura do Motor Diesel:** Regula a temperatura operacional do motor.
- **Sensor de Pressão do Óleo do Motor:** Mede a pressão do óleo lubrificante.
- **Controle de Pressão do Óleo do Motor:** Regula a pressão do óleo para lubrificação.
- **Habilitação do Solenoide de Liberação do Óleo Motor:** Ativação do solenoide de liberação de óleo.

#### 10. Alimentação e Habilitação de Sistemas de Segurança e Iluminação:

- **Alimentação para Linha de Emergência da Máquina:** Fornece energia aos circuitos de emergência.
- **Habilitação do Joystick com Gaiola de Segurança Fechada:** Permite operação do joystick com gaiola fechada.
- **Torres de Iluminação:** Proporcionam iluminação para a área de trabalho.

#### 11. Alimentação Elétrica Principal da Máquina: Ponto de entrada de energia do sistema.

### 3.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO E TELEMETRIA

O monitoramento da perfuratriz teve como objetivo principal a medição precisa e em tempo real dos parâmetros de operação e manutenção. Estas informações são acessíveis localmente através de uma Interface Homem-Máquina (IHM) instalada no painel de controle da perfuratriz, e remotamente por meio de um servidor central da empresa, permitindo a supervisão em diferentes níveis, conforme ilustrado na Figura 11.

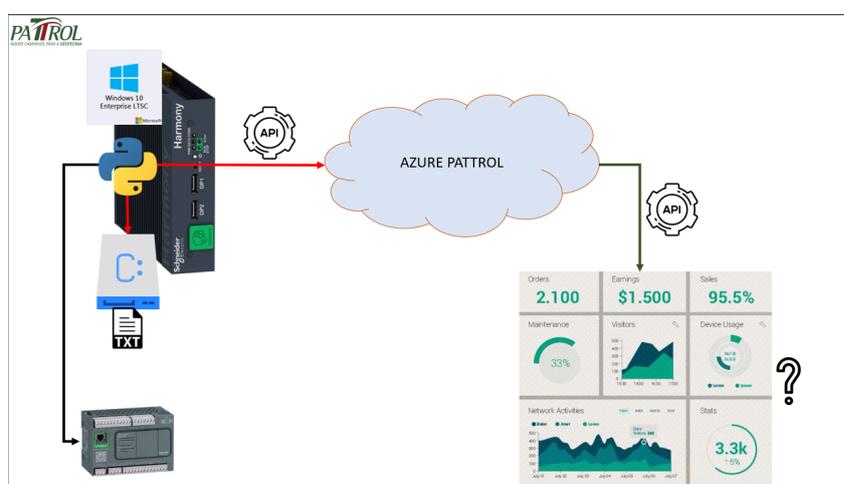


Figura 11 – Fluxo de dados para monitoramento. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

O sistema de monitoramento é composto pelos seguintes elementos interconectados:

- **Interface Homem-Máquina (IHM) de Operação(Figura 12):** Atua como a interface primária para o operador local, exibindo variáveis operacionais críticas e possibilitando a interação com o sistema.



Figura 12 – IHM aferindo o nível de inclinação da torre. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

- **Controlador Lógico Programável (CLP) (Figura 13):** Responsável pela aquisição dos sinais dos sensores, processamento lógico e comunicação com os demais componentes do sistema.

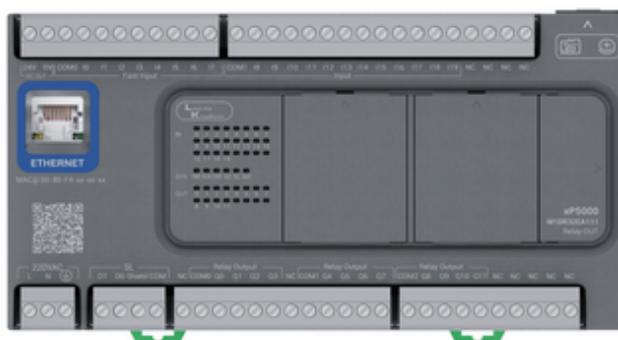


Figura 13 – CLP Logic Controller modelo Modicon Easy M200 da Schneider Electric Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

- **Sensores para Conversão de Variáveis Físicas:** Dispositivos que captam as grandezas físicas do equipamento (pressão, temperatura, posição, etc.) e as convertem em sinais elétricos interpretáveis pelo CLP.
- **Hardware para Transmissão de Dados (Gateway IoT):** Equipamento embarcado que gerencia a comunicação e o envio dos dados para a nuvem.
- **Aplicação remota para monitoramento, controle e registro:** Plataforma em nuvem e dashboards para visualização, análise e armazenamento dos dados operacionais.

Esses componentes operam em conjunto para fornecer uma visualização abrangente e em tempo real dos dados operacionais. Tal abordagem facilita a identificação de anomalias, otimiza processos e auxilia as equipes de manutenção na prevenção de falhas. Os dados coletados são armazenados no servidor interno da empresa, fornecendo informações detalhadas sobre as operações, como tempo de funcionamento e ocorrência de falhas, que são valiosas para a tomada de decisões.

Para garantir a transmissão confiável dos dados, mesmo em ambientes remotos e com restrições de conectividade, foi implementada uma solução de Internet das Coisas (IoT). O sistema emprega os dispositivos modulares Horus, desenvolvidos pela Pattrol, que estabelecem a conexão com a internet (via satélite, se necessário), permitindo o envio contínuo dos dados operacionais para o servidor da empresa.

A IHM Harmony (Figura 14) atuou como um pilar central para a integração com os demais componentes do projeto. Sendo um equipamento de tela tátil com conectividade serial (COM) e Ethernet, facilitou a comunicação com o controlador e o acompanhamento dos dados salvos em nuvem. Após a realização de testes de funcionalidade e validação, procedeu-se ao desenvolvimento e configuração das páginas de interatividade. A IHM foi projetada para oferecer comandos intuitivos de partida e emergência, além de exibir os dados coletados por cada sensor. Adicionalmente, funcionalidades para geração de gráficos dos dados históricos foram incorporadas, aprimorando a capacidade de análise do operador.

A escolha do hardware embarcado, o Raspberry Pi (Figura 8), foi motivada por sua robustez, capacidade de processamento e adaptabilidade a ambientes industriais hostis. Um código desenvolvido em Python foi implementado para gerenciar a leitura dos dados provenientes do CLP, organizando-os em uma estrutura de fila para posterior envio ao servidor. Essa abordagem garantiu a integridade e a ordem das informações, fundamentais para a análise subsequente.

No desenvolvimento do código responsável pelo processamento, armazenamento e transmissão dos dados na unidade IoT, definiu-se que os dados coletados seriam armazenados em uma estrutura de fila. Além disso, foi implementado um mecanismo de armazenamento local para mitigar perdas em caso de interrupções na conectividade à internet. Uma estratégia crucial adotada foi a de enviar os dados somente após o acúmulo de um número predefinido de registros.



Figura 14 – IHM da Schneider Electric, modelo: Harmony-ST6HMIST6400. Fonte: [Pattrol \(2024\)](#).

Essa decisão técnica visou evitar conflitos e a consequente perda de dados que poderiam ocorrer ao tentar receber e enviar informações simultaneamente, especialmente considerando o volume significativo de dados transmitidos por segundo.

## 4 RESULTADOS

A implementação da instrumentação e do sistema de telemetria na perfuratriz Fraste Multidrill ML (Figura 15) proporcionou uma coleta abrangente e contínua de dados operacionais. Essa abordagem resultou em uma visão detalhada do desempenho do equipamento e das condições de trabalho, cujas informações, obtidas diretamente das intervenções metodológicas, confirmam o impacto positivo dessas tecnologias na eficiência e segurança das operações de sondagem.



Figura 15 – Perfuratriz FRASTE MULTIDRILL ML. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

### 4.0.1 Dados Operacionais Monitorados e sua Relevância

A Interface Homem-Máquina (IHM), instalada no painel de controle da perfuratriz, estabeleceu-se como a ferramenta principal para a visualização em tempo real das variáveis operacionais críticas. Parâmetros como rotação do cabeçote, inclinação da torre, temperatura do motor e nível de combustível foram monitorados. A capacidade da IHM de exibir esses dados de forma clara e instantânea, juntamente com a funcionalidade de geração de gráficos de dados históricos, otimizou significativamente a capacidade de análise do operador. Essa otimização permite decisões mais informadas e ágeis durante as operações de perfuração.

A coleta e análise contínua desses dados, visto nas Figuras 16 e 17, acessíveis tanto localmente quanto remotamente através de um servidor central, viabilizaram a detecção precoce de desvios operacionais e a otimização dos parâmetros de perfuração. Este processo é crucial para



Figura 16 – Leitura de pressão de avanço no painel IHM. Fonte: Autor.

identificar potenciais problemas antes que evoluam para falhas graves, contribuindo diretamente para a eficiência operacional e, conseqüentemente, para a segurança das atividades de sondagem. Os dados, armazenados no servidor interno da empresa, fornecem informações detalhadas sobre as operações, como tempo de funcionamento e ocorrência de falhas, revelando-se inestimáveis para a tomada de decisões estratégicas.

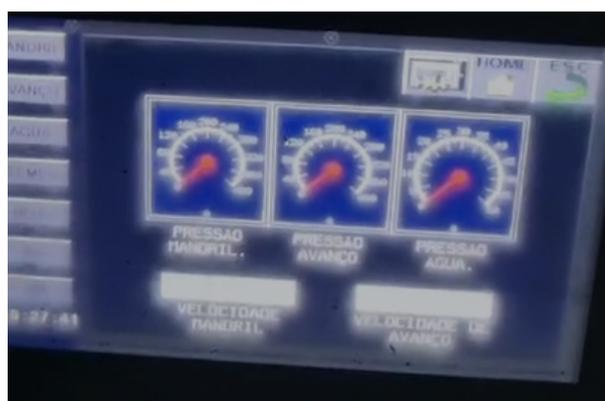


Figura 17 – Monitoramento de estado da máquina. Fonte: [Pattrol \(2024\)](#).

#### 4.0.2 Impacto Quantificável da Instrumentação e Telemetria

Os resultados da aplicação do sistema de instrumentação e telemetria demonstram impactos tangíveis na operação da perfuratriz, refletindo diretamente as melhorias alcançadas. A análise dos dados coletados revelou benefícios claros e mensuráveis, conforme detalhado a seguir:

- **Redução de Eventos de Manutenção Não Planejada:** O monitoramento contínuo e a detecção preditiva de anomalias resultaram em uma redução significativa de eventos de manutenção não planejada. A intervenção baseada em dados em tempo real permitiu que ações corretivas fossem tomadas antes da ocorrência de falhas críticas, minimizando o tempo de inatividade da máquina. A experiência observada indicou que a máquina telemetrizada demandou metade do tempo para manutenção preditiva em comparação com outras máquinas durante a parada anual de operação;
- **Diminuição nas Quebras de Equipamentos:** A operação dentro dos parâmetros ideais, controlada pelos dados de sensoriamento, e a proteção contra uso inadequado contribuíram para uma diminuição nas quebras de equipamentos. A longevidade dos componentes e do equipamento como um todo foi diretamente impactada pela supervisão e controle aprimorados;

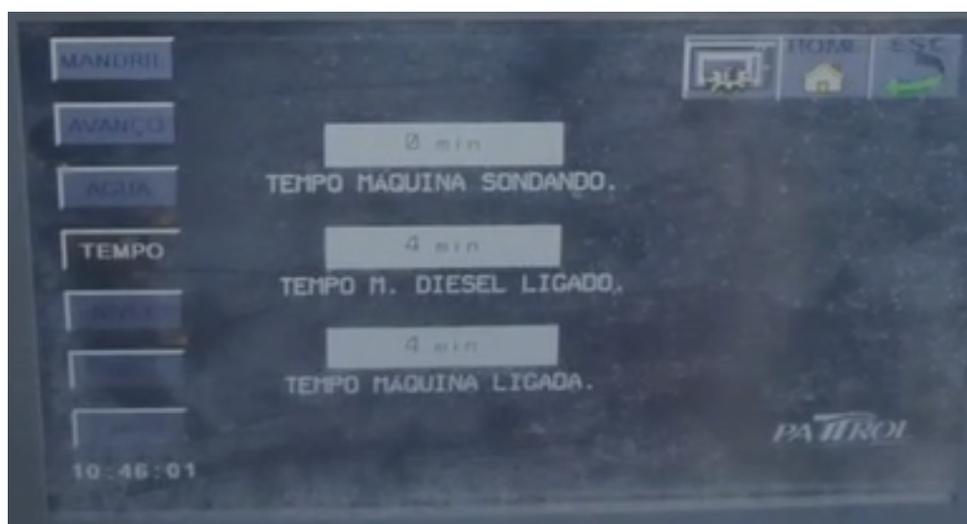


Figura 18 – Tempo de operação da máquina. Fonte:Autor.

- **Aumento na Disponibilidade Física (DF):** Consequentemente à redução de paradas e quebras, observou-se um aumento direto na disponibilidade física do equipamento (Figura 18). Isso implica que a perfuratriz permaneceu apta e disponível para operar por um período significativamente maior, impactando positivamente a produtividade geral;
- **Redução no Consumo de Combustível:** A otimização dos processos de perfuração, impulsionada pelo controle preciso de variáveis como rotação e torque, levou a uma diminuição no consumo de combustível. Os dados coletados indicaram uma redução de 20% no consumo em comparação com máquinas não instrumentadas, evidenciando a eficiência energética alcançada.

#### 4.0.2.1 Monitoramento Remoto e Gestão de Operações

O sistema de instrumentação e telemetria implementado garantiu um monitoramento remoto abrangente (Figura 19) e a efetiva aplicação de estratégias de manutenção preditiva. Isso reduziu drasticamente a necessidade de visitas frequentes ao local para manutenção, otimizando o planejamento logístico e os custos associados.

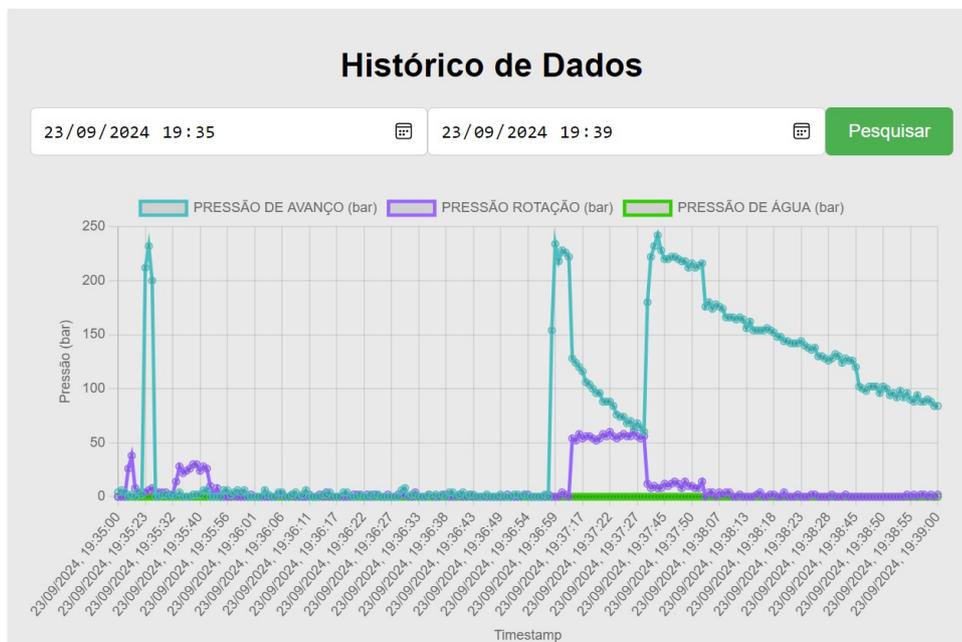


Figura 19 – Histórico de medições aferidas das pressões de avanço, rotação e de água. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

A coleta e transmissão de dados em tempo real, utilizando as tecnologias de conectividade providas pelo sistema Horus, asseguraram o envio contínuo de dados operacionais para um servidor central. Essa capacidade permitiu que o gestor de operações analisasse o progresso do trabalho, acompanhando-o diretamente do escritório. Foi possível programar o tempo de operação restante e controlar e orientar a equipe supervisionada com base em informações atualizadas e precisas.

A robustez do projeto foi comprovada em diferentes tipos de ambiente e situações, demonstrando a segurança e a fidelidade aos objetivos iniciais. A adaptabilidade do sistema a condições adversas reforça a eficácia da solução proposta, produzindo a solução apresentada na Figura 20.



Figura 20 – Máquina pronta para operação. Fonte: [Patrol \(2024\)](#).

## 5 CONCLUSÃO

Com base na instrumentação e no sistema de monitoramento implementados e detalhados neste trabalho, a perfuratriz Fraste Multidrill ML está agora equipada com uma base tecnológica robusta, fundamental para futuras incursões no campo da automação. Embora a automação completa dos movimentos da perfuratriz não tenha sido o escopo principal desta fase do projeto, a análise das tecnologias disponíveis e a integração dos sistemas de sensoriamento e telemetria já em funcionamento demonstram a viabilidade e o potencial para a implementação gradual de um sistema de automação completo em etapas subsequentes.

A perfuratriz já incorpora um sistema de controle remoto por joystick, que permite ao operador realizar movimentos precisos e controlados da máquina a partir de uma distância segura, essencial para operações em ambientes adversos. Esta base funcional serve como um ponto de partida para a expansão do controle remoto para outras funcionalidades, como a automação dos acionamentos de ancoragem, inclinação da torre e movimentação das patolas.

Adicionalmente, a Interface Homem-Máquina (IHM) não apenas permite ao operador visualizar em tempo real os dados sensorizados (rotação, inclinação da torre, temperatura do motor, nível de combustível, etc.), mas também pode ser configurada para receber comandos. Isso abre caminho para o controle dos acionamentos e ajustes de inclinação da torre diretamente por meio de uma interface gráfica intuitiva, consolidando um ambiente propício à automação.

A seguir, são detalhadas as principais possibilidades de automação para os subsistemas da perfuratriz, considerando a sequência lógica de operação do equipamento, o que ilustra os próximos passos viáveis para a evolução tecnológica do equipamento.

### 5.1 ANÁLISE E POTENCIAL DE AUTOMAÇÃO DOS SUBSISTEMAS DA PERFURATRIZ

Embora a automação completa dos movimentos da perfuratriz Fraste Multidrill ML não tenha sido o escopo principal desta fase do projeto, o sistema de instrumentação e monitoramento implementado preparou a máquina com uma base sólida para futuras implementações de automação. A análise das tecnologias disponíveis e a integração dos sistemas de sensoriamento e monitoramento já em funcionamento tornam viável a implementação de um sistema de automação completo em etapas subsequentes.

A perfuratriz já incorpora um sistema de controle remoto por joystick, que permite ao operador realizar movimentos precisos e controlados da máquina a partir de uma distância segura, essencial para operações em ambientes adversos. Esta base funcional é um ponto de partida para a expansão do controle remoto para outras funcionalidades, como a automação dos acionamentos de ancoragem, inclinação da torre e movimentação das patolas.

A Interface Homem-Máquina (IHM) permite ao operador visualizar em tempo real os dados sensorizados (rotação, inclinação da torre, temperatura do motor, nível de combustível, etc.). Mais importante, a IHM pode ser configurada para receber comandos do operador, abrindo caminho para o controle dos acionamentos e ajustes de inclinação da torre diretamente por meio de uma interface gráfica intuitiva.

A seguir, são detalhadas as possibilidades de automação para os principais subsistemas da perfuratriz, considerando a sequência lógica de operação do equipamento:

### 5.1.1 Ordem de Movimentos e Subsistemas para Automação

Para garantir a segurança e a eficiência da operação, a perfuratriz segue uma sequência bem definida de movimentos antes da perfuração propriamente dita. Esta ordem é crucial para o planejamento de qualquer automação e compreende as seguintes etapas:

- **Posicionamento:** A perfuratriz é movida para o local de perfuração desejado.
- **Ancoragem:** O sistema de ancoragem é acionado para fixar a máquina ao solo.
- **Acionamento das Patolas:** As patolas são estendidas para elevar e nivelar a máquina.
- **Levantamento e Inclinação da Torre:** A torre é levantada e ajustada ao ângulo de perfuração requerido.

Com base nesta sequência, os subsistemas que apresentam maior potencial para automação, utilizando os dados de sensoriamento já disponíveis ou que podem ser integrados, são os acionamentos de ancoragem, as patolas e a inclinação da torre.

### 5.1.2 Potencial de Automação dos Acionamentos de Ancoragem

A ancoragem é uma etapa crítica para a estabilidade da perfuratriz durante a operação, pois trava a máquina ao solo, prevenindo levantamentos, tombamentos ou inclinações excessivas sob a força de perfuração. A automação deste processo poderia ser implementada utilizando os sensores de pressão e posicionamento já instalados (ou que podem ser adaptados) que monitoram o contato e a força das âncoras com o solo.

Com base nos dados coletados por esses sensores, o sistema pode ser programado para ajustar automaticamente a força de ancoragem, garantindo que a máquina esteja firmemente fixada antes do início da perfuração. A integração com o Controlador Lógico Programável (CLP) permitiria que o sistema realizasse ajustes em tempo real, considerando parâmetros pré-definidos como o tipo de solo e a inclinação do terreno. Isso aumentaria a precisão e a segurança do travamento, reduzindo a dependência da intervenção manual do operador.

### 5.1.3 Potencial de Automação dos Acionamentos das Patolas

As patolas complementam o sistema de ancoragem, elevando a máquina para aumentar a segurança do travamento e garantir que a perfuratriz esteja nivelada e estável durante a aplicação da força de perfuração.

A automação do acionamento das patolas pode ser realizada com base em sensores de nível e inclinação, que já monitoram a posição da máquina em relação ao solo. Com a implementação de um sistema de controle automatizado, as patolas poderiam ser ajustadas automaticamente para nivelar a perfuratriz antes da perfuração, sendo particularmente útil em terrenos irregulares. Além disso, a automação permitiria o ajuste da altura da máquina com base nas condições do terreno, otimizando a posição ideal para a perfuração e reduzindo o tempo de ajustes manuais.

### 5.1.4 Potencial de Automação da Inclinação da Torre

A torre da perfuratriz necessita ser ajustada para garantir que a perfuração seja realizada no ângulo correto, conforme os parâmetros definidos pelo operador. Este ajuste deve ocorrer somente após a máquina estar firmemente fixada e estável, por questões de segurança, ou seja, após as etapas de ancoragem e acionamento das patolas e nivelamento da base.

Para a automação da inclinação da torre, sensores de inclinação e posicionamento já em uso podem monitorar o ângulo da torre em tempo real. Com base nesses dados, o sistema poderia ajustar automaticamente a inclinação, assegurando que a perfuração seja realizada no ângulo preciso. A automação deste processo permitiria que o operador selecionasse diferentes tipos de inclinação diretamente pela IHM, facilitando a execução de trabalhos específicos com maior otimização.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. d. Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. *São Paulo: Érica*, 2019. 2019. Nenhuma citação no texto.
- CURI, A. *Minas a céu aberto: planejamento de lavra*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2014. Nenhuma citação no texto.
- Fraste. *Fraste - Online Collaboration Tool*. 2025. Acesso em: 13 mai. 2025. Nenhuma citação no texto.
- GERMANI, D. J. A mineração no brasil. *Relatório Final, Brasil*, 2002. 2002. Nenhuma citação no texto.
- KERSCHBAUMER, R. et al. Microcontroladores. *Santa Catarina, Brasil*, 2013. 2013. Nenhuma citação no texto.
- MATTOS, A. N. de. *Telemetria e conceitos relacionados*. [S.l.]: Alessandro Nicoli de Mattos, 2004. Nenhuma citação no texto.
- MIRANDA, A. R. L.; REIS, A. J. da R.; VIEIRA, P. H. Sistema de monitoramento e automacao para perfuratrizes hidraulicas de grande porte. 2017. 2017. Nenhuma citação no texto.
- PATTROL. *Pattrol*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.pattrol.com.br/>>. Nenhuma citação no texto.
- PUPO, M. S. *Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2002. Nenhuma citação no texto.
- Raspberry Pi. *Raspberry Pi 5*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/>>. Nenhuma citação no texto.
- RIBEIRO, M. A. Instrumentação. *Tek Treinamentos LTDA*, 1999. v. 16, 1999. Nenhuma citação no texto.
- RODRIGUES, L. Q. Automação dos processos de nivelamento e angulação do mastro de uma perfuratriz. 2023. 2023. Nenhuma citação no texto.
- Schneider Electric. *Modicon Easy M200*. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://www.se.com/br-pt/product-range/62882-modicon-easy-m200/>>. Nenhuma citação no texto.
- SEGOVIA, V. R.; THEORIN, A. History of control history of plc and dcs. *University of Lund*, 2012. v. 44, p. 45, 2012. Nenhuma citação no texto.
- WENDLING, M. Sensores. *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, 2010. v. 2010, p. 20, 2010. Nenhuma citação no texto.