



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



LARISSA QUINTÃO RODRIGUES

**AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE NIVELAMENTO E ANGULAÇÃO
DO MASTRO DE UMA PERFURATRIZ**

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

Ouro Preto, 2023

LARISSA QUINTÃO RODRIGUES

**AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE NIVELAMENTO E ANGULAÇÃO
DO MASTRO DE UMA PERFURATRIZ**

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: Profa. Adrielle de Carvalho Santana, Dra.

Coorientador: Eng. William Adeilton Nascimento Martins

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
2023**



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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Larissa Quintão Rodrigues

Automação dos Processos de Nivelamento e Angulação do Mastro de uma Perfuratriz

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

Aprovada em 22 de março de 2023

Membros da banca

Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng. William Adeilton Nascimento Martins - Coorientador (Companhia Siderúrgica Nacional)
Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Convidado (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Alan Kardek Rego Segundo - Convidado - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/03/2023, às 15:30, 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, informando o código verificador **0495153** e o código CRC **B72A3970**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, que me concedeu a saúde, a sabedoria e a perseverança necessárias para enfrentar os desafios que surgiram ao longo desta jornada acadêmica. Gostaria de agradecer especialmente à minha família, que sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida. Seu amor incondicional, incentivo e suporte foram essenciais para que eu pudesse dedicar-me aos estudos e alcançar este objetivo tão importante. Também quero expressar minha gratidão a minha orientadora, Adrielle, que sempre esteve disponível para esclarecer minhas dúvidas, orientar-me em relação aos procedimentos e me oferecer feedbacks valiosos para o desenvolvimento do projeto. Não poderia deixar de mencionar o meu coorientador, William, que desde o início me apoiou, incentivou e orientou com sua vasta experiência, conhecimento e sabedoria. Suas críticas construtivas e sugestões foram imprescindíveis para que eu pudesse aprimorar meu trabalho. Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada! Que Deus continue abençoando nossas vidas e nos dando sabedoria e discernimento para alcançarmos nossos objetivos.

RESUMO

Os avanços em automação e robótica estão cada vez mais incluídos na sociedade, mudando de forma significativa todo o meio e as pessoas ao seu redor. Na mineração não é diferente. O ramo da automação vem crescendo e evoluindo com objetivos de aumentar produção, segurança, diminuir custos e manter empresas competitivas no mercado. Objetiva-se com este trabalho apresentar o desenvolvimento do sistema de automatização de um equipamento de perfuração de mina a céu aberto, visando o aumento do índice de utilização do equipamento, melhorias na segurança de operação, redução de custos e manter a empresa competitiva no mercado atual. Os processos são realizados em etapas, seguindo o estudo, instalação dos sensores e equipamentos auxiliares e o teste realizado com o equipamento na mina. O projeto tornou possível o desenvolvimento de etapas de automação e controle no equipamento com um custo menor comparado a soluções já existentes no mercado e aplicadas em perfuratrizes, resultando em maior disponibilidade física, redução de manutenções, aumento de produtividade e operação mais segura, garantindo o funcionamento do equipamento dentro das suas condições operacionais. Os resultados obtidos possibilitaram a aprovação da mineradora para a compra do sistema de monitoramento e replicação nas demais perfuratrizes. Também despertou o interesse em implantar o sistema de automação em toda sua frota após finalizar a instalação total no primeiro equipamento. Como sequência deste projeto serão desenvolvidos os comandos de perfuração automática e locomoção remota.

Palavras-chaves: Equipamento de perfuração; Sensores; Mina autônoma e Mineração.

ABSTRACT

Advances in automation and robotics are increasingly included in society, significantly changing the entire environment and the people around them. Mining is no different. The field of automation has been growing and evolving with the aim of increasing production, safety, reducing costs and keeping companies competitive in the market. The objective of this work is to present the development of an automation system for an open-pit mine drilling equipment, aiming at increasing the equipment utilization rate, improving operational safety, reducing costs and keeping the company competitive in the market. current. The processes are carried out in stages, following the study, installation of sensors and auxiliary equipment and the test carried out with the equipment in the mine. The project made it possible to develop automation and control stages in the equipment at a lower cost compared to existing solutions on the market and applied in drilling rigs, resulting in greater physical availability, reduced maintenance, increased productivity and safer operation, ensuring the operation of the equipment within its operating conditions. The results obtained made it possible for the mining company to approve the purchase of the monitoring and replication system in the other drilling rigs. It also aroused interest in implementing the automation system throughout its fleet after completing the full installation of the first piece of equipment. As a sequel to this project, automatic drilling and remote locomotion commands will be developed.

Key-words: Drilling equipment; Sensors; Autonomous mine and Mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Perfuratriz Caterpillar MD6290. Fonte: Caterpillar (2014)	13
Figura 2 – Vista superior perfuratriz Caterpillar MD6290	14
Figura 3 – Vista lateral perfuratriz Caterpillar MD6290	15
Figura 4 – Painel de controle do operador. Fonte: Manual	16
Figura 5 – Painel do manômetro do sistema. Fonte: Manual	16
Figura 6 – Relés. Fonte: Eletricidade (2017)	20
Figura 7 – CLP SIMATIC S7-300. Fonte: SIEMENS (2023)	21
Figura 8 – Tipos de rádios. Fonte: Autor	23
Figura 9 – Tipos de antenas GPS/GNSS e Wifi. Fonte: Adaptado de SITECH	24
Figura 10 – Switches Siemens. Fonte: Siemens (2023)	25
Figura 11 – Rede de comunicação do sistema de despacho. Fonte: Autor	26
Figura 12 – Perfuratriz de esteira modelo MD6290. Fonte: Autor	27
Figura 13 – <i>Timeline</i> do projeto de telemetria. Fonte: Autor	28
Figura 14 – Fluxograma de execução das lógicas de controle da perfuratriz. Fonte: Autor	31
Figura 15 – Perfuratriz nivelada. Fonte: Autor	32
Figura 16 – Angulação do mastro da perfuratriz. Fonte: Autor	33
Figura 17 – Tabela disponibilizada na IHM. Fonte: Autor	34
Figura 18 – Gráfico disponibilizado na IHM. Fonte: Autor	34
Figura 19 – Painel atualizado após implantação do sistema. Fonte: Autor	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela descrição dos componentes do painel de controle. Fonte: Autor . . . 17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência artificial
IoT	Internet das coisas
DF	Disponibilidade Física
IHM	Interface Homem Máquina
KPI	Indicadores chave de performance
LAN	Rede Local
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTTR	Tempo médio de reparo
CLP	Controlador lógico programável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contextualização	10
1.2	Objetivos geral e específicos	11
1.3	Justificativa do trabalho	11
1.4	Estrutura do trabalho	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Automação na mineração	12
2.2	Perfuratriz Caterpillar MD6290	13
2.3	Telemetria	18
2.4	Instrumentação	19
2.4.1	<i>Sensores</i>	19
2.4.2	<i>CLP</i>	20
2.4.3	<i>IHM</i>	21
2.5	Infraestrutura de rede	22
3	DESENVOLVIMENTO	27
3.1	Metodologia	27
3.2	Sensoriamento	27
3.3	Monitoramento	29
3.4	Controle e Automação	30
4	RESULTADOS	34
5	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Há duas maneiras de extração do bem mineral da natureza na mineração: uma por meio da lavra subterrânea e outra de lavra a céu aberto. Denomina-se lavra a céu aberto aquela na qual todo o processo de remoção do material é realizado em ambiente ao ar livre, em contrapartida a lavra subterrânea se dá em profundidade em ambiente fechado (CARLI, 2013). A lavra a céu aberto é mais aplicada atualmente do que a lavra subterrânea, visto as vantagens, tais como maior produtividade, menor custo operacional, maior flexibilidade e maior segurança.

No processo de exploração mineral a céu aberto, em situações em que o material a ser desmontado apresenta grande dureza é utilizado o desmonte a fogo. Diante disso é feito o uso da perfuração e posteriormente o desmonte por meio de explosivos. A perfuração de rochas é uma operação de grande importância e impacto no orçamento da mina, sendo a primeira operação do processo a ser realizada, possuindo grande relevância na obtenção de bons resultados no desmonte e carregamento dos materiais. De maneira geral, as perfuratrizes podem ser percussivas ou rotativas. Nas percussivas a rocha é quebrada por uma combinação de rotação da broca e impactos percussivos de alta frequência transmitida pela broca para a rocha, sendo o impacto percussivo fornecido por pressão pneumática ou hidráulica. Nas perfuratrizes rotativas, a broca de perfuração é rotacionada contra a rocha, realizando grandes furos, sendo a energia necessária proveniente de energia elétrica ou combustão à diesel (DARLING, 2011).

Os avanços em automação e robótica, entretanto, têm o potencial de mudar de forma significativa como a mineração é conduzida em muitas operações atuais e futuras, com o objetivo de reduzir os custos, evitar acidentes, aumentar a produção e manter as empresas competitivas no mercado (DARLING, 2011).

Apresenta-se neste trabalho o processo de automação, desde o início, da perfuratriz de bancada MD6290, de uma mineradora de grande porte situada na região de Minas Gerais, visando menor custo, aumento de produtividade, aumento do índice da utilização do equipamento, melhorias na segurança de operação, redução de custos com manutenção, melhoria na qualidade da malha perfurada e dos *Key Performance Indicators* (KPI's) de *Mean Time Between Failures* (MTBF) e *Mean Time To Repair* (MTTR). Esse processo foi realizado em etapas, referentes ao sensoramento, automação da perfuração e automação do nivelamento. As informações apresentadas ao longo do trabalho estão limitadas devido a política de privacidade da empresa.

1.2 Objetivos geral e específicos

Tem-se como objetivo geral a automatização dos processos da perfuratriz MD6290, tendo em vista melhor produtividade, qualidade e segurança dos processos.

Como objetivos específicos, almeja-se:

- Sensoriamento da perfuratriz;
- Monitoramento dos dados produzidos pela perfuratriz;
- Automação das funções de nivelamento do equipamento;
- Automação da angulação do mastro do equipamento.

1.3 Justificativa do trabalho

A motivação para este trabalho surge da busca constante de otimização dos processos de manutenção e produção dos ativos da empresa, fazendo-se necessário cada vez mais a obtenção de dados em tempo real dos ativos para auxiliar nas tomadas de decisões estratégicas, visando reduzir as ocorrências de falhas não programadas bem como extrair a máxima eficiência dos ativos. Em virtude da grande competitividade entre as empresas do setor mineral, é necessário cada vez mais aprimorar as técnicas de extração e produção de minério de ferro, objetivando o aumento de desempenho, redução de custos com manutenção e aumento de utilização.

Por conseguinte, por meio da implementação de novas tecnologias, esse projeto permite extrair o potencial máximo dos ativos sem colocá-los em risco, agindo com flexibilidade para absorver mudanças nos perfis de operação e manter as atividades dentro dos indicadores exigidos nas esferas de saúde, segurança e meio ambiente.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho é estruturado em cinco capítulos. No primeiro é descrito toda a introdução ao projeto contendo as justificativas e os objetivos do mesmo. No segundo capítulo é disposto toda a revisão bibliográfica, contendo os temas que deram subsídio à elaboração do projeto. No terceiro capítulo é estruturado todo o desenvolvimento do projeto e suas fases. No quarto e quinto capítulo seguem os resultados e a conclusão do trabalho, respectivamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Automação na mineração

Segundo [Coulson \(2012\)](#), a mineração é uma atividade humana antiga que remonta à pré-história, quando as pessoas extraíam minerais para fabricar ferramentas e armas. Com o passar dos séculos, a mineração evoluiu para incluir métodos mais avançados, como a utilização de explosivos e máquinas pesadas.

Na antiguidade, a mineração era uma atividade importante para a produção de metais como ouro, prata e cobre. Na Grécia antiga, por exemplo, a mineração de prata foi um componente importante da economia e da sociedade ([COULSON, 2012](#)).

Com o desenvolvimento da indústria, a mineração tornou-se cada vez mais importante. No século XVIII, a Revolução Industrial levou a um aumento na demanda por minerais, especialmente ferro e carvão. Isso resultou em novos métodos de mineração, como a utilização de máquinas a vapor e a construção de minas subterrâneas ([CORPORATION, 2019](#)).

No século 20, a introdução de eletricidade e máquinas revolucionou a indústria de mineração, permitindo operações maiores e mais complexas, incluindo o desenvolvimento de sistemas controlados por computador e o uso de robôs para tarefas perigosas e repetitivas. O uso da automação na mineração começou a tomar forma nas décadas de 1960 e 1970, com o desenvolvimento de sistemas informatizados para controle e monitoramento dos processos de mineração ([LOPES, 2020](#)). Desde então, a automação na mineração continuou a avançar, impulsionada pela necessidade de maior eficiência, segurança e economia de custos.

Nas últimas décadas, a ascensão das tecnologias digitais, incluindo IoT e IA, influenciou muito a indústria de mineração, levando a novos avanços em automação e análise de dados. Hoje, muitas operações de mineração usam veículos autônomos, sistemas de perfuração automatizados e sistemas de monitoramento remoto para melhorar a eficiência, a segurança e o impacto ambiental.

Em uma mina autônoma, os processos de tomada de decisão e controle são centralizados e automatizados, permitindo o monitoramento em tempo real e a otimização das operações. Isso pode incluir o uso de sensores, inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina para coletar e analisar dados, bem como para tomar decisões sobre alocação de equipamentos, programação de produção e manutenção.

O uso da tecnologia autônoma na mineração ainda é relativamente novo e está evoluindo rapidamente à medida que novas tecnologias surgem e são integradas às operações, com avanços em áreas como robótica, inteligência artificial e IoT. Apesar dos benefícios da mineração autônoma, também há desafios, como o alto custo de implementação da tecnologia e a necessidade

de habilidades e conhecimentos especializados para operá-la e mantê-la.

2.2 Perfuratriz Caterpillar MD6290

Perfuratriz é uma máquina utilizada na perfuração de rochas, solos e outros materiais. Ela pode ser usada em diversos setores, como mineração, construção civil, exploração de petróleo e gás, entre outros. A perfuratriz modelo MD6290, vista na Figura 1, é fabricada pela Caterpillar Inc., uma empresa norte-americana que produz equipamentos para diversas áreas, incluindo mineração, construção, agricultura e energia.



Figura 1 – Perfuratriz Caterpillar MD6290. Fonte: [Caterpillar \(2014\)](#)

A CAT MD6290 é uma perfuratriz de grande porte de superfície projetada para atender às necessidades de perfuração de mineração em grande escala. Ela é usada em mineração a céu aberto e em pedreiras para realizar furos para explosivos ou para sondagem. Suas principais especificações incluem:

- Acionamento: Diesel
- Diâmetro de furação: 152 a 241 mm
- Profundidade máxima de furação: 52,7 metros

- Potência do motor Cat C15: 540 HP
- Velocidade de deslocamento: até 3,14 km/h
- Comprimento total: 16,53 m
- Altura total: 16,59 m
- Largura total: 4,01 m

As Figuras 2 e 3 mostram a vista superior e lateral do equipamento juntamente com seus componentes instalados de fábrica. Percebe-se que é um equipamento com uma grande quantidade de componentes de máquina base e que possui um funcionamento com certa complexidade.

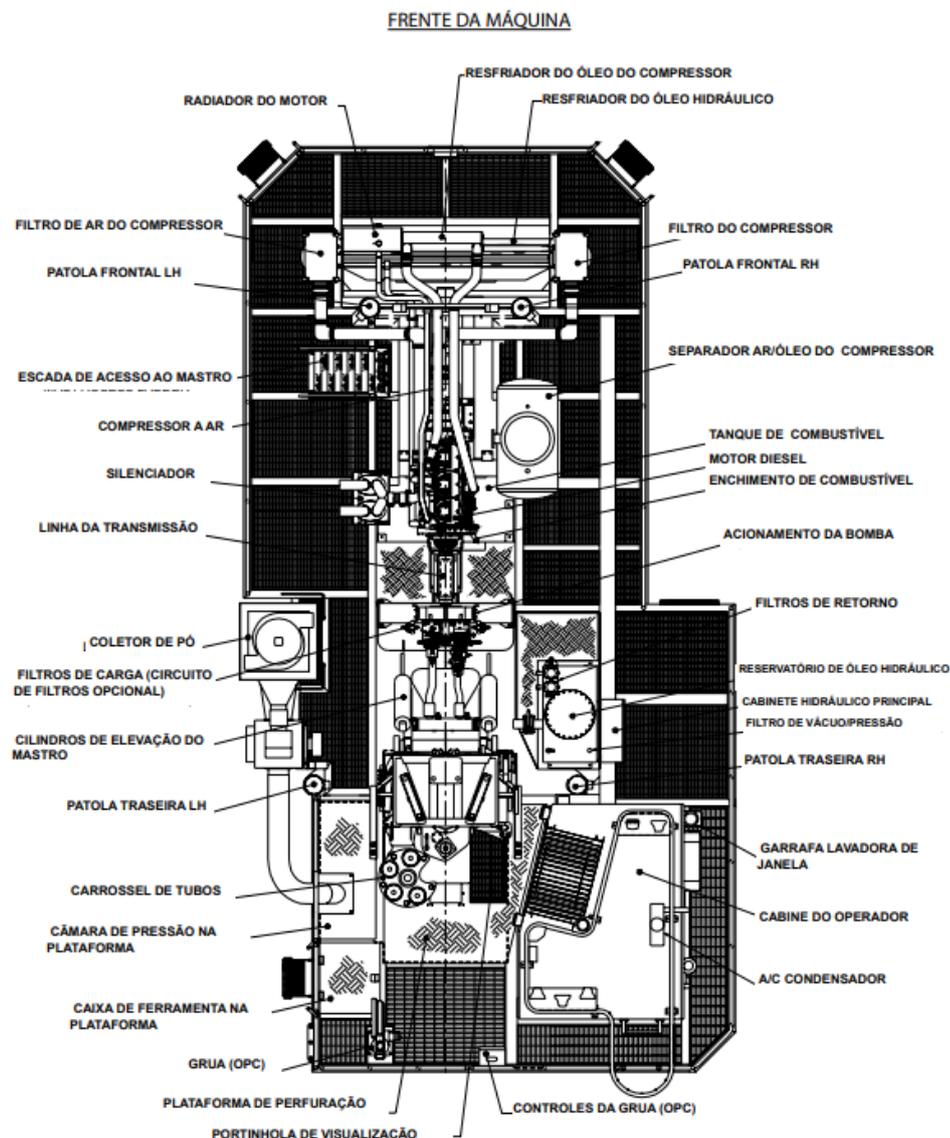


Figura 2 – Vista superior perfuratriz Caterpillar MD6290. Fonte: Manual¹

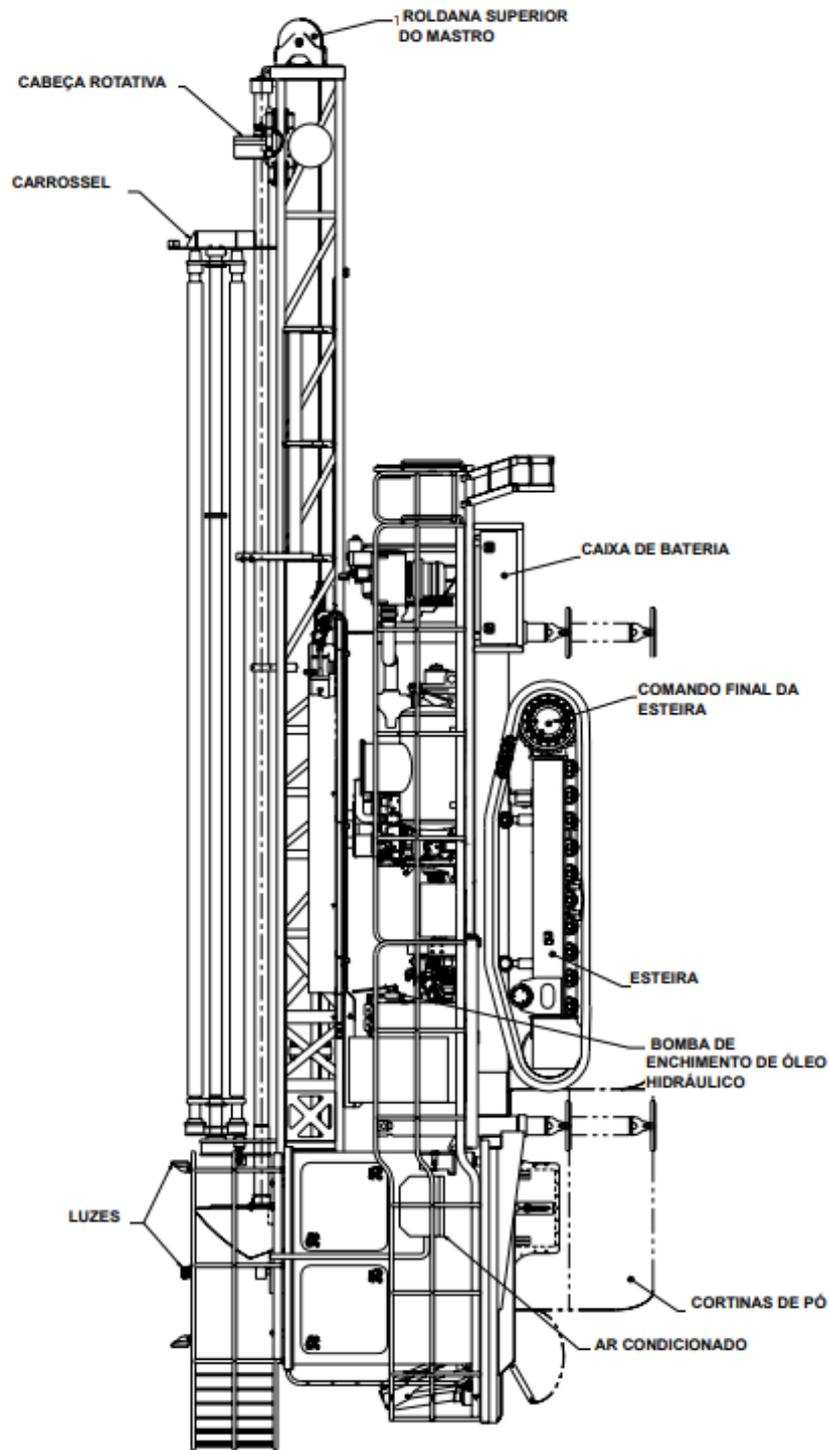


Figura 3 – Vista lateral perfuratriz Caterpillar MD6290. Fonte: Manual ²

Na cabine do operador é encontrado todo o painel de controle da máquina que é mostrado na Figura 4. A Figura 5 é identificado o painel do manômetro do sistema que contempla

¹ <https://vsip.info/perforadora-md6240-6290omm-c-412450-mantenimiento-pdf-pdf-free.html>

² <https://vsip.info/perforadora-md6240-6290omm-c-412450-mantenimiento-pdf-pdf-free.html>

os registros de pressão da máquina em tempo real. Os componentes do painel de controle identificados nas Figuras 4 e 5 são descritos na Tabela 1.

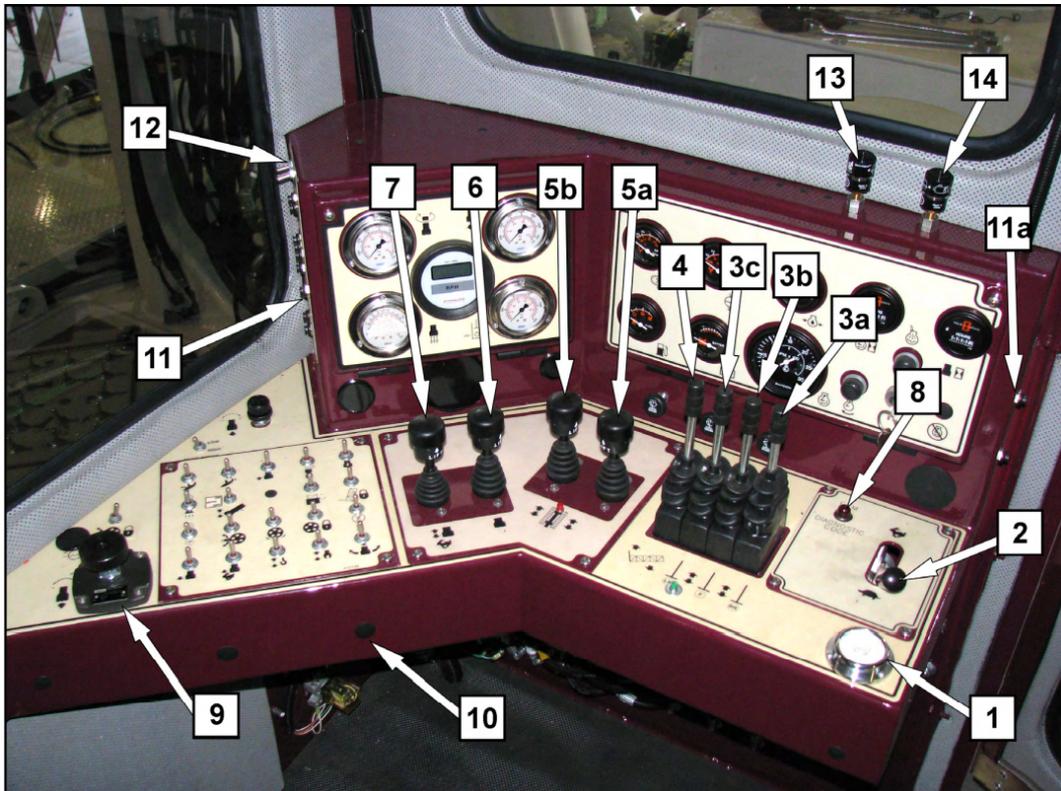


Figura 4 – Painel de controle do operador. Fonte: Manual ³



Figura 5 – Painel do manômetro do sistema. Fonte: Manual ⁴

³ <https://vsip.info/perforadora-md6240-6290omm-c-412450-mantenimiento-pdf-pdf-free.html>

ID	Descrição
1	Indicador de Nível
2	Acelerador usado para controlar a velocidade do motor Vel. Mín 1300 rpm Vel. Máx. 2100 rpm
3	Alavancas da Patola Usadas para abaixar e levantar as patolas para nivelar a máquina.
3a	Patola Traseira Direita
3b	Patolas Frontais
3c	Patola Traseira Esquerda
4	Alavanca do Mastro Controla o abaixamento e elevação do mastro
5	Alavancas de Propulsão - Pilotada hidraulicamente Controla a velocidade e a direção das esteiras
5a	Alavanca da Esteira Direita
5b	Alavanca da Esteira Esquerda
6	Alavanca de Rotação - Pilotada hidraulicamente Controla direção e velocidade da cabeça rotativa
7	Alavanca do Sistema Pull-up/Pullsown Controla levantamento e abaixamento da cabeça rotativa
8	Lâmpada de diagnóstico do Motor
9	Alívio Remoto do Pulldown Controla a pressão para o sistema de alimentação para aumentar ou diminuir o peso da broca
10	Arranque do Compressor-Funcionamento da Válvula
11	Painel Disjuntor Principal
11a	Painel Disjuntor para ar condicionado e aquecedor
12	Interruptores de Luz
13	Indicador de Filtro de Ar do Compressor
14	Indicador de Filtro de Ar do Motor
15	Pressão de Rotação/Esteira Esquerda
16	Pressão no Pulldown
17	Pressão do Sistema Hidráulico
18	Pressão do Ar na Perfuração

Tabela 1 – Tabela descrição dos componentes do painel de controle. Fonte: Autor

Os indicadores gerais de operação do equipamento, de controle do nivelamento e do mastro serão variáveis tratadas ao longo do trabalho provocando mudanças no equipamento e na operação do mesmo.

⁴ <https://vsip.info/perforadora-md6240-6290omm-c-412450-mantenimiento-pdf-pdf-free.html>

2.3 Telemetria

A palavra *Telemetria* é a união de duas palavras gregas, *tele* que significa longe e *metron* que significa medir. Portanto, telemetria é o processo de coleta e transmissão de dados de fontes remotas para um local central para análise e monitoramento. É comumente usado em campos como aeroespacial, agricultura, transporte, mineração e saúde para rastrear e monitorar sistemas, equipamentos e condições de operação (MATTOS, 2004). Os dados são geralmente coletados por meio de sensores e transmitidos sem fio para um receptor para interpretação.

Em meados de 1912 a telemetria começou a ser utilizada também para a realização do monitoramento de redes de telefonia na transmissão de dados. A partir da década de 50 ela foi introduzida no setor aeroespacial, monitorando satélites e sondas, e na década de 90 ela passou a ser utilizada também no segmento automotivo, onde ganhou o nome de telemetria veicular.

A falta de um sistema de telemetria em um equipamento, faz com que muitas vezes os equipamentos sejam utilizados de forma incorreta (mau uso), tenham baixa produtividade, alto índice de consumo de combustível, menor assertividade nas manutenções e maior índice de ocorrências de manutenção. Gerando perda de tempo e produção devido à parada do equipamento, entre outros fatores que afetam todo o desempenho da empresa aumentando os transtornos e custos financeiramente (MATTOS, 2004).

Segundo Nascif e Dorigo (2010), a implantação de melhorias permite que os ativos sejam utilizados na sua plenitude, trazendo os resultados necessários ao aumento da competitividade da empresa. Isso se dá por meio da:

- Eliminação das situações de baixo desempenho dos ativos;
- Solução dos problemas crônicos;
- Solução dos problemas tecnológicos;
- Constante capacitação técnica do pessoal;
- Melhoria das condições de manutenibilidade.

Segundo Scheer (1993), a produção auxiliada por computador tem sua função interpretada de maneiras diversas. É a aplicação da informática e da tecnologia das comunicações ao sistema de produção, no sentido de eliminar a inconstância e perda de tempo inerente à manipulação e decisão do ser humano.

A CAM (*Computer Aided Manufacturing*) auxilia a produção, e isto pode ser restrito ao controle, ser extensivo ao planejamento, ou ainda restringir-se à monitoração dos recursos de produção. Um sistema de produção apoiado por computador pode apresentar resultados melhores para o controle de qualidade, tanto em controle estatístico de processo como em dispositivos de

verificação de defeitos, com a conseqüente parada automática do processo, além da aplicação de métodos analíticos.

Para 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 a 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 Instrumentação

Instrumentação é o uso de dispositivos de medição e controle para monitorar e controlar processos e sistemas. Segundo [Balbinnot e Brusamarello \(2019\)](#), a importância da instrumentação poderia ser resumida em uma frase: “A medição é a base do processo experimental”, seja em um processo que deve ser controlado, seja em pesquisa ou em uma linha de produção dentro de uma indústria, o processo da medição de grandezas físicas é fundamental.

Um instrumento de automação é um dispositivo ou sistema que ajuda a automatizar processos, reduzir o trabalho manual e aumentar a eficiência. Esses dispositivos são componentes críticos pois fornecem os dados e o *feedback* necessários para controlar e otimizar os sistemas automatizados. Exemplos de instrumentos de automação incluem Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), Interfaces Homem Máquinas (IHMs), robôs, sensores, atuadores, PCs industriais, equipamentos para acionamento de motores, sistema SCADA e redes de comunicação.

O uso de toda essa instrumentação avançada ajuda a melhorar a eficiência e a precisão dos sistemas automatizados, minimizando o desperdício e reduzindo os custos.

2.4.1 Sensores

Nos primórdios da automação e controle industrial, os sistemas de medição e controle dependiam de leituras manuais e ajustes manuais. No entanto, essa abordagem era demorada, propensa a erros humanos e limitada em sua capacidade de monitorar e controlar processos em rápida mudança ([ALVES, 2017](#)). Os sensores foram desenvolvidos como uma solução para esses problemas, ao fornecer um meio de medir automaticamente parâmetros físicos, como temperatura, pressão, fluxo e posição. Os sensores permitiram um monitoramento e controle mais precisos e eficientes dos processos industriais, sendo amplamente utilizados em muitas aplicações, como automotivas, de saúde, de segurança, robótica, entre outras, permitindo a

monitoração e a tomada de decisões baseadas em dados precisos (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Na mineração em especial, esses equipamentos precisam de um certo cuidado maior em sua fabricação, pois o ambiente de mina é marcado por adversidades, como poeira, umidade e vibrações. Como exemplo, as principais características exigidas para um sensor na área da mineração, destacam-se:

- Robustez física: Partículas em suspensão e alto nível de vibrações;
- Precauções contra corrosão: Ambiente empoeirado e corrosivo;
- Boa relação sinal-ruído: Para detecção de defeitos em rolamentos;

2.4.2 CLP

Anteriormente, os sistemas de controle industrial eram compostos principalmente em sistemas baseados em relés, que são interruptores elétricos que são ativados por uma bobina eletromagnética e são usados para controlar o fluxo de eletricidade em um circuito. Eles eram simples e confiáveis, mas não tinham a flexibilidade e versatilidade dos modernos sistemas de controle.

Hoje, os relés ainda são usados em certas aplicações, como sistemas elétricos automotivos e sistemas de controle de baixo nível, mas foram amplamente substituídos por CLPs em aplicações de controle e automação industrial. Alguns exemplos de relés podem ser visualizados na Figura 6.



Figura 6 – Relés. Fonte: [Eletricidade \(2017\)](#)

Os CLPs ofereceram um sistema de controle programável que pode ser facilmente adaptado aos requisitos em constante mudança dos processos industriais e forneceram uma alternativa mais econômica aos sistemas baseados em relés. Foram introduzidos pela primeira vez no final da década de 1960 e rapidamente se tornaram populares nas indústrias de fabricação e controle de processos. O advento dos microprocessadores e o desenvolvimento de linguagens de programação de alto nível tornaram mais fácil programar e usar CLPs, aumentando ainda mais sua popularidade (MORAES; CASTRUCCI, 2010). Na Figura 7 é visualizado um CLP modelo SIMATIC S7-300 da Siemens.



Figura 7 – CLP SIMATIC S7-300. Fonte: SIEMENS (2023)

Segundo Almeida (2019) o CLP é um equipamento microprocessado altamente versátil em que é possível alterar facilmente sua programação. Suas principais funções incluem o uso de relações lógicas e matemáticas, números inteiros e binários, ponto flutuante (reais), operações aritméticas e trigonométricas, transporte e armazenamento de dados, comparação, temporização, contagem e sequenciamento.

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 constituído basicamente de uma fonte de alimentação, unidade central de processamento (UCP), memória dos tipos fixo e volátil, dispositivo de entrada e saída e terminal de programação.

2.4.3 IHM

Com todo o avanço nos processos industriais surgiu a necessidade de se obter uma interface mais amigável e intuitiva para controlar e monitorar os processos industriais, visto que,

os sistemas de controle eram muitas vezes complexos e difíceis de usar, exigindo treinamento e experiência especializados, limitando a capacidade dos operadores de monitorar e controlar efetivamente os processos, resultando em ineficiências e tempo de inatividade.

A IHM foi desenvolvida como uma solução para esses problemas, fornecendo uma interface gráfica que exibe dados de processo e permite que os operadores controlem processos usando botões, interruptores e outros controles simples, tornando mais fácil para os operadores monitorar e controlar processos industriais. Importante ressaltar que o desenvolvimento da IHM foi conforme com a ISA 101, a qual estabelece padrões de design, da funcionalidade, do *display* e da interação entre os operadores e as IHMs.

Uma IHM é um *hardware* industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para navegação ou inserção de dados que utiliza um *software* proprietário para sua programação (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Hoje, a IHM é um componente essencial dos modernos sistemas de automação e controle industrial, oferecendo uma interface amigável para monitorar e controlar processos em uma ampla gama de indústrias.

2.5 Infraestrutura de rede

Infraestrutura de rede na mineração a céu aberto é um componente crítico para garantir a eficiência, segurança e sustentabilidade das operações de mineração. A história da mineração a céu aberto remonta há milhares de anos, mas a necessidade de uma rede robusta e confiável de infraestrutura só se tornou evidente com o aumento da complexidade e da escala das operações de mineração.

No ambiente minerador, os sistemas de telecomunicações tornam-se ainda mais relevantes devido à necessidade de se estabelecer e manter a comunicação através de áreas imensas e hostis contra equipamentos eletrônicos, necessários nos campos de lavra do minério. Essa comunicação precisa ocorrer entre várias interfaces e frentes de trabalho simultaneamente, garantindo um fluxo de informações essenciais à manutenção do processo produtivo. Assim, tem-se uma infinidade de dados cruciais trafegando pelas redes de Telecom, propagando-se pelos mais distintos meios, como as fibras ópticas, cabos de cobre e sinais de radiofrequência (HIGINO, 2017).

No que tange às telecomunicações na mineração, tem-se, embarcados em suas estruturas, serviços de automação, proteção elétrica, vigilância, dados de telemetria dos equipamentos e o sistema de despacho de produção dos equipamentos móveis de mina, como caminhões fora de estrada, escavadeiras, carregadeiras, perfuratrizes, dentre outros. Além disso, tem-se, também, os sistemas ferroviários para escoamento da produção, cujas paradas podem acarretar em prejuízos de milhões de dólares por hora, sendo grande parte desse processo operacional estruturado sobre redes de fibras ópticas e *links* de rádio (HIGINO, 2017).

Segundo Lamb e Byrd (2017), uma rede de comunicações de mineração deve oferecer

suporte simultâneo a uma variedade de aplicativos, incluindo:

- Gestão de frotas;
- Monitoramento ao vivo de equipamentos móveis;
- Vídeo em tempo real para operações e videovigilância;
- Controle de acesso;
- Monitoramento de sistemas de segurança;
- Comunicações de campo móveis;
- Acesso aos dados de campo;
- Aplicações autônomas.

A abordagem para a implementação de uma infraestrutura de rede eficiente na mineração inclui a identificação das necessidades e objetivos da operação, a seleção dos equipamentos e tecnologias adequados, a integração da tecnologia digital e a automação, a implementação de soluções de segurança e a validação do desempenho da rede. Além disso, a manutenção e o suporte contínuos são importantes para garantir a disponibilidade da rede.

Rádios, GPS (Sistema de Posicionamento Global) e GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) são tecnologias importantes para a indústria de mineração. A comunicação por rádio é utilizada para permitir a comunicação ente trabalhadores de minas, monitorar equipamentos, informar falhas, avaliar a condição da mina e fornecer instruções de segurança. Alguns modelos de rádios são mostrados na Figura 8.



Figura 8 – Tipos de rádios. Fonte: Autor

Para rastrear a localização de equipamentos e veículos na mina o GPS é essencial. Ele permite que as empresas saibam exatamente onde seus equipamentos estão em todos os momentos, o que é particularmente importante em minas grandes e complexas. Com o uso do

GPS, as empresas podem maximizar a eficiência da operação e minimizar o tempo de inatividade dos equipamentos, o que pode levar a economias significativas.

O GNSS é uma tecnologia mais avançada que permite uma precisão ainda maior na localização de equipamentos de grande porte. Com o uso de receptores GNSS, as empresas podem rastrear a localização exata desses equipamentos e saber em tempo real onde eles estão operando na mina. Além disso, o GNSS também pode ser usado para monitorar o deslocamento do solo e detectar a presença de falhas geológicas. Alguns exemplos de antena GPS/GNSS e Wifi podem ser visualizados na Figura 9.



Figura 9 – Tipos de antenas GPS/GNSS e Wifi. Fonte: Adaptado de SITECH ⁵, RAYA ELEC ⁶, ES ⁷, Runshine ⁸

Como observado, em uma mina é importante manter a comunicação entre operadores e equipamentos. Para permitir essa conexão de vários dispositivos é utilizado o *switch*, um dispositivo de rede que atua como um ponto central de conexão e distribuição de dados entre os dispositivos conectados.

Um *switch* tem a função de associar e permitir a comunicação entre vários dispositivos de uma rede local (LAN) e possui um funcionamento bem simples. Ele recebe uma mensagem de qualquer dispositivo conectado à rede e transmite esta mensagem apenas para o dispositivo para o qual a mensagem é endereçada. Sendo assim, ele “sabe” a maneira mais eficiente de manipular e transmitir dados entre vários dispositivos dentro de uma LAN. Um *switch* é inteligente o suficiente para determinar o endereço e a porta de destino para cada *frame* que circula na rede (SILVEIRA, 2018). Na Figura 10 é visto alguns exemplos de *switches* da empresa Siemens.

⁵ <https://sitech.co.za/trimble/products/ms995/>

⁶ <https://rayaelec.com/product/ubiquiti-rocket-dish-rd%E2%80%9115g34/>

⁷ https://www.es-france.com/3454-16dbi-90-deg-hpol-33-36ghz-sector-antenna-sah35-90-16.html?_gl=1*lwutrjk*_up*MQ...*_ga*NjMyMjA3OTYzLjE2NzkwNTEwMTE.*_ga_9NFLMRZ442*MTY3OTA1MTAxMC4xLjAuMTY3OTA1MTAxMC4wLjAuMA..

⁸ <http://www.runshine-link.com/index.php/WIFIWLANAntenna.html>



Figura 10 – Switches Siemens. Fonte: [Siemens \(2023\)](#)

Existem diferentes tipos de *switches* disponíveis, incluindo *switches* gerenciáveis e não gerenciáveis. Os gerenciáveis permitem que os administradores de rede configurem e monitorem o *switch* e a rede em que ele está conectado, sendo capaz de priorizar o tráfego da LAN para que as informações mais importantes sejam transmitidas primeiro. Por outro lado os não gerenciáveis são mais simples e não possuem recursos avançados de configuração e monitoramento, se comportam como dispositivos “*plug and play*”, não podem ser configurados e simplesmente permite que os dispositivos se comuniquem uns com os outros ([SILVEIRA, 2018](#)).

Todas essas tecnologias são implementadas em conjunto para garantir uma boa comunicação e maior eficiência no trabalho da mina. Na Figura 11 é visto um fluxo de comunicação de dados na mineração, incluindo equipamentos móveis equipados com rádios, estruturas de rádios ponto a ponto espalhadas pela mina, *switch* e o servidor do despacho que é um processo que envolve a alocação eficiente de recursos para maximizar a produção e minimizar os custos em operações de mineração. O despacho é responsável por coordenar a movimentação de equipamentos, pessoas e materiais na mina, garantindo que todos os recursos estejam sendo usados de forma otimizada.



Figura 11 – Rede de comunicação do sistema de despacho. Fonte: Autor

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho está dividido em três etapas principais, que foram estudadas, elaboradas e implementadas na perfuratriz junto a todo o equipamento necessário, incluindo monitor, sensores, atuadores, Controladores Lógicos Programáveis e *softwares* que proporcionaram um sistema de telemetria, automação do nivelamento e automação da angulação do mastro. As três etapas estão descritas a seguir:

1. **Sensoriamento:** implementação de sensores na perfuratriz para monitorar os estados das variáveis do equipamento.
2. **Monitoramento do sistema:** prover as informações necessárias que permita a análise dos dados de situações de rotina para proporcionar vantagens e melhoria nos resultados e processos por meio de informações para auxiliar as equipes de manutenção no intuito de corrigir anomalias, prevenindo falhas.
3. **Controle e automação do sistema:** controlar e automatizar o sistema de levantamento e travamento do mastro no ângulo correto conforme parâmetros configurados pelo operador e o nivelamento automático de acordo com a malha de perfuração que está localizado.

3.2 Sensoriamento

Para realização do projeto foi utilizado uma perfuratriz modelo MD6290 da marca Caterpillar que já estava em uso na mineradora, mostrada na Figura 12.



Figura 12 – Perfuratriz de esteira modelo MD6290. Fonte: Autor

A pesquisa e desenvolvimento do sistema de telemetria ocorreu em reuniões com a equipe interna da mineradora para traçar uma estratégia para o lançamento do projeto. Com base nas propostas expostas pela equipe identificou-se a oportunidade de realizar o projeto junto ao *dealer* do equipamento, visto que possuem expertise em termos de manutenção e operação.

Na Figura 13 é possível verificar a linha do tempo de desenvolvimento do projeto. Previamente foi realizado o projeto conceitual detalhando os requisitos, definições técnicas e de escopo. Posteriormente foi elaborado o projeto executivo para executar e desenvolver o projeto, seguido pela validação e entrega do sistema.



Figura 13 – *Timeline* do projeto de telemetria. Fonte: Autor

Com o equipamento definido para a realização do projeto, o mesmo foi enviado para uma das sedes do *dealer* para realizar a desmontagem de alguns componentes e periféricos para melhor entender os pontos possíveis de adaptação no equipamento.

A análise ao equipamento permitiu definir todas as variáveis possíveis de serem medidas por meio de sinais já existentes no equipamento bem como pontos passíveis de instalação de sensores. Foi observado que o equipamento possui, em maior parte de seus instrumentos, sinais analógicos. Dessa forma a substituição destes por sinais digitais fez-se necessário para possibilitar aquisitar, tratar e enviar os dados, proporcionando assim integração em tempo real dos dados com a equipe de telemetria gerando as informações e tendências de falhas.

Os itens citados a seguir foram instalados em pontos estratégicos no equipamento:

1. Sensor de temperatura do óleo do compressor;
2. Sensor de pressão de ar do tanque separador;

3. Sensor de vibração do PTO;
4. Sensor de temperatura do óleo hidráulico;
5. Sensor de nível do óleo hidráulico;
6. Sensor de pressão da bomba auxiliar;
7. Sensor de pressão de rotação;
8. Sensor de pressão de pulldown;
9. Sensor de pressão da bomba de carga;
10. Sensor de pressão do ar de perfuração;
11. Sensor de nível do tanque d'água;
12. IHM;
13. PLC;
14. Sensor de posição da cabeça rotativa;

É importante ressaltar que todo o sistema de monitoramento instalado no equipamento não interfere no seu funcionamento direto, pois este sistema tem como finalidade apenas o monitoramento das variáveis do processo. Neste primeiro momento, os instrumentos de medição originais do equipamento foram mantidos, justamente para evitar a parada do equipamento em caso de falha no sistema de monitoramento embarcado.

Após a instalação dos itens no equipamento, foi realizado o desenvolvimento da lógica de programação do CLP, bem como a interface de interação com o usuário.

3.3 Monitoramento

O monitoramento tem como objetivo medir os parâmetros de operação e manutenção verificados por meio de uma tela localizada na cabine do operador e possibilita exportar relatórios de fácil leitura e interpretação dos dados. O sistema consiste em uma IHM de operação, um CLP e sensores para conversão das variáveis físicas em digitais para monitoramento, controle e registro.

Na tela principal da IHM estão disponíveis as seguintes informações:

- Inserção de *login* para operadores;
- Material a ser trabalhado;

- Dados da perfuração (profundidade atual, profundidade alvo, taxa de penetração, rotação, angulação do mastro, indicador da haste no furo, indicador de nivelamento, inclinação longitudinal e transversal);
- Operação atual e instantânea;
- Estado da máquina e as falhas ocorridas;
- Horímetro.

As informações disponíveis fornecem ao operador uma visualização mais rápida e prática dos indicadores de operação em tempo real.

O sistema desenvolvido consta também com estrutura de apontamento e registro de código de falhas bem como armazenamento dos dados a fim de proporcionar análises estatística e gráficas para auxiliar na manutenção e desempenho do equipamento, que também podem ser acessados de forma remota por equipes dedicadas.

Após toda a fase de implementação do monitoramento do equipamento, foi realizado o controle e automação do nivelamento e da angulação do mastro que será tratado na próxima seção.

3.4 Controle e Automação

O controle e a automação da máquina foi aplicado no nivelamento e na angulação do mastro. O nivelamento permite que o equipamento mantenha as patolas dianteiras e traseiras niveladas à área específica de trabalho, permitindo maior eficiência do equipamento durante operação. A seleção da angulação do mastro permite que o operador selecione o ângulo ideal para a perfuração e realize furos mais assertivos com o programado realizando apenas um clique na IHM.

Para a implementação da automação nos processos foram instalados dispositivos no equipamento para a realização dos comandos por meio de *inputs* na IHM. O principal dispositivo substituído foi o bloco hidráulico por um bloco eletro-hidráulico que executa as mesmas funções, porém é acionado de forma elétrica. Durante o projeto foram passados chicotes elétricos, removidos alavancas de comando de nivelamento, instalados sensores de posição e inclinação e realizado a lógica de programação em um CLP posicionado dentro da cabine do operador. A partir dessas alterações o sistema passa a interferir no funcionamento da perfuratriz.

O fluxograma de execução das lógicas é mostrado na Figura 14. O controlador desenvolvido foi o proporcional integral.

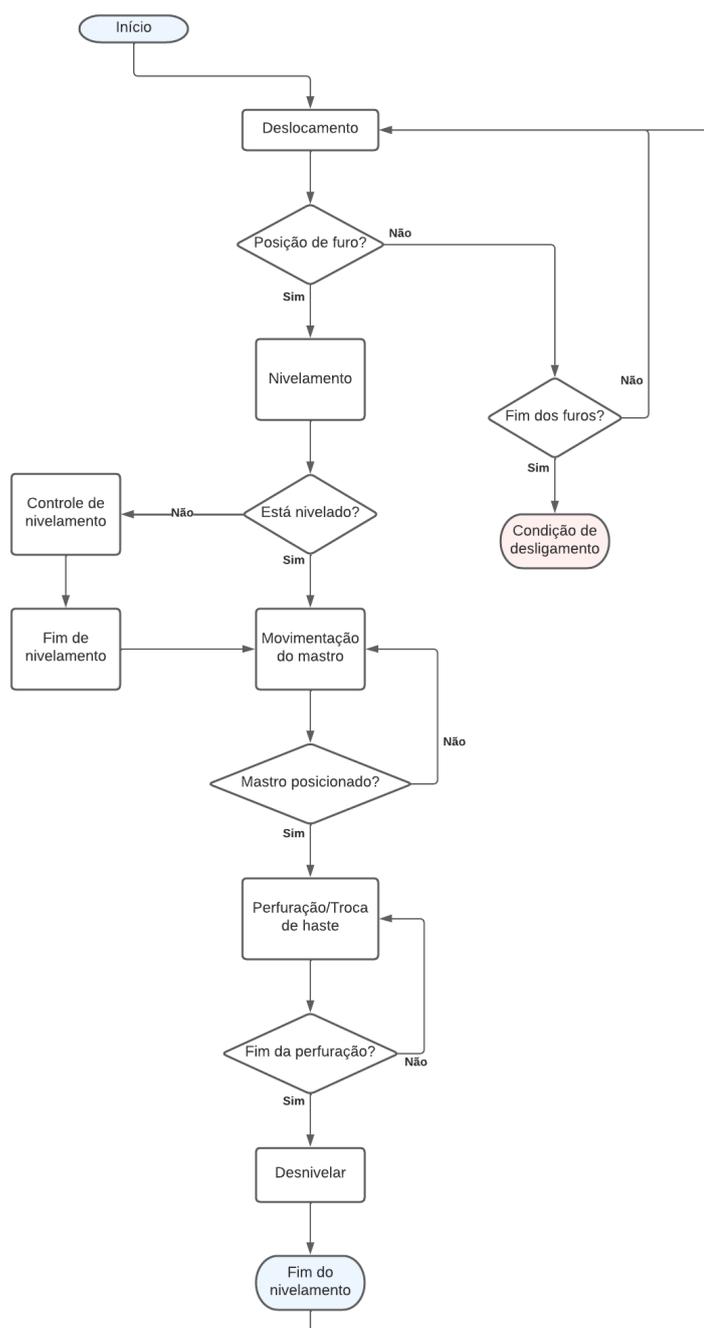


Figura 14 – Fluxograma de execução das lógicas de controle da perfuratriz. Fonte: Autor

O objetivo da lógica de controle de nivelamento é nivelar a base do equipamento de tal forma que ela não fique inclinada, isto é, esteja a 0° de inclinação. O *input* é o ângulo de inclinação da perfuratriz com relação ao solo que é lido a partir de dois valores do inclinômetro da máquina, valores longitudinal (frente-trás) e transversal (lado esquerdo-lado direito).

A lógica de nivelamento controla as quatro patolas que apoiam a perfuratriz no solo. Os comandos de subir e descer as patolas são dados na ordem de nivelamento das patolas dianteiras,

em conjunto, e as patolas traseiras esquerda e direita. O curso do deslocamento do pistão das patolas é controlado a partir do fluxo de acionamento definido pelas válvulas de controle.

O nivelamento normalmente inicia com a descida da patola traseira do lado que está mais desnivelado. Esta patola deve erguer a máquina até inverter a inclinação um pouco. Em seguida, deve-se abaixar a patola traseira oposta, com o objetivo de igualar a inclinação transversal. As patolas da frente são acionadas em conjunto posteriormente para ajustar a inclinação longitudinal. A Figura 15 mostra as patolas apoiadas no terreno mantendo o equipamento nivelado.



Figura 15 – Perfuratriz nivelada. Fonte: Autor

Esta lógica deve ser executada em paralelo durante toda a execução das etapas mencionadas, visto que se ocorrer do terreno ceder um pouco durante as etapas de perfuração ou movimentação do mastro, a máquina para essa ação, corrige o nivelamento e depois volta para a execução dessa ação.

Essas funcionalidades ficam disponíveis em uma tela secundária na IHM que possuem opções de comandos manuais ou automáticos. O sistema automático está limitado a realizar o nivelamento da máquina em desníveis de até $\pm 6^\circ$, tanto longitudinal quanto transversal. Caso o operador tenha que submeter a máquina a uma operação em maior ângulo, esse deve ser realizado manualmente, respeitando os limites de estabilidade descritos pelo manual de operação e manutenção do equipamento.

A lógica desenvolvida para angulação do mastro permite a indicação do operador do ângulo desejado e dessa forma o equipamento realiza a lógica programada a fim de angular o mastro. A Figura 16 retrata o equipamento com o mastro inclinado em uma certa angulação configurada pelo sistema.



Figura 16 – Angulação do mastro da perfuratriz. Fonte: Autor

O operador tem 6 opções para selecionar o ângulo do mastro, estes variam de 0° a 25° incrementados de 5° de variação. Para realizar a parada dos comandos automáticos é disponibilizado na IHM o botão "Parar".

As variáveis de posição do mastro e nivelamento longitudinal/transversal são disponibilizadas na tela junto a imagem do equipamento para facilitar o entendimento e a visualização dos dados do operador. Quando solicitado a elevação do mastro, é necessário que a perfuratriz esteja nivelada. Caso a máquina esteja com a transversal desnivelada o sistema irá bloquear a elevação do mastro.

Após a validação do projeto, foram estruturadas as documentações técnicas incluindo esquema elétrico e a lógica elaborada no CLP, com objetivo de registrar todas as informações e treinar toda a equipe de manutenção e operação da mineradora. Também foi realizado o cadastro dos materiais utilizados para intervenções de manutenções e criadas ações para a tratativa da gestão de mudanças.

Os detalhes das etapas desse desenvolvimento não podem ser revelados devido ao termo de confidencialidade assinado entre as empresas envolvidas (*Mineradora/Dealer*).

4 RESULTADOS

Durante as etapas de sensoreamento, monitoramento e controle e automação do sistema de nivelamento e angulação do mastro, o equipamento sofreu alterações em seu *layout*, visto a inserção de novos sensores e componentes, principalmente na cabine do operador onde é encontrada a IHM.

O monitoramento permitiu que as variáveis monitoradas pudessem ser visualizadas e acompanhadas por tabelas e gráficos, na Figura 17 é mostrado um exemplo da tabela contendo as variáveis e seus valores que são controlados a cada furo perfurado.

Variável	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
1 PROFUNDIDADE_ALVO_(mm)	0	0	0	0
2 PROFUNDIDADE_1a_HASTE_(mm)	9155,66666666667	9402	9034	212,464899061782
3 PROFUNDIDADE_TOTAL_(mm)	16530,6666666667	18436	14933	1771,65073683651
4 TEMPO_DE_PERFURACAO_(s)	60	65	55	5
5 TEMPO_DE_PENETRACAO_(s)	37,6666666666667	41	31	6,50640709864771
6 TAXA_DE_PENETRACAO_MED_(m/h)	1593	1754	1508	122,967475374588
7 TAXA_DE_PENETRACAO_MAX_(m/h)	7079	8527	5973	1381,10535441725
8 TAXA_DE_PENETRACAO_MIN_(m/h)	0	0	0	0
9 PRESSAO_DE_PULLDOWN_MED_(psi)	2065	2074	2054	10,1488915650922

Figura 17 – Tabela disponibilizada na IHM. Fonte: Autor

Já na Figura 18 é mostrado um exemplo do gráfico de pressões durante a perfuração. Neste gráfico é disponibilizado duas escalas de pressões, no eixo Y da esquerda a pressão varia de 0 a 5000 psi e no eixo Y da direita de 0 a 500 psi. Isso deve-se ao fato das pressões de *Pulldown*, rotação e da bomba auxiliar estarem na escala de 0 a 5000 psi, e as pressões de ar, bomba de carga e do ar do tanque separador estarem na escala de 0 a 500 psi.

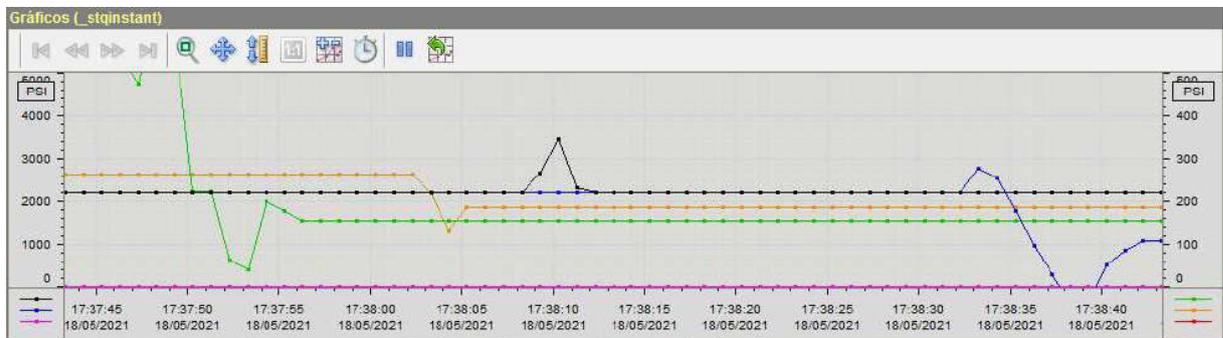


Figura 18 – Gráfico disponibilizado na IHM. Fonte: Autor

Como pode ser visto na Figura 19, alguns recursos de operação foram substituídos pela

nova tecnologia implantada. Na região 1 é possível identificar a IHM instalada, na região 2 foram retirados os comandos das patolas dianteiras e traseiras e na região 3 retirou-se o indicador de nível.



Figura 19 – Painel atualizado após implantação do sistema. Fonte: Autor

A implantação deste projeto resultou em grandes desafios. O primeiro foi relativo às falhas recorrentes identificadas ao operar com o sistema, que foram referentes à segurança de sobretensão das solenoides do novo bloco de acionamento elétrico hidráulico das patolas e mastro. Com objetivo de sanar o problema a solução foi retirar o controle de acionamento por meio da lógica do bloco para o sistema de partida em rampa no próprio CLP de forma individual para cada solenoide. Outro desafio era definir qual equipe atuar no equipamento. Por muitas vezes o sistema falhava por baixa tensão nas baterias que são de responsabilidade da manutenção e não da equipe de automação, gerando um tempo maior para diagnóstico e/ou atendimento.

O desenvolvimento do projeto tinha como proposta a redução dos custos, visto que já existe tecnologias similares no mercado porém com alto custo, assim o projeto iniciou-se tendo em vista a utilização de itens de menor custo. Dessa forma observou-se que a utilização de sensores de inclinação instalados inicialmente no equipamento estavam sendo muito impactados por histerese, devido ao alto índice vibracional do equipamento. Posteriormente foram substituídos por sensores mais robustos porém com custo mais elevado, resolvendo o problema definitivamente e ainda assim mantendo o projeto viável economicamente.

Antes da liberação definitiva do equipamento foi definido um período de operação assistida onde os responsáveis pelo projeto acompanhavam a operação diariamente. Com o

equipamento liberado para operação, foi possível começar a mensurar a produtividade e eficiência do sistema. A meta de Disponibilidade Física (DF) definida para o equipamento em janeiro de 2023 foi de 70%, sendo que a última DF desse equipamento sem a implementação do sistema de automação foi de 53,45% ficando abaixo do esperado. Ao monitorar o equipamento com o sistema de automação verificou-se que o equipamento atingiu 79,38% de DF, provocando um aumento de 48% em relação ao mês anterior.

A análise de dados relativo aos números de manutenção apresentaram uma redução de 17 para 3 paradas não programadas em janeiro de 2023. Já as manutenções de máquina base reduziram de 14 para 8 com a instalação do sistema. Ao comparar a média de furos por turno, pode-se observar também o ganho em produtividade, visto que era de 9 furos e atualmente com todo o sistema implantado a média passou a ser de 11 furos realizados por turno.

5 CONCLUSÃO

O propósito deste estudo consistiu em aprimorar a produtividade, qualidade e segurança dos procedimentos na perfuratriz MD6290, por meio da automação dos seus processos. Para atingir este objetivo, foram realizados o sensoriamento da perfuratriz, o monitoramento dos dados gerados pelo equipamento, bem como a automação do nivelamento e da angulação do mastro.

Devido a alta complexidade deste projeto, foi possível aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação e também adquirir novos conhecimentos por meio da experiência dos profissionais envolvidos e das empresas parceiras.

A terceira fase de implantação do projeto apresentou resultados positivos, como o aumento de 48% da DF do equipamento em relação ao mês anterior e uma superação da meta de disponibilidade em 18%. Houve também uma redução de 47% nas manutenções não programadas em janeiro, uma redução de 43% nas manutenções de máquina base e um aumento de 22% na média de furos. Todos esses resultados possibilitaram uma maior produtividade e melhores condições operacionais do equipamento.

Foi observado também um grande desenvolvimento interpessoal das pessoas envolvidas direta e indiretamente no projeto visto a grande diversidade de áreas envolvidas, como setor de cadastro de materiais, engenharia, operação, manutenção e planejamento.

Com o avanço tecnológico alcançado a um investimento de baixo custo, o projeto eleva a empresa a um patamar de competitividade e assegura que as condições de operação do equipamento sejam respeitadas, evitando erros operacionais e garantindo a melhor performance, produtividade e segurança operacional.

Como trabalhos futuros serão desenvolvidos os comandos de perfuração automática e locomoção remota. Além de replicar todo o sistema na frota de perfuratrizes da mineradora.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. de. *INDÚSTRIA 4.0 - PRINCÍPIOS BÁSICOS, APLICABILIDADE E IMPLANTAÇÃO NA ÁREA INDUSTRIAL*. São Paulo: Érica, 2019. Citado na página 21.
- ALVES, J. L. L. *Instrumentação, Controle e Automação de Processos*. 2rd. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. Citado na página 19.
- BALBINNOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. *Instrumentação e fundamentos de medidas*. 3rd. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. Citado na página 19.
- CARLI, C. de. *Análise de projetos limite: Lavra a céu aberto x Lavra Subterrânea*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Citado na página 10.
- CATERPILLAR. *MD6290 Rotary Blasthole Drill*. [S.l.], 2014. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 13.
- CORPORATION, G. K. *A BRIEF HISTORY OF MINING: THE ADVANCEMENT OF MINING TECHNIQUES AND TECHNOLOGY*. 2019. Disponível em: <<https://www.generalkinematics.com/blog/a-brief-history-of-mining-and-the-advancement-of-mining-technology/>>. Citado na página 12.
- COULSON, M. *The History of Mining*. Reino Unido: Great Britain, 2012. Citado na página 12.
- DARLING, P. *SME Mining Engineering Handbook*. 3rd. ed. [S.l.]: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc, 2011. Citado na página 10.
- ELETRICIDADE, E. D. *O que são relés - tipos e usos*. Desterro Eletricidade, 2017. Disponível em: <<http://www.desterroeletricidade.com.br/blog/eletrica/o-que-sao-reles-tipo-e-usos/>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 20.
- HIGINO, F. F. *ESTUDO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ESTAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES EM ÁREAS EXTERNAS NUMA MINERADORA DE GRANDE PORTE EM MINAS GERAIS*. Itabira: Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, 2017. Citado na página 22.
- LAMB, M.; BYRD, C. *Network monitoring for mining*. Mining Magazine, 2017. Disponível em: <<https://www.miningmagazine.com/innovation/news/1264402/network-monitoring-mining>>. Citado na página 22.
- LOPES, M. *Mineração 4.0 – Tecnologia E Inovação Na Mineração*. Técnico e Mineração, 2020. Disponível em: <<https://tecnicoemineracao.com.br/mineracao-4-0/>>. Citado na página 12.
- MATTOS, A. N. de. *Telemetria e conceitos relacionados*. São José dos Campos, São Paulo: [s.n.], 2004. Citado na página 18.
- MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. *Engenharia de Automação Industrial*. 2rd. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.
- NASCIF, J.; DORIGO, L. C. *Manutenção orientada para resultados*. São Paulo: Qualitymark Editora Ltda, 2010. Citado na página 18.

SCHEER, A. W. *CIM: evoluindo para a fábrica do futuro*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 1993. Citado na página 18.

SIEMENS. *CLP SIMATIC S7 300*. Siemens, 2023. Disponível em: <<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/controladores/simatic-s7-300.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 21.

SIEMENS. *RUGGEDCOM RS900 family*. Siemens, 2023. Disponível em: <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/rugged-communications/ruggedcom-portfolio/ethernet-layer2-switches/compact-switches/rs900-family.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 25.

SILVEIRA, C. B. *Switch Gerenciável x Não Gerenciável: Qual Escolher?* Citisystems, 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/switch-gerenciavel/>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.