

# **Digitalização dos dados operacionais de uma pedreira utilizando conceitos da Indústria 4.0**

**Tiago Manuel Vila Franca – a30313**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para obter o grau de Mestre em Engenharia Industrial – ramo Engenharia Eletrotécnica

Trabalho realizado sob a orientação de:  
**Professor Doutor José Fernando Lopes Barbosa**

Bragança

2022



# **Digitalização dos dados operacionais de uma pedreira utilizando conceitos da Indústria 4.0**

Tiago Manuel Vila Franca – a30313

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança para obter o grau de Mestre em Engenharia Industrial – ramo Engenharia Eletrotécnica

Trabalho realizado sob a orientação de:  
**Professor Doutor José Fernando Lopes Barbosa**

Bragança

2022



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, um especial agradecimento ao meu orientador Professor Doutor José Fernando Lopes Barbosa por toda a dedicação, apoio, conhecimento transmitido, motivação e disponibilidade demonstrada ao longo da minha formação acadêmica.

Um especial agradecimento ao Engenheiro Ricardo Freitas pelos ensinamentos transmitidos, companheirismo e pela participação ativa no desenvolvimento do sistema de monitorização.

A todos os meus amigos e colegas de trabalho, que diretamente e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, através de conhecimentos, apoio e motivação.

Por fim, e não menos importantes, aos meus pais, que me inculcaram um espírito trabalhador, que sempre me incentivaram e que sempre me recordaram das minhas capacidades, à minha irmã e namorada que sempre me apoiaram, motivaram e nunca me deixaram desistir.

A todos vocês, um muito Obrigado!



# Resumo

Desde o século XVIII que a indústria não tem parado de evoluir e de se reinventar de modo a acompanhar os avanços tecnológicos. Na atualidade a inovação tecnológica avança a um ritmo nunca visto, levando assim a tecnologia para a 4ª Revolução Industrial. A indústria 4.0 é um conceito cada vez mais popular que traz novas formas e conceitos como por exemplo, a interoperabilidade de sistemas. Surgem novas inovações tecnológicas de comunicação que permitem a unificação das formas de comunicar entre sistemas e plataformas diferentes. Neste sentido, o âmbito deste projeto teve como objetivo a implementação de um sistema de monitorização dos dados operacionais dos equipamentos instalados na Pedreira Oliveira Rodrigues. A pedreira é constituída por dois complexos industriais distintos, no complexo 1 encontram-se as etapas finais do processamento do granito para venda ao consumidor. No complexo 2 executasse a primeira etapa do processamento do granito extraído a céu aberto, onde os blocos de granito são convertidos em blocos de menores dimensões para serem processados no complexo industrial 1. Na pedreira foi instalado um sistema de monitorização de dados nos equipamentos (Stonecut, Stonecut45mil, Minorça, Lousada e Monofio), instalados no complexo industrial 1 e 2. Para a implementação do sistema, foi necessário analisar as tecnologias existentes no mercado, face às necessidades da pedreira selecionando a mais adequada à realidade da pedreira. O sistema implementado permite monitorizar em tempo real e armazenar os dados operacionais criando um histórico de consulta.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, digitalização, PLC, OPC UA, Modbus TCP/IP, MQTT, armazenamento de dados.

# Abstract

Since the XVIII century, the industry never stopped evolving and reinventing in order to stay updated with the technological advancements. Currently, the pace at which the technology advances has never been seen before, promoting the technology to the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution. The industry 4.0 is an increasingly popular concept that brings new forms and concepts such as the interoperability of systems. More specifically, the rise of communication technologies permits the unification of communication ways between different platforms and systems. In this context, the current project aims to implement a monitoring system of operational data related to the equipment installed in the Oliveira Rodrigues quarry. This latter consists of two distinct facilities. The first one is responsible for the processing and exhaustion of the final product to be sold to the consumer. On the other hand, the second facility is responsible for the first step of processing the extracted granite in the open, where smaller granite blocks are generated from the bigger ones. In this quarry, a monitoring system was installed to collect data regarding the equipment (Stonecut, Stonecut45mil, Minorça, Lousada and Monofio) installed in both facilities. To implement the system, it was necessary to analyze the technologies available in the market, taking into account the needs of the quarry which allowed the election of the most suitable technology. The implemented system permits the real-time monitoring and storage of the operational data creating a history log.

**Keywords:** Industry 4.0, digitalization, PLC, OPC UA, Modbus TCP/IP, MQTT, data storage.

## Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos	2
1.2	Estrutura do Documento	2
<b>2</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>3</b>
2.1	Enquadramento Histórico	3
2.2	4º Revolução Industrial	4
2.2.1	Sistemas Ciber-Físicos (CPS)	5
2.2.2	Big-Data	6
2.2.3	Internet das Coisas	6
<b>3</b>	<b>Equipamentos e protocolos de comunicação industriais</b>	<b>7</b>
3.1	Controladores Lógicos Programáveis	7
3.1.1	Compactos	8
3.1.2	Modulares	8
3.2	Rede de Comunicação Industrial	9
3.2.1	Protocolo de Comunicação ModBus TCP/IP	10
3.2.2	Protocolo de Comunicação OPC/UA	12
3.2.3	Protocolo de comunicação MQTT	14
3.3	Interface Homem Máquina	16
3.3.1	SCADA	17
3.3.2	Node-Red	18
<b>4</b>	<b>Descrição do caso de estudo e arquitetura do sistema</b>	<b>20</b>
4.1	Oliveira Rodrigues Granitos	20
4.2	Arquitetura da rede de comunicação	22
<b>5</b>	<b>Equipamentos Monitorizados</b>	<b>24</b>
5.1	Equipamento Stonecut e Stonecut45mil	25

5.1.1	Parametrização do protocolo OPCUA .....	26
5.1.2	Processamento e envio dos dados .....	28
5.2	Equipamentos Minorça e Lousada.....	30
5.2.1	Parametrização dos protocolos de comunicação .....	31
5.2.2	Processamento e envio dos dados .....	36
5.3	Equipamento Monofio .....	38
5.3.1	Parametrização dos protocolos de comunicação .....	40
5.3.2	Processamento e envio dos dados .....	43
<b>6</b>	<b>Armazenamento e visualização dos dados.....</b>	<b>44</b>
6.1	Base de dados MySQL.....	45
6.2	Visualização dos dados .....	46
6.2.1	Interface gráfica.....	46
<b>7</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>47</b>
7.1	Conclusão.....	47
7.2	Trabalhos Futuros .....	48
<b>8</b>	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>49</b>
<b>A</b>	<b>Função UPDATE .....</b>	<b>51</b>
<b>B</b>	<b>Script MQTT.....</b>	<b>52</b>
<b>C</b>	<b>Fluxo de nós Node-Red .....</b>	<b>53</b>
<b>D</b>	<b>Aplicação web .....</b>	<b>54</b>

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Registos das variáveis ModBus. ....	10
Tabela 2 - Funções ModBus.....	10
Tabela 3 - Dados de configuração OPC UA e variáveis monitorizadas. ....	26
Tabela 4 - Variáveis monitorizadas e conversão das variáveis Fatek em ModBus. ....	31
Tabela 5 - Variáveis monitorizadas e conversão das variáveis Fatek em ModBus .....	40

# Índice de Figuras

Figura 1 - Retrato das evoluções industriais [3].....	4
Figura 2 - Mapa conceptual de um sistema Ciber-Físico. [5]. ....	5
Figura 3 – Representação gráfica dos dispositivos conectado á internet [9]. ....	6
Figura 4 - Arquitetura dos PLCs compactos. ....	8
Figura 5 - Arquitetura dos PLCs modulares.....	8
Figura 6 - Organização dos sistemas de Automação Industrial [12].....	9
Figura 7 - Comunicação ModBus [14].....	11
Figura 8 - <i>Frame</i> genérico ModBus [14]. ....	11
Figura 9 - Estrutura da norma OPC UA. ....	12
Figura 10 - Arquitetura OPC UA [16]. ....	13
Figura 11 - Aplicações OPC UA [17]. ....	13
Figura 12 - Arquitetura de comunicação MQTT [18].....	14
Figura 13 - QoS apenas uma vez.....	15
Figura 14 - Pelo menos uma vez. ....	16
Figura 15 - Exemplo de um sistema de supervisão SCADA [21].....	17
Figura 16 - Ambiente de trabalho da ferramenta de desenvolvimento Node-Red.....	18
Figura 17 – Conceitos Node-Red: tipos de nós.....	19
Figura 18 - Pedreira Oliveira Rodrigues complexo industrial 1. ....	20
Figura 19 - Vista aérea da pedreira Oliveira Rodrigues [22]. ....	21
Figura 20 - Arquitetura da rede de aquisição dos dados. ....	22
Figura 21 – Equipamento Lousada.....	24
Figura 22 - Equipamento Minorça. ....	24
Figura 23 - Equipamento stonecut45mil. ....	24
Figura 24 - Equipamento Stonecut.....	24
Figura 25 - Equipamento Monofio.....	25
Figura 26 - Rede de comunicação OPC UA. ....	25
Figura 27 - Fluxo de nós OPC UA referente ao equipamento .....	26
Figura 28 - Nó <i>timestamp</i> .....	27
Figura 29 - Nó <i>OPC UA Item</i> .....	27
Figura 30 - Nó de configuração <i>OPC UA Client</i> . ....	27

Figura 31 - Fluxo de nós do processamento e envios dos dados dos equipamentos Stonecut e Stonecut45mil.....	28
Figura 32 - Parametrização do nó <i>joint</i> e carga útil da <i>msg.payload</i> na saída do nó. ....	28
Figura 33 - Nó função, desenvolvimento do código que permite enviar e atualizar os dados na base de dados.....	29
Figura 34 - Parametrização do endereço <i>Host</i> Porta e credenciais de acesso. ....	29
Figura 35 - Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Minorça. ..	30
Figura 36 – Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Lousada. ..	30
Figura 37 - Equipamento Ewon Flexy 205 instalado no chão de fábrica do complexo industrial 1.....	30
Figura 38 - Rede de comunicação ModBus TCP/IP. ....	31
Figura 39 - Interface gráfica de configuração das cartas de comunicação Fatek.....	32
Figura 40 – Interface gráfica de ativação e configuração do protocolo de comunicação ModBus TCP/IP. ....	32
Figura 41 - Interface de configuração das variáveis. ....	33
Figura 42 - Arquitetura da rede de comunicação OPC UA.....	33
Figura 43 - Ativação e parametrização do cliente OPC UA. ....	34
Figura 44 - Conversão das variáveis ModBus em NodeId OPC UA. ....	34
Figura 45 - Fluxo de nós OPC UA cliente entre equipamento Minorça e Lousada.....	35
Figura 46 - Nó <i>timestamp</i> foi definido o intervalo de solicitações de dados de 30 em 30 segundos.....	35
Figura 47 - Configuração do NodeId e formato da variável monitorizada. ....	36
Figura 48 - Integração do Nó <i>OPC UA Client</i> . ....	36
Figura 49 - Fluxo de nós que permite processar e enviar os dados monitorizados.....	36
Figura 50 - <i>Array</i> de cinco posições referente ao equipamento Lousada. ....	37
Figura 51 - Nó função, desenvolvimento do código que permite enviar e atualizar os dados na base de dados.....	37
Figura 52 - Dados de configuração para estabelecer a comunicação entre o Node-Red e a base de dados MySQL.....	38
Figura 53 - Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Monofio. ..	39
Figura 54 - Equipamento Ewon Flexy Wifi 20200 instalado no chão de fábrica do complexo industrial 2.....	39
Figura 55 - Arquitetura da rede de comunicação do equipamento Monofio. ....	40
Figura 56 - Representação gráfica da rede de comunicação ModBus TCP/IP. ....	41

Figura 57 - Integração do protocolo de comunicação MQTT no dispositivo Ewon Flexy Wifi 20200.....	41
Figura 58 - Fluxo de nós referente ao equipamento Monofio.....	42
Figura 59 - Parametrização do nó MQTT.....	42
Figura 60 – Fluxo de nós que permite processar e enviar os dados do equipamento Monofio. .....	43
Figura 61 - Visualização da carga útil da <i>msg.payload</i> a saída do nó 2 e 3.....	43
Figura 62 - Interface gráfica MySQL Workbench.....	44
Figura 63 - Configuração dos dados de acesso a base de dados utilizando o <i>software</i> MySQL Workbench.....	44
Figura 64 – Tabela referente aos dados do equipamento Stonecut e Stonecut45mil.....	45
Figura 65 - Exemplo do histórico de dados do equipamento Stonecut, é inserida uma nova linha de valores de 10 em 10 minutos.....	45
Figura 66 - Invento geral.....	45
Figura 67 - <i>Dashboard</i> geral da aplicação <i>web</i> .....	46

# Lista de Abreviaturas

**ABS** Anti-lock Braking System

**ADU** Unidade de Aplicação de dados

**CAN** Controller Area Network

**CNC** Controle numérico computadorizado

**CPU** Central Processing Unit

**DA** Data Access

**ESP** Programa Eletrónico de Estabilidade

**HMI** Interface homem-máquina

**IBM** International Business Machines

**I/O** Entradas/Saídas

**IoT** Internet of Things

**IT** Tecnologia da informação

**M2M** Machine to Machine

**MQTT** Message Queue Telemetry Transport

**OPC** Open Platform Communication

**OPC UA** Open Platform Communication Unified Architecture

**OT** Tecnologia operacional

**PDU** Unidade do protocolo de dados

**PLC** Programmable logic controller

**QoS** Quality of Service

**RTU** Remote Terminal Unit

**SCADA** Supervisory Control And Data Acquisition

**SOA** Arquitetura orientada a serviços

**TCP/IP** Transmission Control Protocol/Internet Protocol

**USB** Universal Serial Bus

# 1 Introdução

Com o passar dos anos o setor industrial tem impulsionado e demonstrado cada vez mais interesse em incorporar novas tecnologias como a inteligência artificial, automatização de equipamentos, digitalização e inovação dos processos produtivos. A esses objetivos está acoplada uma maior criatividade, maior eficiência, maior rapidez e assim a redução do envolvimento humano no chão de fábrica das indústrias.

A alavanca para o início de uma nova era tecnológica começou com a 1ª Revolução Industrial, onde a descoberta principal envolveu a utilização da máquina a vapor, ou seja, pela produção mecanizada. A partir desse momento a investigação levou a indústria estar em constante atualização, começando uma nova revolução tecnológica com a descoberta da eletricidade, ficando conhecida como a 2ª Revolução Industrial. Mais próxima da atualidade, mas ainda nos anos 70, iniciou a Indústria 3.0 onde surgiram os primeiros sistemas de automação. Recentemente a inovação dos avanços tecnológicos avança a um ritmo nunca visto, levando assim a tecnologia para a 4ª Revolução Industrial.

Na 4ª Revolução industrial normalizam-se termos como Internet das Coisas e Indústria 4.0, a abordagem destes termos é cada vez mais frequente e gradualmente estes conceitos tornam-se numa realidade mais presente. A aplicação de novas tecnologias terá impacto em vários aspetos da sociedade, com a vinda de sistemas inteligentes que permitirão que a interação homem-máquina tome outros contornos. Ao longo do tempo as tecnologias atuais estão a ficar mais acessíveis, também a sua aplicação está a tornar-se mais fácil, o que leva a uma necessidade de adaptação mais rápida para manter os níveis de competitividade.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo do trabalho consiste na implementação de um sistema de monitorização que permita a aquisição dos dados operacionais dos equipamentos já existentes na Pedreira Oliveira Rodrigues. Numa primeira fase, o trabalho consiste em analisar os sistemas de automação e protocolos de comunicação existentes nos equipamentos. Posteriormente dimensionar uma rede de comunicação que permita monitorizar e unificar os dados operacionais dos equipados instalados no complexo industrial 1 e 2. Após equacionada a solução que mais se enquadra na finalidade do projeto, esta foi colocada em prática.

## **1.2 Estrutura do Documento**

A presente dissertação está dividida em 7 capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho realizado, o segundo capítulo contém factos históricos mais relevantes e a descrição dos conceitos relacionados com a Indústria 4.0. O terceiro capítulo apresenta diferentes conceitos de PLCs existentes no mercado e protocolos de comunicação utilizados em redes industriais. No quarto capítulo é apresentado o caso de estudo, onde se verifica uma introdução relativamente à Pedreira Oliveira Rodrigues e pode visualizar-se a arquitetura da rede de aquisição dos dados. Os procedimentos realizados para monitorizar os dados dos equipamentos, são descritos no capítulo 5. O capítulo 6 exhibe uma apresentação da interface gráfica. Por fim, o capítulo 7 apresenta a conclusão obtida ao longo deste projeto, assim como propostas para trabalhos futuros.

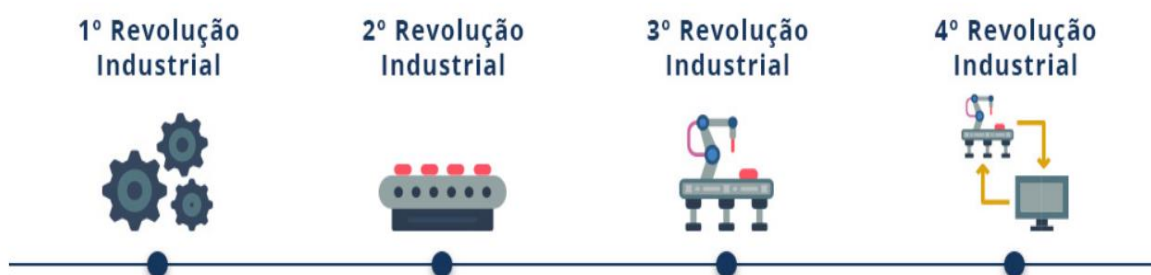
## 2 Estado da Arte

### 2.1 Enquadramento Histórico

A primeira revolução industrial começou em Inglaterra entre os anos de 1760 e 1840, é caracterizada pela construção de caminhos de ferro e a invenção do motor a vapor. Durante este intervalo de tempo, as tecnologias utilizadas, tais como moinhos hidráulicos, moinhos eólicos e a força dos animais, começam a ser substituídos pelas máquinas a vapor, que viriam a permitir um aumento na eficiência das indústrias, como por exemplo, as minas de carvão. No final do século XIX, início do século XX, a eletricidade e a linha de montagem vêm revolucionar a indústria permitindo a produção em massa. Nesta altura, surgem barcos com motores a vapor, que permitem um avanço no transporte de mercadorias. A descoberta de novos combustíveis como o petróleo e o aparecimento do primeiro motor de combustão também descrevem aquela que foi a segunda revolução industrial [1]. A terceira revolução industrial, também chamada revolução técnico-científica, é assim conhecida pelos grandes avanços nas áreas da informática, telecomunicações, biotecnologia, robótica. Começa por volta da década de 1960, com o desenvolvimento dos semicondutores, passando pelos primeiros computadores de grande porte até aos computadores pessoais. Fica também conhecida pelo aparecimento da Internet na década de 1990, de grande importância pois permitiu ao mundo uma maior proximidade. No século XXI assistimos ao que se acredita ser a quarta revolução industrial. É caracterizada por uma internet mais móvel e globalizada, por sensores mais pequenos e potentes que se tornaram mais baratos, pela inteligência artificial e pela aprendizagem automática [2]. A crescente evolução das tecnologias digitais está a levar a uma transformação da sociedade e da economia.

## 2.2 4º Revolução Industrial

O mundo está a assistir a grandes alterações, as inovações tecnológicas estão a permitir que por exemplo, possa aceder com facilidade a uma loja que esteja no outro lado do planeta. Tecnologias como Internet ou sensores não são novas, o que surge e torna este conceito de uma nova revolução interessante é o facto destas tecnologias poderem ser utilizadas em sistemas integrados, permitindo assim uma maior recolha de dados [3]. Vários países estão a abordar esta temática de forma semelhante criando os seus programas de desenvolvimento que contêm a estratégia que melhor se adequam às suas economias, na China o “*Made in China 2025*”, na França a “*Alliance Industrie du Futur*” e na Alemanha “*Industrie 4.0*”. Estes são alguns exemplos de programas que abordam esta temática e têm por base, a capacidade de sistemas comunicarem entre si de forma a alcançar o mesmo objetivo. Estes objetivos são alcançados tendo por base várias tecnologias como por exemplo os sistemas ciber-físicos que reúnem os vários domínios das tecnologias: físico, mecânico e eletrónico. A realidade aumentada, que permitirá uma maior acessibilidade à informação sobre objetos reais, como por exemplo, o caso de um operador que pretenda realizar manutenção a uma máquina. A computação em nuvem té uma tecnologia que se prevê de grande utilização nesta nova fase, permitindo que a informação seja armazenada e tratada a partir de uma base comum. A cibersegurança tem um papel importante em prevenir manipulação em informação sensível. O *Big Data* permite o tratamento da enorme quantidade de dados. A aprendizagem automática e a inteligência artificial que permitirão a robótica autónoma e colaborativa de forma a otimizar os sistemas [3]. A utilização destas tecnologias vai além dos avanços que proporcionará à indústria, já que também a sociedade beneficiará destes novos conceitos e o impacto poderá ser sentido em várias áreas. *Klaus Schwab* descreve o impacto na economia como “monumental” e foca dois aspetos principais, o crescimento e a empregabilidade [4].



**Figura 1** - Retrato das evoluções industriais [3].

## 2.2.1 Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

Os sistemas Ciber-Físicos são uma das bases da 4ª revolução industrial, *Edward Lee* e *Sanjit Seshia* descrevem este sistema como a integração da computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente [5].

É o resultado da evolução tecnológica dos computadores, dos sensores e das tecnologias de comunicação, que ao evoluírem no sentido de maior agilidade, capacidade de processamento e preços cada vez mais acessível tem permitido a sua conjugação de forma efetiva e em tempo real. Pela definição de sistema Ciber-Físico, tudo o que contiver computação integrada, rede de comunicação e processos físicos, pode ser considerado como tal. *Alasdair Gilchrist* chega a dar exemplo extremo de um operador humano como um sistema Ciber-Físico, sendo que o cérebro seria a sua unidade computacional, a comunicação é realizada através dos sistemas do corpo humano utilizados para comunicar e a interação física é feita utilizando, por exemplo, as mãos. Então, da mesma forma, uma máquina que contenha uma unidade de computação, que esteja ligada à rede e que atue consoante a informação que é partilhada, será considerada um sistema com esta definição [3]. Os sistemas de ABS e ESP existentes nos automóveis atuais são exemplos de sistemas Ciber-Físicos.

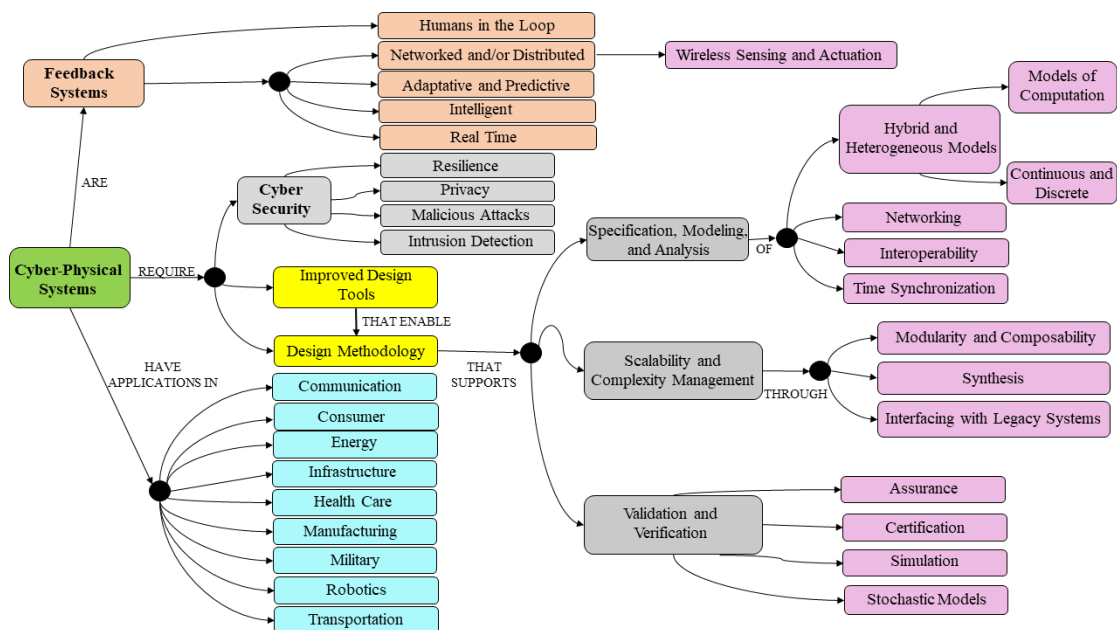


Figura 2 - Mapa conceitual de um sistema Ciber-Físico. [5].

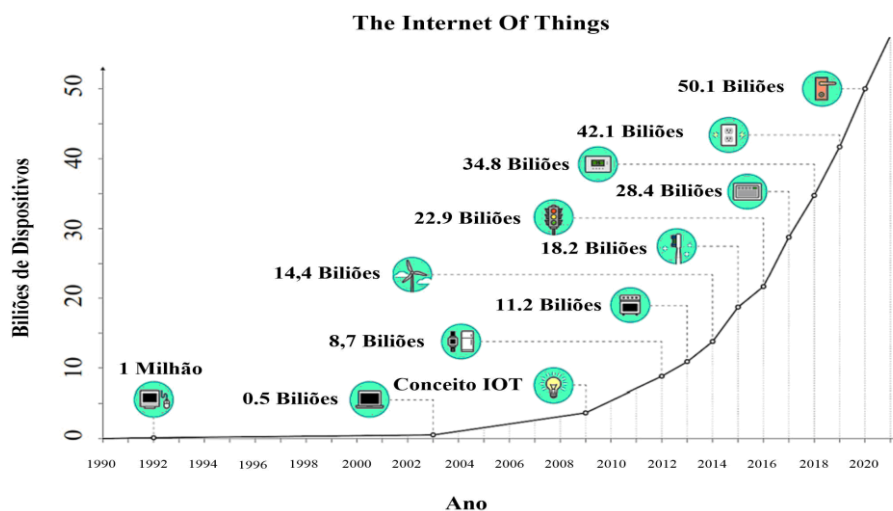
## 2.2.2 Big-Data

*Big-Data* é um termo voltado para o tratamento de grandes volumes de informação que se aplica na indústria 4.0, devido ao IoT (*Internet of Things*), que é constituído por diversos sensores que coletam informações em tempo real de todo o processo produtivo.

Todos os dados coletados precisam de ser tratados e armazenados, para posteriormente gerarem um base de conhecimento para as tomadas de decisões na indústria. Como exemplo da quantidade de dados gerados o *Twitter* gera em torno de 12 terabytes de tuites diariamente, os medidores inteligentes de energia geram 350 bilhões de medições anualmente [7].

## 2.2.3 Internet das Coisas

Internet das coisas (*Internet of Things*) é um conceito que se refere à interconexão digital dos objetos com a internet, este termo foi empregue pela primeira vez no ano de 1999, por *Kevin Ashton* [8]. A IoT pode ser definida como comunicação máquina a máquina (M2M) via internet, permitindo que diferentes objetos estejam interligados e partilhem dados e informações para concluir determinadas tarefas. A base do funcionamento da IoT são sensores e dispositivos que tornam a comunicação entre as “coisas” possível, é necessário um sistema de computação para analisar os dados recebidos e gerenciar ações de cada objeto conectado a essa rede [8]. Entre o ano de 1992, onde só existia 1 milhão de utilizadores e 2020, existiu um crescimento exponencial de dispositivos conectados á internet (figura 3) [9].



**Figura 3** – Representação gráfica dos dispositivos conectados à internet [9].

## 3 Equipamentos e protocolos de comunicação industriais

### 3.1 Controladores Lógicos Programáveis

O PLC nasceu dentro da indústria automóvel americana, mais especificamente na *Hydronic Division* da *General Motors*, em 1968. Este aparecimento foi devido à grande dificuldade em efetuar alterações nas linhas de montagem, uma vez que tais mudanças implicavam altos gastos de tempo e dinheiro.

Sobre a liderança do engenheiro *Richard Morley*, foi preparada uma especificação que refletia as necessidades de muitos utilizadores de circuitos que utilizavam relés, não só da indústria automóvel, mas em toda a indústria de manufatura em geral.

Nascia assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, que tem vindo a ser progressivamente melhorado permitindo uma maior aplicação nos diferentes sectores industriais, representando um mercado que movimenta muitos milhões de Euros por ano. Desde o seu aparecimento até hoje, muita coisa evoluiu nos controladores lógicos programáveis, como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das entradas e saídas e principalmente o modo de programação e a interface com o utilizador. O PLC é o controlador programável com maior aplicação na indústria.

A partir de 1993, a norma IEC 1131 estabeleceu padrões para a linguagem que passaram a ser adotadas internacionalmente [10].

### 3.1.1 Compactos

PLCs integrados ou compactos integram no mesmo bloco todos os elementos necessários à sua operação (entradas, saídas, CPU, comunicação, memória e fonte de alimentação). Os recursos de entradas e saídas são definidos pelo fabricante e não pelo usuário, limitando assim a sua aplicação.

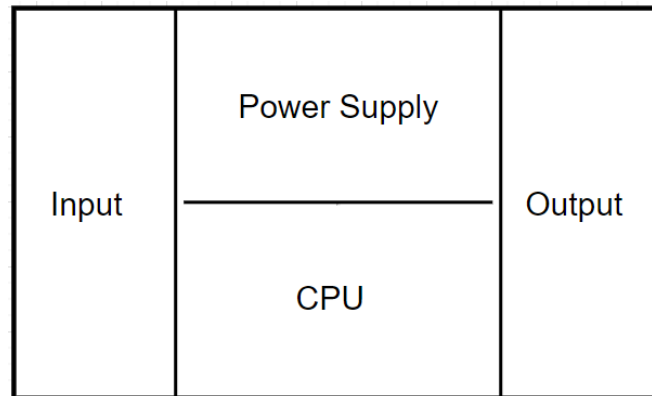


Figura 4 - Arquitetura dos PLCs compactos.

### 3.1.2 Modulares

PLCs modulares, também conhecidos como PLCs montados em *rack*, chassis ou placa de base, permite a instalação separada do CPU, fonte de alimentação, sistema de I/O e sistema de comunicação. O sistema de I/O contém seções conectáveis para que os módulos possam ser misturados e combinados. Embora este sistema tende a ser mais caro que os PLCs compactos, as vantagens superam os custos. Ele permite futuros *upgrades* e expansões aumentando as opções de aplicação.

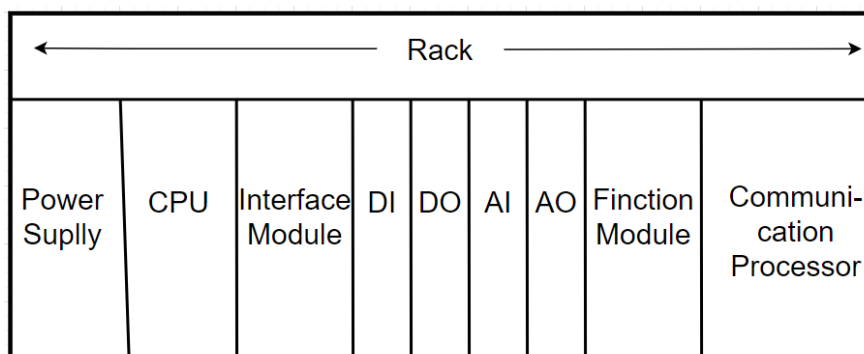
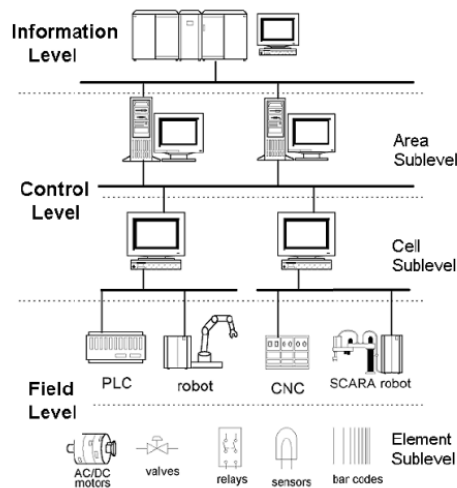


Figura 5 - Arquitetura dos PLCs modulares.

## 3.2 Rede de Comunicação Industrial

Com a evolução da tecnologia e com o aumento da competitividade dos mercados ao longo do tempo, foi surgindo uma ampla gama de equipamentos – Máquinas CNC, Robot, prensas HMIs etc. Ao mesmo tempo que os sistemas de automação começaram a ter uma representação considerável na indústria. As redes industriais começaram a ter um importância notável e organização piramidal, abrangendo desde as redes de sensores e atuadores, nível mais baixo da pirâmide de automação, até ao nível mais alto de gestão e supervisão.

Em consequência desta variedade de dispositivos, meios de comunicação e organizações hierárquicas, foi necessário o desenvolvimento progressivo de diversos protocolos, suportes físicos e topologias de rede adequados para satisfazer um conjunto de critérios conforme a aplicação [11]. Critérios esses que são, por exemplo, tempo de resposta, taxa de transmissão de dados, tipo de dispositivos envolvidos e compatibilidade entre eles, tolerância a falhas e a fatores ambientais.



**Figura 6 - Organização dos sistemas de Automação Industrial [12].**

De igual modo, esses protocolos e redes são altamente diversificados em termos de características funcionais e também a nível de acessibilidade. No princípio estes protocolos eram fechados, ou seja, constituíam propriedade das organizações que os criaram, mas, com a crescente necessidade de interligar recursos de diferentes fabricantes de equipamento industrial e informático, foram surgindo protocolos abertos que, por sua vez, não são diretamente compatíveis entre si.

### 3.2.1 Protocolo de Comunicação ModBus TCP/IP

O protocolo de comunicação ModBus TCP/IP é um dos protocolos de comunicação mais utilizados em sistemas de automação industrial, criado na década de 70 pela fabricante de equipamentos indústrias *Modicon*. Em 2004 o protocolo de comunicação ModBus começou a ser gerido pela *ModBus Organization* passando a ser um protocolo de comunicação livre e sem custos de licenciamento [13].

A comunicação ModBus é implementada por meio do envio de mensagens do tipo pergunta/resposta, e é baseada em um conjunto de registos (Tabela 1) e funções (Tabela 2).

**Tabela 1** - Registos das variáveis ModBus.

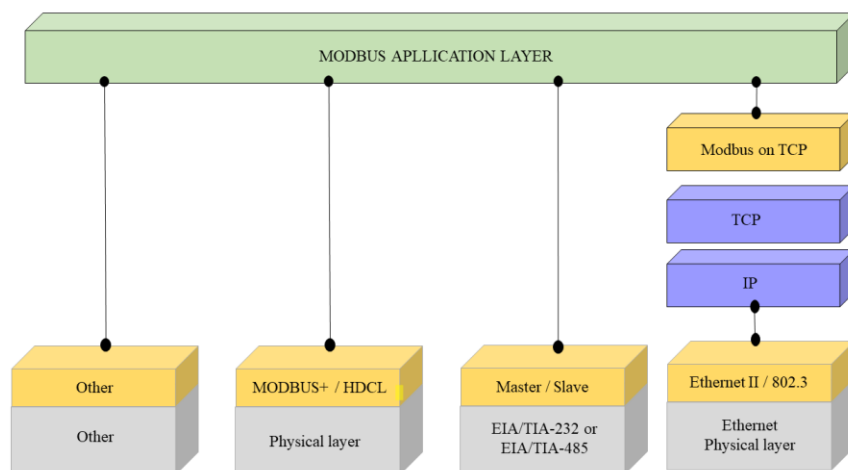
ModBus	Description
000001 ~000256	Discrete Output
001001 ~001256	Discrete Input
002001 ~004002	Discrete M Relay
006001 ~007000	Discrete S Relay
009001 ~009256	Status of T0 ~T255
009501 ~009756	Status of C0 ~C255
400001 ~404168	Holding Register
405001 ~405999	Holding Register or ROR
406001 ~408999	Data Register
409001 ~409256	Current Value of T0 ~T255
409501 ~409700	Current Value of C0 ~C199 (16-bit)
409701 ~409812	Current Value of C0 ~C255 (32-bit)

**Tabela 2** - Funções ModBus.

Code 01: Read Coil Status	Code 05: Force Single Coil
Code 02: Read Input Status	Code 06: Preset Single Register
Code 03: Read Holding Registers	Code 15: Force Multiple Coils
Code 04: Read Input Registers	Code 16: Preset Multiple Registers

O protocolo de comunicação ModBus utiliza uma configuração mestre/escravo, é o mestre quem sempre inicia uma comunicação ModBus. Cada mensagem pode ser endereçada apenas a um único dispositivo ou a todos os dispositivos conectados na rede. O protocolo ModBus permite que existam até 247 dispositivos físicos conectados na rede.

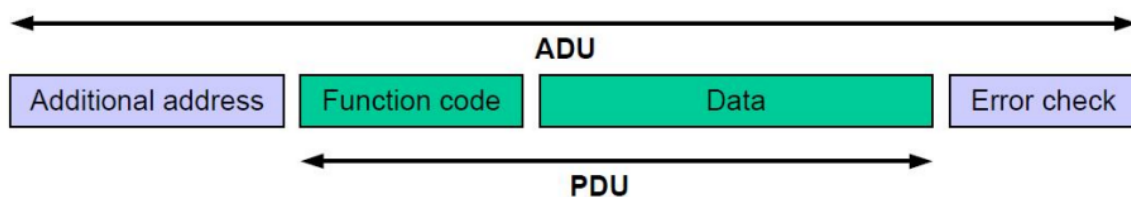
Uma comunicação tem início quando o dispositivo mestre envia uma solicitação ao dispositivo escravo endereçado. O dispositivo endereçado deve processar a solicitação e responder ao dispositivo mestre.



**Figura 7 - Comunicação ModBus [14].**

Os padrões RS-232 e RS-485 são os meios de transmissão mais utilizados para enviar mensagens ModBus, embora ele também possa ser encapsulado em *frames* TCP/IP, no qual é utilizado o padrão *Ethernet* para a transmissão dos dados.

O protocolo ModBus define uma estrutura chamada (PDU) Unidade de Protocolo de Dados com a função e os dados adquiridos. Alguns campos adicionais são incluídos no PDU, os quais dão origem a um *frame* chamado de (ADU) Unidade de Aplicação de Dados (Figura 8) [14].



**Figura 8 - Frame genérico ModBus [14].**

### 3.2.2 Protocolo de Comunicação OPC/UA

Nos anos 90, através da colaboração de várias empresas numa tentativa de encontrar uma forma de transmitir informação a partir de autómatos programáveis, surge o OPC para *Data Access* (DA) que, de acordo com a fundação OPC consiste num protocolo de comunicação que permite encapsular outros protocolos através de um sistema normalizado.

Em 2006 a fundação OPC apresentou primeira versão da norma OPC UA (*Open Platform Communication Unified Architecture*) que pretende ser um protocolo de comunicação normalizado permitindo que diferentes sistemas possam trocar informação independentemente da sua plataforma. Este conceito é baseado numa arquitetura orientada para serviços (SOA) que integra todas as funcionalidades do *OPC Classic* [15].

As principais características adicionadas neste modelo são:

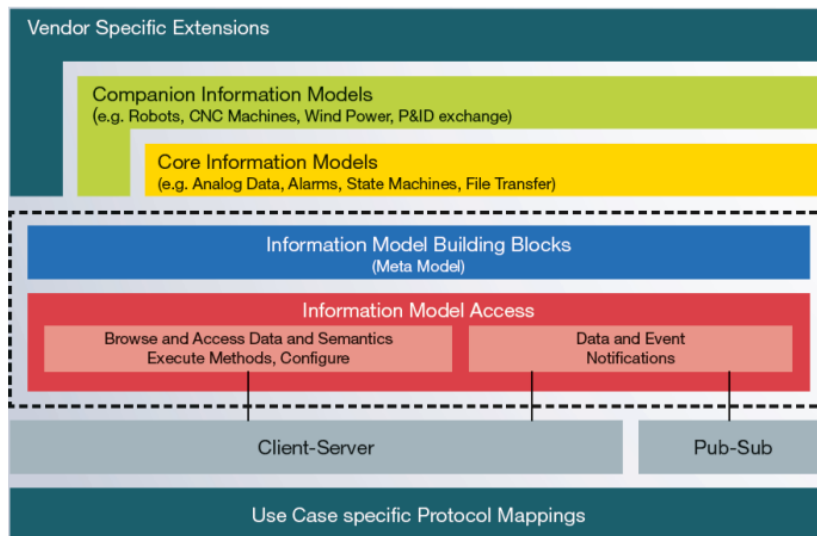
- Não depender de um sistema operativo específico.
- Segurança integrada utilizando um sistema *username-password* ou por certificados (X.509);
- Permite identificar servidores e clientes numa rede.
- Permitir a definição de semânticas normalizadas em áreas específicas.

A norma OPC UA é organizada em várias partes (Figura 9). As partes de 1 a 7 e 14 definem as capacidades centrais do OPC UA, as partes de 8 a 11 fazem a descrição de como estas capacidades se aplicam a vários tipos de acesso, a parte 12 é relativa aos 13 mecanismos de descoberta para OPC UA e a parte 13 mostra de que formas se podem agregar dados.

OPC UA Multi-Part Specification		
<b>Core Specification Parts</b> Part 1 - Overview & Concepts Part 2 - Security Model Part 3 - Address Space Model Part 4 - Services Part 5 - Information Model Part 6 - Service Mappings Part 7 - Profiles Part 14 - PubSub	<b>Access Type Specification Parts</b> Part 8 - Data Access Part 9 - Alarms & Conditions Part 10 - Programs Part 11- Historical Access	<b>Utility Specification Parts</b> Part 12 - Discovery Part 13 - Aggregates

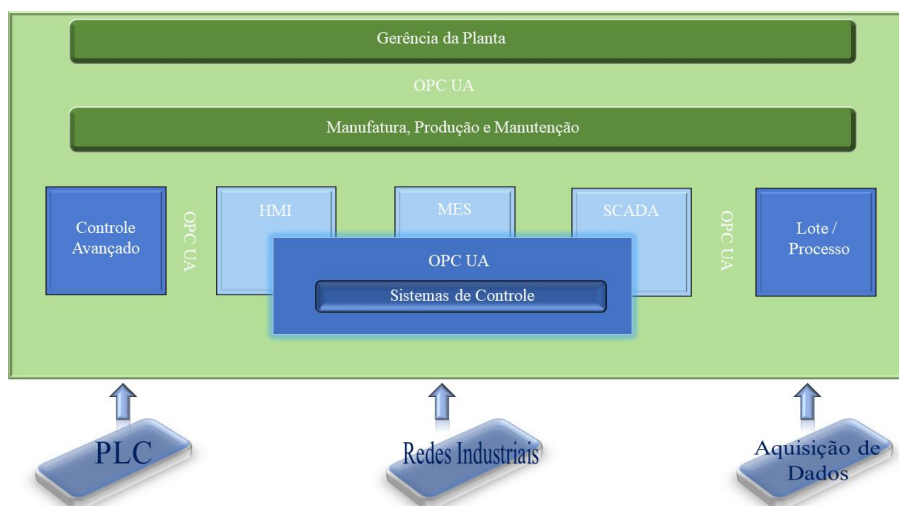
**Figura 9** - Estrutura da norma OPC UA.

A arquitetura de várias camadas do OPC UA (Figura 10) fornece uma estrutura “à prova do futuro”. Tecnologias e metodologias inovadoras, como novos protocolos de transporte, algoritmos de segurança, padrões de codificação ou serviços de aplicativo, podem ser incorporados no OPC UA.



**Figura 10 - Arquitetura OPC UA [16].**

O modelo *publish-subscribe* foi otimizado para configurações muitos para muitos, fornecendo um mecanismo alternativo ao modelo cliente-servidor onde cada notificação é para um único cliente com entrega garantida. Existem várias aplicações do OPC UA que estão ilustradas na figura 11.



**Figura 11 - Aplicações OPC UA [17].**

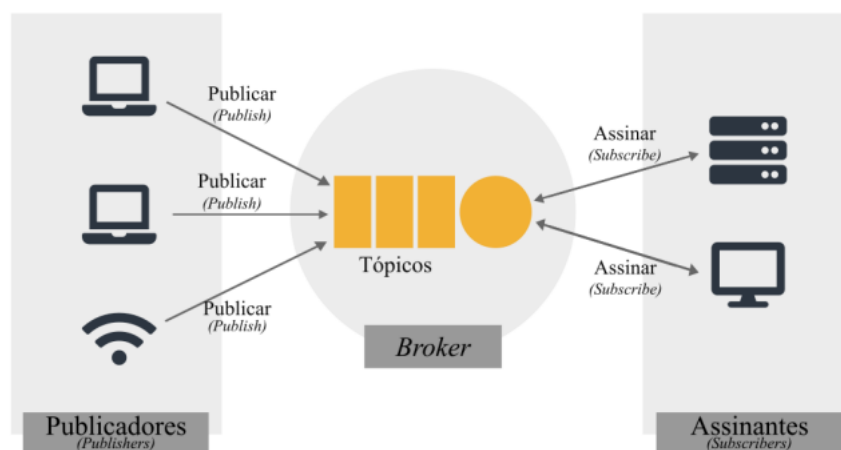
### 3.2.3 Protocolo de comunicação MQTT

Criado pela IBM na década de 90 direcionado para sistemas de supervisão e aquisição de dados na indústria petrolífera, o protocolo evoluiu e encontrou o seu espaço nesse amplo mercado de Internet das Coisas. O protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) foi concebido para conectar dispositivos, redes, aplicações e serviços que utilizam uma largura de banda de rede mínima, *hardware* simples e leve.

#### Arquitetura de comunicação

A comunicação do protocolo MQTT, ocorre por meio da arquitetura *publish-subscribe*. Na figura 12 é possível observar as três principais componentes: *Publisher* (Publicador), o *Broker* (Intermediário) e o *Subscriber* (Assinante), cada componente é definido por:

- ***Publisher*** – Os Publicadores, são os dispositivos que geram dados. Os dados são publicados seguindo o formato de tópicos.
- ***Broker*** – Filtra as mensagens recebidas e distribui corretamente pelos assinantes.
- ***Subscriber*** – Os Assinantes recebem as mensagens publicadas, de acordo com o tópico que subscreveram.

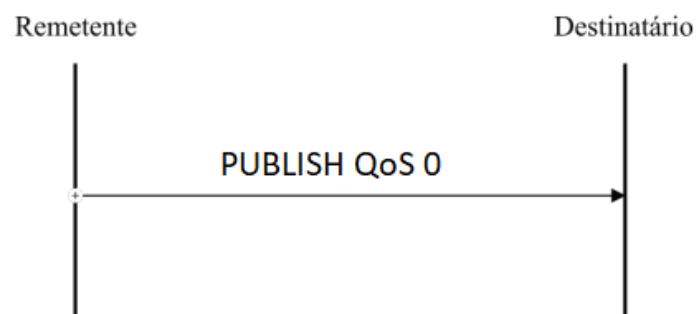


**Figura 12** - Arquitetura de comunicação MQTT [18].

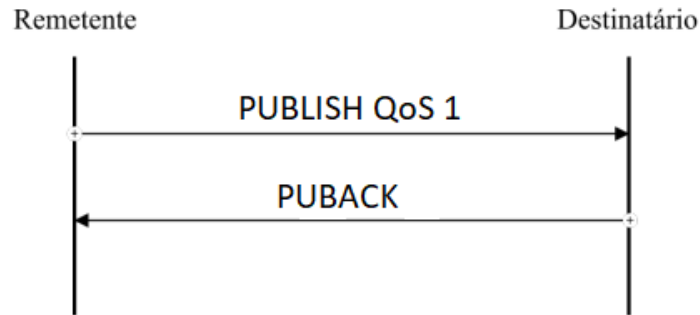
O protocolo MQTT tem incorporado a qualidade de serviço QoS - (*Quality of Service*) que aponta o nível de serviço do *broker* ao receber e transmitir dados. De uma forma simples, podem ser três os tipos:

- **QoS 0 (No Máximo 1 vez)** – Este nível de serviço garante a entrega com o melhor esforço, o destinatário não confirma que recebeu a mensagem e a mensagem não é armazenada nem retransmitida pelo remetente [19].
- **QoS 1 (pelo menos uma vez)** – Garante que a mensagem seja entregue pelo menos uma vez ao receptor. O remetente armazena a mensagem até receber um pacote *PULBACK* do destinatário indicando que recebeu a mensagem. É possível enviar a mensagem mais que uma vez [19].
- **QoS 2 (exatamente uma vez)** - Este nível garante que cada mensagem é recebida apenas uma vez pelo destinatário. O QoS 2 é o nível de serviço mais seguro e mais lento [19].

As duas figuras seguintes ilustram o comportamento da garantia de entrega. No máximo uma vez (Figura 13) e pelo menos uma vez (Figura 14).



**Figura 13 - QoS apenas uma vez.**



**Figura 14** - Pelo menos uma vez.

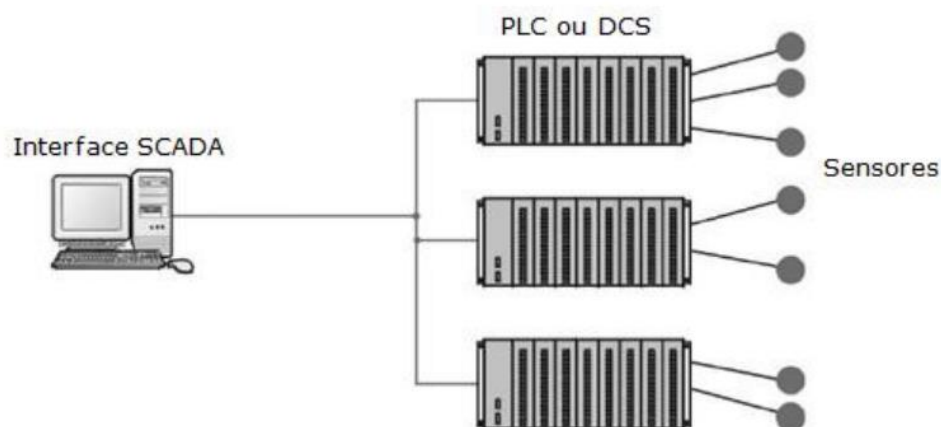
### 3.3 Interface Homem Máquina

Os sistemas atuais de automação requerem que o acesso à informação seja preciso, quer em termos de espaço ou de tempo. O diálogo entre o Homem e a Máquina tem que reunir todas as funções de que o operador necessita para controlar ou supervisionar o sistema, pois todas as ações tomadas por este têm que garantir o correto funcionamento do mesmo, garantindo também a segurança e disponibilidade do serviço. Assim, é indispensável que o desenvolvimento de interfaces Homem-Máquina seja de qualidade, de forma a garantir um controlo correto e seguro do sistema em qualquer circunstância [20]. Estas interfaces tiveram uma grande evolução nos últimos tempos, sobretudo devido ao aparecimento dos sistemas computacionais. A utilização do botão de pressão tem vindo a ser substituída por dispositivos eletrónicos (principalmente por ecrãs táteis), que podem ser personalizados de modo a responderem a novas exigências. Têm como funções, a visualização dos dados vindos dos sistemas de controlo, a modificação dos parâmetros e variáveis de controlo, ou comandar um determinado processo do sistema. A comunicação entre este tipo de sistemas e a interface de controlo é, regra geral, feita através de uma ligação serie RS-232/RS-422/RS-485, via porta USB, CAN ou em alguns casos via *Ethernet*. O mercado oferece uma vasta gama de soluções perfeitamente adequadas a qualquer nível de comunicação.

### 3.3.1 SCADA

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) é um sistema que recebe informação de vários sensores numa unidade industrial, central de controle de águas ou num outro local remoto e envia essa informação para um computador central que posteriormente efetua o controlo e gestão de informação.

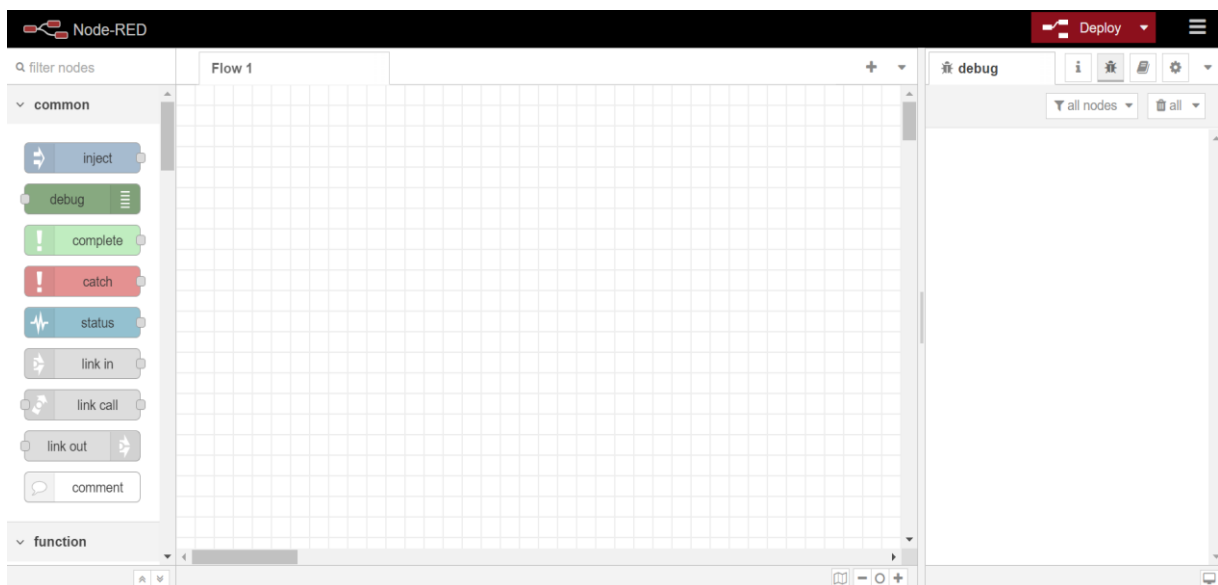
Deste modo o termo SCADA é amplamente usada para representar soluções de controlo e supervisão numa grande variedade de indústrias, como é o caso dos sistemas de gestão de água e eletricidade de uma cidade. Dos sinais de trânsito ou de qualquer sistema de produção de uma instalação fabril. Quando se começou a efetuar a aquisição de dados era ainda usada uma lógica de relés no controlo da produção. Com o desenvolvimento do CPU (*Central Processing Unit*) e de outros equipamentos eletrónicos, os fabricantes começaram a incorporar o processamento digital no controlo através da logica de relés, criando efetivamente o PLC, que é ainda atualmente um dos sistemas de controlo mais usados na indústria. SCADA engloba a combinação de telemetria e aquisição de dados. SCADA efetua a recolha de informação através de unidades RTU (*Remote Terminal Unit*) como por exemplo PLCs, transmitindo a informação à central de análise, executando qualquer operação de análise e controlo necessária e exibe a informação processada. As ações de controlo eventualmente necessárias são posteriormente transmitidas aos processos.



**Figura 15** - Exemplo de um sistema de supervisão SCADA [21].

### 3.3.2 Node-Red

O Node-Red é uma ferramenta de desenvolvimento criada pela IBM para interação de dispositivos de *hardware*, APIs e serviços online para simplificar a criação de sistemas IoT. A sua função consiste em conectar dispositivos *hardware* a serviços *web* e outros *softwares*. A linguagem de programação base é chamada de Node.js, porém o mesmo permite compatibilidade com outras linguagens. No ambiente de execução do Node-RED, os programas são fluxos compostos por uma coleção de nós conectados para trocar mensagens. Cada nó tem um propósito bem definido. Tecnicamente, um fluxo consiste numa lista de objetos *JavaScript* que descrevem os nós e as suas configurações. O Node-RED segue um sistema de *flows* para programação através de blocos lógicos, os famosos nós. As mensagens transmitidas entre nós são, objetos *JavaScript* chamados *msg*. Na figura 16 observa-se o ambiente de trabalho da ferramenta de desenvolvimento Node-Red.



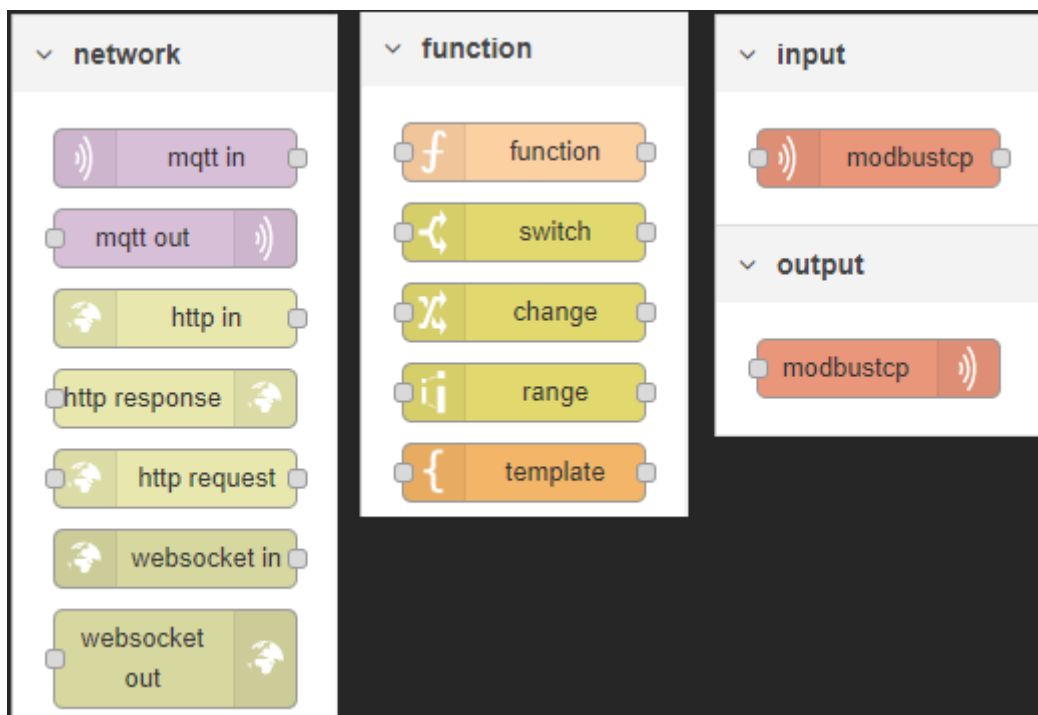
**Figura 16** - Ambiente de trabalho da ferramenta de desenvolvimento Node-Red.

Geralmente contêm uma propriedade *msg.payload* com a carga útil (*payload*) da mensagem. Os nós podem anexar outras propriedades a uma mensagem, que pode ser usada para transportar outras informações para o próximo nó no fluxo. Existem 3 tipos básicos de nós:

- **Nós de entrada** (*input*) - geram mensagens para os nós que recebem dados;
- **Nós de saída** (*output*) - consomem mensagens, por exemplo, para enviar dados para um serviço externo;
- **Nós de processamento** (*function*) - processam dados de alguma forma, emitindo mensagens novas ou modificadas;

E duas categorias adicionais:

- **Nós de credenciais;**
- **Nós criados por utilizadores;**



**Figura 17** – Conceitos Node-Red: tipos de nós.

## 4 Descrição do caso de estudo e arquitetura do sistema

### 4.1 Oliveira Rodrigues Granitos

A Pedreira Oliveira Rodrigues Granitos está localizada em Pedras Salgadas, distrito de Vila Real, tem uma extensão de aproximadamente 30ha. A pedreira exerce atividade na mineração de granito cinza-claro e amarelo real a céu aberto. A pedreira encontra-se dividida em duas partes mineração (extração dos blocos de granito) e processamento dos blocos de granito extraídos para venda direta ao consumidor.



**Figura 18** - Pedreira Oliveira Rodrigues complexo industrial 1.

O objetivo deste projeto foi desenvolver uma interface gráfica que permitisse monitorizar os dados operacionais dos equipamentos em tempo real e efetuar o registo dos mesmos numa base de dados. Devido a distância que se encontram o complexo industrial 1 do complexo industrial 2, unificar os dados operacionais dos equipamentos instalados nos dois complexos industriais foi um dos maiores desafios do projeto (Figura 19).

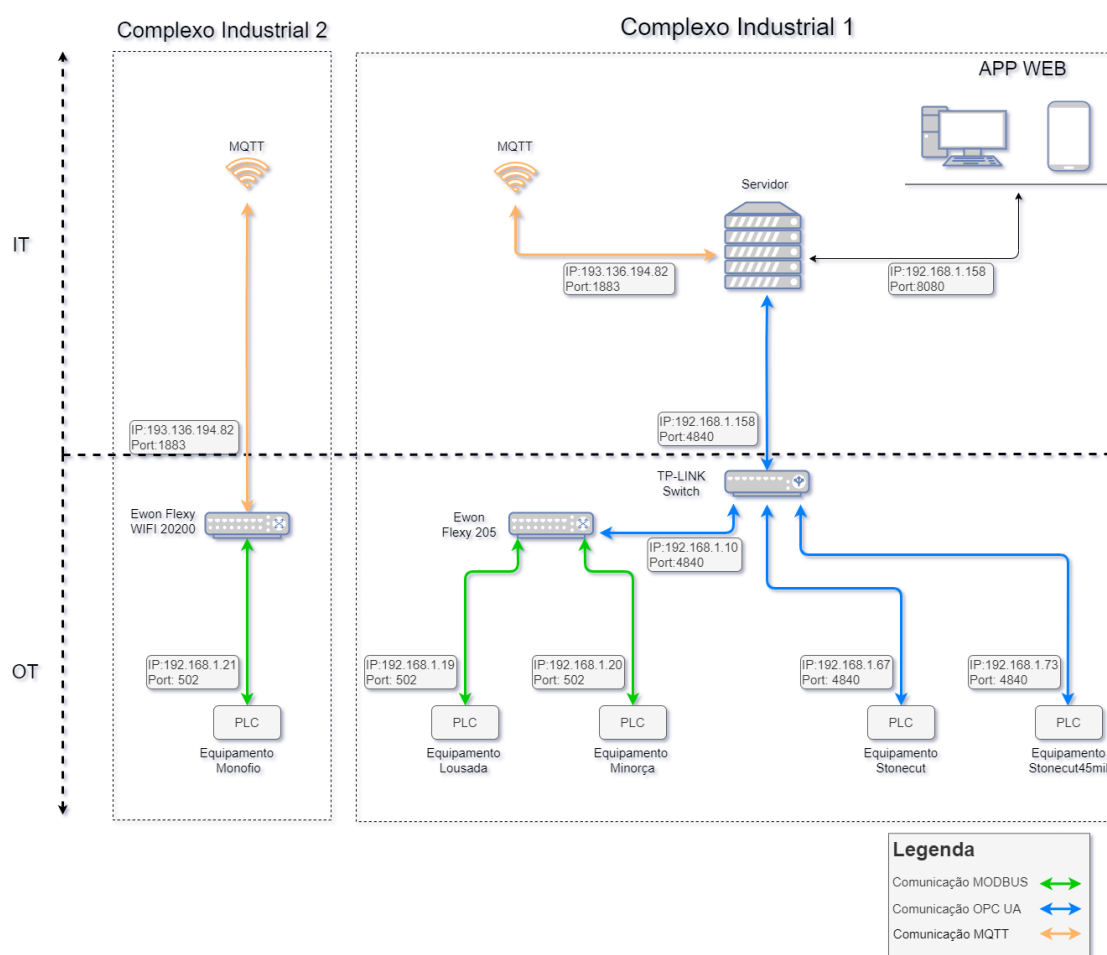
O projeto desenvolveu-se em três fases, a primeira teve como objetivo analisar e identificar os sistemas de automação e protocolos de comunicação presentes nos equipamentos, a segunda teve como objetivo dimensionar a rede de comunicação que permitisse recolher os dados operacionais dos equipamentos e analisar as soluções existentes no mercado que suprimissem as necessidades. Na terceira fase passou pela instalação, parametrização e validação da solução desenvolvida.



**Figura 19** - Vista aérea da pedreira Oliveira Rodrigues [22].

## 4.2 Arquitetura da rede de comunicação

A rede de aquisição dos dados operacionais esta dividida em duas partes, tecnologia operacional (OT) e tecnologia da informação (IT). A figura 20 ilustra a arquitetura do sistema de monitorização dos dados operacionais dos equipamentos instalada na pedreira.



**Figura 20** - Arquitetura da rede de aquisição dos dados.

A tecnologia operacional é definida pelos *hardware* e *software* localizados no chão de fábrica que permitem detetar e efetuar mudanças nos processos produtivos.

Esses sistemas normalmente comunicam usando redes de controlo industrial, como Modbus, EtherNET/IP, Profinet e EtherCAT, Profibus, FieldBus, OPC e redes sem fio.

A tecnologia da informação é responsável pelos softwares de gestão empresarial, rede de internet, servidores, armazenar e gerenciar os dados. As tecnologias OT e IT não tinham nenhuma interação, com a transformação digital e o crescimento das áreas analíticas começou a perceber-se que a análise de dados e a utilização de ferramentas de IT ajudariam no crescimento da eficiência das áreas de OT. Um dos grandes desafios da convergência do OT e IT é a segurança uma vez que a interligação das tecnologias tornou mais vulnerável os processos produtivos localizados no chão de fábrica.

Na pedreira para monitorizar os dados operacionais dos equipamentos foram utilizados três protocolos de comunicação ModBus TCP/IP, OPC UA e MQTT.

De forma a utilizar protocolos de comunicação direcionados para a tecnologia de comunicação IoT no complexo industrial 1 e 2 foi instalada uma gateway industrial que interliga protocolos de comunicação diferentes. Na monitorização dos dados dos equipamentos Stonecut e Stonecut45 foi utilizado o protocolo de comunicação OPC UA. Na rede de aquisição de dados dos equipamentos Minorça e Lousada foi utilizada a *gateway* Ewon Flexy 205 que permite converter o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP em OPC UA.

Devido a distância existente entre o complexo industrial 1 e o complexo industrial 2 a solução mais viável para enviar os dados para o complexo industrial 1 foi utilizar o protocolo de comunicação MQTT. Uma vez que o equipamento Monofio apenas permitia integrar o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP, no complexo industrial 2 foi instalada uma gateway Ewon Flexy Wifi 20200 que permite diferentes protocolos de comunicação “falarem” entre si. Os dados do equipamento Monofio foram monitorizados utilizando o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP e enviados para o complexo industrial 1 utilizando o protocolo de comunicação MQTT.

## 5 Equipamentos Monitorizados

No complexo industrial 1 foram monitorizados os dados operacionais de quatro máquinas duas CNCs de 5 eixos, e duas máquinas de corte de pedra de três eixos designadas como Stonecut, Stonecut45mil, Minorça e Lousada No complexo industrial 2 monitorizamos os dados de uma máquina de corte de pedra designada como Monofio. A sequência de imagens (Figura 21, 22, 23, 24 e 25) representa os equipamentos monitorizados no complexo industrial 1 e 2.



**Figura 21** – Equipamento Lousada.



**Figura 22** - Equipamento Minorça.



**Figura 23** - Equipamento stonecut45mil.



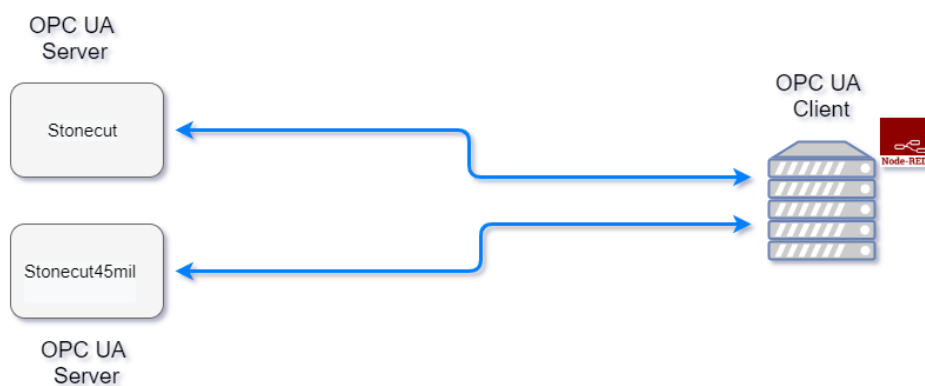
**Figura 24** - Equipamento Stonecut.



**Figura 25 - Equipamento Monofio.**

## 5.1 Equipamento Stonecut e Stonecut45mil

Os equipamentos Stonecut e Stonecut45mil apresentam tecnologia de comunicação direcionadas para a indústria 4.0. Ambos os equipamentos já integram um protocolo de comunicação OPC UA que permitem monitorizar de forma direta os dados dos mesmos. Na figura 26 pode visualizar-se a arquitetura do protocolo de comunicação OPC UA utilizada.



**Figura 26 - Rede de comunicação OPC UA.**

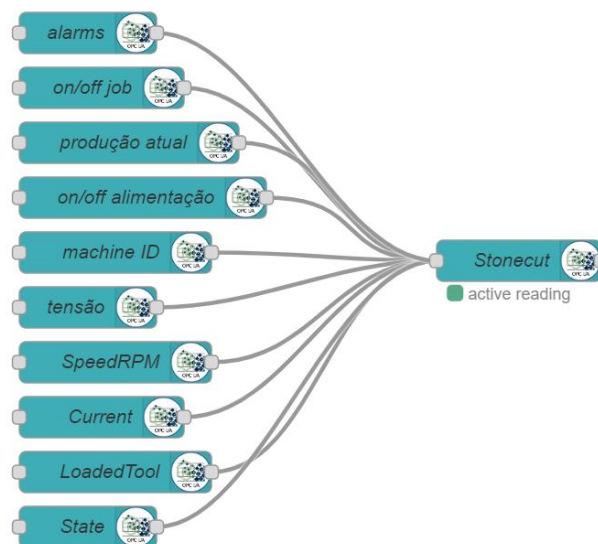
### 5.1.1 Parametrização do protocolo OPCUA

Para estabelecer a comunicação dos equipamentos Stonecut e Stonecut45mil com o sistema de monitorização foram ativados os servidores OPC UA nos dois equipamentos, e desenvolveu-se o protocolo de comunicação OPC UA Cliente na ferramenta de desenvolvimento Node-Red. A tabela 3 representa os dados de parametrização OPC UA relativos aos dois equipamentos, onde foram monitorizadas as mesmas variáveis.

**Tabela 3** - Dados de configuração OPC UA e variáveis monitorizadas.

CNCs	Endereço IP e Porta do servidor e Cliente OPC UA	Node Id OPC UA	Designação
Stonecut	opc.tcp://192.168.1.67:4840	1001	Start Job
		1205	Medição consumo de Corrente
		1307	Medição da tensão de alimentação
		1003	Alarmes
Stonecut45mil	opc.tcp://192.168.1.73:4840	3113	ID do equipamento
		1204	Rotação do motor de corte
		1220	Ferramenta de corte utilizada
		1017	Produção da máquina

Na ferramenta de desenvolvimento Node-Red foi desenvolvido um fluxo de nós OPC UA (Figura 27) que permite estabelecer a comunicação com os servidores OPC UA.



**Figura 27** - Fluxo de nós OPC UA referente ao equipamento Stonecut.

O fluxo OPC UA é composto por três nós, o nó timestamp (Figura 28) permite definir o intervalo de tempo que são efetuadas solicitações de dados entre o cliente e servidor, neste caso estamos a efetuar solicitações de 30 em 30 segundos.

The screenshot shows the 'Edit inject node' configuration window. It includes a 'Name' field, two message configuration rows (msg. payload = timestamp, msg. topic = a\_z), an 'Inject once after' section with a checked checkbox and a '0.1' seconds input, and a 'Repeat' section with a dropdown set to 'interval' and 'every 30 seconds'. The window is currently set to 'Enabled'.

**Figura 28 - Nó timestamp.**

No nó *OPC UA Item* é parametrizado o *NodeId* e formato da variável monitorizada, no nó *OPC UA Client* é definido como *Endpoint* o endereço IP e porta do servidor OPC UA. A parametrização de uma variável e do *OPC UA Client* referente ao equipamento Stonecut, pode ser visualizada nas figuras 29 e 30.

The screenshot shows the 'Edit OpcUa-Item node' configuration window. It includes fields for 'Item' (ns=1;i=1003), 'Type' (String), 'Value', and 'Name' (alarms). The window is currently set to 'Enabled'.

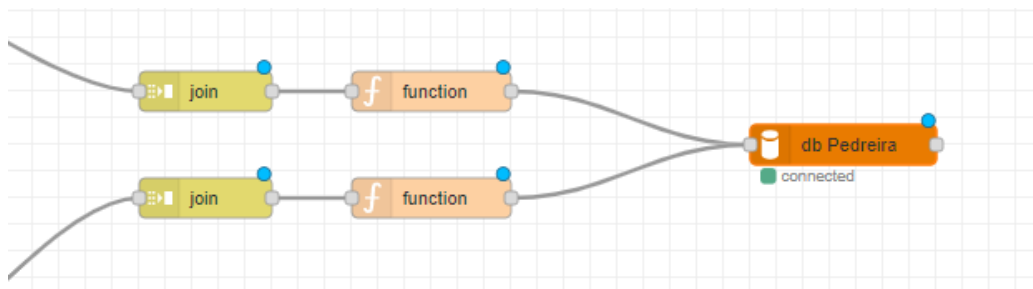
**Figura 29 - Nó OPC UA Item.**

The screenshot shows the 'Edit OpcUa-Client node' configuration window. It includes fields for 'Endpoint' (opc.tcp://192.168.1.67:4840), 'Action' (READ), 'Certificate' (None, use generated self-signed certificate), 'Local certificate file with absolute path' (selfSigned.pem), 'Local private key file with absolute path' (private\_key.pem), and 'PKI certificate folder'. The window is currently set to 'Enabled'.

**Figura 30 - Nó de configuração OPC UA Client.**

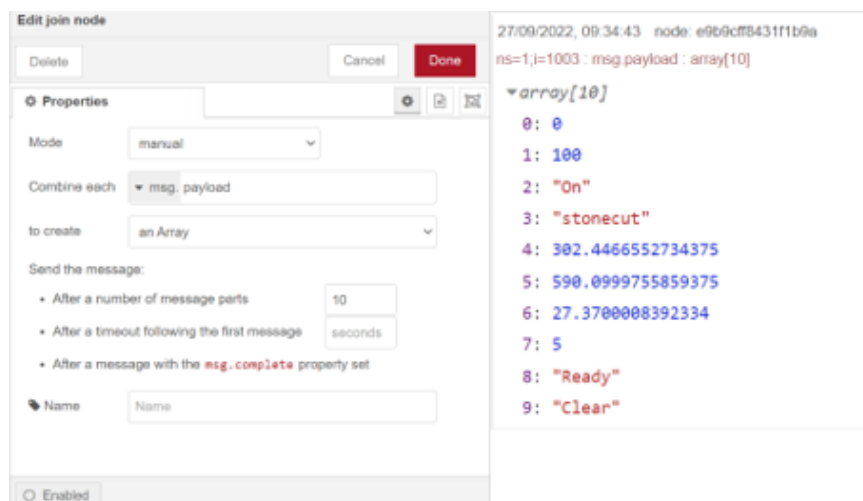
## 5.1.2 Processamento e envio dos dados

Para processar e enviar os dados operacionais foi utilizado o mesmo fluxo de nós nos dois equipamentos (Figura.31). O fluxo é composto por três nós, o nó *join*, função e *MySQLdatabase*.



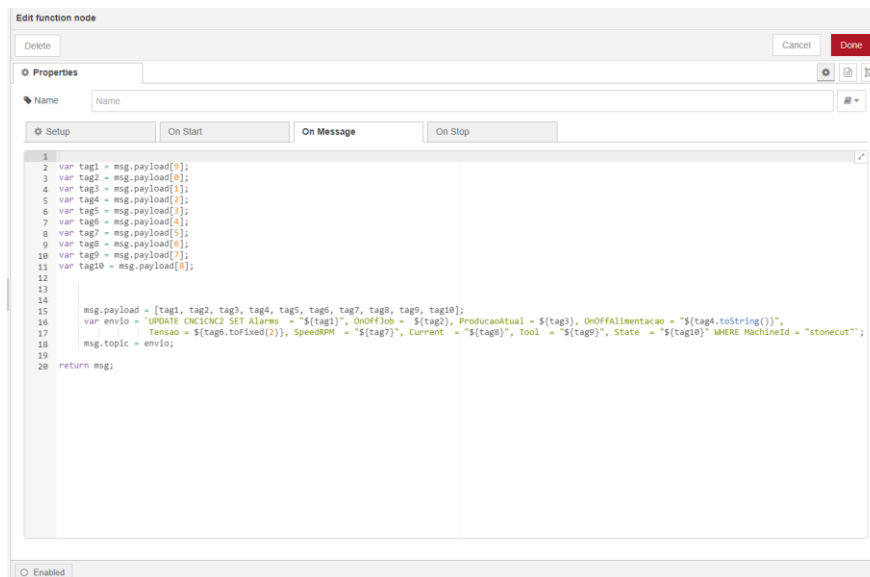
**Figura 31** - Fluxo de nós do processamento e envios dos dados dos equipamentos Stonecut e Stonecut45mil.

No nó *join* é criado um *array* que permite definir a posição dos dados para serem enviados para a base de dados através do nó função. A parametrização do nó *join* e a carga útil da *msg.payload* na saída do nó podem ser visualizado na figuras 32.



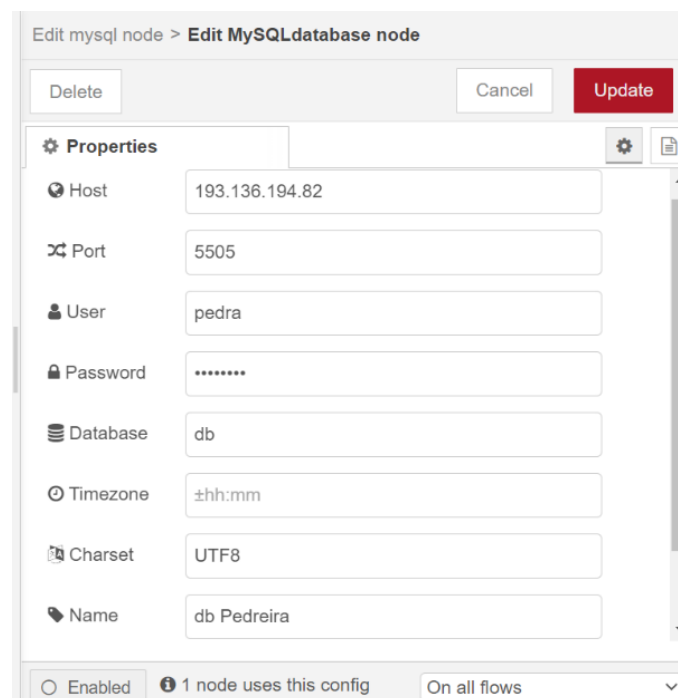
**Figura 32** - Parametrização do nó *join* e carga útil da *msg.payload* na saída do nó.

Relativamente ao nó função, foi desenvolvido o código (Anexo A) que permite enviar os dados utilizando a função *UPDATE*. Esta função permite enviar os dados para a base de dados MySQL atualizando sempre o último valor registado na tabela.



**Figura 33** - Nó função, desenvolvimento do código que permite enviar e atualizar os dados na base de dados

O nó *MySQLdatabase* estabelece a comunicação entre a ferramenta de desenvolvimento Node-Red e a base de dados.



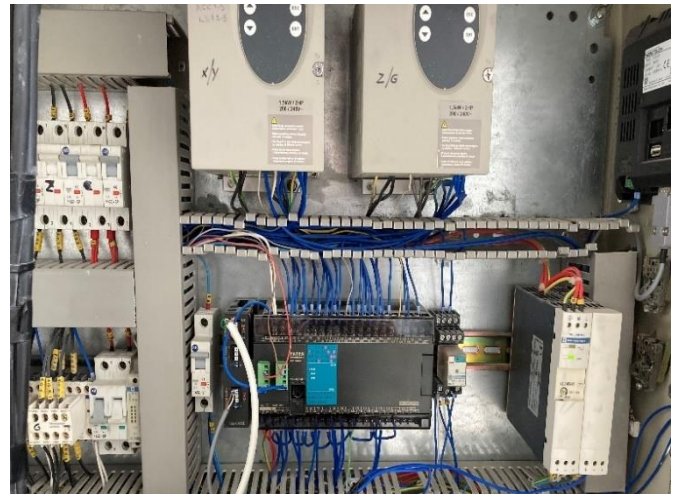
**Figura 34** - Parametrização do endereço *Host* Porta e credenciais de acesso.

## 5.2 Equipamentos Minorça e Lousada

Nos equipamentos Minorça e Lousada o sistema de automação (PLC) não integrava a carta de comunicação que permitisse monitorizar os dados operacionais dos equipamentos. Nos dois equipamentos foram instaladas cartas de comunicação (Figura 35 e 36) para monitorizar os dados dos equipamentos utilizando o protocolo de comunicação Modbus TCP/IP.



**Figura 35** - Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Minorça.



**Figura 36** – Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Lousada.

No chão de fábrica do complexo industrial 1 foi instalada uma *gateway* industrial Ewon Flexy 205 que permite unificar a comunicação entre o protocolo de comunicação Modbus TCP/IP e o OPC UA. A *gateway* Ewon monitoriza os dados operacionais dos equipamentos utilizando o protocolo ModbusTCP/IP e envia os dados para o Node-Red usando o protocolo OPC UA (Figura 37).



**Figura 37** - Equipamento Ewon Flexy 205 instalado no chão de fábrica do complexo industrial 1.

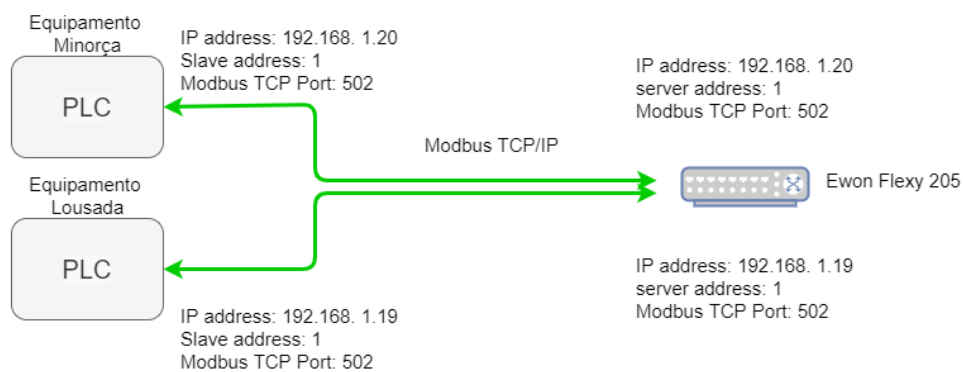
## 5.2.1 Parametrização dos protocolos de comunicação

Em ambos os equipamentos, Minorça e Lousada, foram monitorizados os mesmos dados operacionais, na Tabela 4 pode visualizar-se as variáveis monitorizadas e a conversão das variáveis Fatek em Modbus.

**Tabela 4 -** Variáveis monitorizadas e conversão das variáveis Fatek em ModBus.

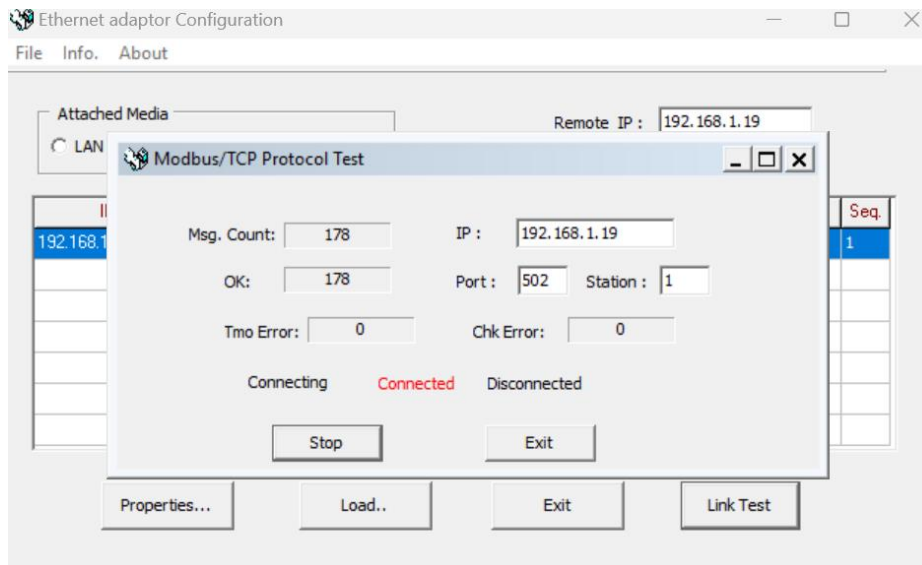
Máquina	Variáveis Fatek	Variáveis Modbus	Designação
Lousada	D200	406201	Número de peças que vai produzir
	D201	406202	Número de peças produzidas real time
	D15	406016	Número de medidas de corte
	D136	406137	Medição do consumo de corrente real time
	R1001	401002	Tempo de ciclo minutos
	M29	1030	Start Job
Minorça	M300	2301	Alarme paragem de emergência
	M301	2302	Alarme geral
	M302	2303	Alarme falta de água
	M303	2304	Alarme variador motor de corte
	M304	2305	Falta de óleo
	M305	2306	Alarme sobreaquecimento
	M306	2307	Alarme variador eixos
	M313	2314	Alarme rotação baixa
	M320	2321	Alarme sobrecarga motor de corte

Na rede de comunicação Modbus TCP/IP os PLCs foram definidos com escravo e a gateway Ewon Flexy 205 mestre (Figura 38).



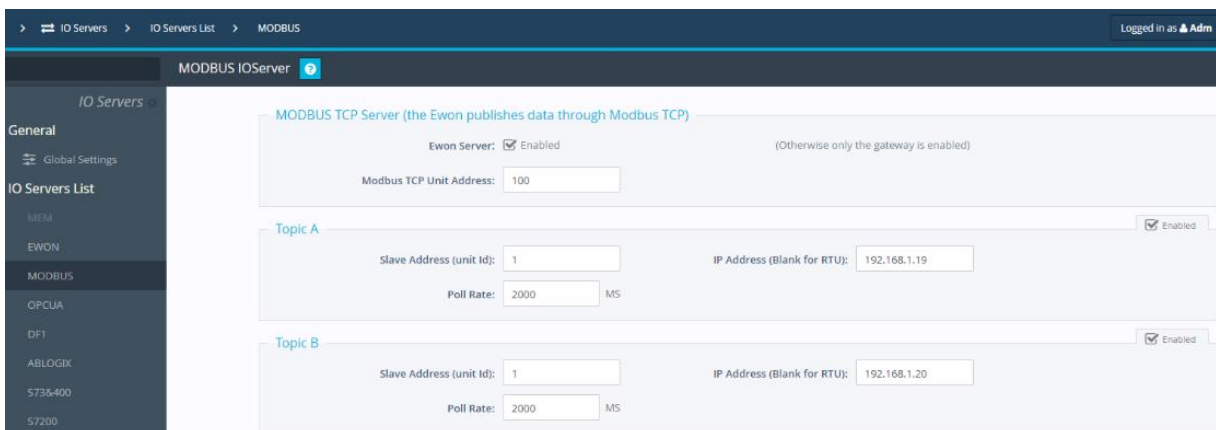
**Figura 38 -** Rede de comunicação ModBus TCP/IP.

Após efetuar a instalação física das cartas de comunicação prosseguiu-se com a parametrização das mesmas. Nas cartas de comunicação foi definido o endereço IP, porta e protocolo de comunicação.



**Figura 39** - Interface gráfica de configuração das cartas de comunicação Fatek.

No equipamento Ewon Flexy 205 foi ativado o ModBus TCP/IP Server e definido o endereço escravo do dispositivo que pretendemos estabelecer comunicação ModBus TCP/IP. Após estabelecer a configuração ModBus (Figura 40) entre a *gateway* Ewon Flexy 205 e os equipamentos Minorça e Lousada, foi necessário configurar as variáveis que se pretendia monitorizar referentes a cada equipamento.



**Figura 40** – Interface gráfica de ativação e configuração do protocolo de comunicação ModBus TCP/IP.

## Configuração da Variável **Inicio\_ciclo** no equipamento Ewon Flexy 205:

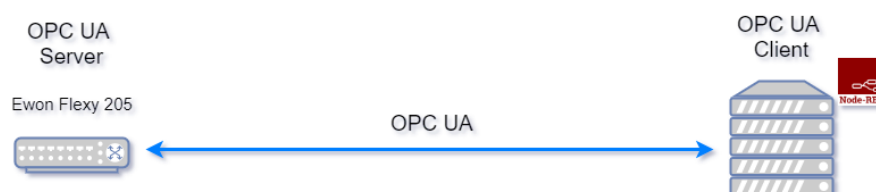
- 1- Definição do Nome da Variável.
- 2- Protocolo de comunicação utilizado.
- 3- Definição do *Topic* que recebe a variável.
- 4- Definição do *address* da variável.

The screenshot shows the 'Tag configuration' window with the following fields and annotations:

- Identification:** Tag Name: Inicio\_ciclo (circled 1), Page: Default, Tag Description: Minorça.
- I/O Server Setup:** Server Name: MODBUS (circled 2), Topic Name: B (circled 3), Address: 1030 (circled 4).
- Additional fields: Type: Boolean, Unit: No unit, Force Read Only (checkbox), and a formula: Ewon value = IO Server Value \* 1 + 0.

**Figura 41** - Interface de configuração das variáveis.

Foi implementado o servidor OPC UA (Figura 42) no equipamento Ewon Flexy 205, criando assim uma rede de comunicação OPC UA cliente servidor entre o equipamento Ewon Flexy 205 e a ferramenta de desenvolvimento Node-Red.



**Figura 42** - Arquitetura da rede de comunicação OPC UA.

Para converter as variáveis Modbus em NodeId OPC UA foi utilizado o *software* UA expert este *software* permite criar um cliente OPC UA e converter automaticamente as variáveis Modbus em OPC UA. A figura 44 apresenta um exemplo da conversão das variáveis Modbus em OPC AU do equipamento Minorça.

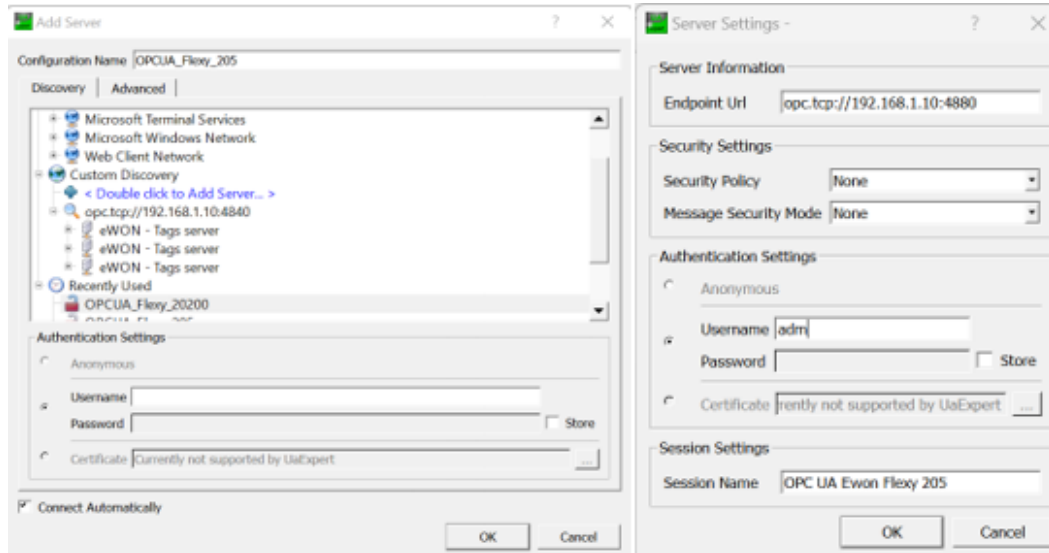


Figura 43 - Ativação e parametrização do cliente OPC UA.

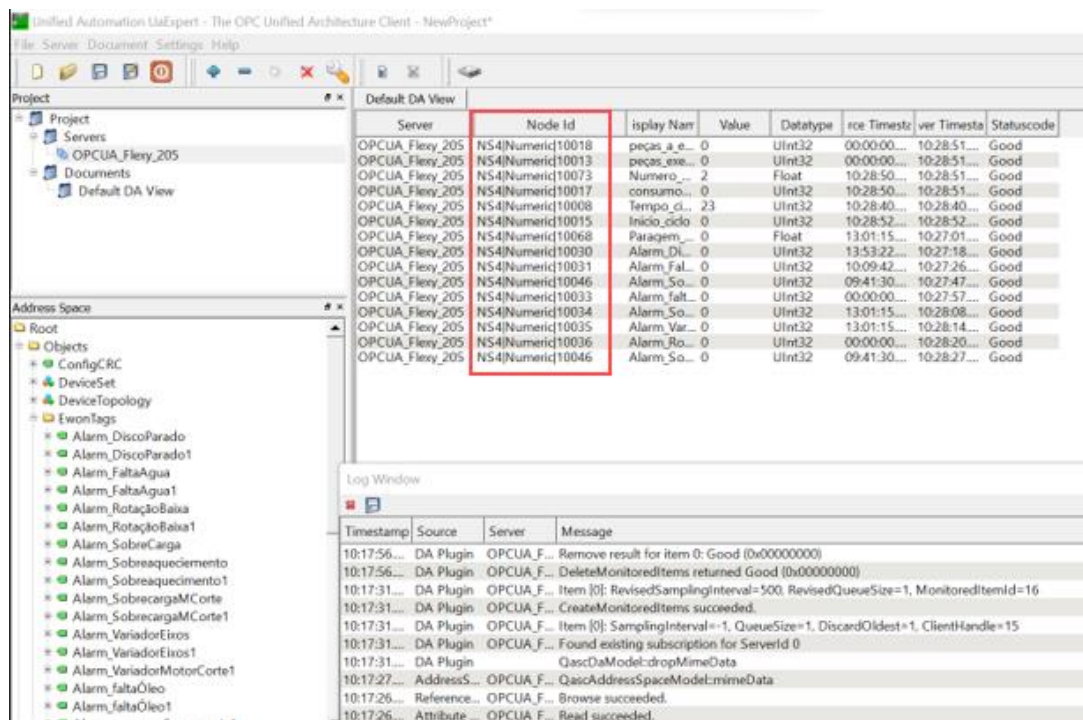
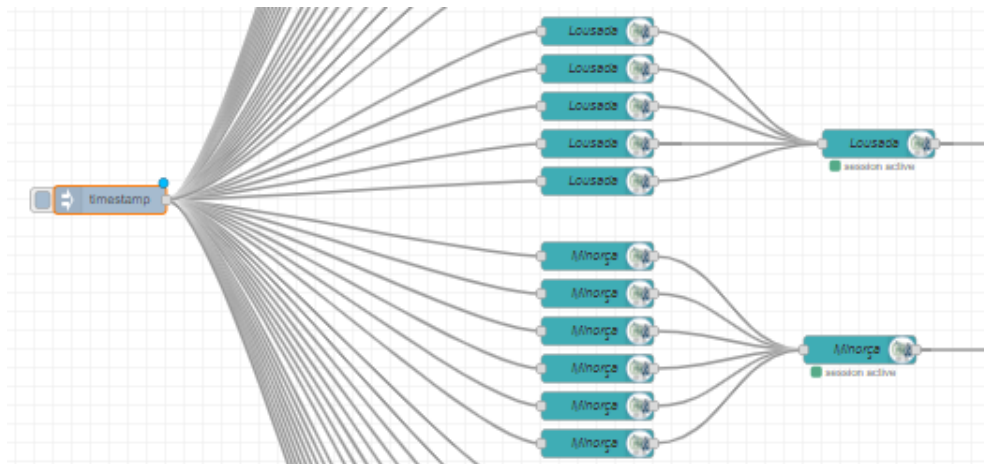


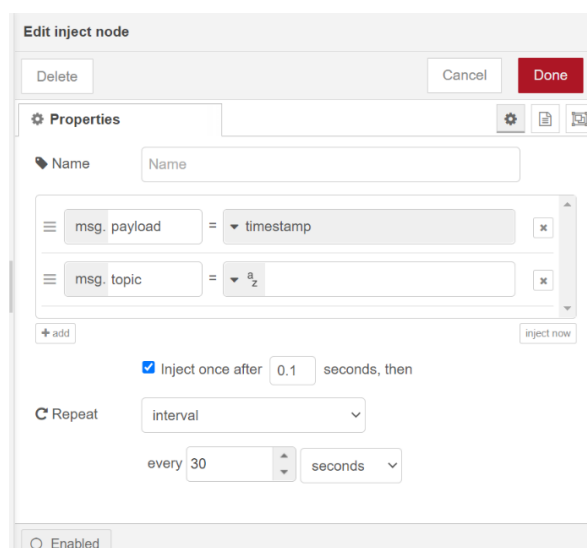
Figura 44 - Conversão das variáveis Modbus em NodeId OPC UA.

Foram implementados os nós de comunicação OPC UA cliente na ferramenta de desenvolvimento Node-Red, permitindo estabelecer a troca de dados com os servidores OPC UA.



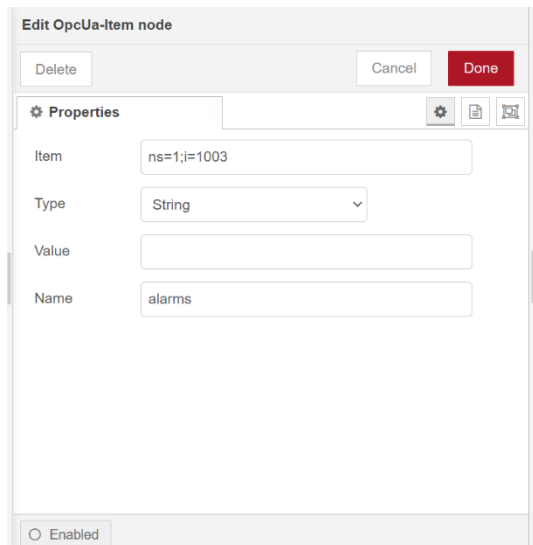
**Figura 45** - Fluxo de nós OPC UA cliente entre equipamento Minorça e Lousada.

O fluxo de nós OPC UA cliente é constituído por três nós, *timestamp*, *OPC UA item* e *OPC UA client*. O nó *timestamp* (Figura 46) permite definir o intervalo de tempo que são enviadas solicitações de dados entre cliente e servidor OPC UA.

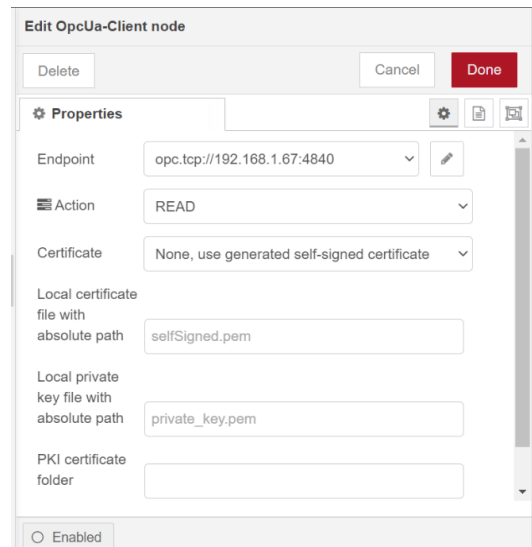


**Figura 46** - Nó *timestamp* foi definido o intervalo de solicitações de dados de 30 em 30 segundos.

O nó *OPC UA Item* (Figura 47) é definido o *NodeId* e formato da variável monitorizada. Relativamente ao nó *OPC UA Client* (Figura 48) é definido o IP e a porta do servidor OPC UA.



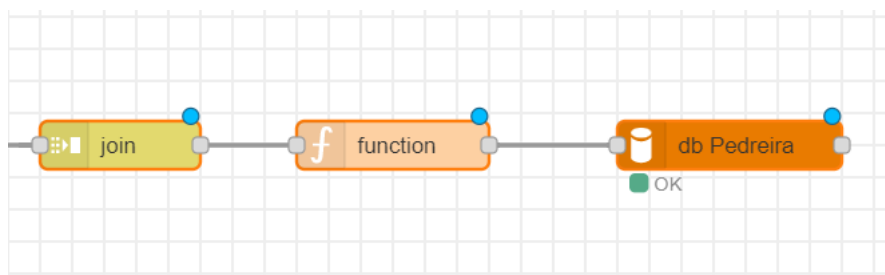
**Figura 48** - Configuração do *NodeId* e formato da variável monitorizada.



**Figura 47** - Integração do Nó *OPC UA Client*.

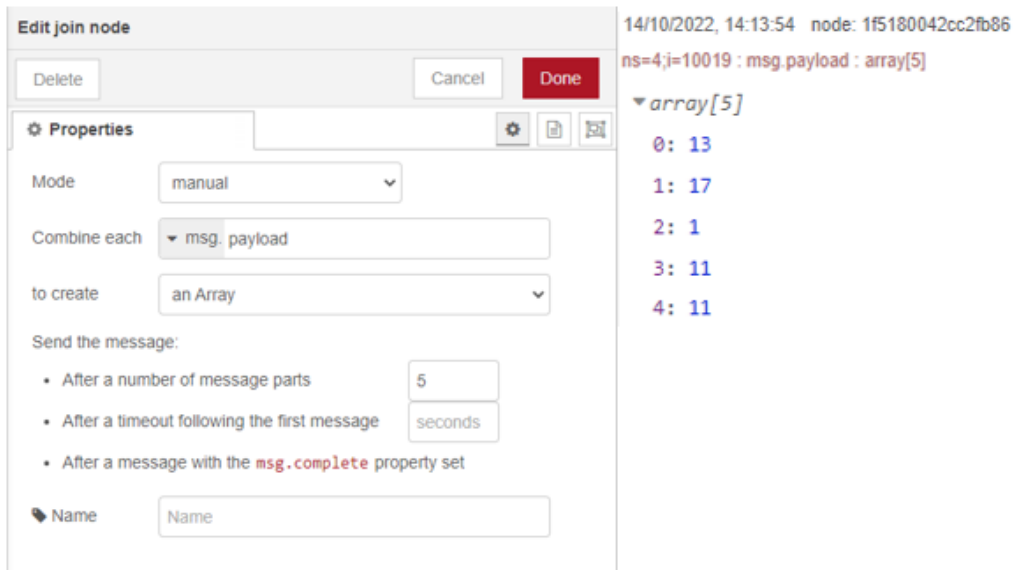
## 5.2.2 Processamento e envio dos dados

Os dados após serem recebidos no Node Red através do protocolo de comunicação OPC UA são processado de forma a poderem ser enviados para a base de dados MySQL. Na figura 49 visualiza-se o fluxo de nós que permitem o processamento e envio dos dados operacionais do equipamento Lousada.



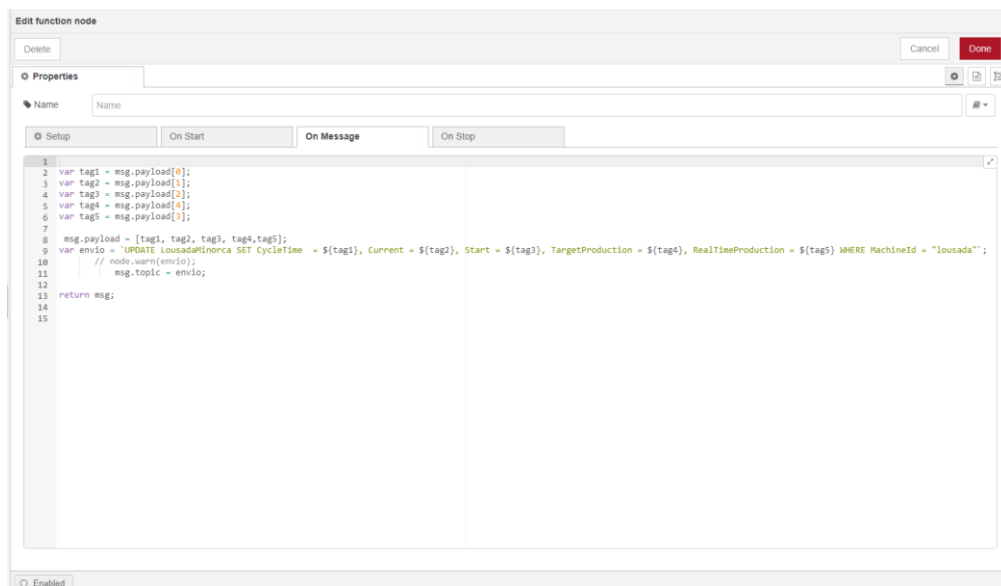
**Figura 49** - Fluxo de nós que permite processar e enviar os dados monitorizados.

O nó *Join* (Figura 50) permite criar um *array* com o número de objetos referente as variáveis monitorizadas no equipamento, neste caso criou-se uma *array* de 5 posições.



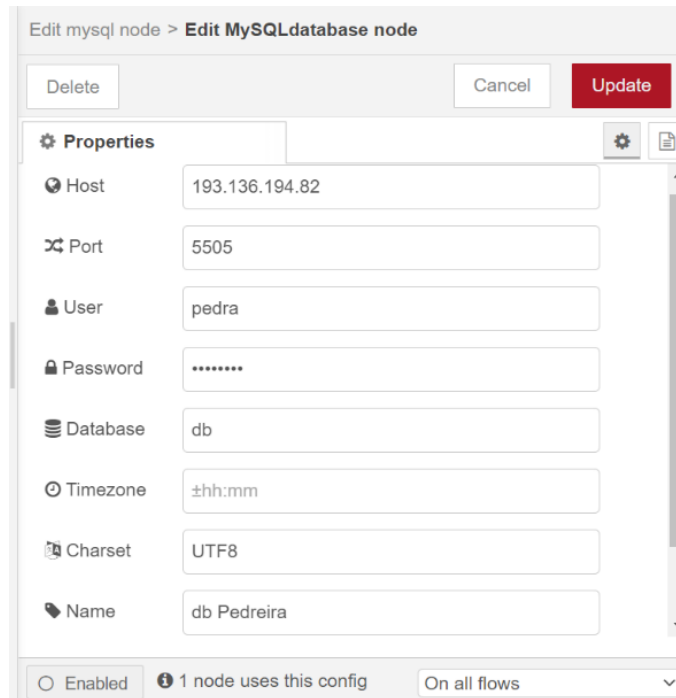
**Figura 50** - Array de cinco posições referente ao equipamento Lousada.

No nó função foi desenvolvido o código que permite enviar os dados para a base de dados MySQL, os dados são enviados utilizando a função *UPDATE*. Esta função permite enviar os dados para a base de dados MySQL atualizando sempre o último valor registado na tabela.



**Figura 51** - Nó função, desenvolvimento do código que permite enviar e atualizar os dados na base de dados.

Para estabelecer a comunicação entre o Node-Red e a base de dados MySQL foi utilizado o nó *MySQLdatabase* (Figura 52).

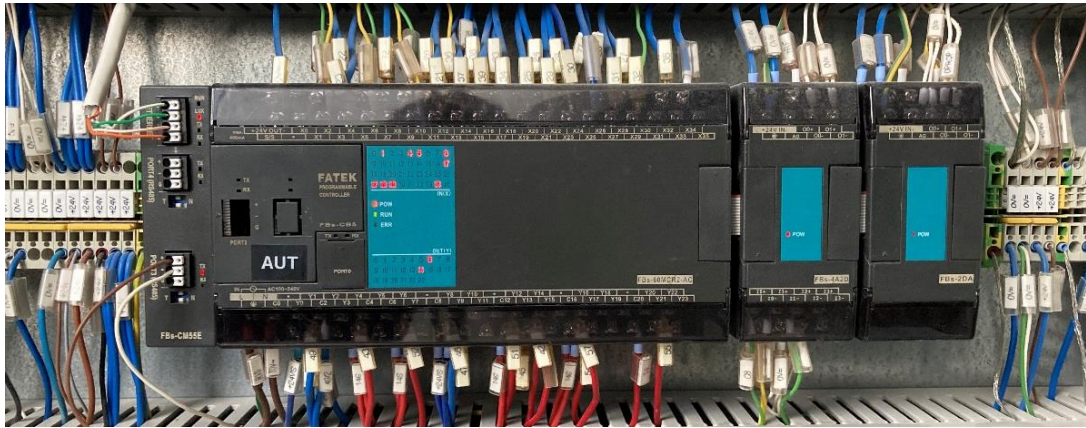


**Figura 52** - Dados de configuração para estabelecer a comunicação entre o Node-Red e a base de dados MySQL.

### 5.3 Equipamento Monofio

O equipamento de corte de pedra Monofio instalado no complexo industrial 2 corta os blocos de grandes dimensões em blocos de menores dimensões para serem processados no complexo industrial 1.

O PLC Fatek do equipamento Monofio não integrava nenhuma carta de comunicação que permitisse monitorizar os dados operacionais do equipamento. Foi instalada uma carta de comunicação (Figura 53) para monitorizar os dados do equipamento.



**Figura 53** - Carta de comunicação Fatek FBS CM55E instalada no equipamento Monofio.

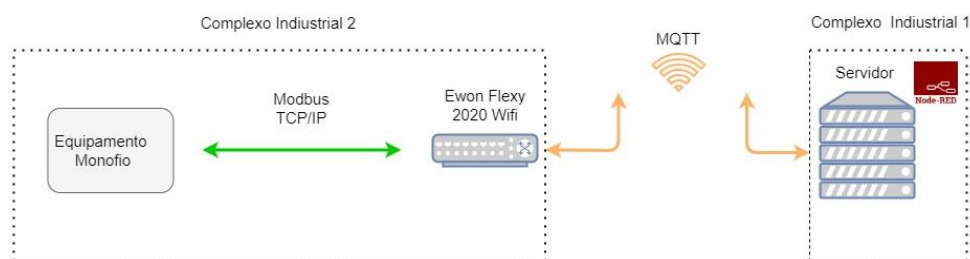
Devido à distância entre o complexo industrial 1 e o complexo industrial 2 utilizar uma rede de comunicação física é inviável em termos de custos e operacionalidade. Para suprimir a distância entre os dois complexos industriais foi instalado no chão de fábrica do complexo industrial 2 uma *gateway* Ewon Flexy Wifi 20200 (Figura 54) que permite monitorizar os dados do equipamento Monofio utilizando o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP e enviar esses dados para o complexo industrial 1 utilizando o protocolo de comunicação MQTT.



**Figura 54** - Equipamento Ewon Flexy Wifi 20200 instalado no chão de fábrica do complexo industrial 2.

### 5.3.1 Parametrização dos protocolos de comunicação

Para monitorizar os dados do equipamento Monofio foram utilizados dois protocolos de comunicação, o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP e o protocolo de comunicação MQTT. A figura 55 representa a arquitetura da rede de comunicação utilizada para monitorizar os dados do equipamento Monofio.



**Figura 55** - Arquitetura da rede de comunicação do equipamento Monofio.

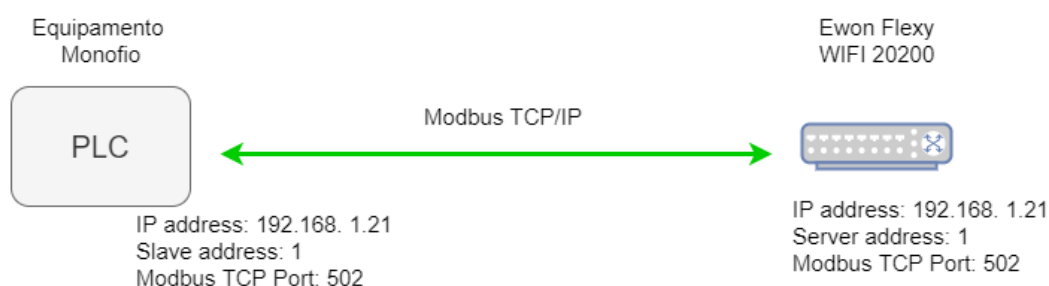
Para a monitorizar as variáveis Fatek através do protocolo ModBus, é necessária a converter as variáveis Fatek em ModBus (Tabela 5).

**Tabela 5** - Variáveis monitorizadas e conversão das variáveis Fatek em ModBus

Máquina	ID Variáveis PLC Fatek	ID Variáveis Modbus TCP/IP	Designação
Monofio	X29	1030	Start job
	D42	406043	Consumo de corrente real time
	R1163	401164	Número de medidas de corte
	R1162	401163	Número de peças que vai produzir
	R1164	401165	Número de peças produzidas real time
	D288	406289	Quantidade de pedra cortada metros quadrados/hora
	D276	406277	Velocidade de corte linear metros/hora
	D56	406057	Arco do fio de corte
	R1008	401009	Tempo de corte horas
	R1001	401002	Tempo de corte minutos
	D142	406143	Velocidade do fio metros/segundo
	D324	406325	Quantidade de pedra cortada pelo fio 1 metros quadrados
	D326	406327	Quantidade de pedra cortada pelo fio 2 metros quadrados
	D328	406329	Quantidade de pedra cortada pelo fio 3 metros quadrados
	D330	406331	Quantidade de pedra cortada pelo fio 4 metros quadrados
	M333	400334	Alarme geral
	M302	2303	Alarme falta de água
	M304	2305	Alarme de lubrificação
M305	2306	Alarme fio partido	

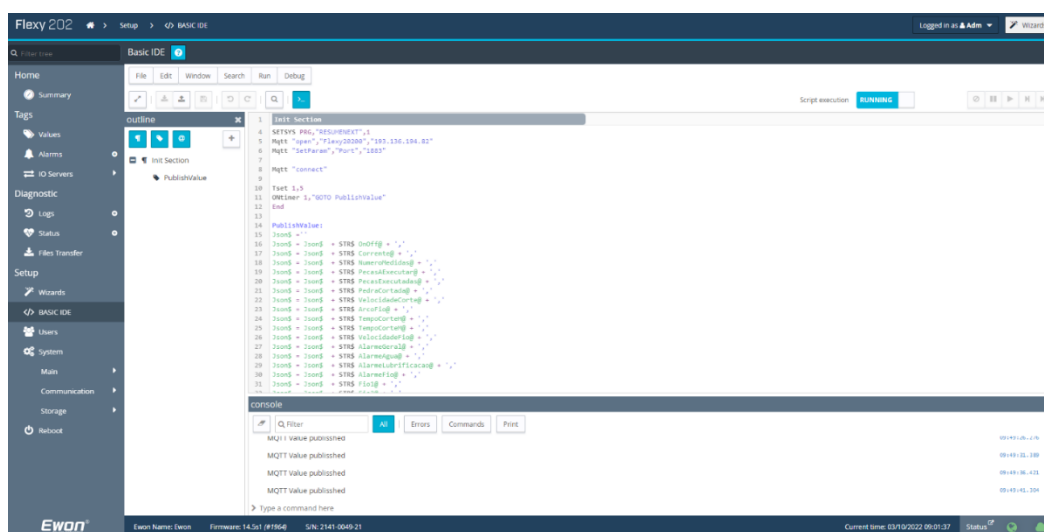
A comunicação ModBus TCP/IP entre o equipamento Monofio e a gateway Ewon Flexy Wifi 20200 foi executado o mesmo procedimento demonstrado na configuração da rede de comunicação ModBus TCP/IP dos equipamentos Minorça e Lousada.

Na rede de comunicação ModBus TCP/IP o PLC do equipamento foi definido com escravo e a gateway Ewon Flexy Wifi 20200 mestre.



**Figura 56** - Representação gráfica da rede de comunicação ModBus TCP/IP.

Os dados foram enviados do complexo industrial 2 para o complexo industrial 1 utilizando o protocolo de comunicação MQTT. O dispositivo Ewon Flexy Wifi 20200 não integra o protocolo de comunicação MQTT como recurso padrão, perante isso foi necessário desenvolver um script MQTT (ANEXO B) na área de desenvolvimento *Basic IDE* do dispositivo permitindo assim utilizar o protocolo de comunicação MQTT.

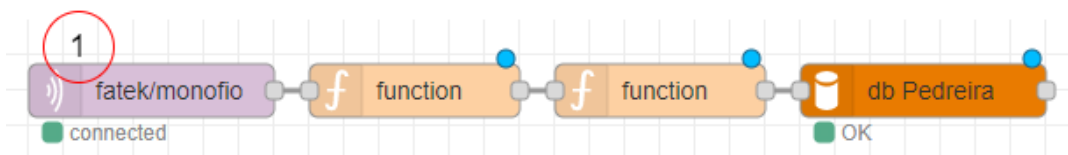


**Figura 57** - Integração do protocolo de comunicação MQTT no dispositivo Ewon Flexy Wifi 20200.

Foi integrado o nó MQTT na ferramenta de desenvolvimento Node-Red, que permite receber os dados operacionais do equipamento Monofio.

A parametrização do no cliente MQTT foi executada da seguinte forma:

- 1- Nó MQTT Node-Red.
- 1.1- Parametrização do endereço IP e porta do MQTT *broker*.
- 1.2- Definição do *Topic*.

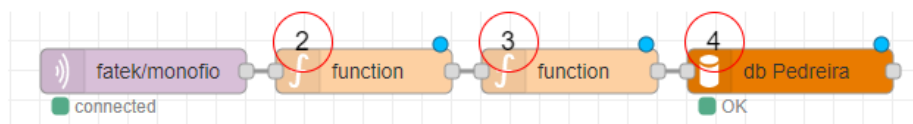


**Figura 58** - Fluxo de nós referente ao equipamento Monofio.

**Figura 59** - Parametrização do nó MQTT.

### 5.3.2 Processamento e envio dos dados

No processamento e envio dos dados para a base de dados MySQL utilizamos duas funções e o nó *MySQLdatabase*. Na função 2 os dados são organizados num *array* de vinte posições, na função 3 os dados são enviados para a base de dados utilizando a função *UPDATE*. O nó *MySQLdatabase* 4 estabelece a comunicação entre o Node-Red e a base de dados.



**Figura 60** – Fluxo de nós que permite processar e enviar os dados do equipamento Monofio.

Pode observar-se na figura 61 a carga útil da *msg.payload* à saída do nó função 2 e o resultado da execução da função *UPDATE* em que os dados operacionais são enviados e atualizados nas tabelas (Figura 64) criada na base de dados.

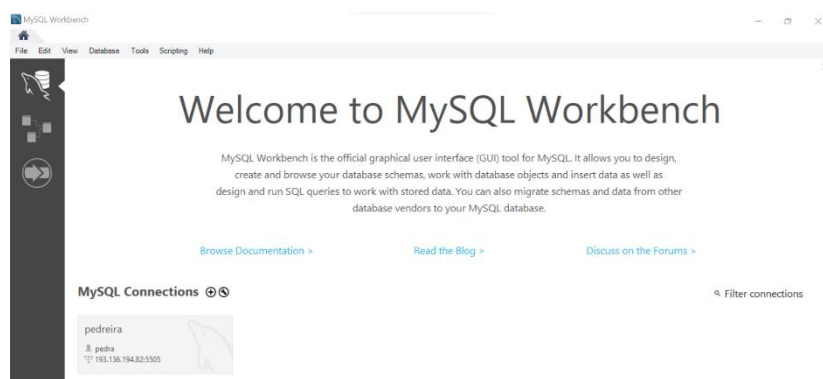
```
fatek/monofio : msg.payload : array[20]
  array[20]
  [0 - 9]
  0: "0.00"
  1: "0"
  2: "1.00"
  3: "3.00"
  4: "0.00"
  5: "184.00"
  6: "92.00"
  7: "35.00"
  8: "1.00"
  9: "5.00"
  [10 - 19]
  10: "34.00"
  11: "0.00"
  12: "0.00"
  13: "0.00"
  14: "0.00"
  15: "15730.00"
  16: "0.00"
  17: "0.00"
  18: "0.00"
  19: ""

UPDATE Monofio SET Start = 0.00, Current = 0,
NumeroMedidas = 1.00, TargetProduction = 0.00,
RealTimeProduction = 0.00, ProducaoHora = 302.00,
VelocidadeCorteLinear = 108.00, ArcoFio = 65339.00,
CycleTimeHoras = 0.00, CycleTimeMinutos = 59.00,
VelocidadeFio = 34.00, AlarmeGeral = 0.00,
AlarmeAgua = 0.00, AlarmeLubrificacao = 0.00,
AlarmeFio = 0.00, Fio1 = 21232.00, Fio2 = 21873.00,
Fio3 = 0.00, Fio4 = 0.00;
```

**Figura 61** - Visualização da carga útil da *msg.payload* a saída do nó 2 e 3.

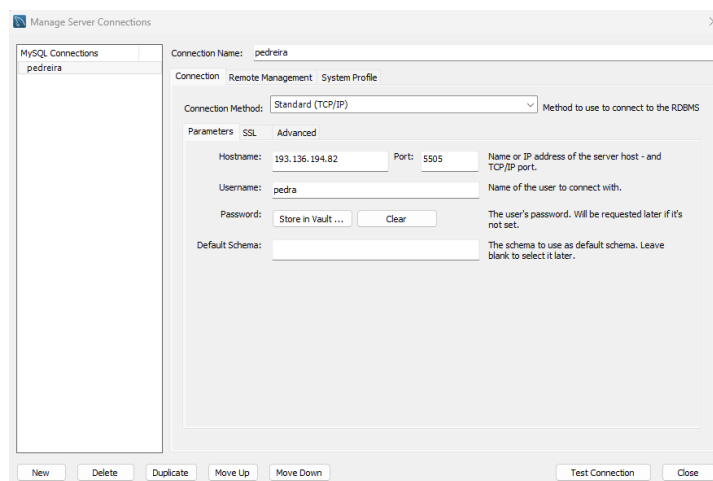
## 6 Armazenamento e visualização dos dados

Das inúmeras bases de dados existentes no mercado optou-se pela base de dados MySQL pelo uso do sistema *Open-Source* e pela fácil integração com ferramentas de desenvolvimento Node-Red. Foi utilizada uma base de dados orientada em colunas, que permite armazenar e processar grandes quantidades de dados, os dados são indexados por linha, coluna e *timestamp*. A ferramenta visual MySQL Workbench, permite projetar, modelar e gerenciar visualmente a base de dados (Figura 62).



**Figura 62** - Interface gráfica MySQL Workbench.

Na interface MySQL Workbench foi criada uma conexão de acesso a base de dados MySQL, para estabelecer essa conexão é necessário introduzir o IP, porta e as credenciais de acesso a base de dados.

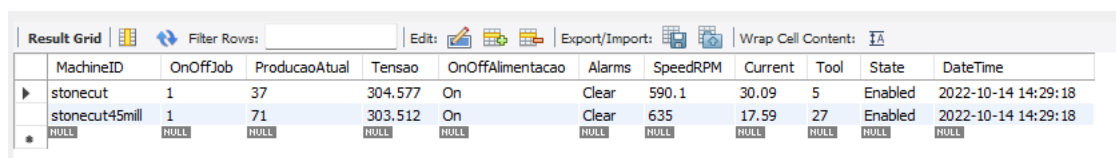


**Figura 63** - Configuração dos dados de acesso a base de dados utilizando o *software* MySQL Workbench.

## 6.1 Base de dados MySQL

Na base de dados com designação db foram criadas as tabelas referentes a cada equipamento monitorizado. Na figura 64 está representada a tabela CNC1CNC2, referente ao equipamento Stonecut e Stonecut45mil.

Os dados da tabela CNC1CNC2 são atualizados sempre na mesma linha de 30 em 30 segundos, permitindo monitorizar os dados dos equipamentos em tempo real sem subcarregar a base de dados.



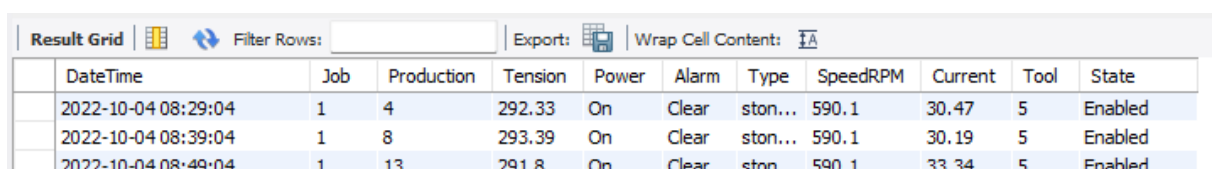
MachineID	OnOffJob	ProducaoAtual	Tensao	OnOffAlimentacao	Alarms	SpeedRPM	Current	Tool	State	DateTime
stonecut	1	37	304.577	On	Clear	590.1	30.09	5	Enabled	2022-10-14 14:29:18
stonecut45mil	1	71	303.512	On	Clear	635	17.59	27	Enabled	2022-10-14 14:29:18
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

**Figura 64** – Tabela referente aos dados do equipamento Stonecut e Stonecut45mil.

Na base de dados foi criado um evento geral (Figura 65) que envia os dados da tabela CNC1CNC2 (Figura 64) para a tabela CNC1 (Figura 66) criando uma tabela com o histórico de dados, este evento é efetuado num intervalo de tempo de 10 em 10 minutos.

```
1 • SHOW PROCESSLIST;
2 • SHOW EVENTS;
3 • DROP EVENT historico_every5min;
4
5 delimiter |
6 • CREATE EVENT historico_every5min
7 ON SCHEDULE EVERY 10 MINUTE
8 STARTS CURRENT_TIMESTAMP
9 ON COMPLETION PRESERVE
10 DO begin
11     INSERT INTO CNC1
12         (DateTime, Job, Production, Tension, Power, Alarm, SpeedRPM, Current, Tool, State, Type)
13     SELECT DateTime, OnOffJob, ProducaoAtual, Tensao, OnOffAlimentacao, Alarms, SpeedRPM, Current, Tool, State, MachineId
14     FROM `CNC1CNC2` WHERE MachineId = "stonecut";
15 END |
16
17 delimiter ;
```

**Figura 66** - Invento geral.



DateTime	Job	Production	Tension	Power	Alarm	Type	SpeedRPM	Current	Tool	State
2022-10-04 08:29:04	1	4	292.33	On	Clear	ston...	590.1	30.47	5	Enabled
2022-10-04 08:39:04	1	8	293.39	On	Clear	ston...	590.1	30.19	5	Enabled
2022-10-04 08:49:04	1	13	291.8	On	Clear	ston...	590.1	33.34	5	Enabled

**Figura 65** - Exemplo do histórico de dados do equipamento Stonecut, é inserida uma nova linha de valores de 10 em 10 minutos.

## 6.2 Visualização dos dados

A interface gráfica do sistema de monitorização dos dados operacionais dos equipamentos foi desenvolvida utilizando a framework *Java Script REACT*. A aplicação está dividida em duas partes *Back-end* e *Front-end*.

O *back-end* é responsável pela comunicação cliente e servidor, estabelece a ponte entre a base de dados e a interface gráfica. Efetua as solicitações de dados a base de dados através de *endpoints* e *queries* para serem apresentados na interface gráfica.

No *Front-end* foi desenvolvida a interface gráfica do usuário que permite visualizar e analisar os dados operacionais dos equipamentos através de uma aplicação *web*.

### 6.2.1 Interface gráfica

A aplicação *Web* é constituída por uma *dashboard* geral que permite acompanhar os dados operacionais dos equipamentos em simultâneo, e por um *dashboard* detalhado de cada equipamento. O *dashboard* detalhado do equipamento permite visualizar graficamente os dados monitorizados, histórico de dados e alarmes dos equipamentos. O acesso a aplicação *web* é realizado através de uma autenticação básica do utilizador (Figura 67).

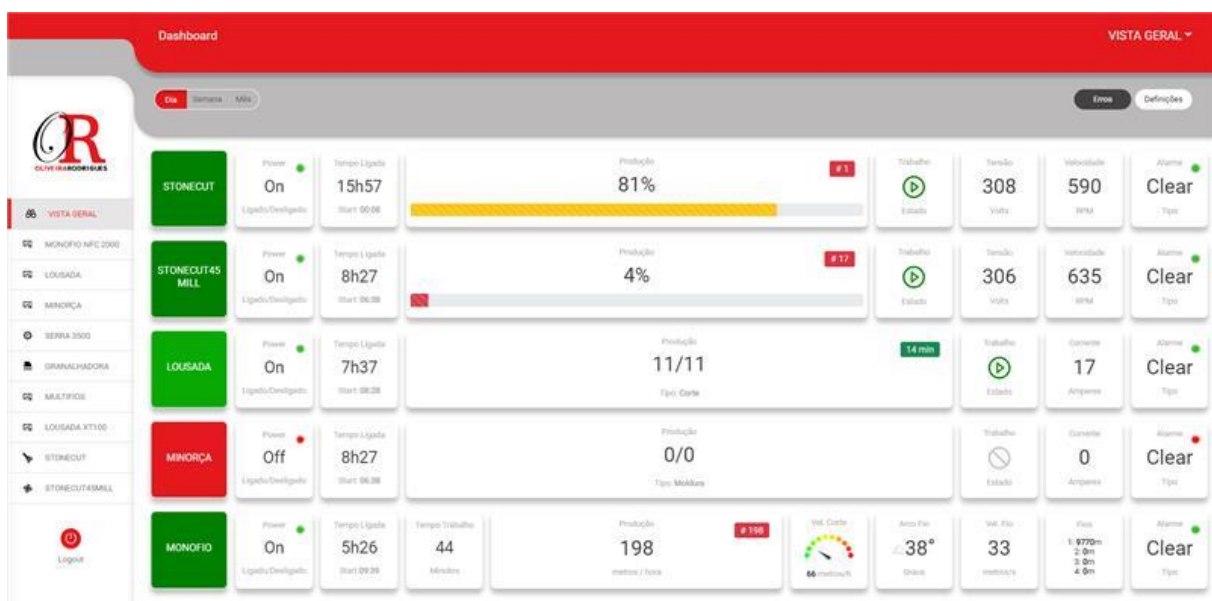


Figura 67 - Dashboard geral da aplicação web.

# 7 Conclusões e Trabalhos Futuros

## 7.1 Conclusão

As tecnologias trazidas pela indústria 4.0, mais propriamente na automação industrial, e neste caso as redes de comunicação e aquisição de dados tem vindo a ganhar expressão e são cada vez mais utilizadas na rastreabilidade dos processos de produção e identificar falhas nos equipamentos.

Na primeira fase deste projeto, foram verificados os sistemas de automação e protocolos de comunicação presentes nos cinco equipamentos (Minorça, Lousada, Monofio, Stonecut e Stonecut45mil) definidos para a intervenção. Nos equipamentos Minorça, Lousada e Monofio os sistemas de automação não embarcavam nenhum protocolo de comunicação, contrariamente ao Stonecut e Stonecut45mil que tinham o protocolo OPC UA. Nos três equipamentos onde não estava presente o sistema de automação, foram instaladas cartas de comunicação e definido o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP.

Devido à distância que se encontram os complexos industriais (1 e 2), foi um desafio unificar os dados operacionais dos equipamentos instalados nos dois complexos, utilizar uma rede de comunicação física não era viável devido aos custos e operacionalidade.

Assim sendo foi instalado no chão de fábrica do complexo industrial 2 uma *gateway* Ewon Flexy Wifi 20200. Essa *gateway* permitiu monitorizar os dados do equipamento Monofio utilizando o protocolo de comunicação ModBus TCP/IP, enviando esses dados para o complexo 1 através do protocolo MQTT.

Por sua vez no complexo industrial 1 também foi instalada uma *gateway* Ewon Flexy 205 que monitoriza os dados dos equipamentos Minorça e Lousada através do protocolo de comunicação ModBus TCP/IP. Esses dados são enviados para a ferramenta de desenvolvimento Node-Red utilizando o protocolo OPC UA.

A escolha da utilização da *gateway* Ewon Flexy (20200 e 205) teve em consideração a facilidade de parametrização das mesmas com diferentes protocolos de comunicação, permitindo abranger o maior número de máquinas.

A ferramenta de desenvolvimento Node-Red através da programação por nós e fluxos que possibilita e reduz a complexidade de desenvolvimento de projetos mostrou ser uma solução válida para aplicar na indústria.

Com a implementação do sistema de aquisição de dados na pedreira vai ser possível acompanhar os dados dos equipamentos através de uma aplicação *web*, permitindo identificar falhas de produção e diagnosticar avarias num menor intervalo de tempo resultando na diminuição os tempos de paragem dos equipamentos. O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido de forma flexível permitindo monitorizar novos dados dos equipamentos e integrar novos equipamentos no sistema de monitorização.

## **7.2 Trabalhos Futuros**

Em trabalhos futuros como evolução do sistema de monitorização destacam se as seguintes melhorias:

- Integração de um sistema de alertas via SMS e email para notificar o utilizador.
- Desenvolver uma aplicação mobile do sistema de monitorização permitindo assim uma maior flexibilidade no acompanhamento dos dados dos equipamentos.

## 8 Referências bibliográficas

- [1] Indústria 4.0: impactos e desafios. Disponível em <https://blog.infraspeak.com/pt-pt/industria-4-0/> (Acedido em 06 junho de 2022).
- [2] Antonio Gasparetto Junior Industrialização. Disponível em <https://www.infoescola.com/historia/industrializacao/> (Acedido em 06 de junho de 2022).
- [3] Gilchrist, Alasdair., Bangken, Nonthaburi. (2016). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Apress, ISBN: 978-1-4842-2046-7.
- [4] Schwab, Klaus. (2016). The Fourth Industrial Revolution. Apress ISBN 978-1-944835-019
- [5] Cyber-Physical Systems - a Concept Map <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps> (acedido em 07 de junho de 2022).
- [6] <https://www.harbor.com.br/harbor-blog> (2018) qual é o papel do Big Data na industria4.0 (acedido em 10 de junho de 2022).
- [7] Laurence,T., Yang., Lizhe Wang., Alexey Vinel., Feng Xia. (2012). Internet of Things. International Journal of Communication Systems, 25, 1101–1102.
- [8] <https://dreamfeel.wordpress.com> (2017) a internet das coisas IoT a revolução silenciosa (acedido em 16 de outubro de 2022).
- [9] Gutierrez, R, & Pan, S. (2008). Complexo eletrônico: Automação do controle industrial. BNDES.
- [10] Mahalik, P, N. (2003). Fieldbus Technology - Industrial Network Standards for Real-Time Distributed Control. Springer.ISBN: 978-3-642-07284-0
- [11] Djiev, S. Industrial Networks for Communication and Control. (Read Reading for "Elements of Industrial Automation" at ELDE).

[12] ModBus. <https://alfacomp.net/2020/12/17/protocolo-modbus-saiba-mais-sobre-o-procolode-comunicacao-mais-utilizado-na-automacao-industrial/> (acedido em 11 de outubro de 2022).

[13] ModBus Application Protocol Specification V1.1b (2006), Modbus-IDA (acedido em 02 de outubro de 2022).

[14] OPC Foundation. (2006). OPC Foundation - Classic. OPC Foundation. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opcclassic/>. (acedido em 01 de outubro de 2022).

[15] Unified Architecture. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua>, (acedido em 25 de setembro de 2022).

[16] Leitão, M. A. (2010). Implementação de um Servidor OPC UA em linguagem C# para comunicação com dispositivos através do protocolo Modbus/Ethernet em tempo real. Dissertação, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

[17] Moraes, T. M. (2019). Avaliação de Desempenho de Protocolos de Comunicação para Aplicações IoT. Dissertação Universidade Federal de Pernambuco.

[18] <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-6-mqtt-quality-of-service-levels/> (acedido em 03 outubro de 2022).

[19] I. Modbus, “Modbus messaging on tcp/ip implementation guide v1. 0b,” Modbus organization. (acedido em 10 setembro de 2022).

[20] Shklar, Leon; Rosen, Richard. (2003) Web Application Architecture Principales, Protocols and Practices. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 0-471-48656-6.

[21] Openjs Foundation. Node-Red. <https://nodered.org/about>. (Acedido em 17 novembro 2022)

## A Função UPDATE

```
var tag1 = msg.payload[0];  
var tag2 = msg.payload[1];  
var tag3 = msg.payload[2];  
var tag4 = msg.payload[3];  
var tag5 = msg.payload[4];  
var tag6 = msg.payload[5];  
var tag7 = msg.payload[6];  
var tag8 = msg.payload[7];  
var tag9 = msg.payload[8];  
var tag10 = msg.payload[9];
```

```
    msg.payload = [tag1, tag2, tag3, tag4, tag5, tag6, tag7, tag8, tag9, tag10];  
    var envio = `UPDATE CNC1CNC2 SET Alarms = "${tag1}", OnOffJob = ${tag2}, ProducaoAtual = ${tag3}, OnOffAlimentacao =  
"${tag4.toString()}", Tensao = ${tag6}, SpeedRPM = "${tag7}", Current = "${tag8}", Tool = "${tag9}", State = "${tag10}" WHERE  
MachineId = "stonecut"`;  
    msg.topic = envio;
```

```
return msg
```

## B Script MQTT

```
SETSYS PRG,"RESUMENEXT",1
Mqtt "open","Flexy20200","193.136.194.82"
Mqtt "SetParam","Port","1883"
Mqtt "SetParam","username","more"
Mqtt "SetParam","password","More2019!"
Mqtt "connect"
```

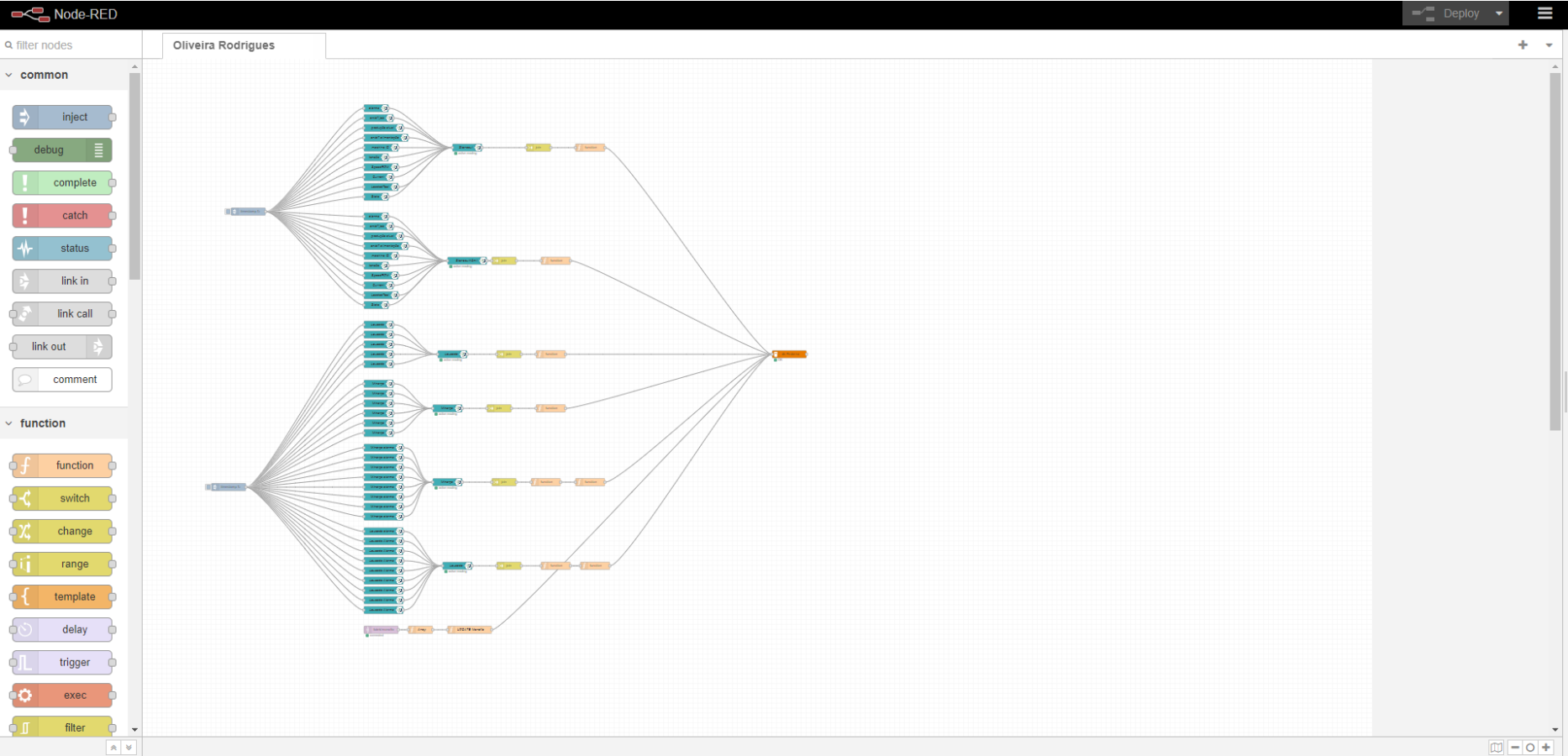
```
Tset 1,5
ONtimer 1,"GOTO PublishValue"
End
```

PublishValue:

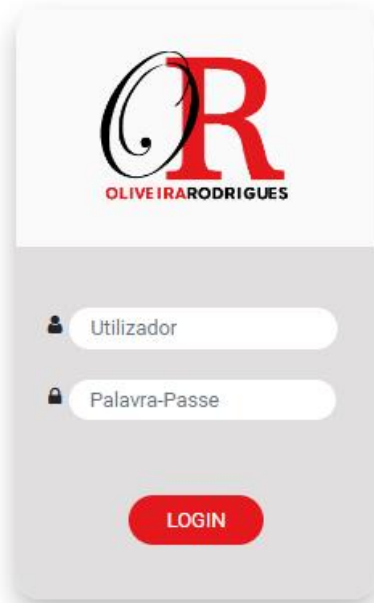
```
Json$ = "
Json$ = Json$ + STR$ OnOff@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ Corrente@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ NumeroMedidas@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ PecasAExecutar@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ PecasExecutadas@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ PedraCortada@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ VelocidadeCorte@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ ArcoFio@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ TempoCorteH@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ TempoCorteM@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ VelocidadeFio@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ AlarmeGeral@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ AlarmeAgua@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ AlarmeLubrificacao@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ AlarmeFio@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ Fio1@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ Fio2@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ Fio3@ + ','
Json$ = Json$ + STR$ Fio4@ + ','
```

```
status% = Mqtt "status"
IF status% = 5 THEN
  Mqtt "Publish", "fatek/monofio", Json$, 0,0
ENDIF
```

# C Fluxo de nós Node-Red



# D Aplicação web



Dashboard VISTA GERAL ▾

On Temperatura MMA
Emiss Definições

Nome	Power	Tempo Ligado	Produção	Trabalho	Tempo	Velocidade	Alarme
STONECUT	On	15h57 Ligado/Desligado Start 00:00	81% #1	Trabalho Estado	308 Volts	590 RPM	Clear Tipo
STONECUT45 MILL	On	8h27 Ligado/Desligado Start 06:38	4% #17	Trabalho Estado	306 Volts	635 RPM	Clear Tipo
LOUSADA	On	7h37 Ligado/Desligado Start 08:38	11/11 Tipo: Corte	14 min	Trabalho Estado	17 Corrente Ampères	Clear Tipo
MINORÇA	Off	8h27 Ligado/Desligado Start 06:38	0/0 Tipo: Molitura	Trabalho Estado	0 Corrente Ampères		Clear Tipo
MONOFIO	On	5h26 Ligado/Desligado Start 09:39	198 metros / hora #100	Vel. Corte 66 metros/h	Arroz Frio 38° Grãos	Vel. Fio 33 metros/h	Fio 1.970m 2.0m 3.0m 4.0m Clear Tipo

86 VISTA GERAL
MONOFIO NFC 2000
LOUSADA
MINORÇA
SERRA 2500
GRANACHADORA
MULTIFIO
LOUSADA XT100
STONECUT
STONECUT45MILL
Logout

