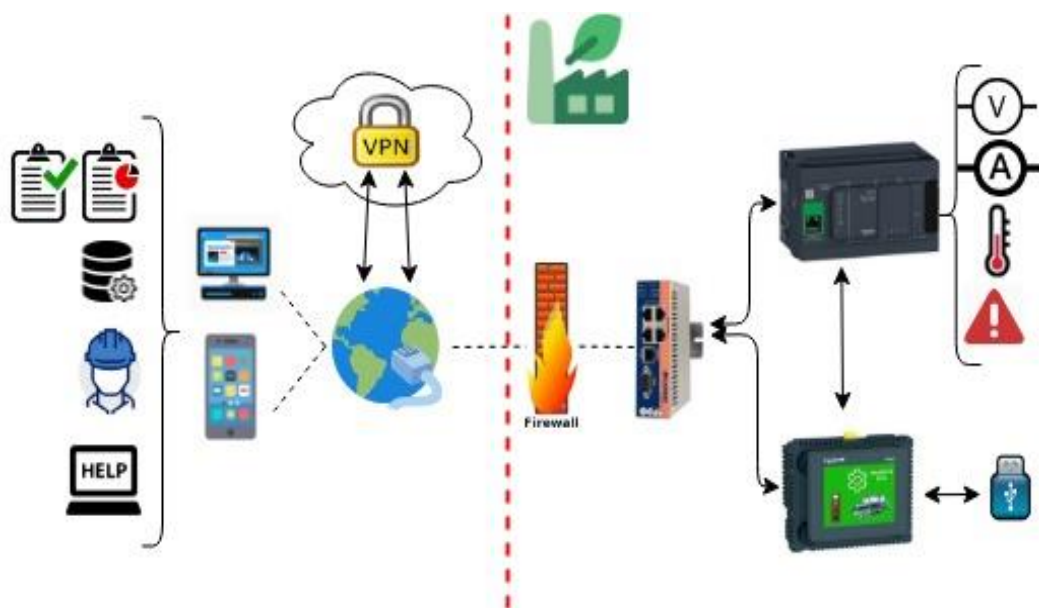


INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação



**Controlo remoto de conversor de potência no âmbito da
Indústria 4.0**

FRANCISCO DE OLIVEIRA CARDOSO DE LEMOS

(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Ramo Automação e Eletrónica Industrial

Orientadores:

Prof. Doutor Fernando Manuel Fernandes Melício
Prof. Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo

Júri:

Presidente: Prof^a. Doutora Maria da Graça Vieira Brito Almeida

Vogais:

Prof. Doutor Fernando Manuel Fernandes Melício
Prof. Doutor Armando José Leitão Cordeiro

Novembro de 2018

Nota: *Esta Dissertação foi escrita ao abrigo do novo acordo ortográfico.*

Resumo

A Automação Industrial deixou de estar restringida aos limites físicos de uma fábrica ou uma instalação de produção. Cada vez mais processos são comandados e supervisionados remotamente, seja nas salas de controlo ou no conforto de casa. Os controladores lógicos programáveis (PLC) de hoje permitem o acesso ao seu sistema de controlo para realizar tarefas de monitorização, através de uma página web para observar as condições e estatísticas de uma máquina. Nas mais recentes gamas de PLC's dos mais diversos fabricantes, praticamente não existem limitações no que diz respeito ao que podemos realizar remotamente, desde que se disponha de uma conexão à Internet.

Estas novas versões de controladores possuem uma porta *Ethernet* integrada, para dois tipos de operações. A primeira é comunicar com outros dispositivos e controlar remotamente módulos de Entradas/Saídas com protocolos baseados em *Ethernet*, como *Ethernet/IP*, *Profinet*, *Modbus/TCP (UDP)*, entre outros. A segunda é implementar e atualizar projetos na memória interna do controlador. Assim, em conjunto com outros serviços *Ethernet*, como servidores WEB ou FTP, temos a possibilidade de administrar remotamente o controlo de processos.

Neste contexto, procurou-se implementar uma solução adaptada para conversores de potência do tipo gerador de Marx, que operam segundo uma arquitectura em que o PLC recebe ordens transmitidas por uma Interface Humano-Máquina (HMI). O primeiro passo para estabelecer uma conexão remota foi configurar o controlador para compreender os métodos de comunicação, tanto da rede local como de uma rede mais ampla, como a Internet.

Uma vez identificado o equipamento alvo e estabelecida a conexão, foi possível aceder à página *web* pré-definida, para operação em tempo real e para extração de dados do histórico de funcionamento, guardadas nas variáveis criadas para o efeito. Foi desenvolvida uma série de ficheiros (*batch files* em linha de comandos e um executável em VB.NET), para simplificar o processo de integração de ficheiros de registos na base de dados e facilitar a consulta de eventos.

Palavras Chave: Controlo remoto, conversor de potência, controladores lógicos, aquisição de dados.

Abstract

Industrial Automation is no longer restricted to the physical limits of a factory or production facility. More and more processes are commanded and supervised remotely, whether in control rooms or comfortably at home. Today's programmable logic controllers (PLCs) allow access to your control system to perform monitoring tasks through a web page to observe the conditions and statistics of a machine. To the majority of recent ranges of PLC's from diverse manufacturers, there are practically no limitations to what we can perform remotely, if an Internet connection is available.

These new driver versions have an integrated Ethernet port for two main operations. The first is to remotely control Input/Output modules with Ethernet-based protocols, such as Ethernet / IP, Profinet, Modbus / TCP (UDP), among others. The second is to implement and update the projects in the internal memory of the controller. That way, and with other Ethernet services, such as WEB or FTP servers, we have the possibility to remotely manage process control.

The first step to establish a remote connection is to configure the controller to understand the communication methods of both the local network and a broader network such as the Internet. This is achieved through a gateway address in the network settings in the controller. The gateway address is usually assigned to a router, which is responsible for directing IP traffic to the correct device within its local area network (LAN).

Once the target equipment has been identified and the connection established, we can access the predefined or customized web page for real-time operation, or extract data from the operating history and the occurrences registered in the variables created for this purpose. A series of files (command line batch file, executable in VB.NET) has been developed to simplify the process of integrating record files in the database and run the queries of events.

Key words: Remote Control, power converter, Programmable Logic Controllers, data acquisition.

Agradecimentos

Pretendo dedicar esta página de agradecimentos às pessoas que comigo percorreram o longo caminho da realização de uma dissertação sobre um tema tão actual e com grande margem para desenvolvimentos futuros.

Desejo agradecer particularmente aos meus orientadores científicos, Professor Doutor Fernando Manuel Fernandes Melício e Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo, toda a dedicação e disponibilidade demonstrados no decorrer desta dissertação. Também à administração e colaboradores da EPS, Energy Pulse Systems, pela disponibilização de recursos materiais e humanos.

Agradeço também a todo o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, aos seus quadros, docentes, não docentes, alunos e amigos, toda a amizade, conhecimento e partilha que me proporcionaram ao longo do meu percurso académico.

Deixo ainda um especial agradecimento à Rita, aos meus pais, Pedro e Sílvia, e à minha irmã Teresa, pelo apoio incondicional, motivação e presença em momentos chave na renovação dos sentimentos de confiança e perseverança. A todos eles, o meu reconhecimento e admiração.

Índice de Conteúdos

Capítulo I – Introdução.....	21
I.1 – Objetivos	22
I.2 – Estrutura	22
Capítulo II – Estado de Arte	23
II.1 - Evolução Industrial.....	24
II.2 – Automação Industrial.....	25
II.2.1 – Controlador Lógico Programável	27
II.2.2 – Redes Industriais	31
II.2.2.1 – Redes de Campo (FIELDBUS).....	32
II.2.2.2 – Ethernet	33
II.2.2.3 – Industrial Ethernet.....	35
II.2.2.4 – Protocolo TCP/IP	36
II.2.2.5 – Protocolo HTTP	37
II.2.2.6 – MODBUS TCP	38
II.2.3 – Sistema Global para comunicações Móveis (GSM)	39
II.2.4 – Tecnologia Wireless.....	40
II.3 - Princípios e Design da Indústria 4.0	42
II.3.2 – <i>Big Data</i>	44
II.3.3 – Ciber-segurança	45
II.4 – Controlo Remoto.....	47
II.4.1 – Motivações e Benefícios	47
II.4.2 – Enquadramento histórico	48
II.4.4 – Conexões <i>Outbound</i>	49
II.4.5 – Soluções VPN –Router	50

Capítulo III – Conversores Estáticos de Potência	51
III.1 – Generalidades	52
III.2 - Gerador de Marx	54
III.3 - Conversor utilizado	58
III.3.1 – Características.....	59
III.3.2 – Modos de Funcionamento	60
III.3.2.1 – Single Pulse	61
III.3.2.2 – Multi Pulses	62
III.3.2.3 – Continuous Running	63
III.3.3 – Gestão de Variáveis e Eventos	64
III.3.3.1 – Leituras	64
III.3.3.2 – Alarmes.....	65
III.3.3.3 – Falhas.....	66
Capítulo IV – Sistema Implementado	69
IV.1 – Equipamentos e Ferramentas Associadas	70
IV.1.1 – PLC Modicon 241	70
IV.1.2 – Aplicação de Desenvolvimento SoMachine.....	72
IV.1.3 – Magelis STU – Interface Humano Máquina	73
IV.1.4 – Aplicação de desenvolvimento VijeoDesigner	74
IV.1.5 – Gateway eWON Cosy 141	75
IV.2 – Arquitetura Conceptual	77
IV.2.1 – Arquitetura Implementada.....	78
IV.2.2 – Sinais Analógicos	79
IV.2.3 – Leitura de Tensão	81
IV.2.4 – Leitura de Corrente.....	82

IV.2.5 – Leitura de Temperaturas.....	83
IV.3 – Configuração do Controlador.....	85
IV.3.1 – Configuração de Rede	85
IV.3.2 – Real Time Clock.....	86
IV.4 – Configuração da Interface Gráfica	90
IV.4.1 – Configuração de Rede	90
IV.4.2 – DataLogging.....	91
IV.4.2.1 – RunLog.....	92
IV.4.2.2 – StopLog	93
IV.4.2.3 – Alarmes e Eventos.....	94
IV.4.3 – Ações (Scripts)	95
IV.5 – Acesso Remoto.....	96
IV.5.1 – Servidor Web.....	96
IV.5.2 – Acesso Remoto na Rede Local.....	97
IV.5.3 – Acesso Remoto através da Internet	99
IV.5.3.1 – Aplicação eBuddy	100
IV.5.3.2 – Aplicação eCatcher.....	101
IV.5.3.3 – Plataforma Talk2M	102
IV.5.3.4 – Configuração da Gateway eWON.....	103
Capítulo V – Resultados/Ensaio.....	109
V.1 – Procedimentos	110
V.1.1 – Vijeo Designer Data Manager	111
V.1.2 – EPS DownloadData (Notepad++)	113
V.1.3 – Base de Dados Access	116

V.1.4 – Gestão da Base de Dados e Relatórios	117
Capítulo VI – Conclusões.....	119
VI.1 - Trabalho Realizado	120
VI.2 – Perspetivas para o futuro	121
VI.2.1 – Gateway eWON Flexy	121
VI.2.2 – EcoStruxure – Machine Advisory	122
VI.2.3 – PLC Remote Access.....	123
VI.2.4 – Servidores OPC	124
VI.3 – Sugestões para novas funcionalidades	125
Referências Bibliográficas.....	127
Anexo A – Código Batch File – EPS Download Data	128
Anexo B – Código VB.NET ‘Form1’	129
Anexo C – Código VB.NET ‘Form2’	134

Índice de Figuras

Figura 1 - Arquitetura de rede simplificada para um sistema automatizado	26
Figura 2 - Componentes de um Controlador Lógico Programável	28
Figura 3 - Ciclo de Varrimento.....	29
Figura 4 - Tipos de memórias de um PLC	30
Figura 5 - Modem GMS/UMTS - SR2MOD03 da Schneider Electric	39
Figura 6 - Solução VPN - Router	50
Figura 7 – Evolução dos dispositivos semicondutores de potência	52
Figura 8 - Aplicações características dos dispositivos semicondutores de potência.....	53
Figura 9 – Conceitos e etapas para geração de impulsos	54
Figura 10 - Gerador de Marx – Topologia com recurso a <i>Spark Gap's</i>	55
Figura 11 - Gerador de Marx positivo – 3 estágios	56
Figura 12 - Circuito de carregamento dos condensadores.....	57
Figura 13 - Circuito gerador de impulsos.....	57
Figura 14 - Diagrama de Blocos EPULSUS PM3-22.5	58
Figura 15 - Painel de Avisos	60
Figura 16 - Painel Inicial	60
Figura 17 - Painel de configuração do modo <i>Single Pulse</i>	61
Figura 18 - Painel de configuração do modo <i>Multi Pulses</i>	62
Figura 19 - Painel de configuração do modo <i>Continuous Running</i>	63
Figura 20 - Painel Numérico	64
Figura 21 - Painel <i>Status Admin</i>	64
Figura 22 - Painel de Alarmes - Falhas de <i>hardware</i> resolvidas.....	65
Figura 23 - Painel de Falhas	66
Figura 24 - Diagrama dos impulsos.....	67
Figura 25 - Controlador Modicon 241 [11].....	70
Figura 26 - Ambiente de trabalho do SoMachine Logic Builder	72
Figura 27 - Magelis STU	73
Figura 28 - Ambiente de trabalho do Vijeo Designer	74
Figura 29 - Router Industrial eWON Cosy 141.....	75
Figura 30 - Arquitetura conceptual.....	77
Figura 31 - Arquitetura geral do conversor de potência.....	78

Figura 32 - Conversor AD Integrado no Controlador	79
Figura 33 - Resolução de um conversor AD	80
Figura 34 – Circuito Divisor de tensão.....	81
Figura 35 - Esquema e cálculo do divisor de tensão	82
Figura 36 – Termistor NTC, fabricante TDK.....	83
Figura 37 - Divisor de tensão NTC	83
Figura 38 - Exemplo de programa em C – Equação de Steinhart & Hart	84
Figura 39 - Configuração Ethernet	85
Figura 40 - Adicionar a <i>library</i> SysTimeRtc.....	86
Figura 41 - Declaração de Variáveis RTC.....	87
Figura 42 - Programa “Relógio” (ladder)	87
Figura 43 - Programa SyncDateTime (Blocos)	88
Figura 44 – Escrita do Script das funções SysSetTime e SysSetDate.....	89
Figura 45 – Habilitação da opção ‘TimeManagement’	89
Figura 46 - Opção ‘Time Adjustment’	89
Figura 47 - Configuração de Rede da Interface Gráfica.....	90
Figura 48 – Configuração de Acesso Remoto da Interface Gráfica	90
Figura 49 - Visão geral do funcionamento de aquisição de dados	91
Figura 50 – Configuração do grupo ‘RunLog’	92
Figura 51 – Lista de variáveis referentes ao grupo ‘RunLog’	92
Figura 52 – Configuração do grupo ‘StopLog’	93
Figura 53 – Lista de variáveis referentes ao grupo ‘StopLog’	93
Figura 54 – Script para escrita automática na memória externa.....	95
Figura 55 – Acesso a Web Gate	97
Figura 56 – Funcionalidade de segurança/autenticação	97
Figura 57 – Pedido de autenticação para Web Gate.....	98
Figura 58 – Acesso a Interface Gráfica do equipamento.....	98
Figura 59 – Esquema das diferentes redes.....	99
Figura 60 - Ambiente da aplicação eBuddy	100
Figura 61 - Ambiente da aplicação eCatcher.....	101
Figura 62 - Definição do endereço IP da rede eWON.....	103
Figura 63 - Configuração do endereço do PC de configuração.....	104
Figura 64 - Página de configuração da <i>gateway</i>	104
Figura 65 - Adição de um novo dispositivo eWON	105

Figura 66 - Configurar através da chave de Activação	106
Figura 67 - Configuração através da chave de Activação	107
Figura 68 - Chave de Activação	107
Figura 69 - Conectar ao dispositivo eWON	108
Figura 70 - Configurar através da chave de Ativação	108
Figura 71 – Pasta de ficheiros EPS-DATA	110
Figura 72 – Configuração <i>Data Transfer Tool</i>	111
Figura 73 – Configuração Data Transfer Tool	112
Figura 74 – Configuração Data Transfer Tool	113
Figura 75 - Ficheiros obtidos, formato .DAT (Esquerda) e formato .CSV (direita)	115
Figura 76 – Configuração dos campos da base de dados	116
Figura 77 - Ficheiro executável (Form1).....	118
Figura 78 - Relatório do ensaio (Form2).....	118
Figura 79- Router Industrial Flexy da eWON	121
Figura 80 - Solução <i>PLCRemoteAccess</i>	123
Figura 81 - Fundação OPC	124

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Exemplos de redes industriais e respetivo tipo de <i>fieldbus</i>	32
Tabela 2 – Especificações PM3 – 22.5.....	59
Tabela 3 - Descrição dos Alarmes	65
Tabela 4 - Parâmetros da Ferramenta "DataTransferTool"	114
Tabela 5 - Parâmetros da Ferramenta "DataConverterTool"	115

Lista de Abreviaturas

AP - Access Point
ARPANET - Advanced Research Project Agency Network
BOOTP - Bootstrap Protocol
CPU - Central Processing Unit
DBMS - Data Base Manager System
DFB - Diagram Function Blocks
EPS - Enterprise Production Systems
FB - Function Blocks
GPRS - General Packet Radio Service
HMI - Human-Machine Interface
HTTP - Hypertext Transfer Protocol
IEC - International Electrotechnical Commission
IL - Instruction List
IoT - Internet of Things
IP - Internet Protocol
ISP - Internet Service Provider
LAN - Local Area Network
LD - Ladder Diagram
MAC – Media Access Control Address
NTC - Negative Temperature Coefficient
NTP - Network Time Protocol
OPC - OLE for Process Control
OEE - Overall Equipment Effectiveness
OEM - Original Equipment Manufacturer
PLC - Programmable Logic Controller
SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition
SFC - Sequential Function Chart
ST - Structured Text
TCP - Transmission Control Protocol
URL - Uniform Resource Locator
VPN - Virtual Private Network
VNC - Virtual Network Computing
WAN - Wide Area Network
WLAN - Wide Local Area Network
WWW - World Wide Web

Capítulo I – Introdução

Resumo:

Neste capítulo referem-se os objetivos da dissertação e apresenta-se a estrutura geral.

I.1 – Objetivos

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, no sector de Automação Industrial e Electrónica de Potência. O seu objetivo foi desenvolver um sistema de monitorização e comando remoto via web, de um conversor de potência do tipo gerador de Marx, comandado localmente por uma interface em comunicação com um PLC, que controla os parâmetros do conversor de potência:

- Investigar técnicas utilizadas para controlo remoto;
- Implementar o acesso remoto ao equipamento via web;
- Monitorizar as grandezas associadas;
- Criar componentes de *software* e hardware para a extração de ficheiros de registos;
- Construir ferramentas de *software* para o tratamento de dados e emissão de relatórios;
- Criar uma base dados para diagnóstico de avarias e registo de falhas do sistema.
- Testar o equipamento em ambiente industrial.

I.2 – Estrutura

A dissertação apresenta uma organização dividida em seis capítulos;

No capítulo I faz-se uma introdução do tema deste trabalho, realçando os seus objetivos.

No capítulo II descrevem-se temas relevantes no âmbito da automação industrial, bem como os propósitos e progressos envolvidos na quarta revolução industrial.

No capítulo III apresentam-se as características e funcionamento do conversor de potência em que o sistema foi implementado, do tipo gerador de Marx.

No capítulo IV é apresentada a arquitetura implementada e os equipamentos envolvidos. Encontra-se também de forma detalhada a configuração e programação do sistema.

No capítulo V são descritos os procedimentos, como é feito o acesso à *webpage*, quais os passos para obter os ficheiros de dados e dispostos os resultados obtidos.

No capítulo VI são discutidas as conclusões da dissertação, apresentados novas tecnologias e sugeridos desenvolvimentos futuros.

Capítulo II – Estado de Arte

Resumo:

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento no âmbito da Indústria 4.0, os seus princípios e o impacto nos meios de produção e manutenção.

Discutem-se ainda quais os métodos em vigor para aceder remotamente a um controlador apresentando as suas vantagens e desvantagens.

II.1 - Evolução Industrial

Ao longo da história o sector industrial conheceu as mais profundas e velozes modificações, entre métodos, conceitos e tecnologias. Enquanto a sociedade sonhava e evoluía entusiasmada pela incapacidade de prever o limite de produção de bens, várias descobertas permitiram as sucessivas melhorias em quantidade, qualidade e autonomia dos processos de fabrico. Distiguem-se quatro períodos de avanços significativos.

1ª Revolução industrial

A primeira ocasião em que podemos distinguir uma aplicação de novos métodos que viriam a desequilibrar a competitividade, remontam ao final de século XVIII com a introdução das máquinas a vapor e o uso da força hidráulica.

2ª Revolução industrial

Foi já no fim do século XIX que com a introdução da energia eléctrica se deram os primeiros passos na produção em massa e nas linhas de montagem.

3ª Revolução industrial

Manifesta-se na década de 70 com a implementação de sistemas electrónicos programáveis e sistemas de informação, que tiveram uma disseminação veloz devido á elevada optimização de recursos e aumento de produtividade.

4ª Revolução industrial

Também referida como Indústria 4.0, a revolução que ocorre nos nossos dias tem como principal característica a flexibilidade. O termo tem origem num projeto de estratégias estatais alemãs, publicado no documento “*HighTech Strategy*” e apresentado na *Hannover Messe* em 2011. Tais estratégias visam temas como a energia, mobilidade, clima, comunicações e segurança. A revolução aponta para o futuro das fábricas inteligentes com tecnologia de ponta aplicada ao tecido industrial como a *Internet*, a *Industrial Ethernet*, *Cloud Computing* e o novo conceito de *Industrial IoT*, de modo a satisfazer as exigências do consumidor moderno com produtos personalizados a baixo custo, aumentar a eficiência, competitividade e combater a migração da produção para os países com mão-de-obra mais barata. [1]

II.2 – Automação Industrial

Automação de processos industriais ou apenas automação industrial é a aplicação de tecnologias, sejam estas em termos de sensores, atuadores ou *softwares*, num equipamento que é utilizado num determinado processo, ou no controlo desse mesmo processo industrial com o objetivo de aumentar a produção, reduzir os gastos de matéria-prima, aumentar a sua eficiência, baixar os custos, aumentar a segurança e minimizar o erro humano.

A automação industrial exige a participação de uma grande variedade de sectores do conhecimento científico, como eletrónica, mecânica, física, química e informática. Surge assim com um elevado dinamismo tecnológico com novos e inovadores produtos a serem recorrentemente lançados no mercado. Este facto certamente exercerá um forte efeito na criação de novos empregos na indústria e atividades associadas. A sociedade tem o dever de acompanhar este processo de forma convicta, na qualificação de recursos humanos, para que estejam à altura do desafio e dos investimentos realizados. A presença da automação na economia global e na vida humana diária é crescente, sendo a automação industrial considerada hoje um instrumento fundamental para a qualidade e produtividade das empresas.

Para que seja implementado um sistema automatizado temos de ter instrumentos e dispositivos, que se caracterizam pela capacidade de processamento de operações lógicas, como por exemplo os Microcontroladores, Controladores Lógicos Programáveis (*PLC*), *FPGA* (*Field-Programable Gate Array*), Controladores Numéricos Computadorizados (*CNC*) ou os Sistemas Digitais de Controlo Distribuído (*SDCD*). Estes dispositivos devem ser flexíveis, ter capacidade de resposta em tempo útil, ser capazes de responder a alterações de produto e ser reprogramáveis com auxílio a *software* apropriados para cada dispositivo[2].

Cada vez mais estas tecnologias estão disseminadas em vários sectores da indústria, sendo alguns deles totalmente dependentes das mesmas, nomeadamente:

- Indústria química, madeira, papel;
- Indústria automóvel;
- Indústria de plásticos e moldes;

Em todas as indústrias acima referidas existem sectores ou funções em comum que adaptam à sua necessidade as operações de armazenamento, controlo de qualidade, empacotamento, transporte, etc.

Uma vez pretendido o sistema de automatização de uma operação, deverão ser consideradas diversas etapas, nomeadamente:

- Identificação do processo como um todo e simplificar diferentes fases e sequências;
- Automatização dos processos individuais e execução de módulos separadamente;
- Integração das fases, de forma sequencial para conseguir aplicar todo o processo produtivo.

A Automação como a conhecemos é composta pelos seguintes dispositivos:

- Computadores e periféricos - PC's, servidores, PLC's, HMI's (Interface Homem Máquina);
- Equipamentos de produção - robôs, máquinas CNC, transportadores, sensores e atuadores diversos;
- Redes locais – redes com determinada geometria que permitem a comunicação de dados entre vários participantes, nomeadamente dentro de um determinado perímetro;
- *Software* – sistemas operativos, programas de configuração e bases de dados.

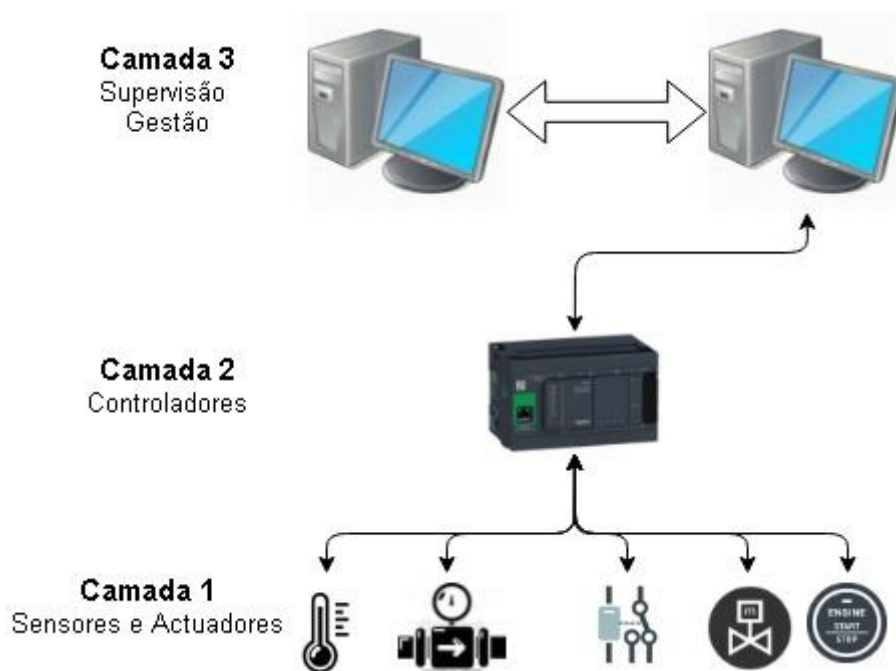


Figura 1 - Arquitetura de rede simplificada para um sistema automatizado

II.2.1 – Controlador Lógico Programável

Os Controladores Lógicos Programáveis foram desenvolvidos na década de 60, nos Estados Unidos, com a finalidade de substituir painéis de relés que eram muito utilizados na indústria automóvel para controlar tendo por base a lógica combinatória e sequencial. Por serem eletromecânicos, os relés que eram utilizados nos dispositivos de controlo apresentavam diversas desvantagens como problemas nos contatos, desgastes devido ao contato repetitivo, dificuldade na reconfiguração da lógica de controlo e necessidade de manutenções periódicas.

Nascia assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, que tem vindo a ser progressivamente melhorado, diversificando cada vez mais os sectores industriais e as suas aplicações, o que se traduz num mercado que movimenta muitos milhões de Euros todos os anos. Até hoje têm vindo a ser melhoradas características como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos, o modo de programação e a interface com o utilizador.

Geralmente os projetos são construídos numa aplicação de desenvolvimento específica num computador e depois transferidos para o controlador por cabo ou via rede, sendo armazenado em memórias não-voláteis. No início, os fabricantes utilizavam linguagens proprietárias de forma isolada, que não beneficiava a interação entre dispositivos de diferentes fabricantes. Até que, em 1993, a norma IEC 61131-3 estabeleceu padrões para a sintaxe e semântica de um conjunto unificado de linguagens de programação, que passaram a ser adotadas internacionalmente.

Vantagens da norma IEC 61131[3]:

- Homogeneidade na documentação das aplicações de desenvolvimento;
- Diminuição de problemas na área da formação de técnicos;
- Variedade de linguagens *standard*: cada função de projeto pode ser programada na linguagem que melhor se adapte para assegurar a melhor performance;
- Facilidade de comissionamento e portabilidade dos projetos.

Os controladores lógicos programáveis dos dias de hoje tendem a ter características como a modularidade, versatilidade, que se enquadra perfeitamente numa ampla variedade de aplicações, e flexibilidade através de várias portas de comunicação incorporadas e inúmeros periféricos como simuladores, módulos de expansão de entradas/saídas ou memórias externas.

Em termos de *hardware*, os controladores são, geralmente, constituídos por uma unidade central de processamento, por uma fonte de alimentação, um dispositivo de programação, uma memória, uma secção de interface de entradas/saídas e uma interface de comunicação.

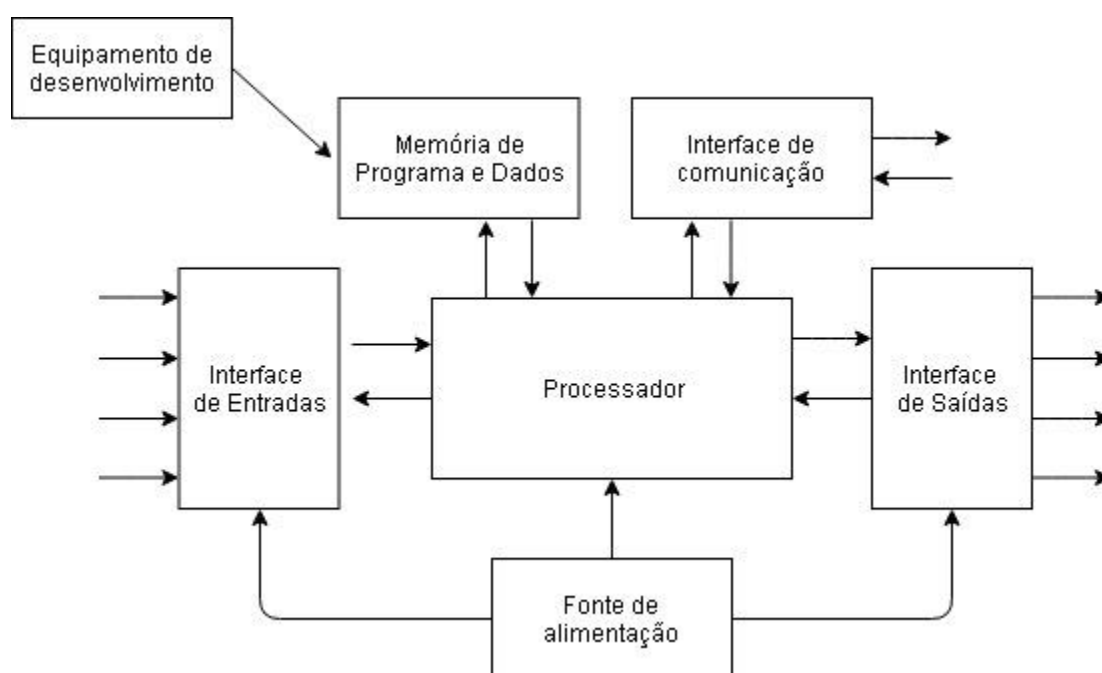


Figura 2 - Componentes de um Controlador Lógico Programável

A unidade central ou de processamento (CPU) é a unidade que contém o microprocessador responsável por realizar operações lógicas e matemáticas, de forma sequencial. Interpreta todos os sinais de entrada e dá início às ações de controlo, de acordo com o projeto armazenado na memória, atribuindo os sinais de ação para as saídas. A ordem com que o processador executa todas as operações lógicas chama-se ciclo de varrimento, e a duração de execução chama-se tempo de ciclo.

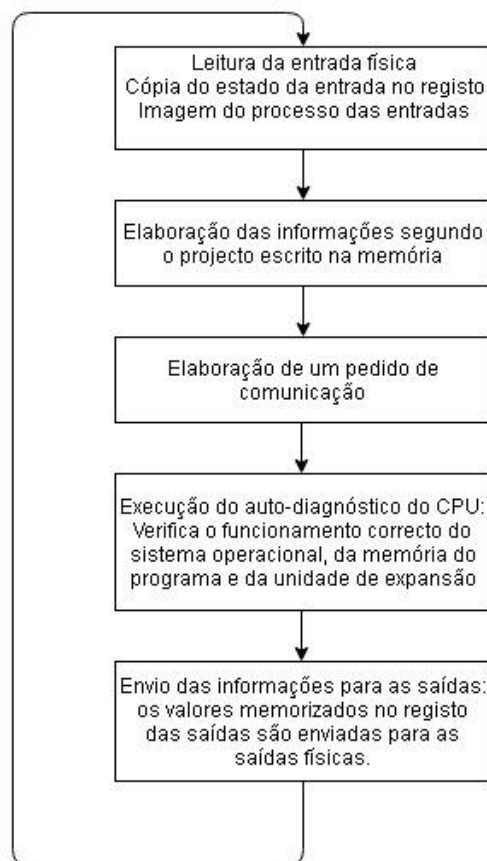


Figura 3 - Ciclo de Varrimento

A fonte de alimentação fornece energia aos elementos eletrónicos internos do controlador, converte a tensão de entrada numa tensão adequada à alimentação do PLC e protege os componentes do mesmo contra eventuais picos de tensão.

A memória é um dos mais importantes elementos de um controlador, dividida em três parcelas de memória onde são armazenados os dados do programa do utilizador e a configuração, a memória de programa, a memória de trabalho e a memória retentiva. A memória de programa é diferente, consoante a CPU escolhido, e permite armazenar de forma não volátil o projeto do utilizador, os dados e a configuração. A memória de trabalho também está dependente da CPU escolhido e oferece armazenamento volátil, ou seja, sempre que o equipamento não recebe energia perde-se a informação nesta parcela. A memória retentiva permite armazenar dados de forma não volátil da memória de trabalho e o número de dados é limitado. Quando ocorre uma falha de energia, a CPU irá restaurar os valores aqui guardados para reiniciar.

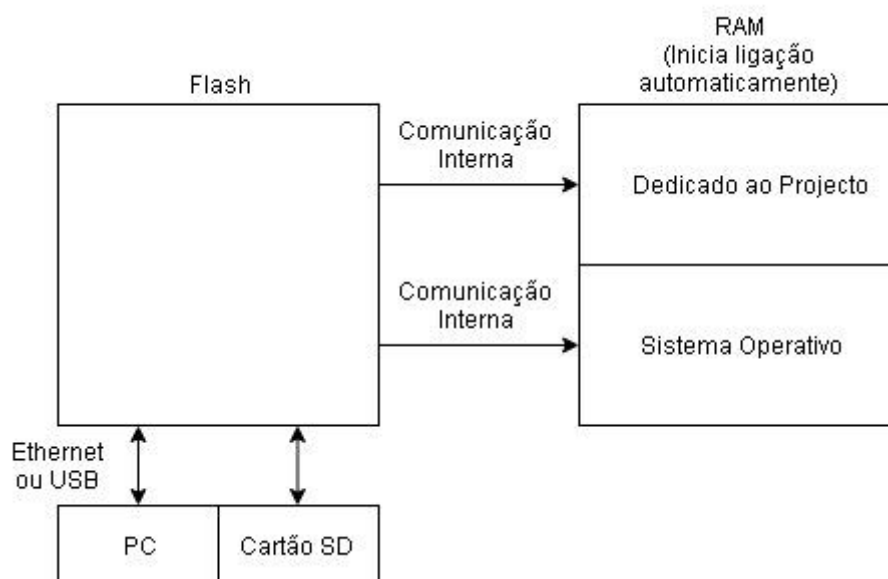


Figura 4 - Tipos de memórias de um PLC

Nas interfaces de entradas e saídas o processador recebe e escreve a informação proveniente dos dispositivos externos. Os sensores e interruptores são exemplos de entradas, relés/contactores e válvulas são exemplos de saídas, estas saídas e entradas costumam ser isoladas do processamento através de acoplamento ótico.

As unidades de entrada digital detetam e convertem sinais de comutação de entrada e níveis lógicos de tensão contínua, geralmente os 24Vdc do sensor são convertidos para 5 Vcc. Os transdutores mais comuns para entrada digital são botões, fins de curso, sensores de proximidade, sensores de infravermelhos, termostatos, etc. As unidades de entrada analógica convertem sinais de 0 a 10 Vsdcc, ou 4 a 20 mA em valores numéricos que podem ser compreendidos pela unidade de processamento. [2]

II.2.2 – Redes Industriais

No âmbito da automação de processos industriais, redes industriais são as estruturas físicas enquanto o protocolo é o modo de formar as mensagens que são transmitidas pela rede com ou sem fios, em conjunto com as regras de acesso e os procedimentos associados para assegurar os ciclos de validação.

As redes industriais surgiram da necessidade de criar soluções descentralizadas com sistemas comunicantes. A sua interligação em rede permitiu a partilha de recursos e bases de dados, que passaram a ser únicos, conferindo maior segurança. As redes de comunicação são de grande importância para as empresas, devido à quantidade de informação que atualmente é utilizada para as mais diversas aplicações, seja apenas para visualização e consulta em sistemas de supervisão ou para sistemas de controlo de produção em tempo real, como os EPS (*Enterprise Production Systems*).

Assim, o ambiente industrial que outrora era isolado e inflexível, hoje tem a necessidade de estar ligado ao ambiente corporativo da empresa para que assim estes possam partilhar informações com o intuito de aperfeiçoar o processo de produção, evitar paragens não planeadas e consumos desnecessários de matéria e mão-de-obra. Tornou-se imprescindível a utilização de sistemas de comunicação que conseguissem suportar requisitos típicos das suas aplicações: ambientes hostis, interferências eletromagnéticas, características de tempo real e um espectro largo de volume de informação.

A escolha da tipologia deve ser fundamentada considerando o custo, a performance e a redundância ou fiabilidade. As redes industriais podem ser configuradas de diversas formas, mas a comunicação entre dispositivos implica perguntas e respostas, existindo protocolos mais apropriados para cada situação. A troca de informações, perguntas e respostas, requer uma configuração *multi-master*, mas quando todo o poder de comando recai num equipamento, que chama os restantes dispositivos a atuar designa-se por configuração *master/slave*. [4]

II.2.2.1 – Redes de Campo (FIELDBUS)

Uma rede de campo é um grupo de dispositivos e nós, cada um com um ou mais sensores e atuadores com capacidade computacional, que comunicam sobre um ou mais meios físicos, utilizando um protocolo proprietário para implementar uma aplicação de monitorização e controlo em tempo real.

Redes de campo identificam-se como a melhor solução quando é necessária robustez na transmissão de mensagens em ambientes adversos ou na presença de interferências eletromagnéticas. As características fundamentais para uma escolha adequada à instalação são:

Robustez física - inclui todas as características desde a tipologia de rede, meio físico que a suporta, número máximo de nós possíveis e distância máxima de cobertura.

Mecanismo de transporte – fatores que condicionam a forma como os dispositivos trocam mensagens, como os protocolos de comunicação, velocidades de transmissão, dimensão dos dados a transferir, controlo e diagnóstico de erros.

Redes Industriais	Tipo de Filedbus
ASI	Sensorbus
WorldFIP	Fieldbus/Devicebus
CANOpen	Devicebus
ControlNet	Control
DeviceNet	Devicebus
Industrial Ethernet	Enterprise
Interbus-S	Sensorbus
LonWorks	Devicebus
PROFIBUS-DP	Devicebus
PROFIBUS-PA	Fieldbus

Tabela 1 - Exemplos de redes industriais e respetivo tipo de *fieldbus*.

Os tipos de *fieldbus* acima indicados apresentam as seguintes características:

- **Sensorbus** - A rede de nível mais baixo, geralmente usada para ligar pequenos sensores e interruptores. Transmite dados de pequeno tamanho e precisa do menor processamento possível da parte do sensor;
- **Devicebus** - Categoria de rede para uso geral que oferece serviços de comunicação para dispositivos mais “inteligentes” que conseguem realizar múltiplas funções de diagnóstico e planeamento;

- **Fieldbus** - Suporta uma transmissão de dados volumosa, a menor velocidade e requer um maior poder de processamento por parte dos dispositivos. Algumas tecnologias deste tipo suportam funções de comando diretamente nos dispositivos;

II.2.2.2 – Ethernet

A Ethernet tem demonstrado ao longo do tempo que não é apenas uma rede para escritórios e aplicações empresariais, e é cada vez mais utilizada como uma solução para aplicações de alta velocidade entre computadores, salas de comando e redes industriais. Como é uma tecnologia de *hardware*, esta cumpre todos os requisitos de um barramento industrial especializado, com a grande vantagem de ter um uso mais diversificado e menos oneroso devido aos grandes volumes de fabrico. Com a uniformização do tipo de tecnologia de rede desde a *Enterprise* até ao nível dos sensores temos a possibilidade de simplificar a arquitetura, o *design*, a instalação e a manutenção da rede. Algumas vantagens em usar a tecnologia *Ethernet* são:

- Utilização das infraestruturas de redes existentes para estabelecer comunicações com novos equipamentos industriais (no entanto afecta a fiabilidade);
- Tecnologia vastamente difundida em equipamentos e sistemas operativos para cartas *Ethernet* e para protocolo TCP/IP;
- Produtos comercializados em larga escala;
- Equipamentos de fácil configuração.

A Ethernet é baseada na ideia de pontos da rede que enviam mensagens, alguns conceitos importantes de uma rede Ethernet são:

- **Ethernet (MAC Address):** Geralmente os fabricantes de dispositivos atribuem um endereço MAC (Media Access Control) para que seja facilmente identificável. Cada endereço é único no mundo inteiro e consiste em seis grupos de dois dígitos hexadecimais, separados por hífen (-) ou por dois pontos (:), gravados em *hardware*, isto é, na memória ROM da placa de rede do equipamento. (Exemplo: 00:19:B9:FB:E2:58 ou 00-19-B9-FB-E2-58).
- **Endereço IP:** Cada dispositivo deve ter um endereço de Protocolo de Internet (IP). Este endereço permite que o dispositivo forneça dados numa rede mais complexa. Cada endereço IP é dividido em quatro segmentos de 8 bits (IPv4), ou oito segmentos

de 16 bits (IPv6), separados por pontos. Os primeiros segmentos são usados para identificar em que rede está o dispositivo, enquanto a restante parte identifica o equipamento e deve ser única dentro de uma mesma rede.

- **Máscara de sub-rede (*Subnet Mask*):** Uma sub-rede é um agrupamento lógico de dispositivos conectados em rede. Os nós de uma sub-rede tendem a ser localizados em estreita proximidade física numa rede de área local (LAN). A máscara (conhecido como a máscara de sub-rede ou máscara de rede) define os limites de um IP de sub-rede. A máscara de sub-rede 255.255.255.0 é geralmente adequada para uma pequena rede local. Isto significa que todos os endereços IP na rede deste tipo deveriam ter os mesmos três primeiros octetos (campos de 8 bits), e os vários dispositivos desta rede são identificados pelo último octeto.
- **IP Router:** *Routers* são o elo entre as várias LANs. Através de um *router* um computador numa LAN pode enviar mensagens para quaisquer outras redes. Se o destino dos dados não está dentro da LAN, o *router* encaminha a mensagem para outra rede ou grupo de redes para que encontre o seu destinatário. Os routers utilizam endereços IP para enviar e receber pacotes de dados.

Os padrões atuais da rede *Ethernet* são:

- 10 megabit/seg: 10Base-T Ethernet (IEEE 802.3);
- 100 megabit/seg: Fast Ethernet (IEEE 802.3u);
- 1 gigabit/seg: Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z);
- 10 gigabit/seg: 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae).[5]

Nas variantes com topologia ramificada (IEEE 802.3u) é possível criar condições para um desempenho global superior ao conseguido nas redes com configuração em barramento. Trata-se das modalidades Switching Ethernet que utilizam nós concentradores (neste caso com a designação de switches) mais inteligentes, à custa de equipamentos com capacidade de encaminhamento. Estes equipamentos fazem chegar cada mensagem apenas ao(s) troço(s) com o(s) nó(s) de destino, evitando que tenha de ocupar toda a rede e permitindo até outras transmissões simultâneas que, através deste tipo de separação, não cheguem a ocasionar colisões.

II.2.2.3 – Industrial Ethernet

Os protocolos de *Ethernet industrial* têm como base o protocolo *Ethernet* TCP/IP, no entanto utilizam uma camada de ligação (camada 2) do modelo OSI distinta, o que permite aumentar o seu determinismo e baixar a sua latência (intervalo de tempo entre estímulo da rede e a resposta).

Em termos de *hardware* a principal diferença entre uma rede *Industrial Ethernet* e a rede *Ethernet* TCP/IP é a utilização de *hardware* específico para o ambiente industrial, desde cablagem, conectores e a utilização de fontes de alimentação redundante de modo a promover um meio físico robusto e fiável.

O *software* para os protocolos para *Ethernet* industrial são desenvolvidos para acomodar serviços como o controlo *multicast*, melhorar qualidade de serviço e redes virtuais que permitam à rede a transmissão de dados de forma rápida e consistente. Tais requisitos provêm da diferença entre o tipo de comunicação utilizado numa rede *Ethernet* comercial e industrial. Numa rede industrial a comunicação é tipicamente *multicast* necessitando de comunicações rápidas e determinísticas para aplicações de controlo em tempo real. As redes *Industrial Ethernet* atuais têm velocidades na ordem dos *Gigabits/s*, capacidade de *full-duplex* (envio e receção de mensagens em simultâneo), priorização e redes virtuais.

Uma rede *Industrial Ethernet* não é diretamente compatível com a rede *Internet*, mas podem ser compatibilizadas com equipamento apropriado aumentando ainda mais a funcionalidade da rede *industrial Ethernet* com a ligação de equipamentos e redes informáticas de alto nível em pontos geográficos distantes e dispersos para aplicações de gestão e recolha de dados. [6]

II.2.2.4 – Protocolo TCP/IP

O protocolo TCP/IP, foi desenvolvido em 1969 pelo *U.S. Department of Defense Advanced Research Projects Agency*, como recurso a um projeto experimental chamado ARPANET (Advanced Research Project Agency Network) para permitir a comunicação entre uma grande quantidade de sistemas de computadores e várias organizações militares. O objetivo do projeto era disponibilizar caminhos de comunicação de alta velocidade, com recurso a redes de troca de informação. Uma das suas premissas seria a capacidade de identificar e encontrar a melhor rota possível entre dois *sites*, assim como de descortinar possíveis alternativas para chegar ao destinatário. A partir de 1972 o projeto ARPANET começou a crescer numa comunidade internacional e hoje transformou-se no que conhecemos como Internet. Em 1983 ficou definido que todos os computadores conectados ao ARPANET passariam a utilizar o protocolo TCP/IP.

O protocolo TCP é um protocolo padrão descrito pela norma RFC 793. O principal objetivo do TCP é fornecer o serviço de conexão segura e de confiança entre pares de processos, e tem as seguintes características:

- Adequado para médias e grandes quantidades de dados;
- Um protocolo de comunicação eficiente, uma vez que está intimamente ligada ao *hardware*;
- Oferece mais facilidade de implementação de aplicações, como a recuperação de erros, controlo de fluxo e fiabilidade;
- Flexibilidade na utilização com sistemas de terceiros, que utilizam apenas TCP;
- As mensagens são reconhecidas;
- Aplicável apenas a comprimentos de dados estáticos;
- As aplicações são emitidas utilizando os números de porta;
- Um protocolo orientado para a conexão.

A principal função do TCP é garantir que todos os pacotes de dados sejam recebidos correctamente, enquanto o IP garante que as mensagens sejam correctamente endereçadas. O TCP/IP não define o que os dados significam ou como os dados devem ser interpretados, é meramente um protocolo de transporte.

II.2.2.5 – Protocolo HTTP

A necessidade de distribuir e trocar informação na Internet fez com que surgisse um método padrão de comunicações entre utilizadores e servidores, com abrangência e compatibilidade que permitisse a interoperabilidade por todos os dispositivos ligados à Internet. O protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) é utilizado pela *World Wide Web* desde 1990, definiu as regras básicas para a comunicação entre computadores e determinou como são realizadas as transações entre clientes e servidores. A primeira versão, HTTP/0.9, era um simples protocolo para a transferência de dados no formato de texto ASCII, através de um único método de requisição, denominado GET. A versão HTTP/1.0, foi desenvolvida entre 1992 e 1995, para transferir não apenas texto, mas mensagens MIME44 (*Multipurpose Internet Mail Extensions*) com implementação de novos métodos de requisição, chamados POST e HEAD. Na atual versão, o protocolo HTTP/1.1 foram desenvolvidas uma série de novos conceitos, como: a utilização de servidores *proxy* que permitem uma melhor performance da cache, o uso de conexões persistentes e novos métodos de requisição, entre outros.

Um sistema de comunicação em rede possui diversos protocolos que trabalham em conjunto para o fornecimento de serviços. Para que o protocolo HTTP consiga transferir dados pela Internet, é necessário que os protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*) tornem possível a conexão entre clientes e servidores através de *sockets* TCP/IP.

O protocolo HTTP utiliza o modelo cliente-servidor, como a maioria dos protocolos de rede, com base no paradigma pergunta e resposta. Um programa requisitante (cliente) estabelece uma conexão com um programa recetor (servidor) e transmite um pedido, que contém a versão do protocolo, a URI (*Universal Resource Identifier*), uma mensagem MIME (padrão utilizado para codificar dados em formato de textos ASCII para serem transmitidos pela Internet) com os modificadores da requisição e informações sobre o cliente.

O servidor responde com uma linha de estado (*status line*) incluindo a versão de protocolo e os códigos de erro que indicam se a operação foi bem-sucedida, seguido das informações do servidor, meta informações da entidade. Após o envio da resposta pelo servidor, a conexão é encerrada.

II.2.2.6 – MODBUS TCP

O protocolo MODBUS TCP é uma forma simples de compatibilizar um protocolo original de uma rede de campo para uma rede *Ethernet*, o que introduz alguma familiaridade e facilidade em compatibilizar equipamentos antigos, sendo que existem limitações em termos técnicos, uma vez que mantém as propriedades da *Ethernet* comercial, como o determinismo ou a dificuldade em garantir a comunicação em tempo real com tempos inferiores ao milissegundo.

O Modbus TCP/IP usa o protocolo TCP/IP e as definições da rede Ethernet para transportar os dados da estrutura da mensagem Modbus entre dispositivos compatíveis. Ou seja, o Modbus TCP/IP combina uma rede física (Ethernet), com um protocolo pré-definido para a rede ethernet (TCP/IP) e um método pré-estabelecido de representação de dados, o Modbus (o protocolo de aplicação). Essencialmente a mensagem do Modbus TCP/IP é simplesmente uma comunicação Modbus encapsulada numa rede Ethernet com protocolo TCP/IP.

Uma vez que o MODBUS TCP é um protocolo aberto pode ser desenvolvido ou utilizado por qualquer pessoa sem restrições de licenciamento. Dadas as suas características pode ser utilizado por fabricantes independentes para aplicação nos seus equipamentos permitindo a ligação dos mesmos a uma rede *Ethernet* comercial para a transmissão de mensagens com a estrutura do protocolo MODBUS original.

II.2.3 – Sistema Global para comunicações Móveis (GSM)

A tecnologia GSM recorre a um módulo adicional para estabelecer comunicações e destina-se essencialmente a ambientes industriais exigentes e deslocados. Este módulo é um processador de comunicações para a transmissão de dados através de GPRS (*General Packet Radio Service*) e apresenta as seguintes características:

- Pequeno e compacto;
- Suporta cartões de diversos operadores;
- Proporciona a troca de dados sem fio entre dispositivos e centros de controlo com ligação à Internet;
- Envia e recebe mensagens de texto (SMS);
- GPRS opera com endereços IP fixos, bem como endereços IP dinâmicos;
- Sincronização de tempo real com base em NTP (*Network Time Protocol*);
- Funcionalidade *wake-up* por chamada ou SMS para ativar o módulo de comunicação se estiver em “modo-de-espera”.



Figura 5 - Modem GSM/UMTS - SR2MOD03 da Schneider Electric

II.2.4 – Tecnologia Wireless

Atualmente o desenvolvimento das redes de automação expandiu-se também para soluções com tecnologia *wireless* e para a sua possível aplicação em ambientes industriais com as exigências de uma rede de automação tal como aconteceu com as redes *Ethernet* industrial. As redes *wireless* são uma evolução natural destas e também utilizam normas, tecnologias e equipamentos existentes.

A tecnologia de comunicação *wireless* aplicada a redes de automação infere algumas vantagens como a diminuição de custos com as cablagens, a utilização em equipamentos móveis, a ausência de cablagens em ambientes agressivos, facilidade na reconfiguração da rede, entre outras. Devemos ter em conta também as desvantagens como comunicações apenas em *half-duplex*, a necessidade de mais informação de *headers* para uma mesma mensagem, a suscetibilidade a interferências, a dificuldade de comunicação em tempo real e determinismo.

Em termos de segurança de dados as redes *wireless* também constituem uma dificuldade adicional. Ao difundir a informação por um meio acessível e não contido, o ar, devem ser aplicadas algumas medidas adicionais de segurança para garantir a confidencialidade dos dados. Exemplo dessas medidas é a utilização de chaves de encriptação, que aumenta o tempo de processamento e a dificuldade em conseguir comunicações simples e velozes para garantir mensagens em tempo real. Isto é especialmente importantes em sinais de controlo em cadeia fechada e a restrição da potência dos sinais de transmissão ao apenas estritamente necessário para limitar o acesso aos dados apenas a equipamentos próximos.

Outra dificuldade na tecnologia *wireless* é a garantia da integridade dos dados pois a informação ao ser difundida pelo ar está sujeita a muitas interferências assim como as próprias antenas dos recetores estão sujeitas a perturbações por acoplamento indutivo e capacitivo, em especial num ambiente industrial em que existem muitos equipamentos com comutações a alta frequência (Ex: variadores de velocidade) e campos magnéticos elevados (Ex: soldadura).

A banda de frequências normalmente utilizadas para comunicações *wireless* de curto alcance é a 2.4GHz ISM (*Industrial Scientific and Medical*) que por ser uma banda de frequência de utilização livre tem cada vez mais equipamentos a serem utilizadas na mesma. Num ambiente industrial é necessário ter em consideração o número de equipamentos emissores nesta banda de modo a que os mesmos não criem zonas de interferência ao emitirem na mesma frequência.

Uma das tecnologias *wireless* a serem desenvolvidas é o *Bluetooth* para aplicações industriais, nomeadamente ao nível de sensores, esta tecnologia utiliza sinais a curta distância, de pequena potência, com modo de acesso *master-slave*.

A par da tecnologia *Bluetooth* está a ser desenvolvida a *ZigBee* também para comunicações a curto alcance, mas que não necessitem de transmissões frequentes. É uma tecnologia destinada ao nível de sensores e atuadores com um protocolo simples e eficiente, com a mesma filosofia da rede CAN para redes de campo.

Existem atualmente três protocolos *wireless* para utilização em redes de campo de baixo nível, WirelessHART, ISA 100.11a e WIA-PA (Wireless Networks for Industrial Automation – Process Automation). [7]

II.3 - Princípios e Design da Indústria 4.0

Penso que a maioria das pessoas, incluindo eu, não sabe bem ao certo qual o impacto e os limites deste conceito e de que modo a aplicação de cada vez mais tecnologias. A “flexibilidade” a novos cenários ou novos produtos vai de facto revolucionar a indústria, a economia e a vida das pessoas. Já estamos a viver esta revolução industrial, mas provavelmente só daqui a alguns anos é que iremos de facto compreender o que se está a passar nesta fase e as suas consequências para o bem e para o mal.

O termo ‘Indústria 4.0’ descreve um panorama das fábricas do futuro, em que máquina e matéria-prima estão conectadas através da *Internet of Things*. O conceito contempla a criação de uma indústria digital “inteligente” que através das redes de informação providencie uma ligação direta entre o consumidor e o produto final, transitando a indústria dos atuais sistemas embebidos para os sistemas ciber-físicos. Com este tipo de sistema serão as próprias fábricas a interagir com o consumidor, com as equipas de manutenção e com a gestão da empresa, com o objectivo de tornar os serviços mais rápidos, eficientes e com decisões mais coerentes.

Existem essencialmente seis princípios para o desenvolvimento e integração da Indústria 4.0, a partir de tecnologias existentes que quando cooperantes serão imprescindíveis para definir os sistemas de produção inteligente:

- Capacidade de operação em tempo real, a aquisição e tratamento de dados de forma praticamente instantânea, permitindo a tomada de decisões em tempo real e manutenções preventivas/preditivas;
- Virtualização, a possibilidade de criar uma cópia virtual da cadeia de produção, através de variados sensores permite rastrear e supervisionar remotamente todos os processos;
- Descentralização, a tomada de decisões pelo próprio sistema, de acordo com as necessidades da produção em tempo real, em que as máquinas não só receberão instruções como fornecerão detalhes do seu ciclo de trabalho, promovendo a eficiência de toda a cadeia;

- Modularidade, o acoplamento e retirada de módulos de acordo com produto final pretendido, oferece uma grande flexibilidade e otimização de desperdícios e de energia;
- Orientação a serviços, a implementação de arquiteturas de software especializados;
- Interoperabilidade, dotar os equipamentos com IoT (*Internet of Things*), para promover a comunicação entre máquinas, software e recursos humanos.

Os princípios acima enumerados, aliados aos avanços tecnológicos da última década desenvolvidos nas áreas dos Sistemas de Informações e Engenharia, como: as melhorias na robótica, a prototipagem rápida, o avanço das capacidades analíticas, o uso da *cloud* e as novas formas de interações humano-máquinas, formam os pilares da Indústria 4.0.

II.3.2 – *Big Data*

Para qualquer empresa do século XXI o mundo real tem representação num imenso sistema de informação em que os dados de clientes, fornecedores e meios de produção se tornaram matéria-prima de natureza própria que requer armazenagem em sistemas seguros, tratamento e análise para que possam ser transformados em informação relevante, proporcionando um instrumento comercial diferenciador. O resultado da análise dos dados deverá disponibilizar informação sobre taxas de utilização de produtos e serviços inteligentes e permitirá que o fabricante conheça melhor cada cliente, as suas preocupações e até os preços a praticar para conseguir a sua fidelização.[8]

Embora o termo *Big Data* seja relativamente recente, o ato de recolher armazenar grandes quantidades de dados para posterior análise não é uma novidade, O conceito reforçou a sua notoriedade no início dos anos 2000 quando um famoso analista, Doug Laney, definiu o termo como os três V's:

Volume. Organizações recolhem dados de uma grande variedade de fontes, incluindo transações comerciais, redes sociais e informações de sensores ou dados transmitidos entre máquinas. No passado, armazenar tamanha quantidade de informações teria sido um problema, mas novas tecnologias (como o *Hadoop*) têm facilitado a tarefa.

Velocidade. Os dados são transmitidos a uma velocidade sem precedentes e devem ser tratados em tempo útil. Identificação dos sistemas *RFID* (termo genérico para as tecnologias que utilizam a rádio frequência para captura de dados), sensores, *smartphones* e contadores inteligentes alavancam a necessidade de lidar com imensas quantidades de dados em tempo real, ou quase real.

Variedade. Os dados gerados apresentam todos os tipos de formatos - dados estruturados, dados numéricos em bancos de dados tradicionais, documentos de texto não estruturados, *e-mail*, vídeo, áudio, dados de cotações da bolsa ou transações financeiras.

O grande impacto não resulta da quantidade de dados conseguidos, mas das atividades que a informação obtida permite realizar, como a determinação de causas de falhas e problemas, a geração de previsões de tendências, o cálculo de riscos inerentes a alterações impostas, o desgaste de equipamentos, intervenções preventivas, etc.

II.3.3 – Ciber-segurança

Um dos maiores desafios para o sucesso da quarta revolução industrial será a segurança e robustez dos sistemas de informação, que deve permitir implementar sistemas de detecção de falhas de transmissão nas comunicações e impossibilitar o acesso de agentes indesejados, que possam comprometer a produção em agenda e a propriedade intelectual.

Esta nova vulnerabilidade representa um alto risco para pessoas e organizações, razão pela qual a grande quantidade de dados gerados anualmente representa informação de elevado valor e a sua proteção um fator crítico para o sucesso. Será, portanto, uma prioridade garantir comunicações e interações seguras em cada ponto da cadeia de produção, entre diferentes instalações, verificar a compatibilidade dos equipamentos e a integridade da informação, promover a autenticação dos agentes envolvidos e discriminar a informação a que têm acesso.

As tecnologias sem fios permitem que dois ou mais dispositivos comuniquem sem conexões físicas, e podem ser categorizadas em três grupos com base na sua cobertura. As WLAN permitem maior flexibilidade e portabilidade, que as tradicionais redes locais cabladas, e conecta diversos equipamentos através de AP (*Access Point*) que têm geralmente um raio de cobertura até 100 metros. Os riscos das redes sem fio são iguais à sobreposição dos riscos de operar uma rede com meio de transporte físico mais os riscos introduzidos pelos pontos fracos dos protocolos *wireless*. Para mitigar estes riscos as companhias devem adotar medidas e práticas de segurança que consigam gerir, começando pela avaliação para identificar as ameaças específicas e vulnerabilidades do meio envolvente.

Uma rede VPN é basicamente uma rede corporativa que é construída a partir das infraestruturas da Internet, e como tal, é um meio público de tráfego que está propenso a intercepção ou modificação de mensagens, onde as questões de segurança desempenham um papel importante. No entanto é uma proposta altamente rentável uma vez que os canais de comunicação dedicados, são necessários apenas para conectar a rede corporativa a um ISP (*Internet Service Provider*). Qualquer empresa que planeie implementar um sistema VPN deve avaliar cuidadosamente várias questões, com um modelo de 5 níveis: segurança, escalabilidade, gestão, simplicidade e qualidade de serviço.[9]

II.3.4 – Impactos da Indústria 4.0

Certamente as mudanças afetarão o mercado global, criando novos modelos de negócio, mostrando cada vez maior exigência na qualidade e singularidade de acordo com as preferências do cliente, adaptando as diferentes fases de produção.

De forma instantânea e natural, as vantagens de uma indústria tão disponível e modular são:

- Redução de Custos;
- Redução dos consumos de energia;
- Aumento de Segurança;
- Conservação Ambiental;
- Redução de Erros;
- Redução do desperdício;
- Aumento da Qualidade de Vida.

A personalização prévia do produto por parte dos consumidores representa mais um *input* no processo de fabrico, que gera mais necessidades em termos de gestão e logística, mas as fábricas inteligentes serão capazes de levar a customização a cada cliente de acordo com as suas preferências. Outro ponto de viragem será a investigação e desenvolvimento nos campos de segurança nas Tecnologias da Informação, fiabilidade na produção e interações máquina-máquina. Também os profissionais envolvidos precisam de adquirir novas competências, uma vez que, cada vez mais, os processos repetitivos serão substituídos por processos automatizados com novas exigências e que podem integrar praticamente todas as instalações presentes em fábrica, desde sistemas de AVAC, de iluminação e até escalas dos trabalhadores.

II.4 – Controlo Remoto

II.4.1 – Motivações e Benefícios

Provavelmente desde que os primeiros fabricantes de máquinas industriais se aventuraram em mercados, internacionais e globais, desejam observar como os seus equipamentos se comportam à distância. Sejam fabricantes originais das máquinas industriais ou utilizadores finais com múltiplos centros de produção, a visibilidade dos seus comportamentos enquanto operam revelam uma enorme maior-valia para o negócio, assim como um excelente indicador da satisfação dos clientes. Tipicamente, o controlo remoto de máquinas industriais, permite:

- Solucionar problemas e programar Controladores Lógicos programáveis (PLC's) remotamente;
- Visualizar e controlar os Interfaces humano-máquina (HMI's) à distância;
- Auxiliar a assistência técnica com uma webcam;
- Apoiar técnicos no comissionamento de novos equipamentos.

A possibilidade de aceder remotamente ao sistema de comando de uma máquina pode ajudar a resolução de problemas e resolver cerca de 60 a 70 por cento das ocorrências, sem que seja despendida a deslocação de um técnico. Os tipos de ocorrências, que podem afetar toda a cadeia de produção, muitas vezes não requerem a reparação da máquina, mas sim a sua reconfiguração. O controlo remoto permite transitar de um modelo de suporte reativo para um modelo de serviço proactivo com benefícios que incluem:

- Melhorar a capacidade e velocidade de resposta;
- Reduzir o impacto das emergências;
- Reduzir os custos com deslocações;
- Otimizar a carga de trabalho dos engenheiros e técnicos;
- Maximizar o tempo de atividade e produtividade da máquina.

A rápida resolução de problemas também significa menos tempo de inatividade e um pronto retorno à produção total para o cliente do fabricante de máquinas. Sempre que seja necessária assistência do fabricante, a visualização remota pode ajudar a garantir que uma pessoa com os conhecimentos, os componentes e as ferramentas corretas participe na intervenção, aumentando as hipóteses de uma “primeira visita bem-sucedida”. Tudo isto leva a uma melhor experiência e maior satisfação do cliente.

II.4.2 – Enquadramento histórico

Em 1950 a Zenith Radio Corporation apresentou o primeiro comando remoto, que revolucionaria o mercado dos televisores e faria com que os seus competidores se apressassem a incluir nas suas gamas o conforto de mudar de estação televisiva premindo um botão à distância, apesar de na época não existirem muitos canais disponíveis. A tecnologia difundiu-se a diversos equipamentos como o aeromodelismo, ar condicionado, videojogos, portões elétricos, etc. Foi em 1956, que o engenheiro Eugene Polley, na mesma empresa conseguiu o primeiro sistema sem fios em que uma televisão dotada de um microfone recebia informação através de ultrassons, sendo substituído por comunicações via infravermelhos em 1970, em que um díodo emissor de luz infravermelha permita que o dispositivo distinga diferentes pulsos de luz para cada instrução transmitida.

No que respeita o acesso remoto a máquinas industriais, os primeiros métodos consistiam tipicamente em assistência fora de banda com recurso a uma consola terminal ligado via telefone e um modem. Estes sistemas eram lentos, difíceis de instalar e dispendiosos de operar e manter. Ainda assim a utilização de *modems* continua a ser popular nos dias que correm, auxiliado pela disponibilidade de redes móveis de alta velocidade. O principal recurso desse método de acesso remoto é a capacidade de aceder a dados do controlador e ignorar a rede corporativa dos clientes. Muitos fabricantes de autómatos integraram *modems* sem fios que se comunicam através das redes de dados dos provedores de rede móvel. Essa abordagem evita a necessidade de uma linha telefónica com fio ou a necessidade de aceder á rede informática do cliente.

Além disso, trabalhar com um provedor de rede móvel apresenta suas próprias complexidades. Cartões do Módulo de Identidade do Assinante (SIM) com endereços IP fixos têm custos extras e demoram para adquirir e configurar. Essa abordagem envolve o acesso contínuo à rede, e as taxas de uso que podem ser incrementadas rapidamente - uma despesa que a maioria dos fabricantes de máquinas prefere evitar, especialmente se a conectividade contínua não for necessária.

Com a globalização da *Internet* e a tecnologia de computação em nuvem, o paradigma do acesso remoto mudou radicalmente e o principal desafio é agora gerir com segurança a conexão da máquina à rede informática empresarial e a forma como são transferidos dados para serviços *online*.

II.4.4 – Conexões *Outbound*

Redes privadas virtuais (VPN's) são uma excelente solução de um ponto de vista técnico, mas permitir o acesso adequado à rede enquanto garantimos a segurança pode ser uma tarefa complexa. Geralmente os fornecedores de equipamentos de automação usam um conjunto diferente de portas de rede e negociam um caminho definido para comunicar através das *firewalls* de um cliente. Este processo exige a configuração e negociação, com uma certa reticência por parte dos departamentos de T.I. mas, assegurando uma conexão de saída em toda a LAN da fábrica, pode resolver muitos problemas de segurança. De facto, se nenhuma conexão de entrada for estabelecida, nenhuma porta deve ser habilitada na *firewall* do cliente, não sendo necessárias alterações por parte dos responsáveis informáticos na *firewall* para estabelecer a comunicação.

II.4.5 – Soluções VPN –Router

Esta solução consiste em estabelecer uma conexão VPN sob demanda usando um *router* industrial e uma infraestrutura de gestão baseada na *cloud*. Uma conexão VPN *Secure Sockets Layer* (SSL) normalmente apresenta problemas menores para o departamento de TI do cliente. Este método é ainda mais interessante do ponto de vista de segurança porque introduz naturalmente uma segregação de rede lógica entre a máquina e a LAN do cliente. Esta configuração garante que o engenheiro remoto não tem acesso à LAN da fábrica e apenas pode aceder aos dispositivos conectados ao *router* de acesso remoto. Os fabricantes de máquinas podem gerir todos os seus equipamentos através de uma única interface segura. Os utilizadores finais, podem ainda usar a plataforma para gerir os direitos de acesso remoto com vários OEMs.

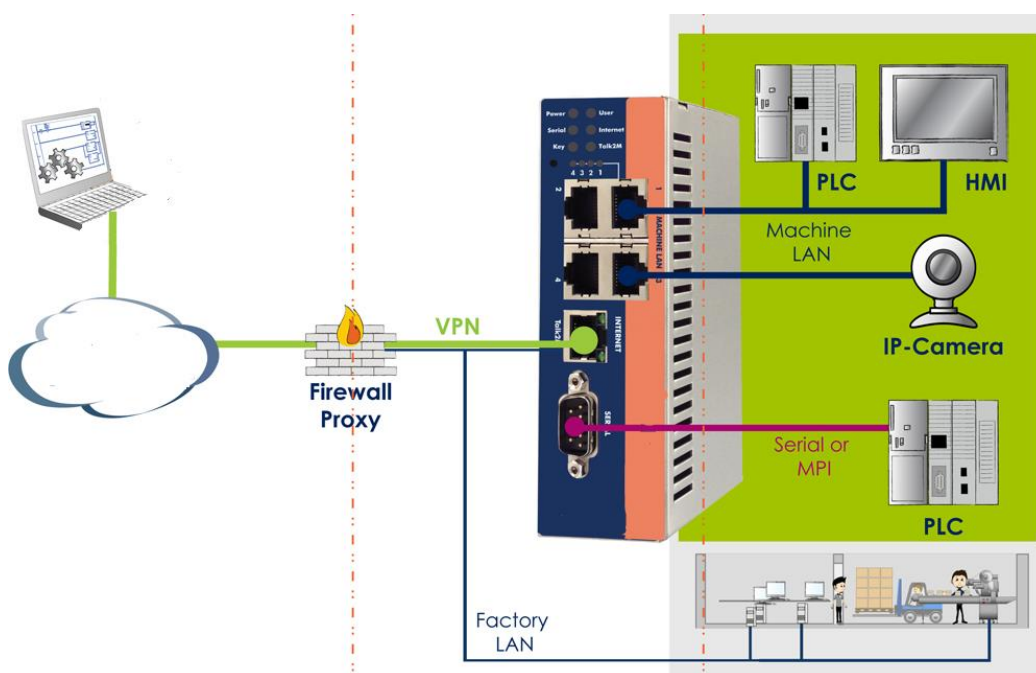


Figura 6 - Solução VPN - Router

Capítulo III – Conversores Estáticos de Potência

Resumo:

Neste capítulo introduz-se a noção de conversor de potência, com especial ênfase para o gerador de Marx. Descrevem-se ainda as características e modos de funcionamento do conversor em que a solução de acesso e controlo remoto será implementada.

III.1 – Generalidades

Conversores estáticos de potência designam circuitos de eletrônica de potência que controlam o fluxo de potência entre uma fonte de energia elétrica e um consumidor ou carga, por variação do valor de tensão elétrica e/ou forma de onda provocados por uma sequência de comutações de interruptores estáticos ou dispositivos semicondutores de potência, como transístores, MOSFET, SCR, IGBT, etc.

Alguns exemplos destes conversores são os retificadores, *choppers*, circuitos inversores ou conversores de fase.

O seu princípio de funcionamento é baseado em semicondutores de potência que operam em modo de comutação, em que a razão de trabalho (*dutycycle*) é o rácio entre os tempos de condução e os tempos de bloqueio dos interruptores para uma dada frequência, assumindo um funcionamento cíclico. Assim, o objetivo será regular a transferência de potência para um sistema através de sinais de comando dos dispositivos comutadores.

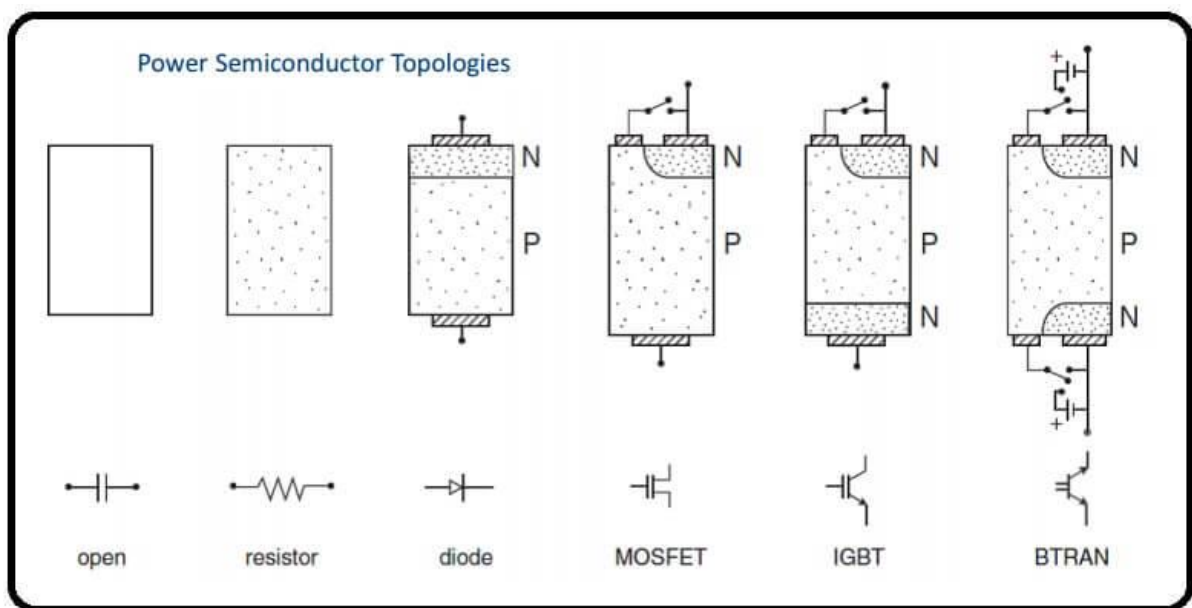


Figura 7 – Evolução dos dispositivos semicondutores de potência

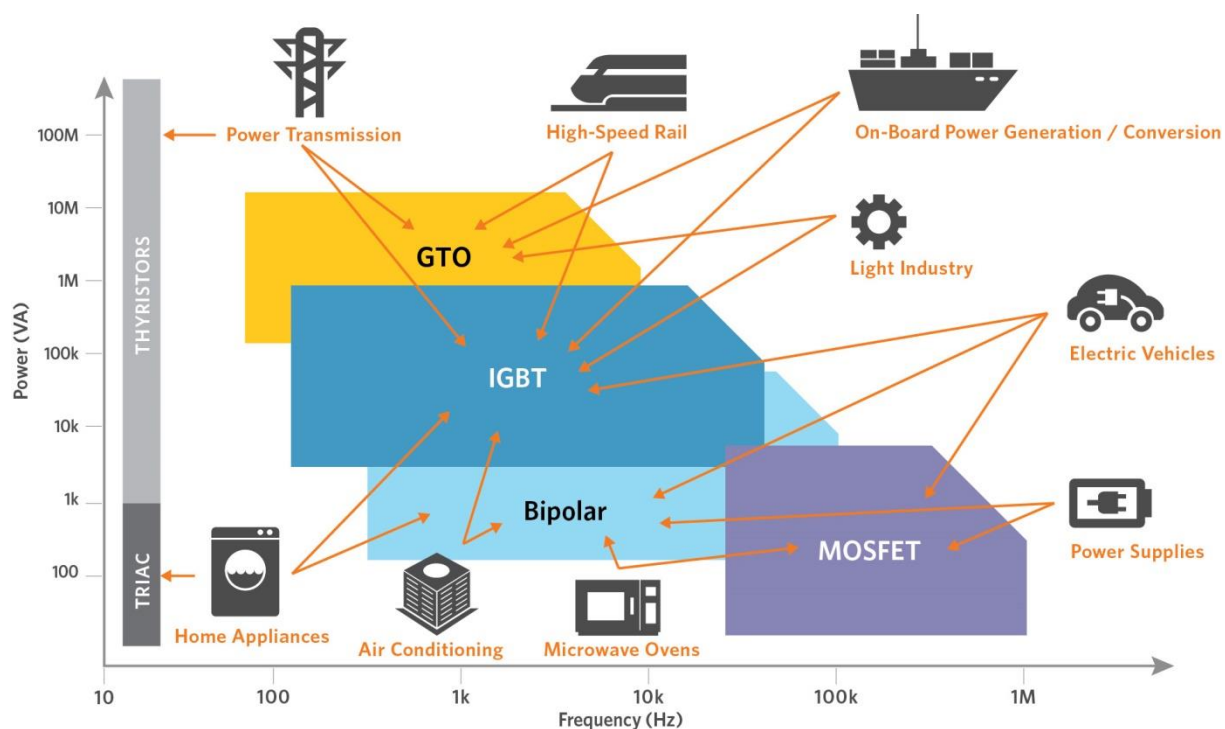


Figura 8 - Aplicações características dos dispositivos semicondutores de potência

A utilização de semicondutores de potência em detrimento dos interruptores convencionais, como relés e contadores, tem inúmeras vantagens como a ausência de partes móveis, maior possibilidade de controlo, baixo custo de manutenção e tamanho reduzido. Em contrapartida a conceção de projetos de dispositivos com semicondutores deverá ter uma cuidada avaliação da carga que irá alimentar, isto porque existem vários fatores estipulados pelo fabricante que, quando ultrapassados, reduzem a vida útil do dispositivo, como a máxima tensão inversa, a temperatura de trabalho, capacidade de dissipação e corrente de pico. Assim devem ser utilizados circuitos que amortecem os transitórios do circuito de potência, como os circuitos 'Snubbers', para evitar disparos intempestivos e danos nos dispositivos.

III.2 - Gerador de Marx

A tipologia Gerador de Marx eletrônico é um conversor modulador de impulsos de alta tensão positivos e/ou negativos, que tem como objetivo libertar uma grande quantidade de energia num curto espaço de tempo. Uma das vantagens deste gerador é a elevada eficiência na transmissão de grandes picos de potência com potência média reduzida, de curta duração e bem definidos que, aplicados em sistemas biológicos e orgânicos, podem atingir magnitude suficiente para destabilizar ou rearranjar a sua estrutura química.

O circuito gerador de impulsos de alta tensão tem uma vasta área de aplicações:

- Medicina – Tratamento e diagnóstico;
- Ambiente – Tratamento de resíduos e controlo de poluição;
- Alimentar – Eletroporação e inativação bacteriana;
- Tecnológica – Aceleradores de partículas e física de altas energias;
- Transportes e Energia – Teste de isoladores de proteção contra descargas atmosféricas;
- Indústria de materiais – Modelação magnética e síntese de nanopartículas;

A associação de resistências e condensadores para a geração de impulsos de alta tensão foi pela primeira vez descrita por Erwin Otto Marx em 1924. O funcionamento do circuito consiste em duas fases, o de carregamento das baterias em paralelo, por uma fonte contínua de baixa tensão e limitado pelas resistências do circuito, e a descarga dos condensadores em série, num impulso resultante da soma das tensões nos condensadores. [10]

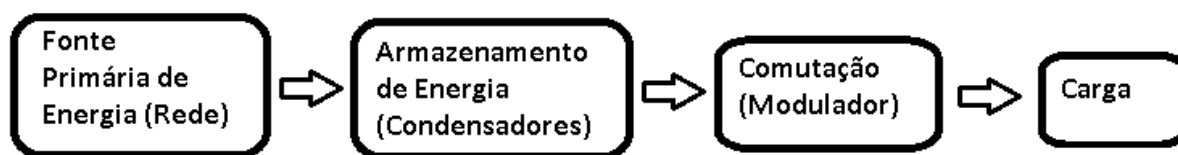


Figura 9 – Conceitos e etapas para geração de impulsos

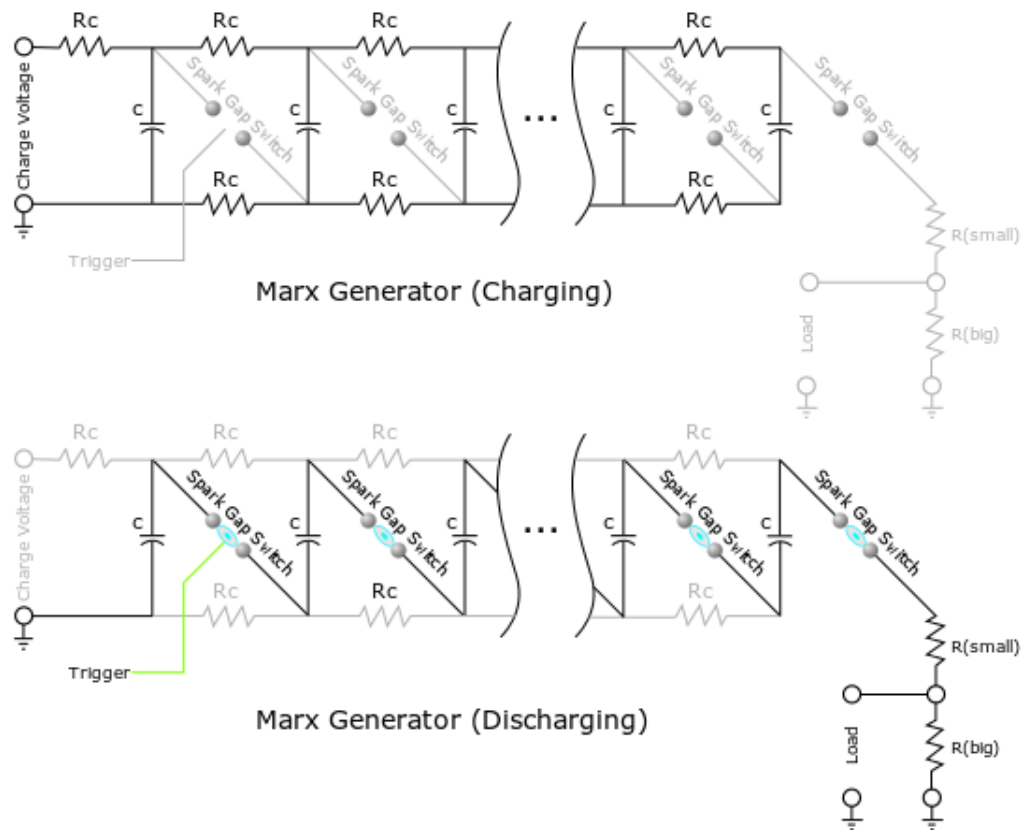


Figura 10 - Gerador de Marx – Topologia com recurso a *Spark Gap*'s

O circuito convencional apresenta as seguintes limitações:

- Tempo de carga longo, devido às resistências de carregamento;
- Baixa eficiência;
- Baixa taxa de repetição;
- Não permite definir a interrupção do impulso – *Spark Gap*;
- *Spark gap* com curto tempo de vida devido ao desgaste.

Para colmatar estas limitações e avançar no sentido da comutação totalmente controlada e uma superior taxa de repetição, os circuitos foram redesenhados com díodos e semicondutores de potência MOSFET's e IGBT's, o que invariavelmente tornou os geradores mais complexos.

O circuito apresentado na figura 11 representa a simulação, criada no *software* livre LTSpice da Linear Technology, de um gerador de impulsos positivos de alta tensão baseado na topologia do gerador de Marx electrónico de 3 estágios, constituído por semicondutores MOSFET's e díodos.

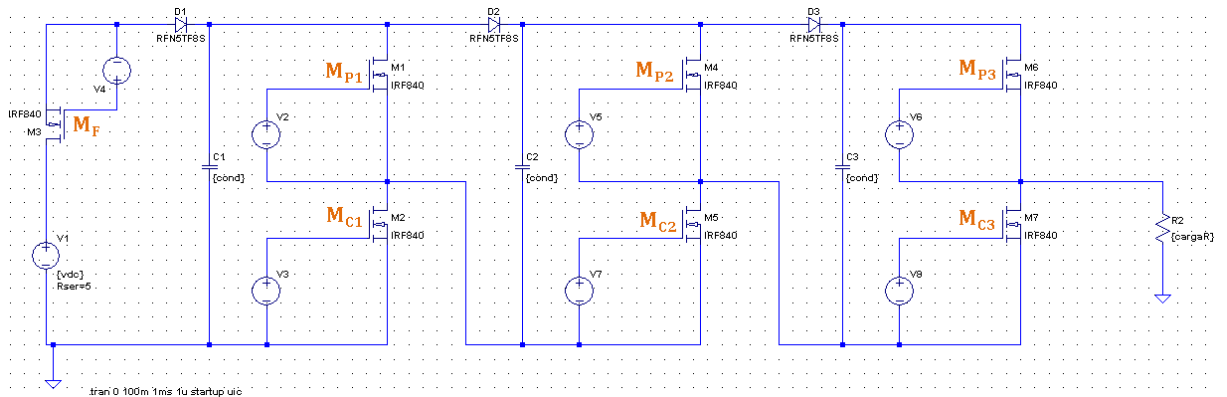


Figura 11 - Gerador de Marx positivo – 3 estágios

O princípio de funcionamento deste conversor baseia-se no carregamento de condensadores em paralelo a partir de uma fonte Vdc e posterior descarga em série com a carga, gerando assim um impulso positivo com amplitude aproximadamente de Vdc por cada estágio, desprezando todas as quedas de tensão nos semicondutores e eventuais perdas por efeito de Joule.

Os dispositivos D1 e MF têm a função de isolar a fonte durante o impulso, para que esta não contribua com corrente para a carga.

Modo de carregamento dos condensadores

O carregamento dos condensadores consiste sempre na iniciação do sistema para que os condensadores tenham energia suficiente para gerar o impulso. Com a introdução dos díodos no circuito, foi otimizado o tempo de carregamento dos condensadores com a diminuição das impedâncias, consequentes constantes de tempo e perdas do circuito. Os condensadores C_j são carregados pela fonte V_{dc} , para isso são postos à condução: M_F , M_{Cj} , com D1, D2 e D3 diretamente polarizados.

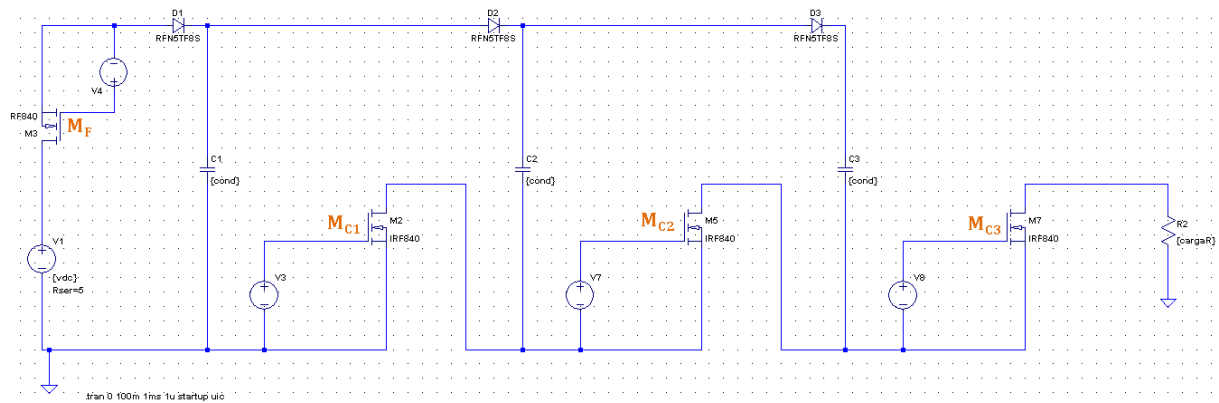


Figura 12 - Circuito de carregamento dos condensadores

Modo de geração de impulsos

Uma vez que os condensadores do circuito estão carregados, poder-se-á gerar um impulso positivo na carga R , pela descarga dos condensadores em série, com os dispositivos M_{PJ} à condução.

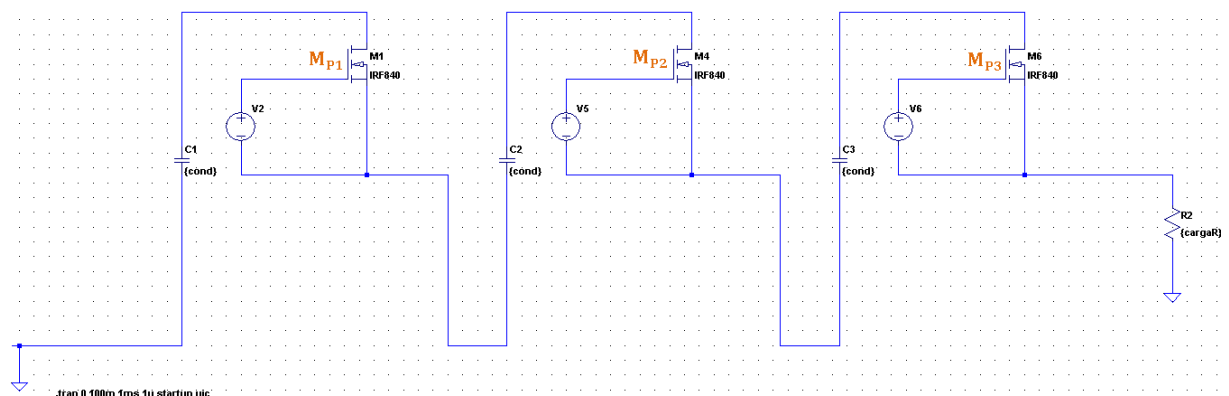


Figura 13 - Circuito gerador de impulsos

III.3 - Conversor utilizado

O conversor utilizado, EPULSUS – PM3-22.5, é um gerador de impulsos de alta tensão de elevada performance, proposto para aplicações de potência pulsada, com gestão eficiente de energia para gerar impulsos repetitivos e precisos de energia.

O equipamento industrial incorpora um gerador de Marx positivo baseado em dispositivos semicondutores, desenvolvido especialmente para aplicações de potência pulsada em cargas resistivas e capacitivas, com capacidade de entregar até 22,5 kV/ 170A, e flexibilidade de parâmetros de impulsos repetitivos com forma de onda praticamente quadrada, com um tempo de subida médio de 250 ns e proteção contra curto-circuitos. A frequência de operação máxima e o fator de ciclo são apenas limitados pela potência de saída na ordem de 10 kW.

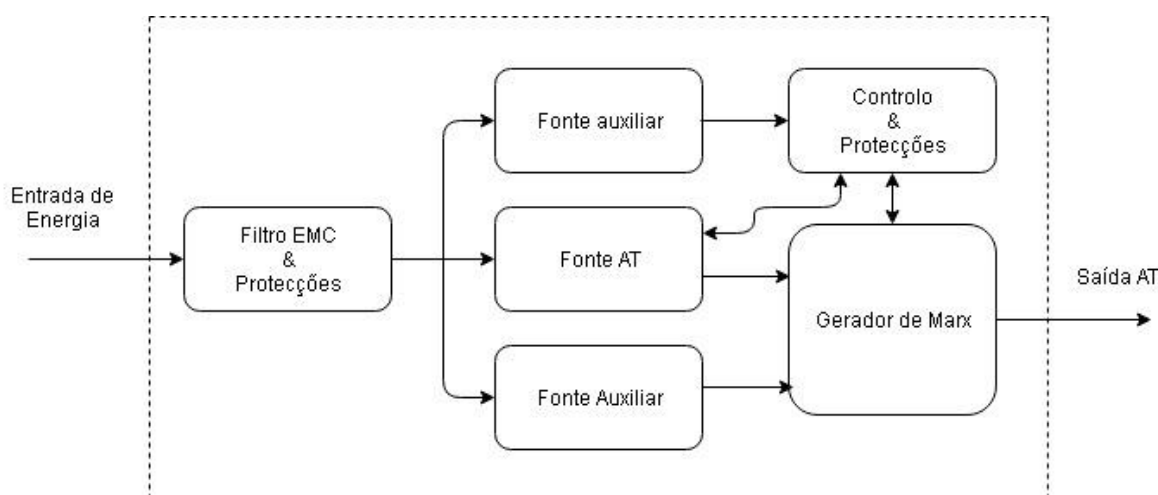


Figura 14 - Diagrama de Blocos EPULSUS PM3-22.5

O gerador inclui uma fonte de alimentação para carregamento de condensadores de 840 Vdc, de alta performance que regula a potência transmitida, e uma fonte auxiliar de 24 Vdc para cada módulo, que alimenta os circuitos eletrónicos de disparo. Possui uma fonte auxiliar extra de 24 Vdc para os circuitos de comando e proteção.

III.3.1 – Características

O equipamento encontra-se protegido por um armário metálico normalizado com ligação equipotencial e ventilação forçada. O sistema opera no interior de uma gaiola de Faraday aterrada de 8 mm de abertura máxima, que protege os componentes internos de radiação eletromagnética até 37,5 GHz e os espaços envolventes de quaisquer interferências eletromagnéticas geradas no interior. Com recurso a um sistema de múltiplas proteções articuladas e físicas, impede o operador de qualquer contacto direto ou indireto, acidental com Alta Tensão. O gerador é controlado a partir de um controlador lógico programável industrial, o que garante um alto nível de desempenho e segurança, mesmo em condições de funcionamento defeituoso. Para programação de parâmetros e diagnóstico, possui um ecrã tátil que facilita a interface humano-máquina. O gerador EPULSUS PM3 – 22.5 possui certificação CE.

Entrada	
Tensão	400 Vac/16A, trifásico com Neutro e Ground
Saídas	
Tensão máxima	22500 V (pulsada), valor rms máx. inferior a 500 V
Polaridade	Positivo
Corrente máxima	170 A (pulsada), valor rms máx. inferior a 10 A
Potência máxima	10500 W (entrada)
Frequência máxima	> 1 Hz, limitado pela potência
Tempo de subida (impulso)	Média de 250ns, varia com pulso de corrente
Energia Armazenada máx.	1520 J com 840 kV nos condensadores
Largura de impulso	> 2 μ s (limitado pela queda de tensão no impulso)
Fator de ciclo	Limitado pela potência máxima
Estabilidade	0.5%
Repetibilidade (pulsos consecutivos)	0.5%
Eficiência	Superior a 90%
Protecções	Protecção contra curto-circuitos acima de 190 A
	Protecção contra sobrecorrentes superiores a 180 A
	Resistência de 1 Ω em série aumenta a estabilidade da saída e da protecção contra curto-circuitos para cargas resistivas, 100 Ω para cargas capacitivas
	Temperatura máxima
	Queda de tensão nos impulsos
	Máxima potência de saída
	Sinalização de porta aberta
Arrefecimento	Ventilação forçada com protecção EMC
Ambiente	
Temperatura de operação	-20 a +45 °C
Temperatura de Armazenamento	-40 a +85 °C
Humidade	90%, sem condensação
Grau de protecção	IP54
Acessórios	Cabo de alimentação e conector (5 condutores)

Tabela 2 – Especificações PM3 – 22.5

III.3.2 – Modos de Funcionamento

O painel principal da interface permite configurar e definir os parâmetros desejados para a aplicação dos impulsos. Esta ordem pode ser executada só e apenas se se verificar que a porta está corretamente fechada e o botão de emergência desabilitado. Em caso de falha o funcionamento é interrompido e é apresentado o painel de gestão de falhas e avisos até o sistema ser reiniciado.

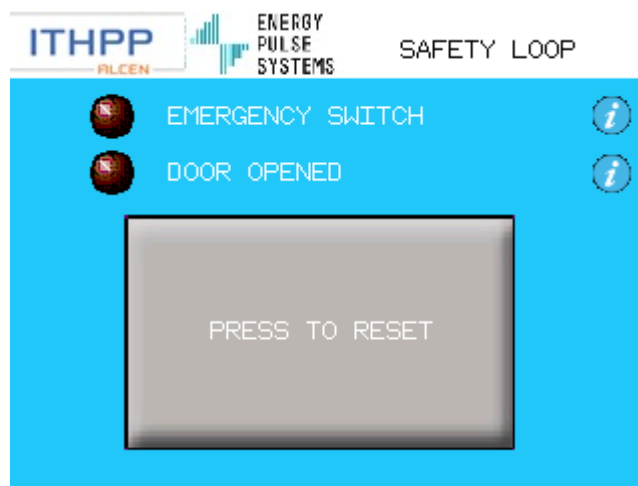


Figura 15 - Painel de Avisos

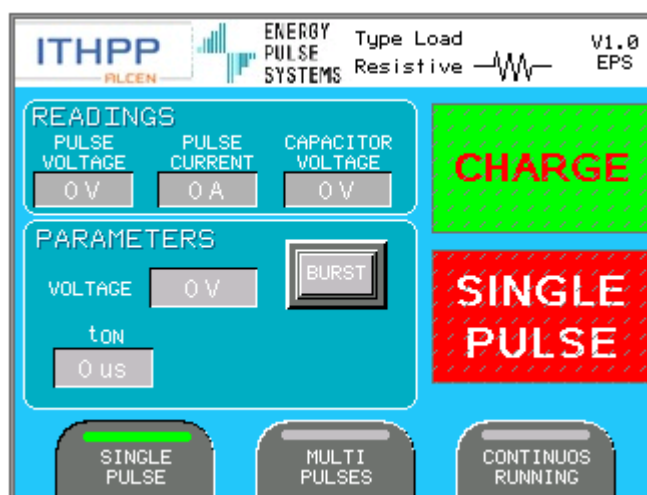


Figura 16 - Painel Inicial

O modo de funcionamento e os parâmetros de funcionamento devem ser introduzidos antes da ordem para carregar o sistema. O painel principal apresenta as seguintes opções:

- Leituras – Tensão de impulso, corrente de impulso e tensão nos condensadores;

- Charge / Discharge – Liga ou desliga a fonte de Alta Tensão e comanda o gerador de impulsos;
- Type of Load – Identifica e apresenta o tipo de carga (Resistiva ou Capacitiva);
- Status Admin - Seleção de idioma, verificação temperatura no sistema e o tempo total de operação do gerador;
- Modo de funcionamento – o modo selecionado é indicado visualmente nos botões de seleção.

III.3.2.1 – Single Pulse

O modo *single pulse* aplica um impulso unitário na carga.

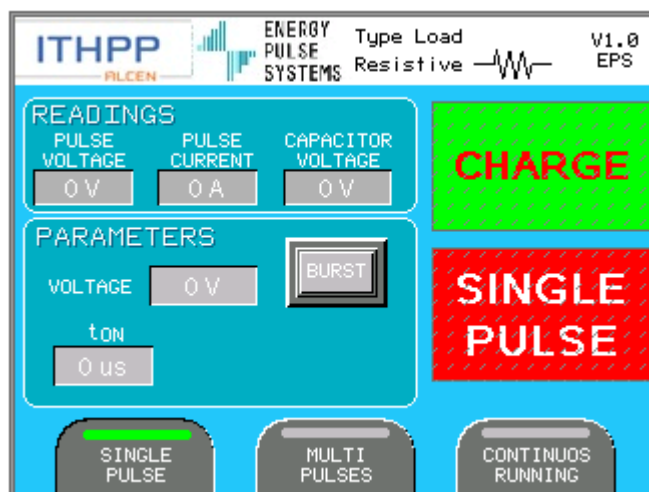


Figura 17 - Painel de configuração do modo *Single Pulse*

Neste modo o operador deve definir:

- Tensão de impulso - [3000V a 22500V];
- Largura de impulso - [2 μ s a 200 μ s].

Assim que estiverem definidos os parâmetros, o botão para carregar os condensadores do sistema fica habilitado (*Charge*). Quando a tensão nos condensadores atinge o valor estipulado, o botão *Single Pulse* fica disponível para aplicar o impulso na carga. Após o impulso o sistema carrega os condensadores novamente e cerca de 3 segundos depois pode ser aplicado um novo impulso.

III.3.2.2 – Multi Pulses

O modo *Multi Pulses* aplica na carga um número finito de impulsos.

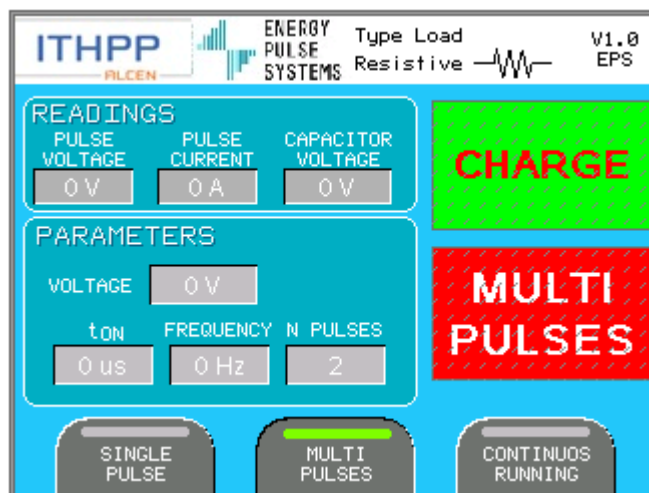


Figura 18 - Painel de configuração do modo *Multi Pulses*

Neste modo o operador deve definir:

- Tensão de impulso - [3000V a 22500V];
- Largura de impulso - [2 μ s a 200 μ s];
- Frequência - [1Hz a 200Hz];
- Número de impulsos - [2 a 200].

Da mesma forma, assim que estiverem definidos os parâmetros, o botão para carregar os condensadores do sistema fica habilitado (*CHARGE*). Quando a tensão nos condensadores atinge o valor estipulado, o botão 'Multi Pulses' fica disponível para aplicar os impulsos na carga. Entre impulsos os condensadores são carregados para garantir o mesmo nível de tensão de saída. Após o último impulso o sistema carrega os condensadores novamente e cerca de 3 segundos depois pode ser aplicada uma nova série de impulsos. O operador pode interromper a série de impulsos no botão 'STOP', que reinicia o contador na próxima série de impulsos.

III.3.2.3 – Continuous Running

O modo *Continuous Running* aplica na carga uma série de impulsos até o operador dar ordem de interrupção.

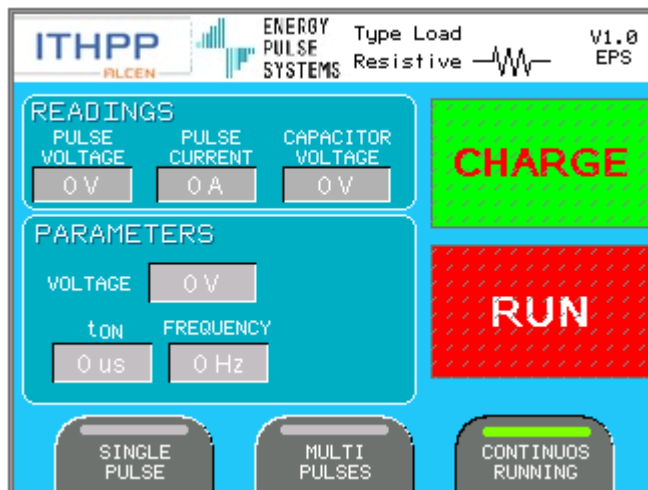


Figura 19 - Painel de configuração do modo *Continuous Running*

Neste modo o operador deve definir:

- Tensão de impulso - [3000V a 22500V];
- Largura de impulso - [2 μ s a 200 μ s];
- Frequência - [1Hz a 200Hz];

Uma vez definidos os parâmetros, o botão para carregar os condensadores do sistema fica habilitado (*CHARGE*). Quando a tensão nos condensadores atinge o valor estipulado, o botão 'RUN' fica disponível para aplicar os impulsos na carga. Entre impulsos os condensadores são carregados para garantir o mesmo nível de tensão de saída. O operador deve interromper a série de impulsos no botão 'STOP'.

III.3.3 – Gestão de Variáveis e Eventos

O sistema atualiza em tempo real nos painéis de interface as grandezas envolvidas no processo, paralelamente administra vários diagnósticos de *hardware* e corrige falhas. Os parâmetros são digitados no painel numérico referente ao campo seleccionado.



Figura 20 - Painel Numérico

III.3.3.1 – Leituras

No menu principal é apresentado o campo *Readings*, onde é indicado o estado atual das variáveis tensão de impulso, corrente de impulso e a tensão na primeira bateria de condensadores. O operador deve premir no símbolo EPS, no canto superior direito, para aceder a informações adicionais que são apresentadas no painel *Status Admin*. Este painel apresenta os valores atuais de temperatura dentro do equipamento e a temperatura do primeiro estágio.



Figura 21 - Painel *Status Admin*

III.3.3.2 – Alarmes

Em caso de problemas de *hardware* o equipamento interrompe o funcionamento e a interface gráfica apresenta o painel de alarmes, onde é identificada a causalidade por um indicador luminoso.

O ícone de informação associado a cada ocorrência, indica detalhes sobre o problema e possíveis soluções. Quando todos os alarmes são resolvidos é disponibilizado um botão para voltar ao painel principal.

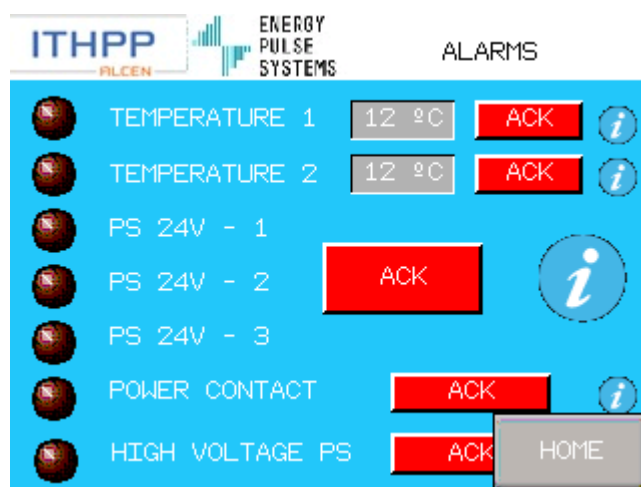


Figura 22 - Painel de Alarmes - Falhas de *hardware* resolvidas

Tipo de Alarme	Descrição e Solução
Temperatura 1	A temperatura do 1º estágio é superior a 60°C. Para reduzir a temperatura altere os parâmetros de forma a diminuir a potência.
Temperatura 2	A temperatura no interior do equipamento é superior a 60°C. Para reduzir a temperatura altere os parâmetros de forma a diminuir a potência.
PS 24V (1 a 3)	Uma das fontes de alimentação dos módulos do gerador não está operacional. Verifique o estado dos disjuntores do circuito, que se encontram na porta (interior), Q2 a Q4 correspondem a PS24V-1 a PS24V-3.
Power contact	O contactor de potência não estabeleceu ligação após pedido. Reinicie o sistema e verifique se o problema persiste. Se persistir substitua os contadores.
High Voltage PS	Ocorreu um erro numa das fontes de Alta Tensão, responsáveis pelo carregamento das baterias de condensadores. Reinicie o sistema, caso o problema persista poderá precisar de substituir uma das fontes ou módulo.

Tabela 3 - Descrição dos Alarmes

III.3.3.3 – Falhas

No painel de falhas o operador pode visualizar as falhas que ocorrem durante o funcionamento do gerador. São identificados quatro tipos de falhas: falha nos módulos do gerador, curto-circuito, falha na alimentação e queda de tensão de impulso excessivo.

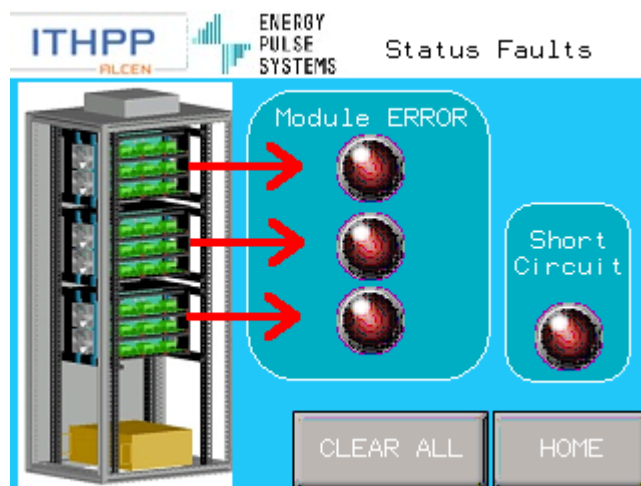


Figura 23 - Painel de Falhas

Sempre que ocorre uma falha, o funcionamento é interrompido e as baterias de condensadores descarregam automaticamente.

1. A falha nos módulos do gerador é indicada por sinais luminosos referentes ao módulo em falha. Estas falhas têm origem em sobreintensidades, quando o gerador funciona com parâmetros acima das especificações, e quando um dos estágios do módulo tem problemas internos.
2. Quando é detetado um curto-circuito o funcionamento é interrompido para proteger o equipamento e a carga.
3. A falha na alimentação ocorre quando a energia armazenada nos condensadores diminui para 90% ou menos, os parâmetros estão acima da capacidade da máquina e os impulsos não atingem os valores de tensão esperados.
4. A queda de tensão de impulso (ΔU) não deverá exceder os 10%.

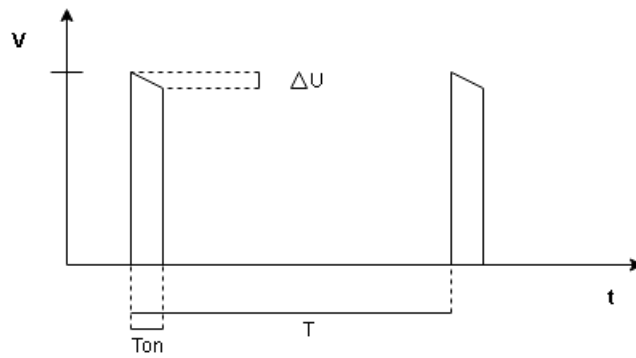


Figura 24 - Diagrama dos impulsos

Os parâmetros devem ser revistos e podem ser calculados com base no balanço de energia, considerando $\Delta U < 10\%$, ou seja, $\alpha = 0,9$:

$$\Delta U = U_{DC} \cdot (1 - \alpha) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{U_f}{U_i} = 0,9$$

A energia no gerador de Marx é expressa pela equação 2:

$$E_m = n \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot C \cdot U_i^2 \right] \quad (\text{Energia de Marx}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$n = \text{nr. de estágios do gerador}$

$C = \text{valor do condensador de cada estágio}$

$U_i = \text{valor da tensão inicial do impulso}$

Pela lei da conservação de energia temos:

$$E_{inicial} = E_{impulso} + E_{final} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\Leftrightarrow n \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_i^2 = \frac{(n \cdot U_i)^2}{R} t_{on} + n \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot (\alpha \cdot U_i)^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{n}{2} \cdot C \cdot U_i^2 = \frac{n^2 \cdot U_i^2}{R} t_{on} + \frac{n}{2} \cdot C \cdot \alpha^2 \cdot U_i^2$$

$$\Leftrightarrow n \cdot C = 2 \cdot \left[\left(n^2 \cdot \frac{t_{on}}{R} \right) + C \cdot \alpha^2 \right]$$

$$\Leftrightarrow n \cdot C (1 - 0,9^2) = 2 \cdot \left(\frac{n^2 \cdot t_{on}}{R} \right)$$

$$\Leftrightarrow n \cdot C \cdot 0,095 = \left(\frac{n^2 \cdot t_{on}}{R} \right)$$

Uma vez que o número de estágios e a capacidade das baterias de condensadores são constantes, resta manipular a largura de impulso e a resistência na carga para que a queda de tensão de impulso resultante seja inferior a 10%. Pelo desenvolvimento da equação 3 podemos atestar que se deve diminuir a largura de impulso ou aumentar a resistência na carga de forma a diminuir a corrente do impulso e, consequentemente, a queda de tensão.

Capítulo IV – Sistema Implementado

Resumo: Neste capítulo apresenta-se os componentes e o desenvolvimento do projeto. Após reunida toda a informação, foram implementadas funções no controlador, que comunica com uma interface gráfica para operar e configurar o funcionamento.

IV.1 – Equipamentos e Ferramentas Associadas

Para um melhor enquadramento e compreensão do trabalho desenvolvido será efetuada uma breve revisão dos equipamentos e ferramentas que integram o conversor deste trabalho e apresentam-se os módulos adicionais para o acesso remoto através da internet.

IV.1.1 – PLC Modicon 241

O controlador implementado no conversor de potência é o Modicon 241 (TM241CE24T) da Schneider Electric, e terá sido escolhido tendo em conta a necessidade de um tempo de ciclo baixo, que tenha diversas portas de comunicação incorporadas e a possibilidade de inclusão de módulos de segurança para controlo de acesso à máquina durante o funcionamento. O controlador M241 permite uma grande versatilidade devido à sua modularidade.



Figura 25 - Controlador Modicon 241 [11]

O controlador é alimentado por uma fonte de 24 Vdc, e permite criar a funcionalidade *Real Time Clock* (RTC), que se demonstrará fundamental para o projeto. O controlador pode ser operado externamente por um botão físico *Run/Stop*, uma entrada digital *Run/Stop* definida e configurada no *software* ou por instrução no *software* de desenvolvimento.

O controlador tem dois tipos de memória:

- Memória RAM para a execução do projeto – 64 *Mbytes*, dos quais 8 *Mbytes* estão disponíveis para o projeto;
- Memória Flash para guardar o projeto e dados associados em caso de interrupção de energia – 128 *Mbytes*.

Inclui ainda uma entrada para cartões SD, que é usada para iniciar o controlador com um novo projeto, fazer atualizações de *firmware*, aplicar ficheiros de configuração ou arquivar ficheiros de registo de variáveis.

O modelo incorpora duas portas de comunicação série, uma porta mini-USB e uma porta Ethernet. Para transferir, correr ou monitorizar projetos utilizam-se as portas mini-USB ou Ethernet, para conectar um computador com o *software* de desenvolvimento SoMachine instalado. As portas série permitem comunicar por protocolo Modbus ou protocolo proprietário da *Schneider Electric*. A interface de rede Ethernet possibilita a utilização de diversos serviços:

- Modbus TCP Server;
- Modbus TCP Client;
- Web Server, FTP Server;
- SNMP (*Simple Network Management Protocol*);
- EthernetIP Device;
- Modbus TCP Slave Device;
- IEC VAR ACCESS.

Em que podem ser utilizados os seguintes protocolos:

- IP (*Internet Protocol*);
- UDP (*User Datagram Protocol*);
- TCP (*Transmission Control Protocol*);
- ARP (*Address Resolution Protocol*);
- ICMP (*Internet Control Messaging Protocol*);
- IGMP (*Internet Group Management Protocol*). [11]

IV.1.3 – Magelis STU – Interface Humano Máquina

A comunicação entre operador e máquina é feita através do dispositivo HMI Magelis STU, uma solução compacta, com maior capacidade de comunicação, que possui uma tela sensível ao toque, um sistema de montagem inteligente e *software* livre de licença. O equipamento permite criar painéis, botões e amostradores indexados a variáveis do sistema com a aplicação Vijeo Designer, onde se podem configurar funcionalidades avançadas, como a visualização de páginas Web, *e-mail*, Web Gate, receitas, transferência de projeto via *pen-drive* e recorrer à extensa biblioteca de recursos gráficos e animações.



Figura 27 - Magelis STU

Alimentado a 24 Vdc, tem incorporado uma porta Ethernet, uma porta série multiprotocolo RS 484/232 em padrão RJ45 e duas portas USB (versões mini e standard) que facilitam a comunicação com diversos equipamentos sem custos adicionais.

IV.1.4 – Aplicação de desenvolvimento VijeoDesigner

O *software* Vijeo Designer é a componente do SoMachine para configuração dedicada às interfaces gráficas da família Magelis da Schneider Electric. Desenvolvido com tecnologias padrão de mercado, incluindo linguagens HTML/JAVA para navegação Web, JPEG para captura de ecrã, MPEG para vídeo, cartão Compact Flash e *pen-drive* USB para arquivos. Oferece uma interface intuitiva, com objetos de fácil configuração de forma a agilizar o processo de desenvolvimento de aplicações para interfaces gráficas. O Vijeo Designer utiliza a conectividade Ethernet TCP/IP e assim suporta ligações de acesso remoto à Web Gate e a partilha de dados entre terminais, bem como a partilha de receitas e ficheiros de registos no formato ‘.dat’, com total segurança.

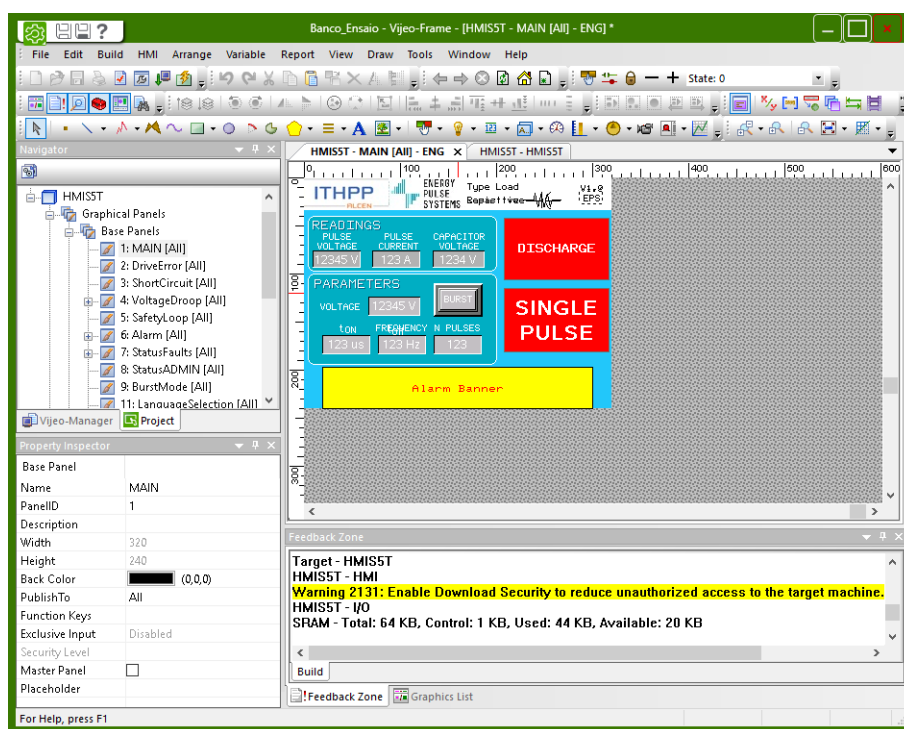


Figura 28 - Ambiente de trabalho do Vijeo Designer

IV.1.5 – Gateway eWON Cosy 141

O dispositivo eWON Cosy é um router industrial desenvolvido para melhorar o acesso remoto, através da Internet, a máquinas e instalações de clientes. Explicitamente vocacionado para fabricantes de máquinas e equipas de comissionamento, permite que estes tenham acesso ao estado das suas máquinas, a atualizações de projetos e a sua operação.

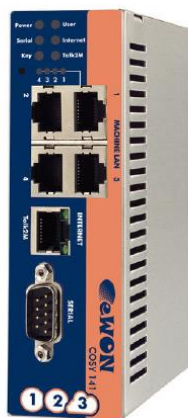


Figura 29 - Router Industrial eWON Cosy 141

O router eWON Cosy 141 estabelece uma rede virtual privada segura (VPN), entre os dispositivos a que está ligado, a qualquer ponto do globo através do serviço de conectividade baseado na *cloud* (plataforma Talk2M). O router comunica perfeitamente com controladores, interfaces gráficas e outros dispositivos, criando uma sub-rede integrada na LAN do cliente (LAN da máquina), e tem ao dispor um *switch* de quatro portas *Ethernet*, uma porta USB e uma porta série.

As principais características são:

- Conexão de qualquer dispositivo através de *Ethernet* sem necessidade de configurar o *router*;
- Conexão instantânea de banda larga;
- Fácil de configurar e vasta compatibilidade;
- Não precisa de alterar as permissões da *Firewall*;
- Solução serviço em *cloud*, a um clique de estabelecer uma conexão VPN com certificados SSL;
- Cliente tem possibilidade de desabilitar o serviço VPN com uma chave externa;
- Tempo de utilização ilimitada e sem custos.

Existem três modos, anteriormente falados, de conectar os dispositivos à Internet através da eWON Cosy e do servidor Talk2M:

- Rede Local (LAN), na maioria dos casos as máquinas serão integradas numa instalação onde existe uma rede de *Internet* ou *Intranet*, e é portanto a esta rede *Ethernet* que se estabelece a conexão, com baixo custo, alta velocidade e alta fiabilidade. Por vezes as LAN de clientes têm políticas de segurança complexas que inviabilizam a conexão ao servidor Talk2M, por isso são oferecidas duas alternativas;
- Rede *Wireless* (Wi-Fi), cada vez mais utilizadas na indústria devido à rápida configuração, baixo custo e alta velocidade. Muitas companhias disponibilizam nas suas instalações redes Wi-Fi para “*guests*”, que estão separadas da LAN da fábrica com o intuito de oferecer a cada fabricante de máquinas o acesso aos seus equipamentos sem necessitar de configurar as propriedades da *Firewall*. Ainda assim a conectividade e cobertura destas redes pode ser comprometida, particularmente em locais com ruído e interferências;
- Comunicações Móveis (2G, 3G, 4G), são uma excelente alternativa quando não existem condições para as modalidades acima descritas. É uma solução global, embora em locais remotos apresente velocidades lentas ou mesmo falta de cobertura. As tarifas de transmissão de dados podem variar muito consoante a rede e o fornecedor de serviços móveis.

IV.2 – Arquitetura Conceptual

Uma vez descritos os objetivos e o *hardware* disponível para a realização do sistema proposto, é fulcral estabelecer as consecutivas arquiteturas, tendo em vista diminuir a abstração, representar os elos e fundamentar o seu funcionamento. Na figura 30 apresenta-se a arquitectura de um elevado nível de abstração:

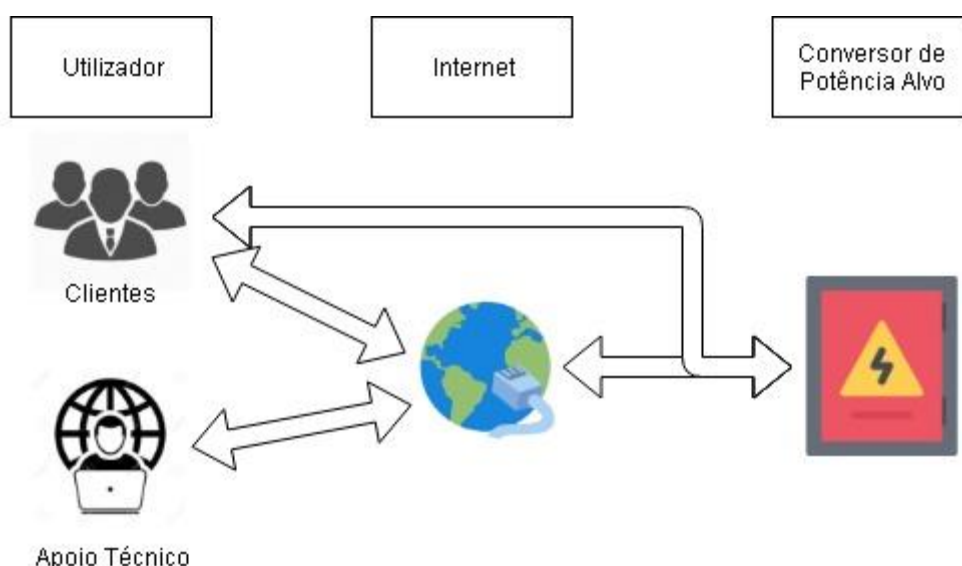


Figura 30 - Arquitetura conceptual

O pretendido é, não só possibilitar que o cliente aceda à máquina através da sua rede local para controlar e extrair dados, mas também que o possa fazer através de uma ligação à Internet, de qualquer ponto do planeta. Com esta funcionalidade o cliente vê também habilitado o apoio técnico do fabricante que proporcionará recomendações quanto à utilização da máquina, otimização do tempo de diagnóstico e, conseqüentemente, menor tempo de resolução de problemas.

Quanto ao fabricante podemos prever a enorme vantagem de remotamente verificar avarias, identificar que módulos necessitam ser substituídos e o modo como o cliente parametriza as variáveis de acordo com as características da máquina. A recolha de dados permite ainda uma melhor perceção, por parte do fabricante, dos objetivos e produtividade do seu cliente e assim oferecer equipamentos melhor preparados e adaptados às exigências dos diferentes clientes.

IV.2.1 – Arquitetura Implementada

No seguimento dos pontos anteriores, em que descrevemos algumas das características dos equipamentos que fazem parte do conversor de potência, na figura 31 estão identificados como estão conectados os dispositivos. De referir que para o objetivo proposto, apenas foram adicionadas a *gateway* eWON, para estabelecer ligações VPN seguras, e a *pen-drive* para aumentar a capacidade de registos arquivados.



Figura 31 - Arquitetura geral do conversor de potência

A figura 31 permite compreender a montagem e as ligações estabelecidas:

- As grandezas envolvidas (tensão, corrente e temperatura) são adquiridas através de leituras analógicas interpretadas pelo microcontrolador ou pelo PLC.
- O PLC transmite ao microcontrolador os parâmetros e modo de funcionamento, para que este emita os sinais de disparo do sistema;
- A interface gráfica transmite os comandos e parâmetros introduzidos pelo operador no local ou remotamente, e arquiva os ficheiros de registos das variáveis numa *pen-drive* (capacidade máxima de 4Gb);
- A interface gráfica pode ser acedida através:
 - Rede local pelo cliente, para permitir operar o conversor a partir de uma sala de controlo/gestão;
 - Gateway eWON Cosy, para estabelecer conexão VPN a partir de autenticação em qualquer computador com Internet.

IV.2.2 – Sinais Analógicos

Os sinais analógicos podem registar qualquer valor dentro de uma determinada gama de tensão ou corrente. Na presença de grandezas de natureza contínua utilizam-se transdutores para converter tensões, correntes e temperaturas em sinais analógicos proporcionais. As entradas analógicas, geralmente oito entradas, estão ligadas a um conversor Analógico-Digital existente nos controladores lógicos programáveis.

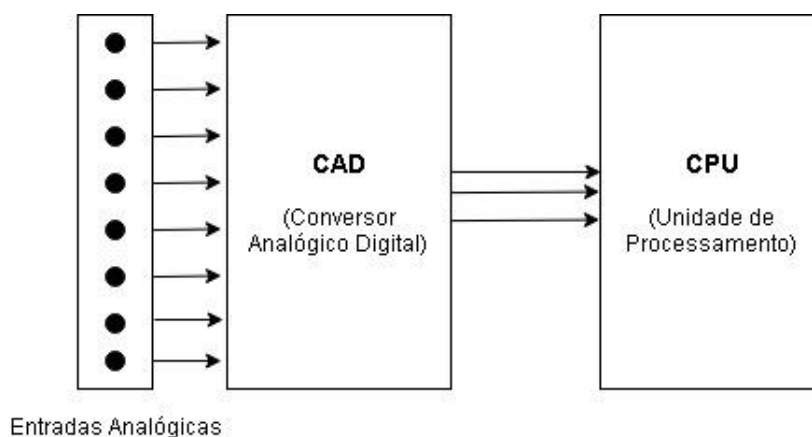


Figura 32 - Conversor AD Integrado no Controlador

Para aplicações críticas, em que é exigida uma elevada precisão para o controlo de um processo, a resolução deve ser de pelo menos 12 bits, no entanto, para aplicações mais simples pode ser usada a resolução de 8 bits. As gamas de tensões e correntes de entrada para os conversores dos controladores são normalizadas, mas variam consoante o fabricante e o modelo. Os modelos comerciais usam as faixas 0 a 10V, -5 a 15V, -10 a 10V para tensão, e 0 a 20mA e 4 a 20mA para corrente.

No caso de termos um sensor que devolve um sinal analógico na faixa -10 a 10V, e um conversor AD de 8 bits, temos $2^8 = 256$ níveis de saída. Se dividirmos a faixa de tensão admissível (20V) pelos níveis de saída (256) verificamos que a palavra digital só sofre alterações para diferenças de tensão superiores a aproximadamente 78mV.

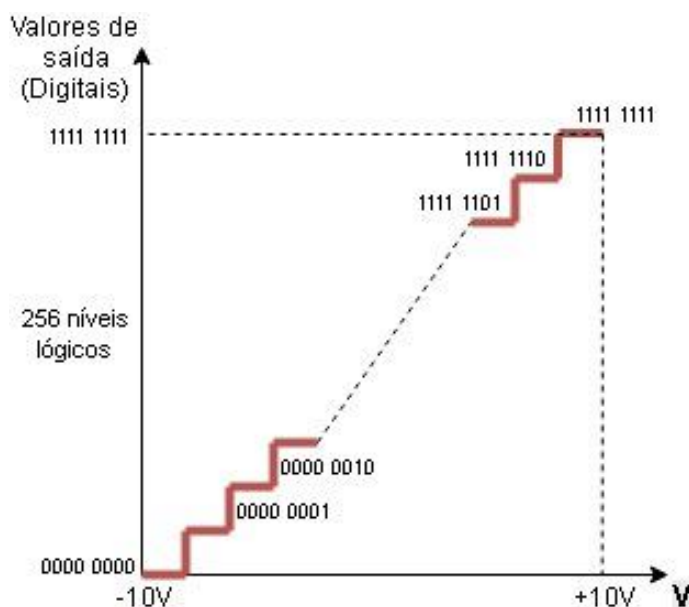


Figura 33 - Resolução de um conversor AD

Desta forma a leitura de sinais analógicos é facilmente executada. Uma vez que o controlador internamente converte as grandezas para informação binária, resta detetar as transições de estado lógico e processar a informação. Os sinais analógicos são escritos/lidos no formato 'Word', compostos por 2 bytes (16 bits) e são endereçados na memória interna do controlador da seguinte forma:

- %IW68 Palavra de entrada analógica 68
- %IW72 Palavra de entrada analógica 72
- %QW80 Palavra de saída analógica 80

IV.2.3 – Leitura de Tensão

A leitura de alta tensão, DC, AC ou tensões de impulso, envolve problemas incomuns que podem não ser familiares para especialistas de medições elétricas. As dificuldades estão essencialmente relacionadas com as grandes estruturas necessárias para controlar os campos elétricos, evitar arcos elétricos e controlar a dissipação de calor dentro dos circuitos.

A tensão de pico dos impulsos na carga é obtida através de um divisor de tensão, que é composto por uma simples configuração, uma vez que teremos impulsos de tensão com um máximo de 22,5 kV, para criar uma tensão de leitura (V_{out}) que é proporcional à tensão de impulso (V_{in}). Os divisores de tensão têm um fator de escala, que leva a uma diminuição no sinal de alta tensão para o nível de baixa tensão mensurável. Com este método, os dispositivos microcontroladores recebem amostragens velozes da parte de baixa tensão dos divisores e devem ser conectados paralelamente ao terminal de alta tensão. [10]

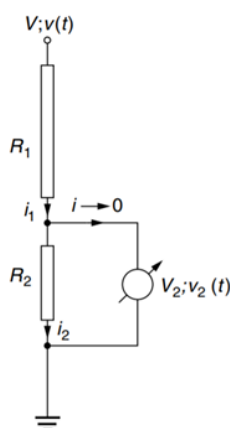


Figura 34 – Circuito Divisor de tensão

A magnitude da alta tensão é influenciada apenas pela relação R_1 / R_2 . Como ambas as resistências são atravessadas pela mesma corrente ($i_1 = i_2$), a influência da tensão e dos coeficientes de temperatura podem ser eliminados em grande parte, se ambas as resistências empregarem tecnologia de resistividade igual e se forem tomadas medidas para evitar a acumulação de calor em qualquer seção da coluna resistiva.

IV.2.4 – Leitura de Corrente

A leitura da corrente de impulso é adquirida através de um transdutor de corrente que lê o valor efetivo real através de um sensor de efeito Hall, que traduz na saída (Vout) uma tensão proporcional ao fluxo magnético sentido, que por sua vez é gerado pela corrente de impulso. O sensor da gama CSNS300m, do fabricante *Honeywell*, permite leituras até $\pm 600\text{A}$, e com uma relação de transformação de 1/2000 apresenta uma corrente nominal de saída de 150mA, com 300A no condutor a medir.[12]

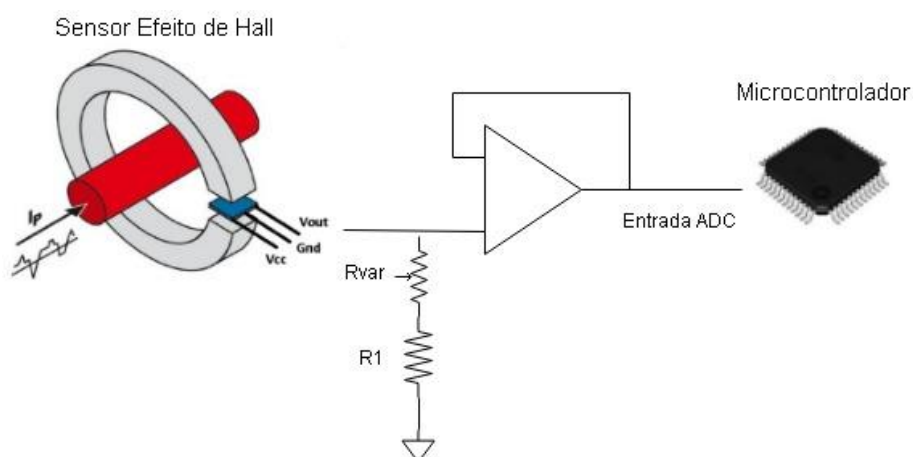


Figura 35 - Esquema e cálculo do divisor de tensão

A resistência R_{var} deve ser ajustada de forma a obter uma melhor resolução de acordo com a corrente máxima do gerador em questão, para que a tensão proporcional à corrente do gerador seja lida pela entrada do conversor analógico digital do microcontrolador.

O facto de o condutor a medir não ser interrompido, oferece vantagens como a facilidade de instalação, o facto de não adicionar resistências e/ou indutâncias ao sistema e a transferir a corrente exata pois não tem interferência direta no circuito de medição. Para leituras mais fidedignas aconselha-se a fixação do condutor o mais próximo possível do centro do sensor para que o fluxo sentido seja uniforme.

IV.2.5 – Leitura de Temperaturas

As temperaturas são obtidas por meio de termístores NTC (*Negative Temperature Coefficient*), do fabricante TDK da série B57861S. Este sensor opera com base na variação da sua resistência interna com a temperatura a que está sujeito, com coeficiente negativo de temperatura. Deste modo, a sua resistência elétrica diminui à medida que a temperatura aumenta. Estas sondas são caracterizadas pelo seu formato compacto, pela sua precisão e resposta rápida a variações de temperatura, apesar de não ser verdadeiramente linear.[13]

No conversor existem duas sondas, uma regista a temperatura dentro do equipamento, a outra regista a temperatura junto dos dispositivos semicondutores do primeiro estágio (que representa o pior caso pois são estes dispositivos que suportam maiores correntes). Estas grandezas são enviadas diretamente para as entradas analógicas do controlador.



Figura 36 – Termístor NTC, fabricante TDK

Utilizaram-se as características do sensor resistivo num circuito divisor de tensão, uma resistência de 10 k Ω em série com a sonda e alimentado a +5 Vdc, o limite permitido à entrada analógica do microcontrolador.

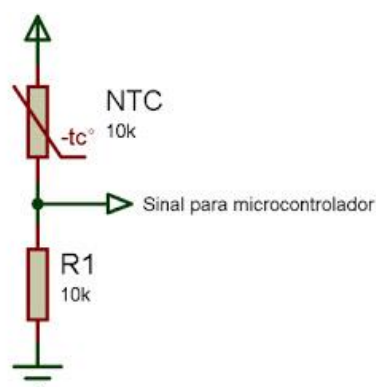


Figura 37 - Divisor de tensão NTC

No circuito da figura 37, a equação da tensão de saída com destino a entrada analógica do microcontrolador, pode ser determinada por um simples divisor de tensão:

$$I = \frac{V_{dc}}{R_1 + R_{NTC}} \quad \wedge \quad I = \frac{V_{R1}}{R_1} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_{dc}}{R_1 + R_{NTC}} = \frac{V_{R1}}{R_1} \Leftrightarrow V_{R1} = \frac{V_{dc} \times R_1}{R_1 + R_{NTC}}$$

Atendendo que a tensão do sinal de saída (V_{out}) é a mesma que atenção sobre R_1 (V_{R1}), considera-se a seguinte equação da resistência NTC:

$$V_{out} = \frac{V_{dc} \times R_1}{R_1 + R_{NTC}} \Leftrightarrow R_{NTC} = \left(\frac{V_{dc} \times R_1}{V_{out}} \right) - R_1 \quad (\text{Eq. 5})$$

Após análise do gráfico da curva característica da sonda NTC 10 k Ω , verifica-se que a resposta do sensor à variação da temperatura não é linear, ou seja, é necessário interpretar o sinal de entrada do microcontrolador através da equação de Steinhart & Hart, e partir do valor calculado para a resistência NTC. As constantes a, b e c, estão definidas no manual do fabricante, e podem ser obtidas através de medições e ensaios experimentais. Assim o microcontrolador interpreta o valor da resistência NTC e determina a temperatura correta em tempo real.

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{1}{a + b \times \ln(R_{NTC}) + c \times \ln^3(R_{NTC})} \quad (\text{Eq. 6})$$

```

1
2 //Conversão da leitura do sensor em temperatura
3
4 a = 0,0011303
5 b = 0,0002339
6 c = 0,00000008863
7 sensor *=5;
8 sensor /=1023;
9 rntc=33000/sensor; //RNTC= (Vcc*R1/Vin)-R1
10 rntc=rntc-10000; //
11 b1=log(rntc); //LN (RNTC)
12 b1=b1*b; //b*LN (RNTC)
13 c1=log(rntc); //LN (RNTC)
14 c1=pow(c1,3); //LN (RNTC) ^3
15 c1=c1*c; //c* (LN (RNTC) ^3)
16 temp=a+b1+c1; //a+b*LN (RNTC) +c* (LN (RNTC) ^3)
17 temp=1/temp; //1/ (a+b*LN (RNTC) +c* (LN (RNTC) ^3) )
18 temp=temp-273.15;

```

Figura 38 - Exemplo de programa em C – Equação de Steinhart & Hart

IV.3 – Configuração do Controlador

IV.3.1 – Configuração de Rede

Existem diferentes maneiras de atribuir um endereço IP ao controlador:

- Atribuição de endereço por servidor DHCP;
- Atribuição de endereço por servidor BOOTP, antecessor do protocolo DHCP, mas que não permite alocá-los dinamicamente;
- Endereço IP fixo;
- Arquivo de pós-configuração, que consiste numa opção que permite modificar alguns parâmetros do projeto sem alterar o projeto. Os parâmetros de pós-configuração são definidos num arquivo chamado *Machine.cfg* que é armazenado no controlador. Se existir um ficheiro de pós-configuração, este método de atribuição tem prioridade sobre os outros.

O procedimento de endereçamento deve ser cauteloso, pois se não for bem-sucedido, o controlador irá usar um endereço IP padrão derivado do endereço MAC. Ter vários dispositivos com o mesmo endereço IP pode causar operação imprevisível da rede e dos equipamentos associados.

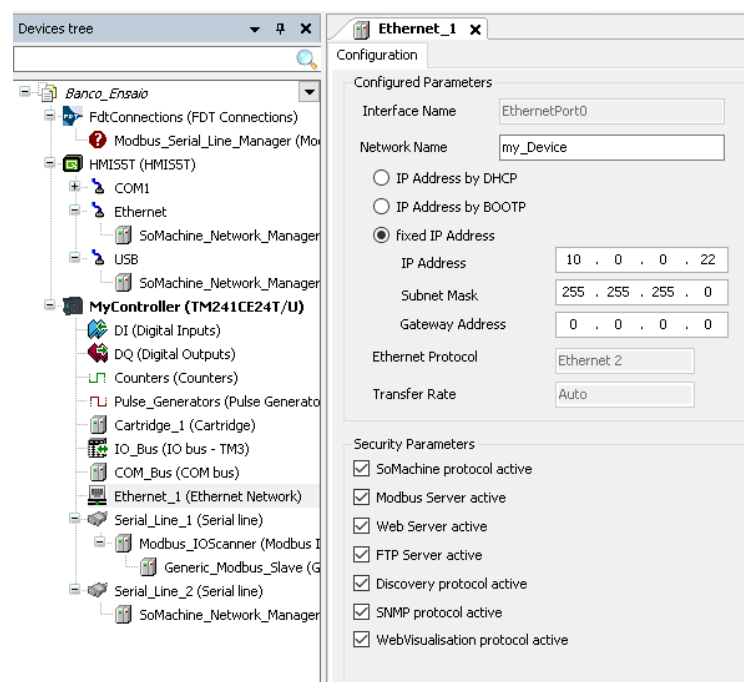


Figura 39 - Configuração Ethernet

IV.3.2 – Real Time Clock

Dada a necessidade de registrar eventos, torna-se impreterível que os dados sejam arquivados com a informação de data e hora exatas, para que seja possível analisar os dados posteriormente. Para o efeito foi integrado um *Real Time Clock* (RTC) no controlador, com recurso à *library* SysTimeRtc. Optou-se pela resolução *standard*, que opera ao nível do segundo, uma vez que no presente trabalho não existe necessidade de obter alta resolução, na ordem dos milissegundos.[14]

1º Passo: incluir a *library* SysTimeRtc: Tools Tree > Library Manager > Add Library > SysTimeRtc.

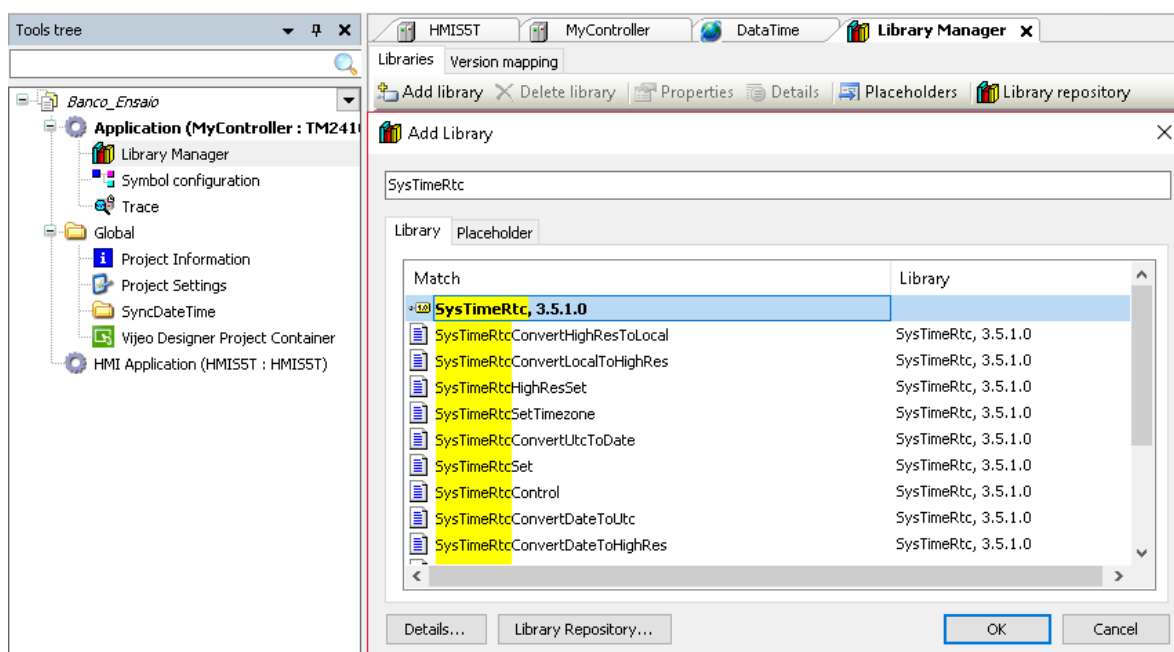


Figura 40 - Adicionar a *library* SysTimeRtc

2º Passo: declarar as variáveis globais que compõem esta função, num novo separador, em Application Tree > Global > DateTime.

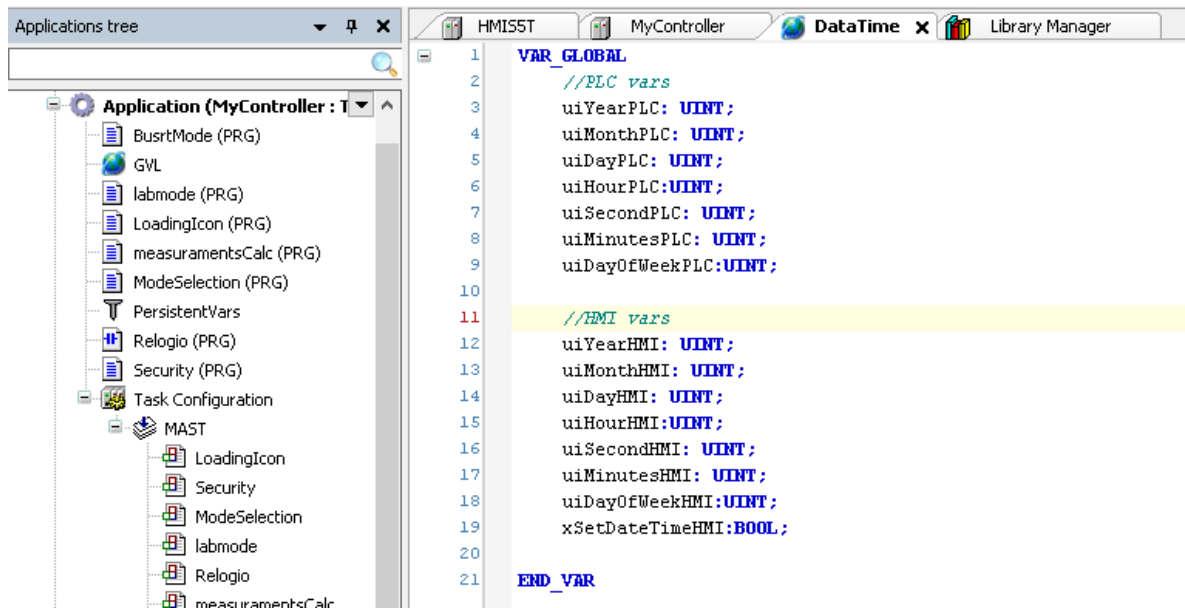


Figura 41 - Declaração de Variáveis RTC

3º Passo: criar o programa em *ladder* “Relógio” que relaciona as variáveis e realiza a contagem:

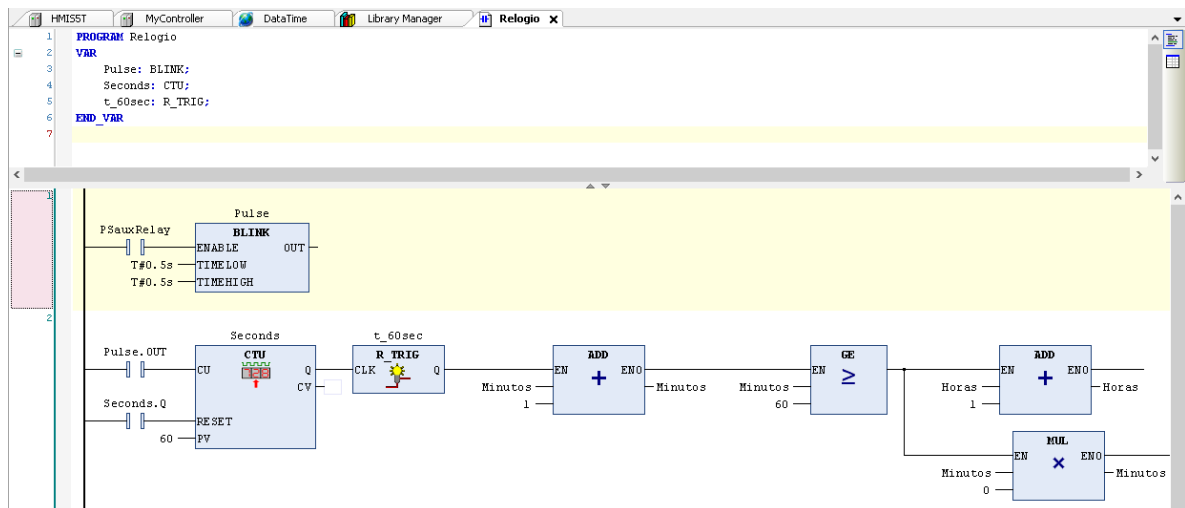


Figura 42 - Programa “Relógio” (ladder)

4º Passo: criar o programa de blocos SyncDateTime:

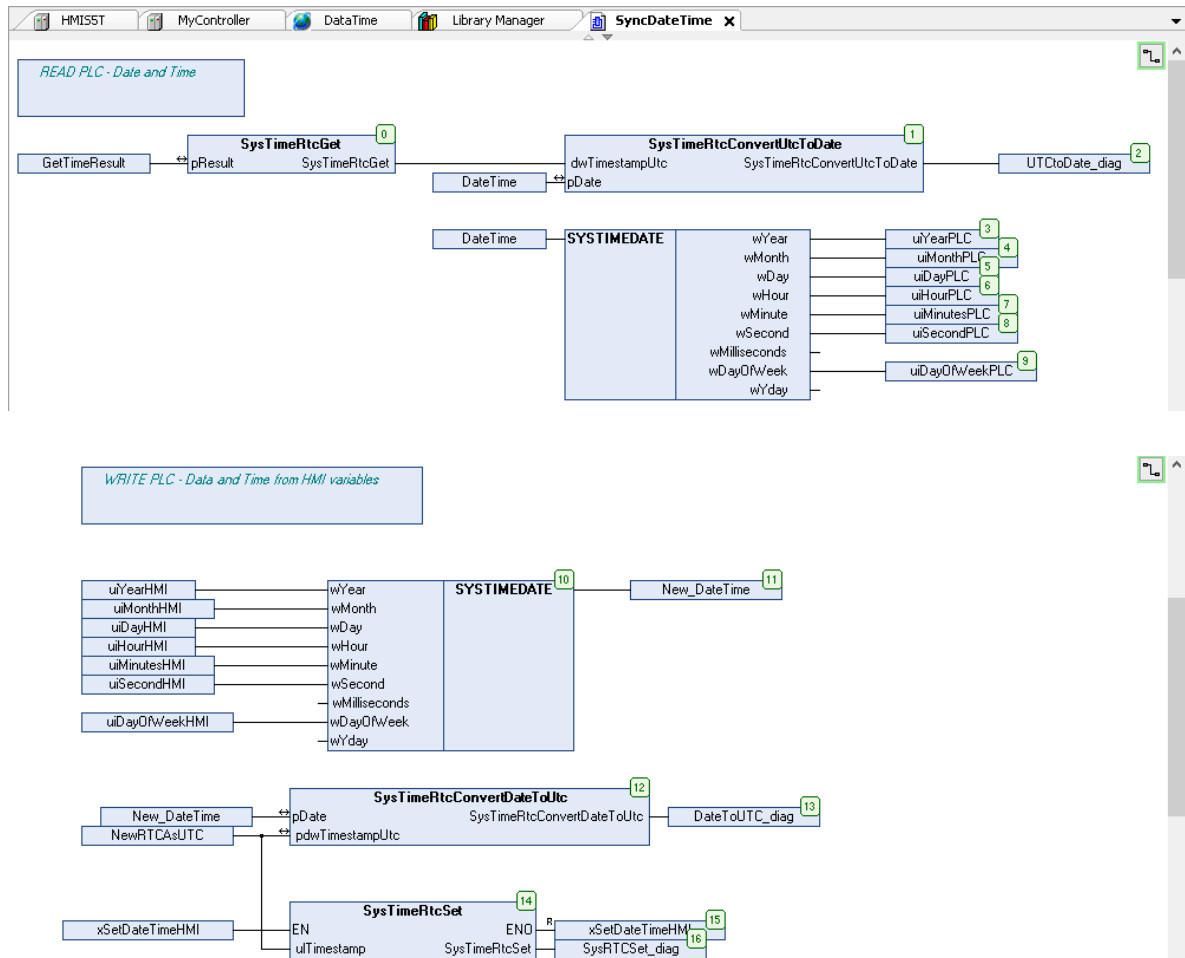


Figura 43 - Programa SyncDateTime (Blocos)

5º Passo: criar uma *Action* no Vijeo Designer, com o código abaixo, em Vijeo Designer > Project > Actions > Create a New Action > (Periodic & Frequency: 5sec), de seguida no *script* da nova ação criada, Operation: Script > Edit Script > copiar o código e validar.

```

Sys.setDate(_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiYearPLC.getIntValue(),_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiMonthPLC.getIntValue(),_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiDayPLC.getIntValue());

Sys.setTime(_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiHourPLC.getIntValue(),_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiMinutesPLC.getIntValue(),_SoM.MyController.Application.DATETIME.uiSecondPLC.getIntValue());

```

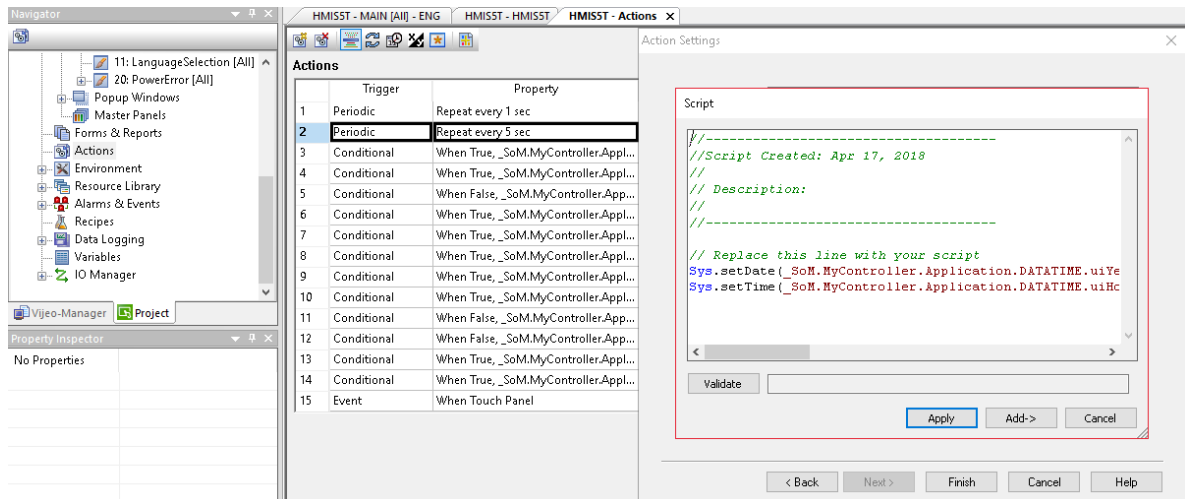



Figura 44 – Escrita do Script das funções SysSetTime e SysSetDate

6º Passo: No Vijeo Designer HMISST > Options > Time Management 'Enable', Autostart 'Enable' e Time (seconds) '1'.

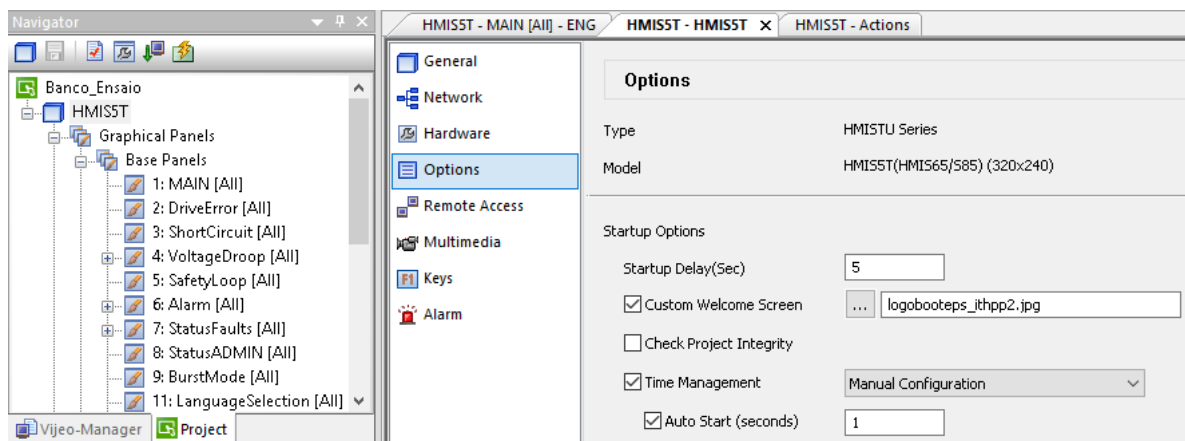


Figura 45 – Habilitação da opção 'TimeManagement'

7º Passo: No mesmo separador do passo anterior, desabilitar a opção 'Time Adjustment'.

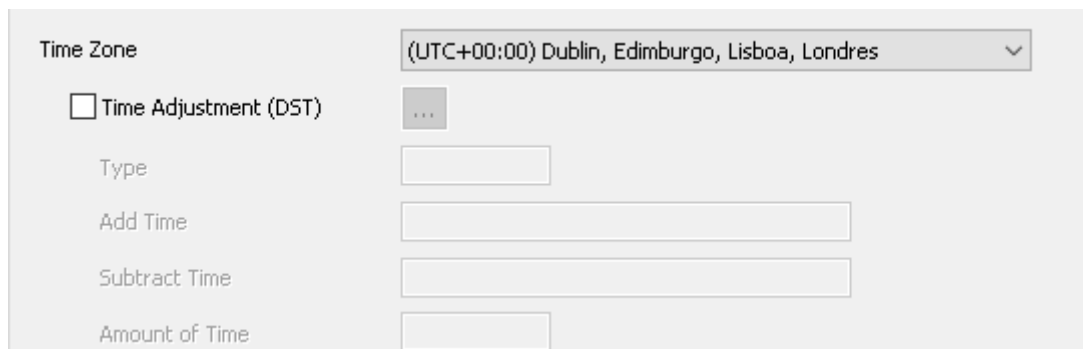


Figura 46 - Opção 'Time Adjustment'

IV.4 – Configuração da Interface Gráfica

IV.4.1 – Configuração de Rede

Assim como no controlador, a interface gráfica deve ser configurada com um endereço IP que pertença à mesma rede do controlador, para o caso foi escolhido o IP: 10.0.0.20.

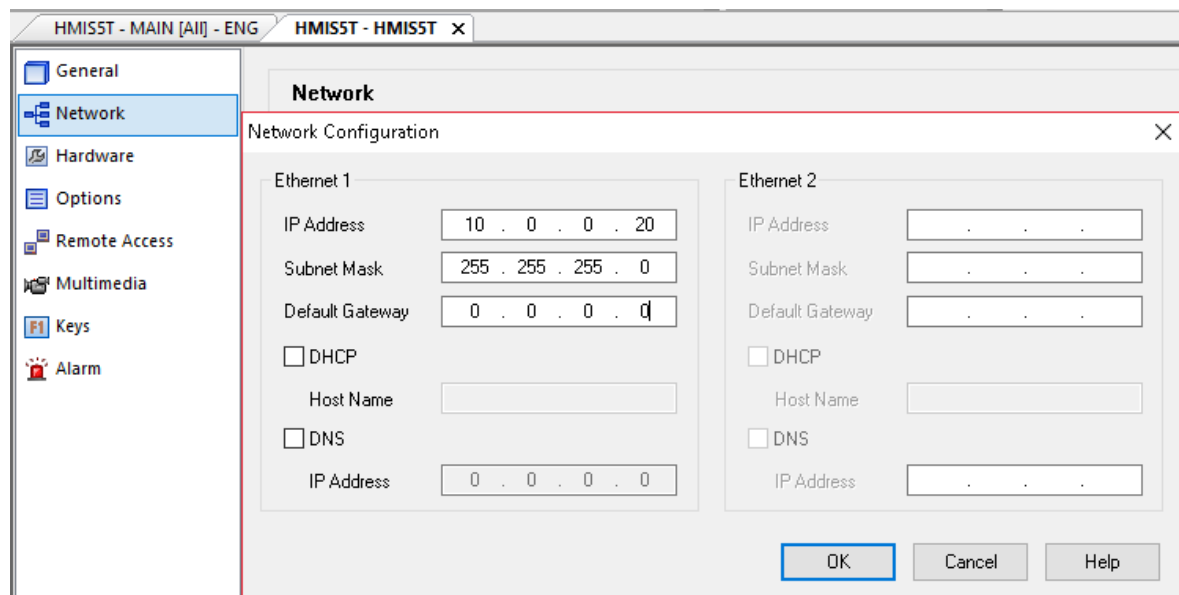


Figura 47 - Configuração de Rede da Interface Gráfica

No separador ‘Remote Access’ devem ser seleccionadas as opções: ‘Data Sharing’, ‘Web Server’, ‘File Browser’ e ‘Web Gate’, para habilitar o uso da interface como servidor.

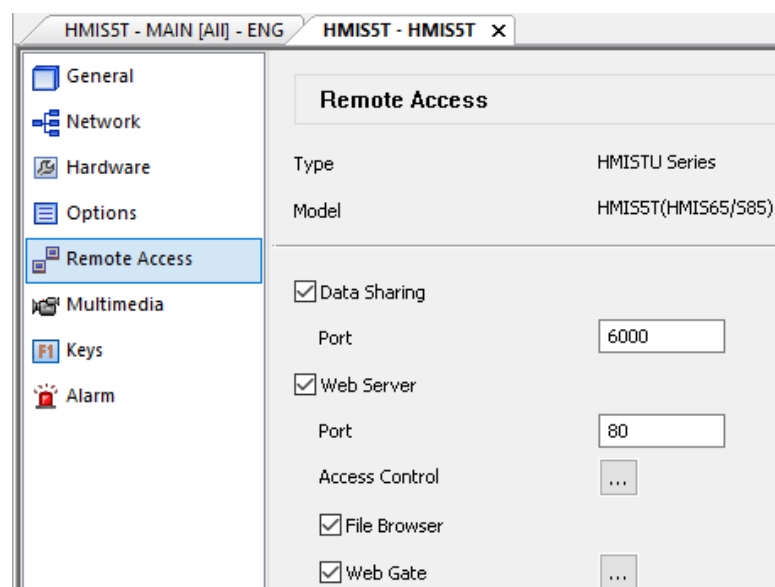


Figura 48 – Configuração de Acesso Remoto da Interface Gráfica

IV.4.2 – DataLogging

P presente estudo procurou monitorizar e analisar os dados do conversor através do seu ficheiro de registo de dados (.log). A figura 49 mostra uma aplicação no controlador que inclui duas *function blocks*, ‘LogRecord’ e ‘Dump’. O LogRecord escreve os dados no *buffer* que os transmite á memória do controlador, ficando alojados nos ficheiros de registo de dados. O *buffer* descarrega os dados automaticamente para a memória quando atinge 80% da sua capacidade ou pode ser forçado a isso pelo *function block* ‘Dump’. Se o controlador atuar como um servidor FTP, um PC pode aceder aos ficheiros de registo de dados como um cliente FTP *standard*. Pode ainda ser acedido através do software *SoMachine* ou pelo servidor web embestado do controlador.

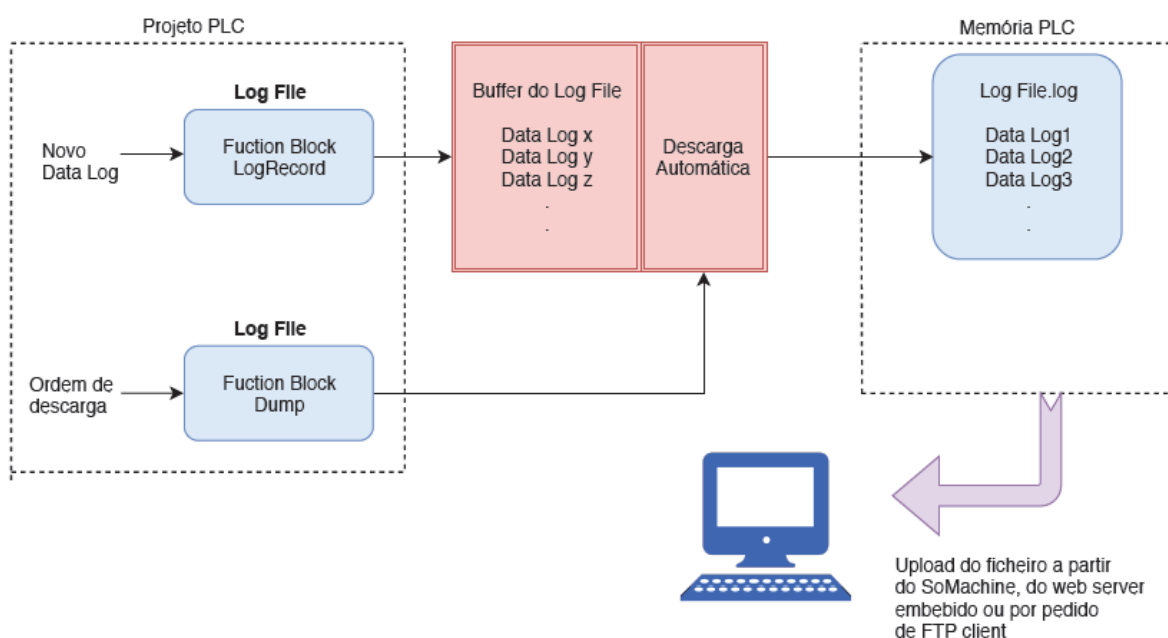


Figura 49 - Visão geral do funcionamento de aquisição de dados

Inicialmente são declarados e configurados os ficheiros de registo de dados. Para gerar os ficheiros de dados são criados agrupamentos no separador ‘Data Logging’ > ‘New Logging Group’ com as variáveis que queremos registar no mesmo momento. A gravação de dados pode ser periódica ou ativada por algum acontecimento.

IV.4.2.1 – RunLog

O grupo de dados guardados pelo ‘RunLog’ visa arquivar as variáveis introduzidas pelo operador e a temperatura do sistema, sempre que for dada a ordem para iniciar o ciclo, ou seja, quando é dado o comando para carregar os condensadores do conversor.

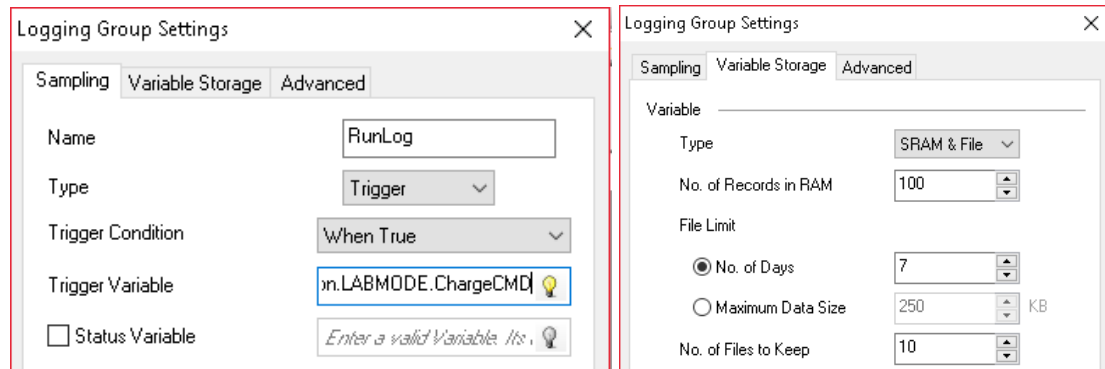


Figura 50 – Configuração do grupo ‘RunLog’

Para que os ficheiros sejam armazenados na memória externa deve ser selecionado o tipo ‘SRAM & File’. As variáveis devem ser adicionadas uma a uma, a partir da lista de variáveis do compilador do projeto.

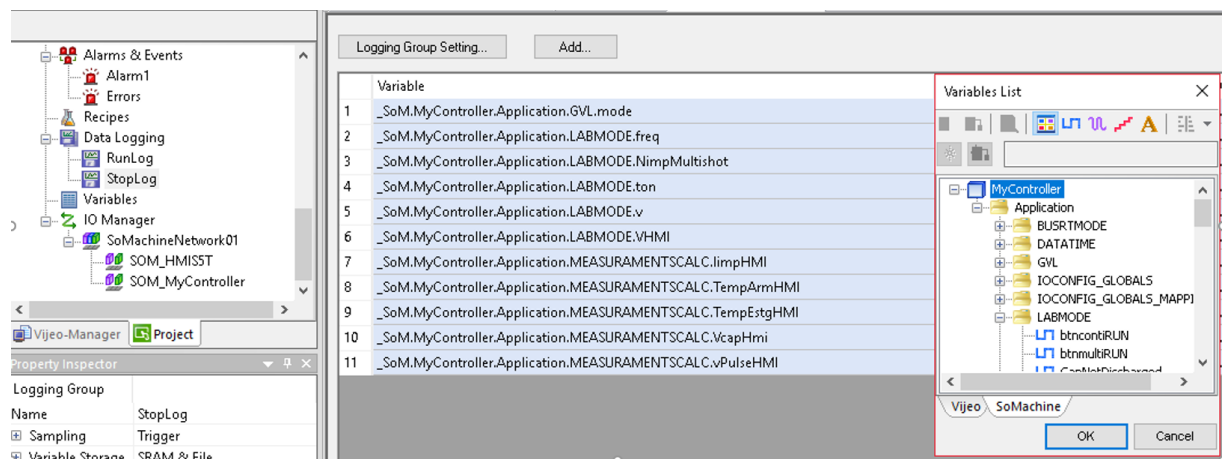


Figura 51 – Lista de variáveis referentes ao grupo ‘RunLog’

IV.4.2.2 – StopLog

O grupo de dados guardados pelo ‘StopLog’ visa arquivar as variáveis e a temperatura, sempre que for dada ordem de paragem do sistema.

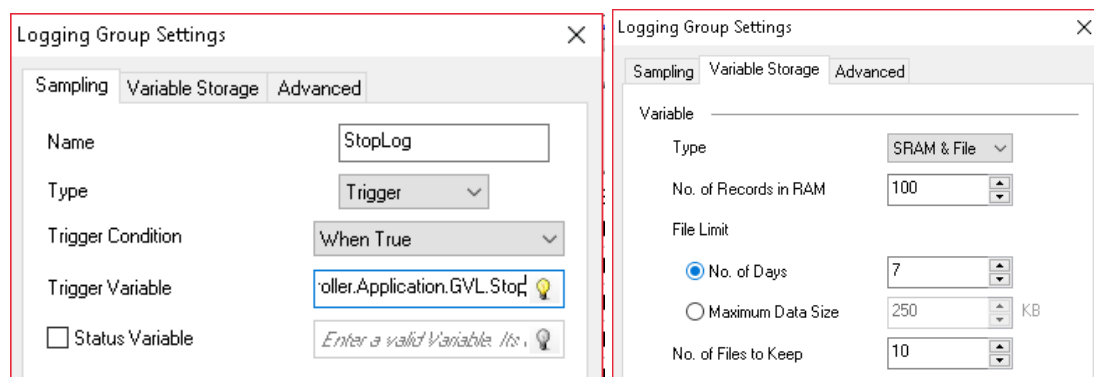


Figura 52 – Configuração do grupo ‘StopLog’

Deverá ter a mesma configuração do grupo ‘RunLog’, e recolher as mesmas variáveis. No entanto a condição de ativação (*trigger variable*) é, para este caso, a variável de paragem do sistema ‘Stop’.

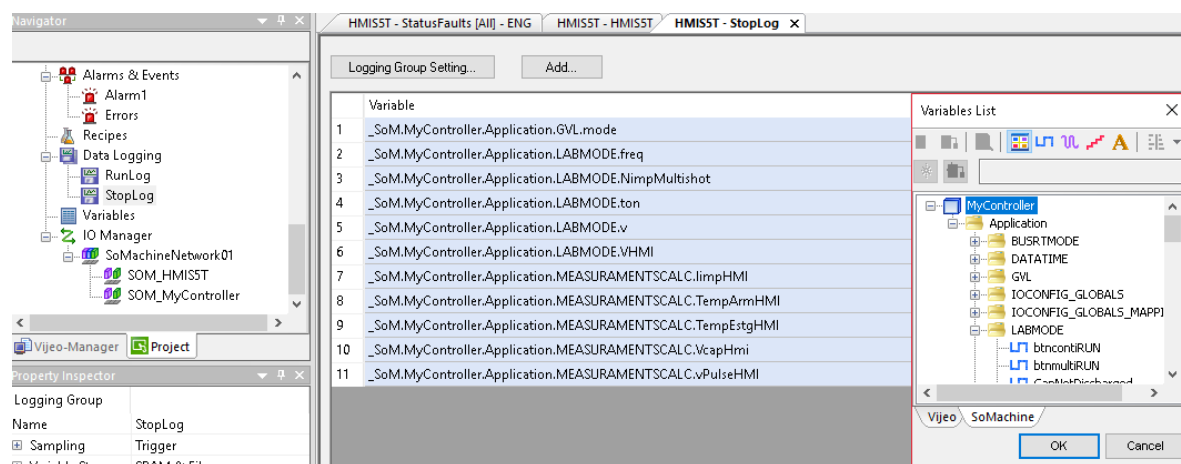


Figura 53 – Lista de variáveis referentes ao grupo ‘StopLog’

IV.4.2.3 – Alarmes e Eventos

Os sistemas de alarme são parte integrante da interface gráfica e devem ser configurados de acordo com o processo observado. O seu propósito é indicar as condições e anomalias dos processos e equipamentos, permitindo que os operadores tomem medidas corretivas e normalizem o funcionamento. As sinalizações destas ocorrências podem ser sonoras, luminosas ou mesmo por mensagens de texto detalhadas.

Para projetar um sistema de alarme eficaz, é importante considerar os seguintes pontos-chave:

- Apresentar apenas alarmes relevantes e úteis;
- Cada ocorrência deve ter uma resposta tipo por parte do operador;
- Permitir uma resposta em tempo útil por parte do operador.

A segurança auferida por um sistema de alarme pode ocorrer de dois modos, numa o operador é notificado pelo alarme e este presta ações corretivas antes das proteções atuarem, noutra o operador é notificado de que o sistema de proteção não atuou. De acordo com a norma internacional IEC 61508, um sistema de alarme, seja ele eletrónico ou programável, deve ser considerado como sistema de segurança somente se:

- Integra uma parte das instalações com intuito de reduzir o risco e perigos para pessoas e bens para níveis toleráveis;
- O sistema de alarme reduz significativamente os riscos;
- É projetado, operado e mantido de acordo com os requerimentos normalizados;
- É independente e separado do processo de controlo, exceto se o próprio for considerado parte do sistema de segurança e implementado de acordo com as medidas de segurança do equipamento.

Analisando a figura 53, compreende-se que foram criados dois grupos: ‘Alarm1’ e ‘Errors’. Estes grupos foram configurados para arquivar todos os estados do sistema sempre que qualquer uma das variáveis associadas a erros, mau funcionamento ou temperaturas fora dos limites operacionais, for ativada, assegurando que são registadas as condições em que ocorreram os eventos inesperados.

IV.4.3 – Ações (Scripts)

O Vijeo Designer suporta o processamento de informações através de scripts de linguagem JAVA. Esta função facilita a execução de animações complexas, tarefas automatizadas e cálculos, a fim de repartir e reduzir a atividade da unidade de processamento do controlador. Estes pequenos programas têm o limite de 50 linhas, devem ser validados na própria janela de diálogo e podem incluir operação com variáveis do projeto, atividade do operador e telas em display.

Para garantir que nenhuns dados são perdidos e que todos se encontram na memória externa, é escrito um novo script no separador Action, com periodicidade de um segundo, que garantirá que todos os ficheiros na memória interna são copiados para a memória externa.

`Sys.flushAllDataLogging();`

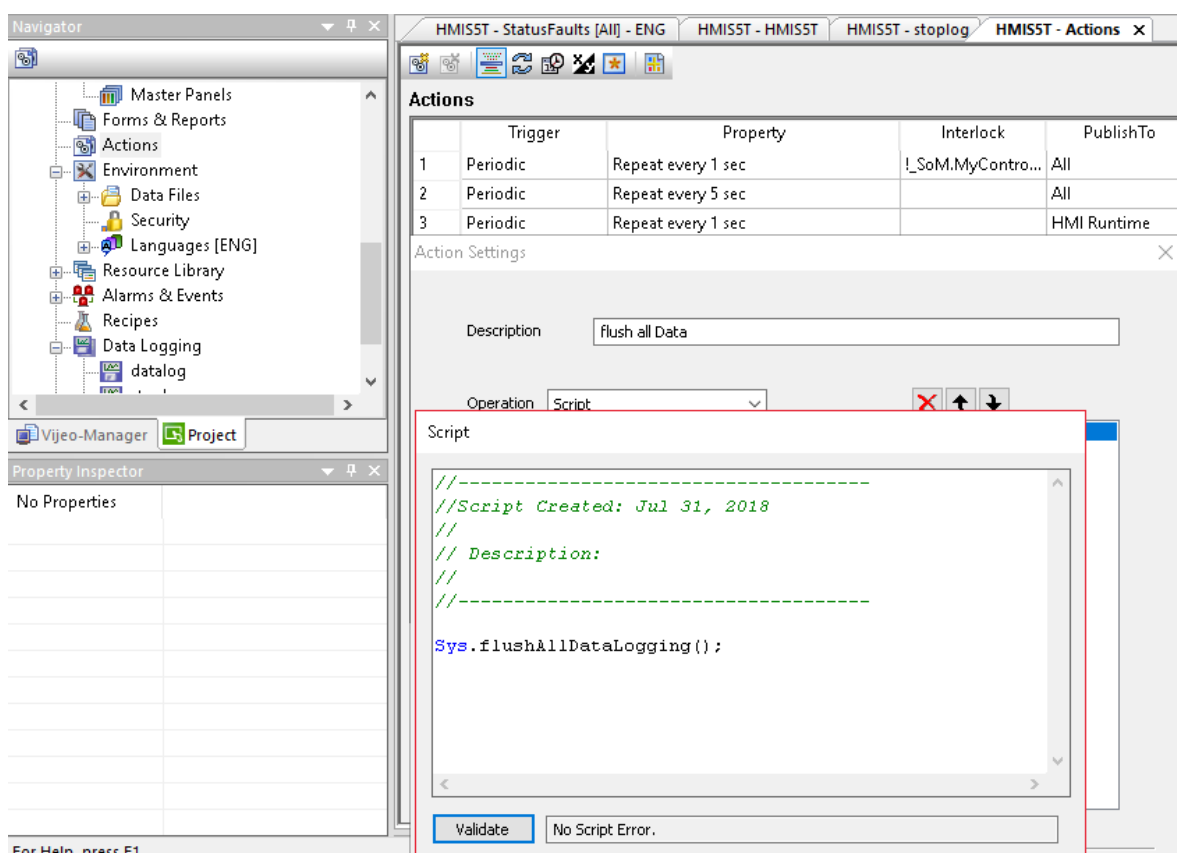


Figura 54 – Script para escrita automática na memória externa

IV.5 – Acesso Remoto

O acesso remoto tem essencialmente dois métodos, através da rede local em que o agente interveniente se encontra nas instalações onde o equipamento opera, ou através da internet em que o agente se conecta à rede local através de um serviço VPN.

IV.5.1 – Servidor Web

O servidor web oferece a opção de monitorizar a unidade de processamento dos equipamentos envolvidos em rede, o que permite a avaliação, diagnóstico e extração de ficheiros a longas distâncias. Estes procedimentos dispensam a utilização da ferramenta de configuração, como o *SoMachine* ou o *VijeoDesigner*, sendo apenas necessário um navegador web, geralmente o Internet Explorer, para aceder às páginas HTML, pré-definidas ou personalizadas, do controlador. É importante proteger os equipamentos de acessos indesejados e não comprometer a máquina, através de *firewall* ou simplesmente limitar o acesso à rede. Por defeito, a funcionalidade *web server* e *web gate* estão desabilitadas por questões de segurança, e o projeto instalado no controlador deve incluir estas definições, assim como os parâmetros de rede. O servidor web oferece as seguintes funções de segurança:

- Acesso via protocolo de transmissão seguro ‘HTTPS’;
- Configuração de autenticações individuais ou de grupo e histórico de acessos;
- Habilitação de interfaces específicas.

Uma característica importante das páginas web é que permitem que a informação seja acedida e representada independentemente do sistema operativo ou navegador web, a partir de qualquer computador, garantindo um acesso neutro, seguro e universal aos equipamentos industriais.

O servidor web pode ser usado para um grande conjunto de operações: desde simples pedidos realizados por ficheiros arquivados ou criados no controlador, ao processamento de dados arquivados através de páginas dinâmicas e scripts de JAVA para diagnóstico ou aplicações com informação destinada ao cliente. O HTTP é um protocolo de Internet Cliente/Servidor padrão que transmite conteúdo da web através de uma rede TCP/IP. Os controladores que possuem um módulo Ethernet atuam com um servidor HTTP, que responde a pedidos de clientes HTTP (navegadores).

IV.5.2 – Acesso Remoto na Rede Local

A funcionalidade Web Gate permite aceder à Interface Gráfica do equipamento, através do Internet Explorer indicando o IP do dispositivo na barra de pesquisa (ex: <http://10.0.0.20>).

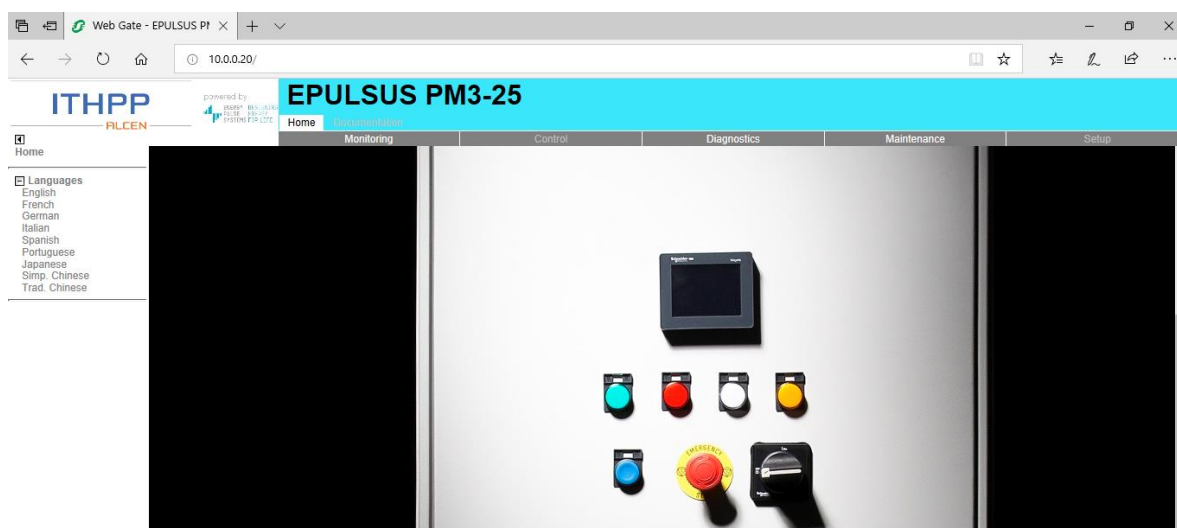


Figura 55 – Acesso a Web Gate

Para aceder ao *display* e controlar o equipamento em tempo real, deverá aceder a ‘Monitoring’ > ‘Web Gate’ > ‘In Frame’. (Para esta funcionalidade deverá ser instalado [Vijeo Web Gate ActiveX control](#)). Para aumentar a segurança e impedir a operação do equipamento por agentes indesejados, devemos configurar na página ‘Environment’ > ‘Security’ > ‘Web Gate/Web Server’ > ‘Use Security’, e adicionar um utilizador ao ‘Project User List’.

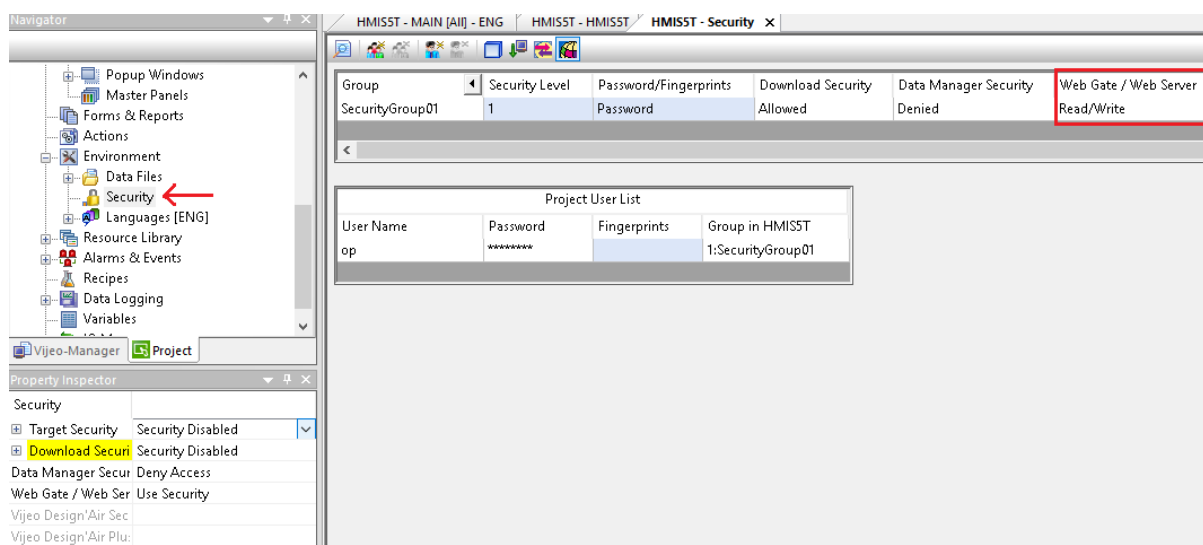


Figura 56 – Funcionalidade de segurança/autenticação

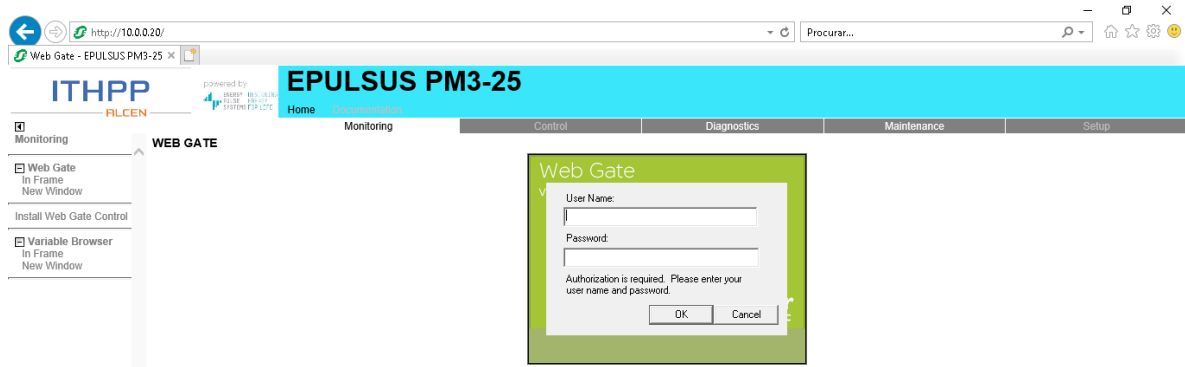


Figura 57 – Pedido de autenticação para Web Gate

Após a validação do *User Name* e *Password*, podemos operar e verificar como o operador no local está a configurar o equipamento e as temperaturas de operação.

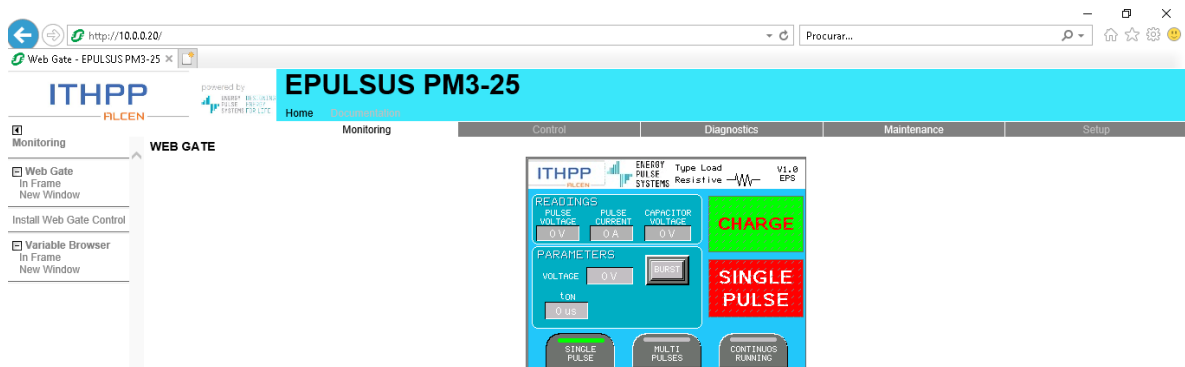


Figura 58 – Acesso a Interface Gráfica do equipamento

IV.5.3 – Acesso Remoto através da Internet

Neste capítulo é abordada a forma como é conseguido o acesso remoto ao controlador lógico programável que se encontra no interior do conversor de potência. A configuração para atingir o proposto deve ser realizada em quatro etapas:

- Comunicar com a *gateway* eWON através da Internet;
- Conectar a *gateway* eWON ao controlador lógico programável;
- Configurar o software da Schneider Electric para comunicar corretamente através da *gateway* eWON;
- Aceder ao controlador através da Internet.

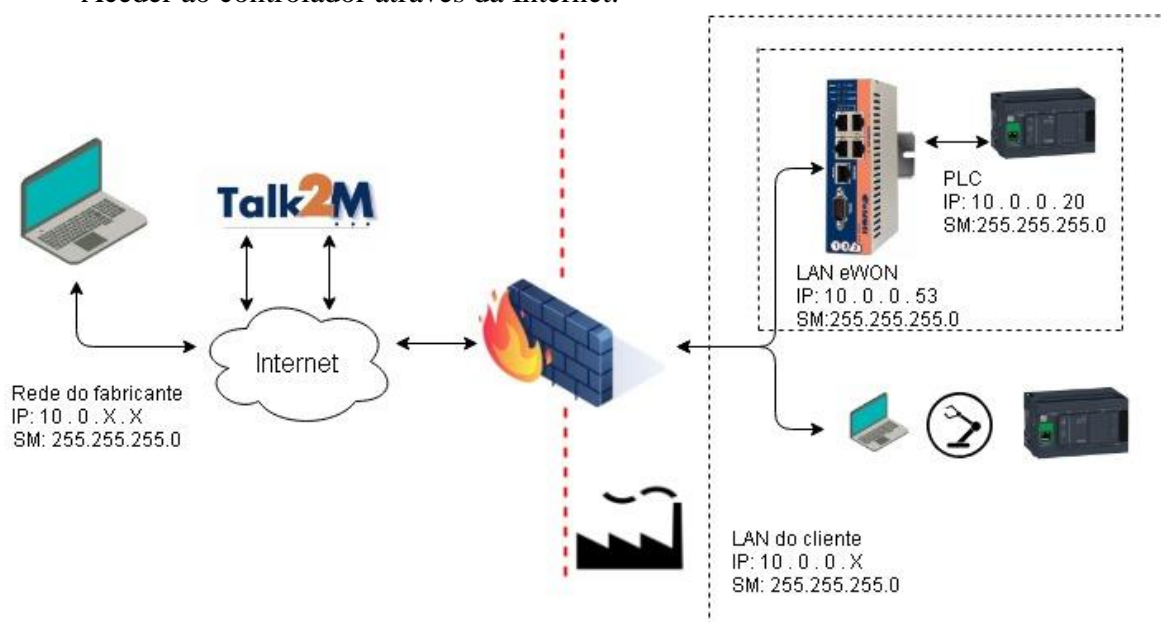


Figura 59 – Esquema das diferentes redes

Para configurar a *gateway* eWON apenas é necessário um navegador web e aceder à *webpage* interna do equipamento através do IP de fábrica (<http://10.0.0.53>). Para estabelecer a ligação entre equipamentos será necessário:

- **Hardware:**
 - *Gateway* eWON com modem integrado e capacidade de estabelecer ligações VPN;
 - Controlador lógico programável (Modicon 241);
 - PC para realizar as configurações dos equipamentos aqui descritos.
- **Software:**
 - *Web browser* – Internet Explorer para configurar os parâmetros internos da *gateway* eWON;
 - eBuddy – para encontrar a *gateway* eWON e atualizações de *firmware*; <http://support.ewon.biz/softwares.htm>

- eCatcher – para criar a conta na plataforma Talk2M e criar o túnel de comunicação VPN;
<http://support.ewon.biz/softwares.htm>

Para o correto encaminhamento das comunicações deverão ser asseguradas as seguintes premissas:

1. O endereço IP da rede eWON deve ser configurado no mesmo alcance do IP da LAN do controlador.
2. Os endereços IP da WAN e LAN da eWON devem estar em diferentes intervalos de IP. A porta WAN do eWON é geralmente habilitada para DHCP, que é uma boa maneira de se certificar que será compatível com a rede da empresa.
3. A rede eWON LAN deve estar em um intervalo de IP diferente da rede da empresa na qual o PC está conectado (LAN da empresa).

IV.5.3.1 – Aplicação eBuddy

O *eBuddy* é um software desenvolvido pela eWON para realizar configurações e manutenção dos *routers* eWON (*Cosy* e *Flexy*). A partir duma ligação física do *router* a um computador com esta aplicação instalada é permitido:

- Definir o endereço IP;
- Fazer *backup* das definições do *router*;
- Fazer recuperação de configurações;
- Atualizações de *Firmware*.

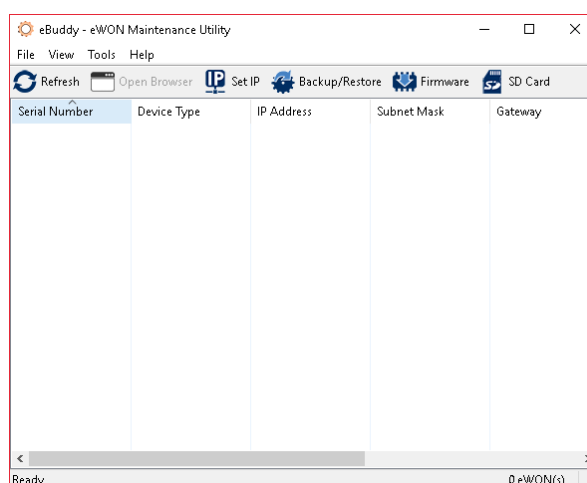


Figura 60 - Ambiente da aplicação eBuddy

IV.5.3.2 – Aplicação eCatcher

A ferramenta *eWON eCatcher* é o *software* de cliente VPN gratuito que os utilizadores dos routers utilizam para estabelecer conexões remotas com as suas máquinas. Recentemente foi lançada a versão *mobile*, gratuita para *iOS* e *Android*.

Após autenticação na aplicação *eCatcher*, o utilizador deve criar a sua conta na plataforma *cloud* Talk2M, e registar e identificar os seus equipamentos eWON. Desta forma a aplicação funciona como uma lista de endereços associados à conta Talk2M, em que com um clique pode estabelecer uma ligação remota e segura à LAN eWON e os seus dispositivos, em qualquer momento ou lugar.



Figura 61 - Ambiente da aplicação eCatcher

Este software tem sido bastante difundido pelas suas características diferenciadoras:

- Uma das prioridades são as questões de segurança, por isso oferece mecanismos de autenticação reforçados como a autenticação de dois fatores (consiste numa senha e num código enviado para o telemóvel);
- Relatório de conexões estabelecidas para rastreio e auditoria de que utilizadores acederam aos dispositivos, quando e por quanto tempo;
- O serviço de geolocalização permite gerir e visualizar, com referênciação mapa-mundo em vez de uma lista de endereços;

IV.5.3.3 – Plataforma Talk2M

O Talk2M é um serviço de conectividade baseado numa aplicação hospedada na Web, que proporciona aos utilizadores a conexão às suas máquinas através da Internet. Esta aplicação é um intermediário de comunicações e foi projetado para o mundo da Automação Industrial, e atua através de ligações VPN e encapsulamento.

Encapsulamento ou “*tunneling*”, é um processo que permite o movimento seguro de dados de uma rede para outra, e envolve permissões para que a transferência de pacotes de dados privados de uma rede privada, sejam transmitidas através de uma rede pública, como a Internet, como se fossem de natureza pública. A plataforma Talk2M apresenta as seguintes especificações:

- Os túneis de comunicação são iniciados pelo dispositivo eWON, ou seja, apenas conexões de saída “*outbound*”. Assim o cliente não precisa de efetuar alterações na *Firewall*, uma vez que o servidor tenta usar as portas de saídas já abertas e seguras, geralmente HTTP e HTTPS;
- Os protocolos VPN utilizados são o OpenSSL/Open VPN version 2;
- O serviço utiliza vários protocolos de segurança: os utilizadores iniciam sessão no servidor Talk2M com SSL/TLS, protocolo IPSec ESP para transmissão segura sobre UDP;
- Servidores em todo o mundo e arquitetura redundante, permitem melhorar o desempenho e reduzir o atraso entre pacotes IP, através da ferramenta de geolocalização de IP's;
- Alta disponibilidade e continuidade, conseguidos pela supervisão permanente;
- Certificação ISECOM STAR (*Security Test Audit Report*), emitido pela Admeritia GmbH.

IV.5.3.4 – Configuração da Gateway eWON

Numa configuração típica de acesso remoto devemos ter em atenção a relação entre os endereços IP envolvidos nas diferentes redes em que se opera.

1º Passo: Definir o endereço IP da LAN eWON

Uma vez escolhidos os endereços IP, começamos por alterar o IP de fábrica da LAN eWON, através da rede local ou ligação física entre a *gateway* e o PC de configuração. Devemos então iniciar a aplicação eBuddy e seleccionar a opção ‘Set IP Address’, que abre um instalador que permite, sem necessidade de inserir o número de série, encontrar a *gateway* a que estamos conectados. Deste modo vamos definir o novo endereço da rede eWON com IP (10.0.0.53) e a *Subnet Mask* (255.255.255.0), de seguida o equipamento atualiza o endereço.

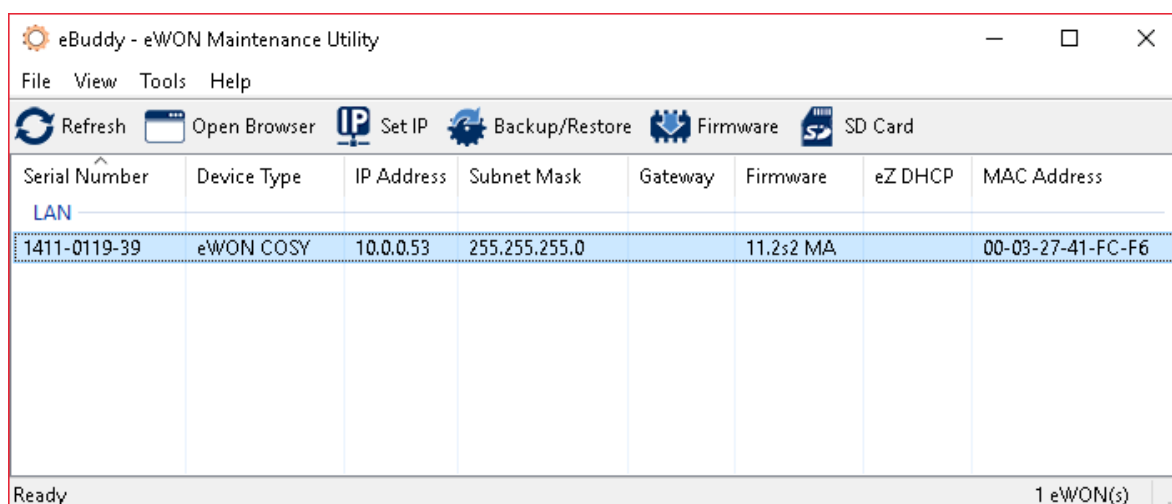


Figura 62 - Definição do endereço IP da rede eWON

2º Passo: Configurar a Gateway para a conexão à Internet

Primeiro é necessário configurar os parâmetros de rede do PC de configuração, de forma a que estejamos na mesma rede eWON, em Início > Definições > Rede e Internet. Na conexão estabelecida introduzimos o endereço IP (10.0.0.40) no alcance da rede eWON no separador TCP/IP.

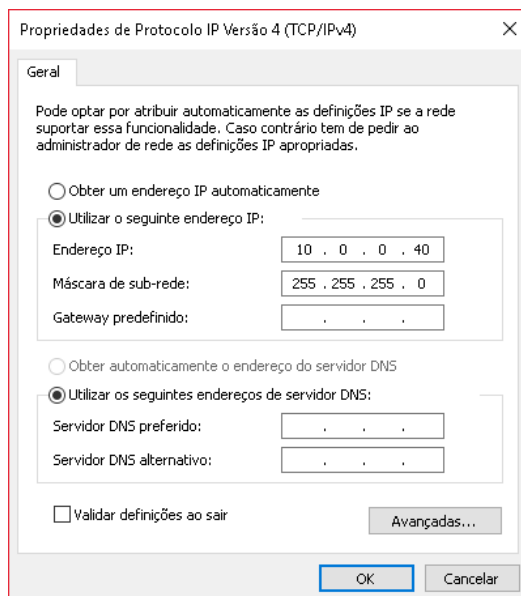


Figura 63 - Configuração do endereço do PC de configuração

De seguida conectar o PC de configuração a uma das portas de rede da *gateway*, e aceder à página web através do navegador pelo endereço IP definido no 1º passo (na atual configuração (<http://10.0.0.53>)). Na barra de ferramentas selecionar ‘Settings’ e de seguida no ícone de interrogação, para que seja apresentada a opção ‘Configure INTERNET Connection’ em que selecionaremos ‘Ethernet WAN connection’ > Address Setup > DHCP. Por fim é realizado um teste de conexão à Internet.

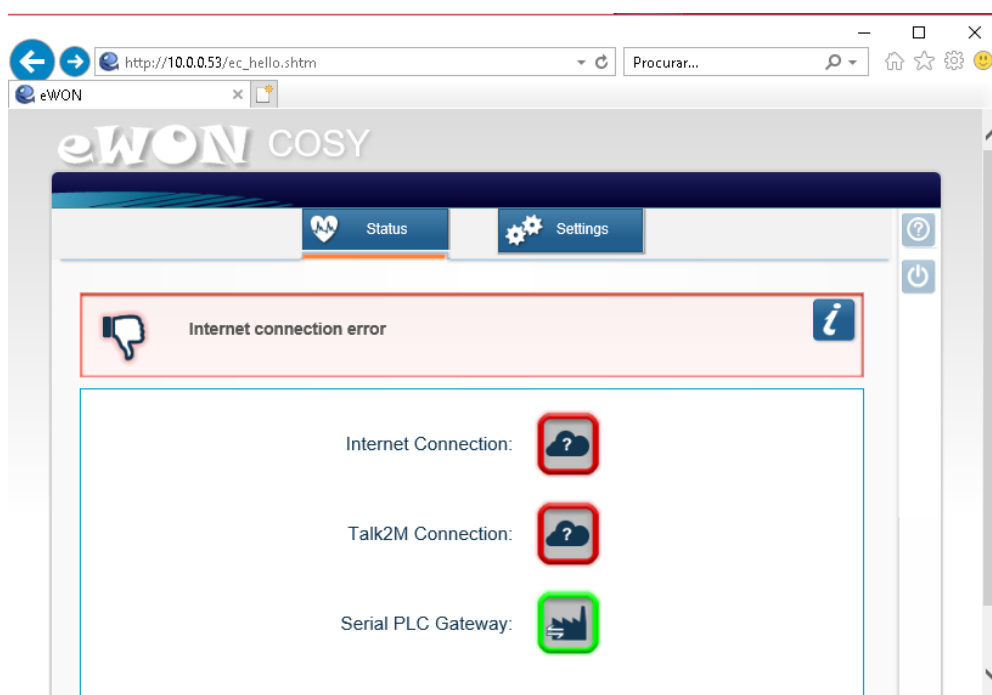


Figura 64 - Página de configuração da *gateway*

3º Passo: Criar o dispositivo na conta Talk2M

Para estabelecer uma conexão remota com a *gateway* utiliza-se o programa eCatcher e a plataforma Talk2M. No menu do programa eCatcher seleccionar a opção ‘New eWON’ e introduzir a identificação pretendida a utilizar no servidor Talk2M e o tipo de conexão LAN/ADSL. O número de série eWON será codificado automaticamente durante a ligação de configuração, logo não necessita ser preenchido.

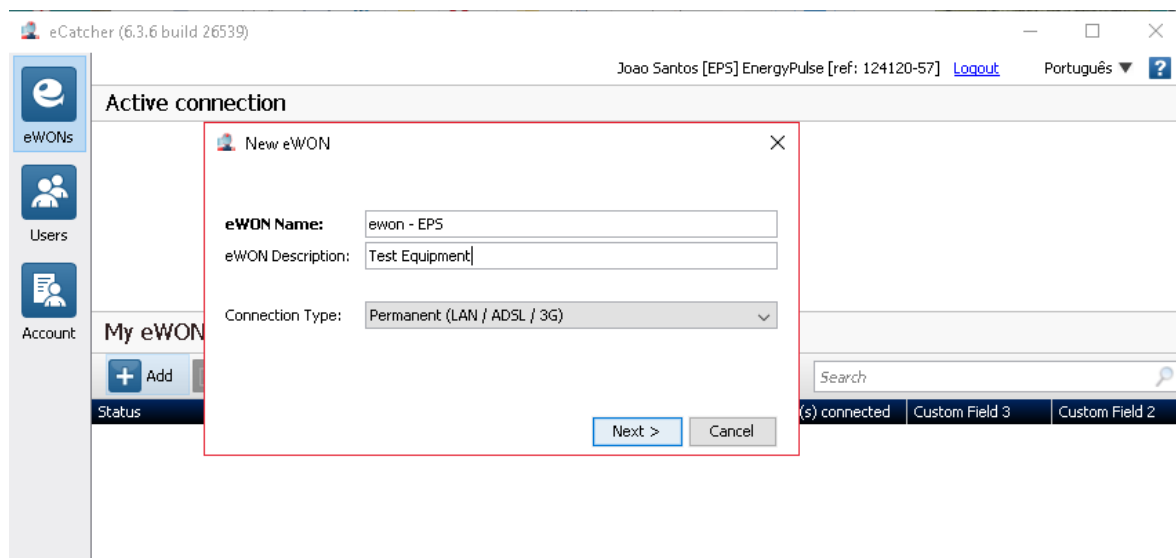


Figura 65 - Adição de um novo dispositivo eWON

O equipamento pode estabelecer ligação ao servidor Talk2M por LAN/ADSL, por GPRS/EDGE com a introdução de um número de telefone válido, e por conexão internet PTSN (modem analógico). De seguida deve-se inserir informação adicional sobre o equipamento, nos ‘Custom Fields’, para que seja facilmente identificável, como por exemplo, a empresa cliente e a localização das instalações. Ao terminar este procedimento é adicionado à lista de equipamentos associados à conta Talk2M.

4º Passo: Activar a chave e certificados para comunicação

Até aqui apenas foi adicionado o eWON à conta Talk2M, mas o eWON não se encontra configurado para a conexão ao servidor Talk2M. Para permitir a conexão do eWON ao servidor Talk2M, é necessária uma chave de activação.

Essa chave permitirá que o eWON recupere as chaves e certificados de VPN necessários para o Conexão VPN. Esta etapa ainda usa a configuração habilitada para DHCP do passo anterior. Para obter a chave de ativação, deve ser selecionado o eWON na lista e escolher a opção 'Properties' > 'Talk2M Connectivity' > 'Configure via Activation Key', e copiada a chave de ativação.

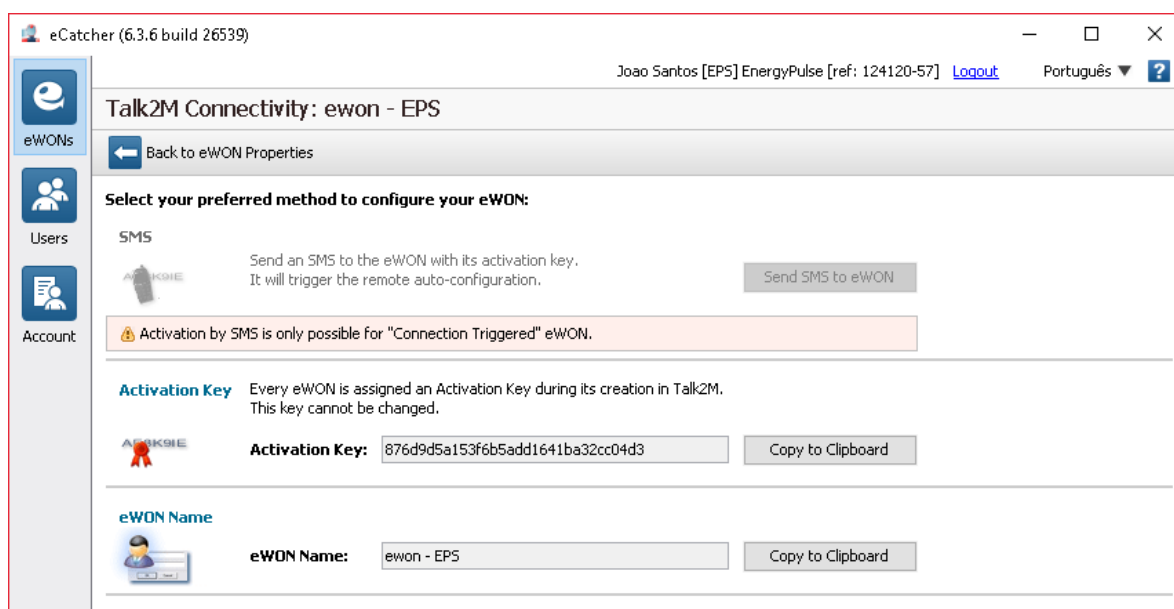


Figura 66 - Configurar através da chave de Activação

5º Passo: Configurar a Gateway eWON para conectar ao servidor Talk2M

Após configurar os parâmetros de rede do PC de configuração para abranger o IP utilizado para alocar o endereço IP da LAN eWON, é estabelecida a conexão do PC a uma das portas LAN do eWON, através do navegador da Internet e é acessada a página da Web interna. É seleccionado o separador 'Configuration' e pelo ícone de interrogação acede-se ao assistente, onde se encontra a opção 'Configure Talk2M connectivity'.

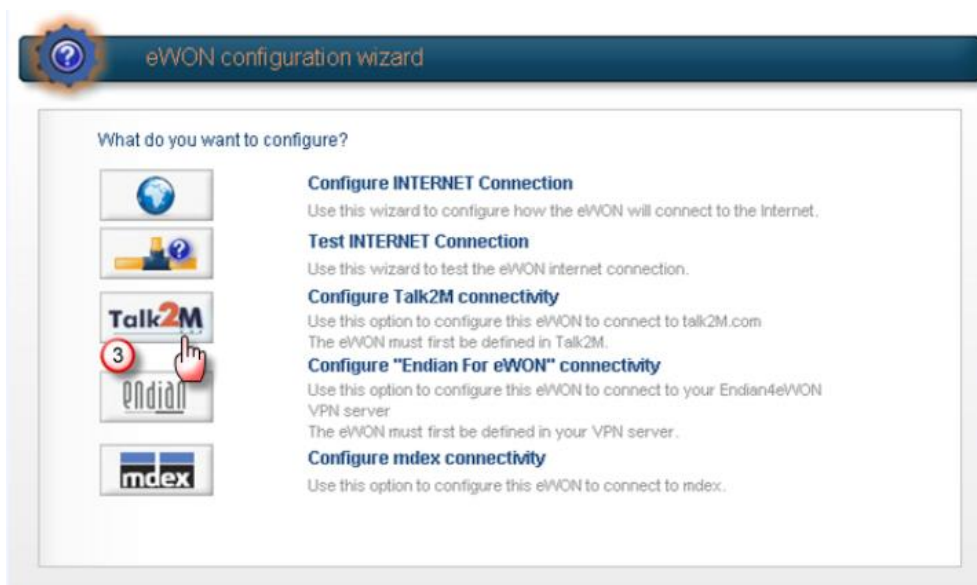


Figura 67 - Configuração através da chave de Activação

Por fim é escolhido o registo por chave de activação e colada a chave copiada no 5º passo.



Figura 68 - Chave de Activação

6º Passo: Conexão remota

Uma vez que o eWON está configurado para estabelecer ligação ao servidor Talk2M, estabelece-se a conexão remota com o eWON. O PC de configuração é conectado à LAN da empresa e configurados os parâmetros de rede para DHCP ativado (aquisição de um endereço IP automaticamente). É iniciado o eCatcher e acede-se à conta Talk2M. Na seção da lista eWON, selecciona-se o eWON a que se deseja aceder.



Figura 69 - Conectar ao dispositivo eWON

O dispositivo eWON configurado será agora exibido como on-line., o que significa que estabeleceu a conexão VPN com o servidor Talk2M. Clicando duas vezes no ícone on-line ou no botão 'Connect' exibido no menu da lista de equipamentos eWON será estabelecida a conexão remota. O eCatcher agora estabelecerá a conexão VPN com o servidor Talk2M. Uma vez estabelecida a conexão VPN com o eWON, este será disposto na secção "Conexão ativa" na parte superior da janela.



Figura 70 - Configurar através da chave de Ativação

O PC agora está conectado ao eWON através de um túnel VPN.

Capítulo V – Resultados/Ensaio

Resumo: Neste capítulo são descritos os procedimentos a executar e quais os ficheiros resultantes de cada operação. Exposta a filosofia da construção de relatórios, é apresentado o método de pesquisa e de interpretação de resultados.

V.1 – Procedimentos

Após estabelecida conexão com o equipamento alvo, segundo o capítulo anterior, através da rede local ou remotamente, os métodos de controlo em tempo real da interface através da página web e aquisição dos registos de dados são em tudo semelhantes.

O fabricante tem a possibilidade de fornecer a pasta de ficheiros executáveis e as suas credenciais da conta Talk2M ao seu cliente para que o mesmo possa operar e registar o funcionamento das suas máquinas. São fundamentais os seguintes ficheiros:

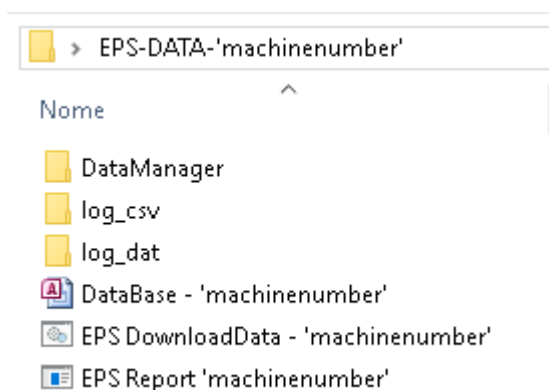


Figura 71 – Pasta de ficheiros EPS-DATA

Os procedimentos seguintes devem ser executados pela ordem apresentada:

1. Execução do ficheiro 'EPS DownloadData' para obter os ficheiros de registo das variáveis, através da aplicação Data Manager;
2. O ficheiro executável guarda os ficheiros (.dat) na pasta 'log_dat' criada para o efeito e de seguida converte os ficheiros '.dat' no formato "valores separados por vírgulas" (.csv) para a pasta 'log_csv';
3. Execução do ficheiro 'EPS Report machinenumber' construído no programa Visual Studio em linguagem VB.NET;
4. No menu do ficheiro executável seleccionar a pasta de ficheiros 'log_csv' que deseja importar para o ficheiro Access 'DataBase';
5. Uma vez construída a base de dados, e seleccionada a opção para gerar relatório, são apresentadas todas as entradas da base de dados no formato 'Data & Hora';
6. Seleccionado o registo que se pretende analisar são apresentadas todas as variáveis do processo;

V.1.1 – Vijeo Designer Data Manager

O Vijeo Designer Data Manager é um programa desenvolvido pela Schneider Electric. O principal executável do programa é o DataManager.exe. O instalador do software inclui 14 arquivos e tem aproximadamente 11,85 MB (12.426.521 bytes). O Data Manager é uma interface gráfica de utilizador para gerir arquivos de um equipamento alvo, como as suas receitas (.rcp), arquivos de registo de dados (.dat), arquivos de alarme (.csv), arquivos de vídeo (.vmg, .mp4 ou .avi) e arquivos de backup de projeto (.vdz). O Data Manager permite o envio e a recuperação de arquivos pelas portas Ethernet ou USB.

Utilizou-se a linha de comandos num *batchfile*, o ‘EPS DownloadData’, para automatizar o processo, onde são utilizadas duas ferramentas da aplicação ‘Data Manager’. Existe a possibilidade de criar um perfil de conexão a cada equipamento onde se identifica o equipamento alvo, introduz os dados de autenticação e a configuração da ligação para recolher os dados a partir do ‘DataTransferTool’.

Configure a Target

Create a remote target profile to quickly access a remote target.

Name:

Connection: ☒ Ethernet ☐ Ethernet Over NAT ☐ USB

Target Address: Connect Via: Control Port: Data Port:

☐ The remote target is a FTP server

☐ Use Alternate FTP port

☐ Anonymous Connection

User name *: Password *: Confirm Password:

* = Empty fields will be requested during target logon

Passwords are case-sensitive

☐ Save Password

Data Location:

Create Close Help

Figura 72 – Configuração *Data Transfer Tool*

Os ficheiros são extraídos consoante a opção ‘*Data Location*’ onde figuram as memórias internas (*primary* e *secondary drive*) e externa (*optional drive*) do equipamento alvo, para uma pasta de destino criada para o efeito. Os ficheiros obtidos são arquivos de dados (.DAT) que serão de seguida convertidos para ficheiros de valores separados por vírgulas (.CSV) ou ficheiros de texto (.TXT) com a ferramenta ‘Data Converter Tool’.

Um ficheiro de extensão de arquivo DAT é geralmente um ficheiro de dados genérico que armazena informações específicas para a aplicação a que está associado. Os arquivos DAT não costumam ser tão específicos quanto a maioria dos arquivos acerca do seu conteúdo. Por exemplo, num ficheiro MP3 é deduzível que estamos perante um ficheiro de áudio, um arquivo TXT explica um arquivo de texto simples, etc. Os dados por trás de um arquivo .DAT não são tão óbvios.

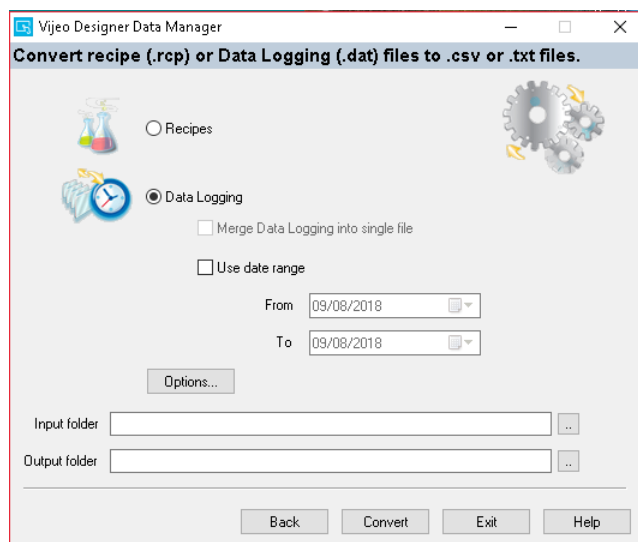


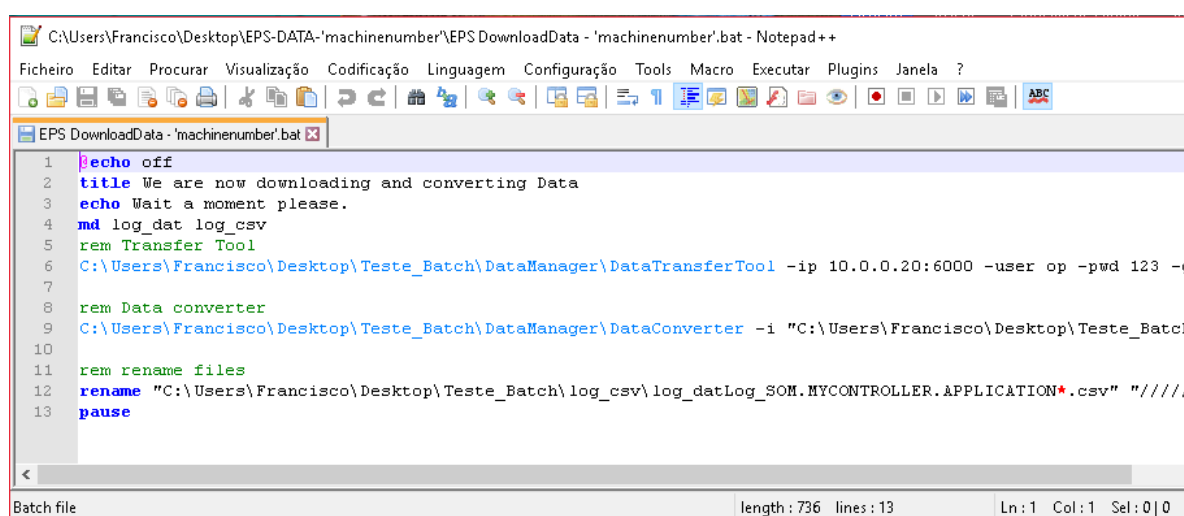
Figura 73 – Configuração Data Transfer Tool

A extensão de ficheiro .CSV é um formato simples utilizado para armazenar dados tabulares e podem ser importados e exportados de programas que armazenam e processam dados em tabelas ou bases de dados, como o Microsoft Excel ou o OpenOffice. A denominação de.CSV é “valores separados por vírgulas”, devido à sua forma de delimitar diferentes campos de informação numa linha por vírgulas e linhas individuais pela troca de linha. No entanto, pode ser criado e editado a partir de qualquer editor de texto.

V.1.2 – EPS DownloadData (Notepad++)

O Notepad++ é um editor de texto que permite editar mais de 50 tipos de linguagem usadas em programação, como C/C++, HTML, JAVA, MS-DOS, PHP, Python, Visual Basic, XML, entre outros. Foi a aplicação utilizada para criar o *batchfile* (.bat).

‘EPS DownloadData’ é um ficheiro executável, que visa automatizar o processo de extração e conversão dos arquivos do equipamento alvo, de forma a que se apresentem formatados para integrar uma base de dados.



```

1  echo off
2  title We are now downloading and converting Data
3  echo Wait a moment please.
4  md log_dat log_csv
5  rem Transfer Tool
6  C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\DataTransferTool -ip 10.0.0.20:6000 -user op -pwd 123 -e
7
8  rem Data converter
9  C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\DataConverter -i "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch
10
11 rem rename files
12 rename "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_csv\log_datLog_SOM.MYCONTROLLER.APPLICATION*.csv" "////
13 pause
  
```

Batch file length: 736 lines: 13 Ln: 1 Col: 1 Sel: 0 | 0

Figura 74 – Configuração Data Transfer Tool

A linha 4 do ficheiro cria as pastas de destino para os ficheiros obtidos. Assim, sempre que o executável for chamado a operar, duas novas pastas serão criadas com a data e hora atuais. Os ficheiros obtidos de extensão .DAT são copiados para a pasta “log_dat”, e o resultado dos ficheiros convertidos para a extensão .CSV são alocados na pasta ”log_csv”.

Linha 4: md log_dat log_csv

A linha 6 do programa chama a ferramenta “Data Tansfer Tool”, em que se define:

**DataTransferTool TargetMachine UserName
Password Operation Disk DataPort DataType Path [Option]**

Campo	Parâmetro	Descrição
1	C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\DataTransferTool	Selecionar a pasta onde está alocada a ferramenta DataTransferTool
2	IP	Define o endereço IP do equipamento alvo(deve especificar a porta 6001)
3	user	Dados para autenticação
4	pwd	
5	get	Operação a efetuar (<i>get</i> ou <i>put</i>)
6	optional	Define o local da memória onde estão os ficheiros pretendidos (<i>Main</i> , <i>Secondary</i> ou <i>Optional</i>)
7	remotedatafolder	Define o tipo de ficheiros (<i>Alarm</i> , <i>Log</i> , <i>Recipe</i> , <i>Project</i> , <i>Video</i> or <i>Snapshot</i>)
8	localfolder	Pasta de destino
9	r	Incluir ficheiros que estejam em sub-pastas
10	delete	Ao executar uma operação "get", após os ficheiros serem copiados com sucesso, apaga os ficheiros da memória de origem
11	nobuildtree	Copia os ficheiros para a pasta de destino sem criar subpastas
12	*.*	Todos os ficheiros na pasta de origem

Tabela 4 - Parâmetros da Ferramenta "DataTransferTool"

Nos procedimentos de ensaio, a linha 6 descreve o acesso à máquina existente em laboratório para o efeito:

Linha 6: C:\Users\.....\Teste_Batch\DataManager\DataTransferTool
-ip 10.0.0.20:6000 -user op -pwd 123 -get -optional -remotedatafolder Log -localfolder
"C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_dat" -r -delete -nobuildtree *.*

A linha 9 do programa chama a ferramenta “Data ConverterTool”, em que se define:

DataConverter input output [options]

Campo	Parâmetro	Descrição
1	C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\Data Converter	Seleccionar a pasta onde está alocada a ferramenta DataConverterTool
2	i	Converte o s ficheiros na pasta origem especificada
3	o	Guarda os ficheiros convertidos na pasta de destino
4	ch	Adiciona cabeçalhos de coluna ao aos ficheiros convertidos (<i>Timestamp</i> , <i>Data</i> e <i>Quality</i>)
5	ct4	Converte os ficheiros de registo de data e hora no formato: DD / MM / AAAA

Tabela 5 - Parâmetros da Ferramenta "DataConverterTool"

Nos procedimentos de ensaio, a linha 9 descreve os ficheiros a ser convertidos:

```

Linha 9: C:\Users\...\Teste_Batch\DataManager\DataConverter
-i "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_dat"
-o "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_csv" -ch -ct4

```

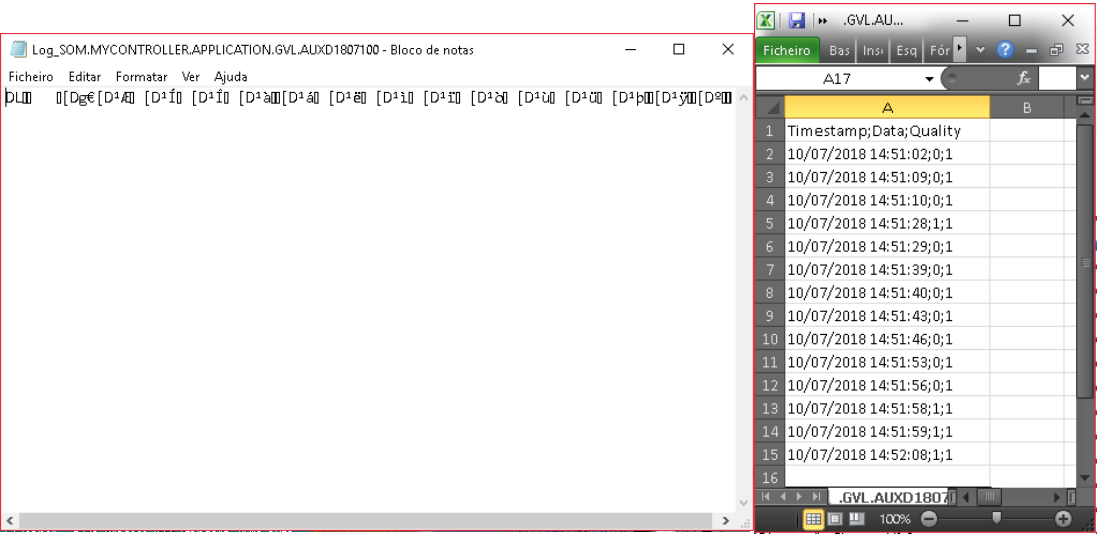


Figura 75 - Ficheiros obtidos, formato .DAT (Esquerda) e formato .CSV (direita)

V.1.3 – Base de Dados Access

A decisão de desenvolver a base de dados no Microsoft Access foi tomada tendo em conta o seu uso generalizado, a ativação de licenças por parte de clientes e operadores, e o grande volume de referências e apoio na Internet, pela facilidade de intercomunicação com outros programas e pela necessidade de arquivar dados.

A definição de base de dados sugere uma ferramenta de recolha e organização de informação. Muitas das bases de dados começaram por ser uma lista num programa de processamento de texto ou cálculo. À medida que as listas cresciam começaram a ser mais recorrentes fenómenos de inconsistência e repetição de dados, para além das limitações de métodos fiáveis de formular pesquisas e subconjuntos de dados. Assim, por conveniência, a informação migrou para Sistemas de Gestão de Bases de Dados (DBMS) como a ferramenta Access. Uma base de dados informatizada é um contentor de objetos, que pode conter inúmeras tabelas numa base de dados, num único ficheiro.

Através da ferramenta Access temos acesso às seguintes operações:

- Adicionar elementos à base de dados;
- Editar os dados na base de dados;
- Eliminar dados;
- Organizar e visualizar em diversos formatos (formulários, relatórios, etc);
- Partilhar informação com outros utilizadores.

[illegible]

Figura 76 – Configuração dos campos da base de dados

Razões para escolher o Microsoft Access:

- Sistema de base de dados mais utilizado do mundo;
- Tem milhares de utilizadores, consequentemente existem muitos especialistas e uma grande rede de suporte;
- Significativamente mais barato que os servidores SQL ou Oracle;
- Fácil de adaptar a mudanças conceptuais ou de reformulação;
- Ferramentas fáceis de integrar com outras ferramentas do Microsoft Office.

Razões para não escolher o Microsoft Access:

- Caso seja necessário projetar um sistema baseado na Web;
- Número de utilizadores, com um limite de 255 utilizadores (dependendo da aplicação, na realidade o limite é entre 10 e 80 utilizadores);
- Não pode ser utilizado por sistemas operativos MacOS;
- Caso a previsão da capacidade total exceda 1 milhão de registos.

V.1.4 – Gestão da Base de Dados e Relatórios

A ferramenta escolhida para desenvolver a aplicação foi o Visual Studio 2017 Enterprise na linguagem Visual Basic, para facilitar a integração dos ficheiros .CSV na base de dados pré-configurada, para os processos de consulta e para disponibilização de relatórios. Sem necessidade de investimentos adicionais em ferramentas de software, com uma linguagem simples de implementar e uma interface de design amigável para construir um ficheiro executável interativo.

O ficheiro executável começa por apresentar um ambiente gráfico, denominado ‘EPS ReportData’ (figura 77), que contém uma caixa de texto onde deve ser colocado o caminho da pasta, através do botão ‘Browse’ que detém os ficheiros que pretendemos adicionar à base de dados, pela seleção do botão ‘Import’. Após alguns segundos serão apresentados todos os *TimeStamp* que constem dos ficheiros extraídos.

Figura 77 - Ficheiro executável (Form1)

Uma vez que a base de dados se encontra completa com os dados importados previamente, o botão ‘Open Report’ quando premido dá origem a uma nova janela denominada ‘Essay Information’ (Figura 78). Esta janela apresenta todos os dados relativos à variável temporal seleccionada no ‘EPS ReportData’.

Figura 78 - Relatório do ensaio (Form2)

Finalmente o botão ‘Save’ permite guardar, com o nome introduzido na caixa de texto ‘Essay ID’, em formato ‘.jpeg’ o ensaio escolhido em que são apresentados os parâmetros, as variáveis e quais os alarmes ou erros devolvidos pelo sistema. Reservou-se um espaço em branco na parte inferior do documento para notas técnicas e observações manuscritas.

Capítulo VI – Conclusões

Resumo: Neste capítulo final consideramos os métodos utilizados e os objetivos atingidos. Apresentam-se novas metodologias e soluções que dão os primeiros passos no mercado industrial e sugerem-se funcionalidades complementares que visam destacar o equipamento no futuro próximo.

VI.1 - Trabalho Realizado

Nesta dissertação estudou-se como os fabricantes de automatismos industriais se preparam para as necessidades deste novo mercado global e como adaptam os equipamentos e desenvolvem novas ferramentas para tomarem a dianteira da inovação tecnológica e funcional, junto dos seus clientes.

Para além das diferenças entre sistemas de fabricantes, todos pretendem simplificar e otimizar a configuração e a interação dos seus produtos. Existem várias agências que trabalham para que, num futuro próximo, sejam alcançados normas e padrões de funcionamento e segurança.

Tendo por base os objetivos propostos, e considerando o conversor como exemplo, foram revistas as funcionalidades dos elementos que o compunham, com especial foco para o controlador, que determina o funcionamento, e para o ecrã tátil, que representa a interface humano-máquina.

O protótipo foi concebido para adquirir e arquivar os estados das variáveis desejadas, e nesse sentido, foi elaborada uma análise profunda do funcionamento do conversor. As suas características e filosofia de operação influenciam a configuração, a velocidade de operação e a capacidade de armazenamento de dados.

Os ensaios experimentais realizados atestam a operabilidade normal do conversor em qualquer sistema compatível com ligação à internet.

Por último foram criadas ferramentas específicas para utilização dos dados adquiridos, deste tipo de conversor, permitindo que automaticamente um utilizador archive os ficheiros numa base de dados facilitando assim a pesquisa de eventos e a criação de relatórios.

VI.2 – Perspetivas para o futuro

A atual composição do conversor de potência poderá certamente ser otimizado e desenvolver novas funcionalidades no futuro próximo, de forma promover a satisfação dos clientes e a máxima rentabilidade e segurança para o fabricante.

Existem modelos mais avançados de controladores e interface gráficas que permitem de certa forma aproximar resultados aos aqui obtidos. Uma vez que os fabricantes de autómatos conhecem quais as ferramentas mais desejadas pelos seus clientes, como o relógio em tempo real para sincronização de equipamentos, a recolha de ficheiros e criação de bases de dados, a tendência será facilitar e apropriar o operador das ferramentas necessárias para obter o melhor rendimento possível de forma prática e segura.

VI.2.1 – Gateway eWON Flexy

O equipamento eWON Flexy é a nova gama dos *routers* industriais avançados, que permite aos fabricantes de máquinas monitorizarem e recolherem dados vitais para análise e manutenção preditiva. Com o registo de dados, alarmes, interface web integrada, scripts e ligação melhorada à internet, é uma solução modular para a aplicação inserida na *IoT*. Para além do acesso remoto VPN com serviços de ligação remota através da plataforma Talk2M, possibilita a criação de alarmes e notificações, leitura de dados da máquina associada, histórico de parâmetros enviados pelos operadores. A grande vantagem desta solução é a possibilidade de ser integrada com qualquer equipamento sem haver necessidade de reconfiguração, pois todos os aspectos devem ser programados no *router*. [15]



Figura 79- Router Industrial Flexy da eWON

VI.2.2 – EcoStruxure – Machine Advisory

Com base na sua experiência no segmento de OEMs (Original Equipment Manufacturer), a Schneider Electric apresenta o EcoStruxure Machine Advisor para oferecer eficiência e crescimento, transformando dados em informações importantes para os fabricantes de máquinas. O EcoStruxure Machine Advisor fornece uma estrutura para operação da máquina através de três funcionalidades principais:

Seguimento: os OEM's podem visualizar a localização de todas as suas máquinas, com acesso em tempo real à documentação e ao histórico, como listas de materiais, manuais, registros de manutenção e cronogramas de gestão de tarefas.

Monitorização: O *software* baseado na nuvem permite que os OEM's colem e visualizem dados da máquina em tempo real, fornecendo uma análise do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), *widgets* para desempenho e outras tendências e painéis para monitorizar a disponibilidade e a qualidade da máquina.

Fix (Correcção): um serviço habilitado por um aplicativo móvel, o 'Fix', para facilitar a manutenção e as operações com informações contextuais. Fornece a ajuda de procedimentos passo a passo, remotamente, fazendo uso da realidade aumentada. O Fix fornece acesso remoto ao *software* de engenharia em *cloud*, permitindo que os técnicos de serviço usem o "Software como serviço" para terem sempre a versão e bibliotecas corretas à mão.

O EcoStruxure Machine Advisor faz parte do portfólio de aplicações, análises e serviços da arquitetura habilitada para IoT da Schneider Electric: EcoStruxure Machine. EcoStruxure é uma plataforma e arquitetura de sistema aberta e interoperável. Foi implementado em mais de 480.000 locais, com o apoio de mais de 20.000 integradores de sistemas e desenvolvedores, conectando mais de 1.6 milhões de ativos sob gestão, através de mais de 40 serviços digitais. Esta ferramenta é de fácil configuração e integração e os custos de operação são tabelados e dependem do número de equipamentos instalados, assim como a frequência e tamanho dos dados transmitidos.

VI.2.3 – PLC Remote Access

A proposta da *PLC Remote Access* é uma tentativa de simplificar os procedimentos desenvolvidos nesta dissertação, e tenta contornar as abordagens tradicionais como configuração de *routers*, e conexões VPN, por se mostrarem confusas, de configuração complexa e manutenção dispendiosa, para indivíduos que nunca tenham contactado com o assunto. Esta solução oferece acesso remoto a controladores, periféricos associados, e vários tipos de interfaces a agentes responsáveis pelo suporte técnico. Asseguram que não existe necessidade de configurar as *gateways* da rede ou *routers* existentes, devido a um método encriptado e seguro de comunicações, mais seguro que uma ligação VPN porque o acesso é dedicado a um equipamento de cada vez. As vantagens apresentadas em relação a outras soluções são [16]:

- Não requer endereços IP estáticos;
- Não requer serviços de conexão VPN;
- Ao contrário das soluções VPN, funciona ainda que existam intervalos de endereço de sub-rede duplicados no terminal remoto;
- Fornece um método de conexão segura encriptada.



Figura 80 - Solução *PLCRemoteAccess*

VI.2.4 – Servidores OPC



Figura 81 - Fundação OPC

A Fundação OPC (*Open Platform Communications*) é o padrão de interoperabilidade para a troca segura e confiável de dados no espaço de automação industrial. Independentemente da plataforma, garante o fluxo contínuo de informações entre dispositivos de vários fornecedores. A OPC Foundation é responsável pelo desenvolvimento e manutenção deste padrão. Servidor OPC é um protocolo de comunicação para troca de dados, em que um servidor recebe, traduz e disponibiliza para clientes OPC. O programa funciona a partir de “tags” que representam um subconjunto de variáveis utilizadas pelos controladores. Existem duas variantes dos servidores OPC:

- OPC DA, acesso a dados, está a cair em desuso devido às suas limitações, é baseado numa arquitetura proprietária da Microsoft D-COM, e apenas permite a transmissão básica de dados e alarmes
- OPC UA, arquitetura unificada, é uma ferramenta livre e oferece uma comunicação mais completa em termos de segurança integrada, gestão de direitos de acesso, gestão de equipamentos associados, etc.

Existem alguns fabricantes de controladores que já integraram servidores OPC nos seus equipamentos. Quando nos referimos a clientes OPC, estes podem ser qualquer recetor de dados como um controlador, uma interface humano-máquina, um sistema SCADA ou uma base de dados. A desvantagem desta solução é a complexidade na configuração do projeto. Todas as variáveis devem ser configuradas nos ficheiros de declaração de variáveis do OPC. Será certamente um recurso útil no futuro devido à sua natureza neutra de grande compatibilidade no mercado, à sua facilidade de implementação, ampla disponibilidade e velocidade de transmissão de dados para toda a indústria. [17]

VI.3 – Sugestões para novas funcionalidades

Os próximos passos em direção ao futuro do controlo remoto e monitorização, considerando as características da máquina, são:

- Uma aposta numa gama avançada de controladores que permitirá que os dados sejam automaticamente registados numa base de dados em *cloud*;
- Criação de novas janelas interativas com amostragem gráfica dos últimos impulsos gerados;
- Criação de alertas por e-mail no decorrer de eventos e falhas do conversor;
- Introdução de um campo escrito na interface gráfica, para a entrada de comentários e notas automaticamente na base de dados;
- Criação uma base de dados para cruzar os parâmetros das ocorrências de todos os equipamentos, para de acordo com as práticas de fabrico promover a melhoria contínua e fiabilidade dos novos modelos de conversores.

Referências Bibliográficas

- [1] GTIA, “Industrie 4.0- Smart Manufacturing for the Future,” 2014.
- [2] E. A. (E. A. Parr, *Programmable controllers : an engineer’s guide*. Newnes, 2003.
- [3] K.-H. John and M. Tiegelkamp, *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*. Berlin: Springer, 2014.
- [4] J. Palma, “Introdução às Redes de Campo de Automação,” in *Folhas de Apoio, ISEL*, 2003.
- [5] I. C. Society, “Part 3 : Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA / CD) access method and physical layer specifications,” 2005.
- [6] Cisco Systems Inc., “Industrial Ethernet : A Control Engineer ’ s Guide,” 2011.
- [7] B. Galloway and G. P. Hancke, “Introduction to Industrial Control Networks,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 860–880, 2013.
- [8] SIEMENS, “Conceito de Indústria 4.0,” 2016.
- [9] IDC Technologies, *AUTOMATION Pocket Guide on Industrial Automation For Engineers and Technicians*. 207AD.
- [10] M. S. Naidu and V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1995.
- [11] S. Electric, “Modicon M241 Logic Controller - Programming Guide,” 2014.
- [12] H. • Automation and Control, “CSN Series Closed loop current sensor.”
- [13] TDK, “NTC thermistors for temperature measurement,” 2013.
- [14] “SoMachine - Getting & Setting Real Time Clock,” 2017.
- [15] eWON, “Flexy 205 - IIOT Gateway.”
- [16] RemotePLC, “How to Access PLC’s Remotely for Support Purposes,” 2017. [Online]. Available: <http://plcremote.net/>.
- [17] OPC Foundation, “What is OPC?,” 2017. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>.

Anexo A – Código Batch File – EPS Download Data

```

1  @echo off
2  title We are now downloading and converting Data
3  echo Wait a moment please.
4  md log_dat log_csv
5  rem Transfer Tool
6  C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\DataTransferTool -ip
   10.0.0.20:6000 -user op -pwd 123 -get
7  -optional -remotedatafolder Log -localfolder
   "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_dat" -r -delete -nobuildtree *.*
8
9  rem Data converter
10 C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\DataManager\DataConverter -i
   "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_dat" -o
   "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_csv" -ch -ct4
11
12 rem rename files
13 rename "C:\Users\Francisco\Desktop\Teste_Batch\log_csv\log_datLog_SOM.MYCONTROLLER.
   APPLICATION*.csv" "////////////////////.////////////////////.////////////////////*.csv"
14 pause

```

length: 738 lines: 14 Ln: 14 Col: 6 Sel: 0 | 0 Windows (CR LF) UTF-8 INS

Anexo B – Código VB.NET ‘Form1’

```
Imports System.IO
Imports System.Text
Imports System.Data.OleDb
Imports System
Public Class Form1
    Dim thedatatable As New DataTable
    Private Sub btnBrowse_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnBrowse.Click
        If (Folder.ShowDialog() = DialogResult.OK) Then
            FolderName.Text = Folder.SelectedPath
        End If
        renameFilesInFolder()
    End Sub
    Private Sub renameFilesInFolder()
        Dim i As Integer = 0
        For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.*.csv")
            If fileName.Contains("MODED") Then
                My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Mode" & i &
".csv")
            End If
            i = i + 1
        Next
        i = 0
        For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.*.csv")
            If fileName.Contains("EMERGENCY") Then
                My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Emer" & i &
".csv")
            End If
            i = i + 1
        Next
        i = 0
        For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.*.csv")
            If fileName.Contains("DOORD") Then
                My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Door" & i &
".csv")
            End If
            i = i + 1
        Next
        i = 0
        For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.*.csv")
            If fileName.Contains("FREQD") Then
                My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Freq" & i &
".csv")
            End If
            i = i + 1
        Next
        i = 0
        For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.*.csv")
            If fileName.Contains("TON_ND") Then
                My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "TonN" & i &
".csv")
            End If
            i = i + 1
        Next
    End Sub
End Class
```

```

    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("TON_P") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "TonP" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("LABMODE.FREQ") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "freq" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("NIMP") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Nimp" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("TOND") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "TON" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("VHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Vhmi" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("IIMPHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Iimp" & i &
".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
"*.csv")
        If fileName.Contains("TEMPARMHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Tarm" & i &
".csv")
        End If
    End If

```

```

        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("TEMPESTGHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Test" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("VPULSEHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Vphm" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("HORASD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "hour" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("DUTYD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "duty" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("DRIVEERRORD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Derr" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("MOD1DRVERRD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "1Mod" & i &
        *.csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
        "*.csv")
        If fileName.Contains("MOD2DRVERRD") Then

```

```

        My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "2Mod" & i &
        ".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
    "*.csv")
        If fileName.Contains("MOD3DRVERRD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "3Mod" & i &
            ".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
    "*.csv")
        If fileName.Contains("SHORTCIRCERRORD") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "ScEr" & i &
            ".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
    i = 0
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
    "*.csv")
        If fileName.Contains("VCAPHMID") Then
            My.Computer.FileSystem.RenameFile(fileName, "Vcap" & i &
            ".csv")
        End If
        i = i + 1
    Next
End Sub
Private Sub btnImport_Click_1(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnImport.Click
    DadosDataGridView1.DataSource = thedatatable
    For Each fileName As String In Directory.GetFiles(FolderName.Text,
    "*.csv")
        Dim thereader As New IO.StreamReader(fileName,
        System.Text.Encoding.Default)
        Dim Variable As String
        Variable = System.IO.Path.GetFileName(fileName)
        Dim sline As String = ""
        Do
            sline = thereader.ReadLine
            If sline Is Nothing Then Exit Do
            Dim thecolumns() As String = sline.Split(",")
            Dim newrow As DataRow = thedatatable.NewRow
            newrow("Timestamp") = thecolumns(0)
            newrow("Variable") = Variable
            newrow("Value") = thecolumns(1)
            thedatatable.Rows.Add(newrow)
        Try
            DadosTableAdapter.Insert(thecolumns(0), Variable,
            thecolumns(1))
        Me.DadosTableAdapter.Fill(Me._DataBase____machinenumber_DataSet.Dados)
        Catch ex As Exception
        End Try
    Loop
    thereader.Close()

```

```

        DadosBindingSource.DataSource = thedatatable
        Me.Text = thedatatable.Rows.Count & "Rows"

Me.DadosTableAdapter.Fill(Me._DataBase____machinenumber_DataSet.Dados)
    Next
End Sub
Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MyBase.Load
    With thedatatable
        .Columns.Add("TimeStamp", System.Type.GetType("System.String"))
        .Columns.Add("Variable", System.Type.GetType("System.String"))
        .Columns.Add("Value", System.Type.GetType("System.Decimal"))
    End With

Me.DadosTableAdapter.Fill(Me._DataBase____machinenumber_DataSet.Dados)
End Sub
Private Sub btnExit_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnExit.Click
    End
End Sub
Private Sub FolderBrowserDialog1_HelpRequest(sender As Object, e As
EventArgs) Handles Folder.HelpRequest
End Sub
Private Sub btnreport_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnreport.Click
    Dim MyForm As New Form2
    MyForm.Show()
End Sub
Private Sub DadosDataGridView1_CellContentClick(sender As Object, e As
DataGridViewCellEventArgs) Handles DadosDataGridView1.CellContentClick

End Sub
Private Sub btnclear_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnclear.Click
    DadosDataGridView1.DataSource = Nothing
End Sub
End Class

```

Anexo C – Código VB.NET ‘Form2’

```

Public Class Form2
    Private Sub btnSave_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnSave.Click
        GetFormImage(False).Save("C:\Users\Francisco\Desktop\Essay " &
TextBox2.Text & ".jpeg", System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Jpeg)
    End Sub
    Private Function GetFormImage(ByVal include_borders As Boolean) As
Bitmap
        Dim wid As Integer = Me.Width
        Dim hgt As Integer = Me.Height
        Dim bm As New Bitmap(wid, hgt)
        Me.DrawToBitmap(bm, New Rectangle(0, 0, wid, hgt))
        wid = Me.ClientSize.Width
        hgt = Me.ClientSize.Height
        Dim bm2 As New Bitmap(wid, hgt)
        Dim pt As New Point(0, 0)
        pt = PointToScreen(pt)
        Dim dx As Integer = pt.X - Me.Left
        Dim dy As Integer = pt.Y - Me.Top
        Dim gr As Graphics = Graphics.FromImage(bm2)
        gr.DrawImage(bm, 0, 0, New Rectangle(dx, dy, wid, hgt),
GraphicsUnit.Pixel)
        Return bm
    End Function

    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnexit1.Click
        End
    End Sub

    Private Sub Form2_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles
MyBase.Load
        Me.DadosTableAdapter.Fill(Me._DataBase___machinenumbers_DataSet.Dados)
    End Sub

    Private Sub TextBox1_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)
Handles TextBox1.TextChanged

    End Sub
    Private Sub btnrefresh_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
btnrefresh.Click
        Dim TStamp As String =
Form1.DadosDataGridView1.GetClipboardContent().GetText().Replace(ChrW(9),
",")
        TextBox1.Text = TStamp
    End Sub
End Class

```