

## Aplicação dos Conceitos da Indústria 4.0 na Manutenção de Edifícios de Consumo de Energia Quase Nula

José António Valente Teixeira

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia de Manutenção

Orientador(es):

Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Doutor Filipe Martins Rodrigues

Júri

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Setembro 2021



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

Aplicação dos Conceitos da Indústria 4.0 na Manutenção de  
Edifícios de Consumo de Energia Quase Nula

José António Valente Teixeira  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia de Manutenção

Orientador(es):

Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

Doutor Filipe Martins Rodrigues

Júri

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Especialista Nuno Paulo Ferreira Henriques

**Setembro 202**



## Resumo

O impacto da atividade humana no clima e na temperatura da Terra é cada vez maior. Os gases com efeito de estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis e da exploração intensiva de animais, são a principal causa do aquecimento global. A sua concentração aumentou 48% desde a era pré-industrial (1750) até aos dias de hoje. O abate indiscriminado de árvores afetou grandemente um dos sumidouros dos gases com efeito de estufa (GEE).

A União Europeia estabeleceu um compromisso com vista a reduzir as emissões dos GEE em aproximadamente 40% até 2030, face aos valores de 1990. Sendo os edifícios responsáveis por 36% das emissões totais dos GEE e por 40% dos consumos energéticos da União Europeia, como estratégia de longo prazo estão definidas metas para que a remodelação e construção de edifícios novos passe a ter necessidades quase nulas de energia, promovendo a melhoria do desempenho energético. Entre outros, impõe-se a realização de inspeções periódicas aos sistemas técnicos de climatização, ventilação e produção de energia. Estes sistemas devem cumprir requisitos e regras de instalação, manutenção, documentação de desempenho, avaliação periódica e monitorização dos consumos através de inspeções periódicas.

Este trabalho pretende criar uma metodologia de manutenção para os sistemas técnicos dos edifícios, integrando diferentes ferramentas de diagnóstico para avaliação de risco, monitorização e controlo, aplicação de sensores e leitura de dados, gestão de manutenção para auscultar a eficiência dos sistemas e acompanhamento de trabalhos de manutenção. Esta ferramenta traduz-se numa forma simples para os gestores de centros de dados e de tecnologias de informação perceberem melhor onde intervir e reduzir avarias, aumentando a eficiência dos sistemas.

O trabalho insere-se no âmbito da manutenção de edifícios, com caráter pró-ativo, nomeadamente preventiva, preditiva e de melhoramento. Esta metodologia será baseada em conceitos da Indústria 4.0 (Internet das Coisas, *Big Data*, *Cloud Computing* e Inteligência Artificial) e contará com o apoio de sistemas de produção de energia limpa e climatização de baixo consumo, com vista à otimização da vida útil dos edifícios, à redução de custos de manutenção e, em última análise, à satisfação dos utilizadores. Pretende contribuir ainda para uma nova abordagem de gestão da manutenção de edifícios através da implementação de uma gestão da manutenção utilizando *softwares* CMMS (Computerized Maintenance Management System) e transição para as tecnologias BIM (Building Information Model).

**PALAVRAS-CHAVE:** Indústria 4.0, Digitalização da Informação, Manutenção Preventiva, Controlo da Condição, BIM, CMMS, FMECA.

## **Abstract**

The impact of human activity on Earth's climate and temperature is increasingly profound. The greenhouse gases originated by the burning of fossil fuels and intensive animal farming are the main cause of global warming. As a matter of fact the concentration of greenhouse gases has increased 48% since the pre industrial era (1750) until today. The indiscriminate logging has greatly affected one of the greatest greenhouse gasses (GHGs) sink.

The European Union has made a commitment in order to reduce the emission of GHGs by about 40% until 2030 in relation to the emissions in 1990. As buildings are responsible for 36% of the total emissions of GHG and for 40% of the energy consumption in the European Union, long-term strategies and goals have been defined to ensure building remodelling and construction will result in buildings with nearly no energy consumption, thus improving energy performance. It is important to conduct regular inspections to the technical air-conditioning, venting and energy production systems, among others. These systems should fulfil installation, maintenance, performance documentation, regular assessment and consumption monitoring requirements.

The present work aims to create a maintenance methodology for the technical systems of buildings. The goal is to integrate different diagnosis tools to assess risks, monitor and control, apply sensors and read data, manage maintenance to check system efficiency. This tool represents a simple way for data centre and Information Technologies managers to understand better where to intervene and reduce malfunctions, thus increasing system efficiency.

This work takes place within the context of building maintenance, with a pro-active, preventive character and improvement-driven maintenance. This methodology will be based on 4D industry concepts (the Internet of things, Big Data, Cloud Computing and Artificial Intelligence) and backed up by clean energy production systems as well as energy-efficient climatisation systems, thus contributing to the optimisation of the lifespan of buildings, to the decrease of maintenance costs and ultimately to the users' satisfaction. Moreover, the current work aims to contribute to a new approach to the maintenance management area by means of CMMS (Computerized Maintenance Management System) software and a transition to the BIM (Building Information Model) technologies.

**KEY WORDS:** 4.0 Industry, Digitization of Information, Preventive maintenance, Condition control, BIM, CMMS, FMECA

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos os que contribuíram para a execução deste trabalho que assinala mais um passo na minha formação académica e profissional, nomeadamente:

- Aos orientadores professores Nuno Henriques e Filipe Rodrigues, aos quais expresso os mais sinceros agradecimentos pela indispensável orientação e conhecimento transmitido;
- Aos meus amigos da empresa Sem IR Lda, Dr. José Eduardo e ao Técnico Carlos Almoater, a minha gratidão pelo valioso contributo para este trabalho final de mestrado e por todo o conhecimento partilhado;
- Ao meu colega Eng.º Eletrotécnico Daniel Gaspar, da empresa TermogoD, os meus agradecimentos por ter partilhado os seus conhecimentos nos *softwares* Siemens;
- À minha família e amigos, por toda a motivação que sempre me transmitiram e pela compreensão com que aceitaram a minha dedicação a esta tarefa. A eles devo quem sou hoje.

# Índice

Resumo .....	I
Abstract.....	II
Agradecimentos .....	III
Índice .....	IV
Lista de Figuras.....	VI
Lista de Tabelas .....	VIII
Lista de Abreviaturas .....	X
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>1</b>
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivo do trabalho .....	3
1.3. Organização e estrutura do trabalho.....	3
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>7</b>
2. Estado da Arte.....	7
2.1. Indústria 4.0 .....	7
2.2. Manutenção de Edifícios.....	15
2.3. Tipologias de manutenção .....	18
2.4. Ferramentas de diagnóstico e deteção de falhas .....	27
2.5. Os edificios de necessidades quase nulas de energia .....	31
2.6. Os <i>softwares</i> de CMMS .....	33
2.7. Tecnologia BIM.....	35
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>39</b>
3. Metodologia .....	39
3.1. Metodologia de manutenção apoiada na I4.0.....	39
3.2. Funções lógicas de monitorização .....	47
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>55</b>
4. Estudo de um caso .....	55
4.1 Monitorização de sistemas técnicos.....	55

4.2. Monitorização de um sistema fotovoltaico .....	60
4.3. Análise de resultados .....	64
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>73</b>
5. Conclusão.....	73
5.1 Conclusões gerais.....	73
5.2 Barreiras a serem ultrapassadas para a implementação da manutenção 4.0 .....	74
5.3. Perspetivas e trabalhos futuros.....	74
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
Bibliografia .....	77
<b>Anexo I.....</b>	<b>79</b>
1. Plano de manutenção preventiva sistemático.....	79
<b>Anexo II .....</b>	<b>83</b>
1. Metodologia para elaboração de RCM com base em AMFCA .....	83
<b>Anexo III.....</b>	<b>89</b>
1. Plano de manutenção baseada na fiabilidade.....	89
<b>Anexo IV .....</b>	<b>93</b>
1. Sistemas de aquecimento .....	93
1.1. Sistemas de climatização .....	93
2. Ventilação .....	93
2.1 Ventilação Edifício .....	94
3. Sistemas de AQS.....	97
3.1. Instalação solar térmica.....	97
4. Sistema produção de energia renovável.....	101
4.1. Sistemas solares fotovoltaicos .....	101
<b>Anexo V.....</b>	<b>105</b>
1. Construção de um modelo BIM para um edifício.....	105
2. Simulação do método proposto para a Gestão da Manutenção com auxílio do BIM. ....	109
<b>Anexo VI.....</b>	<b>113</b>
1.Folhas de Calculo para determinar PRI, VAL e TIR.....	113

## Lista de Figuras

Figura 1 Evolução das Indústrias ao longo do tempo [3].....	7
Figura 2 As tecnologias da I4.0 baseiam-se na convergência e na aplicação de 11 tecnologias [6].....	11
Figura 3 “PwC 1ª edição” oportunidades na I4.0, nas cadeias de valor horizontal e vertical [6]. .....	14
Figura 4 Diagrama de RCM .....	22
Figura 5 Instalação de um transreceptor para monitorização (V-I) de um painel fotovoltaico [11]. ....	27
Figura 6 Análise de vibrações [12]. .....	27
Figura 7 Curva de tempo e deteção de avaria [13].....	28
Figura 8 Análise com câmara termográfica de AQS no coletor Solar. ....	29
Figura 9 Sensores de temperatura [14]. .....	30
Figura 10 Sensor UV [14].....	30
Figura 11 Os cinco conceitos da construção da Casa Passiva, aplicáveis a um NZEB [16].....	32
Figura 12 <i>Manutenção remota</i> [18]. .....	34
Figura 13 Imagem de tubagens software EcoDomus [19]. .....	35
Figura 14 Metodologia BIM [20].....	37
Figura 15 Metodologia de manutenção apoiada na I4.0. ....	40
Figura 16 Ativar servidor web no PLC Logo Siemens OBA8 (Adaptada do manual Logo Siemens). 44	
Figura 17 Aplicações BIM específicas para diversas fases do processo construtivo em nuvem. ....	45
Figura 18 Demonstração do exercício com o <i>software</i> LOGO! da Siemens .....	49
Figura 19 Gráfico da função interruptor de valor limiar analógico ( <i>software</i> LOGO! Siemens). ....	52
Figura 20 Menu de monitorização de temperaturas e de bombas de circulação ( <i>software</i> LWE).....	55
Figura 21 Programação LOGO! Siemens de sonda de depósito de inércia. ....	57
Figura 22 Parametrização de saída VW7 da sonda de temp. do depósito de inércia ( <i>Software</i> LWE). 58	
Figura 23 Programação do circuito de retorno.....	59
Figura 24 Programação do circuito da bomba de calor.....	60
Figura 25 Estrutura de teste para teste de sistema fotovoltaico. ....	61
Figura 26 Análise de painel solar com uma sombra de 1/3 da área. ....	62
Figura 27 Análise do painel fotovoltaico com inclinação de 35° e 25°.....	62

Figura 28 Histórico diário do rendimento do P.V.....	63
Figura 29 Desempenho de sistema solar fotovoltaico no centro de formação do IIEFP de Alverca. ....	63
Figura 30 Menu de manutenção das bombas circuladoras ( <i>software</i> LWE).....	64
Figura 31 Linha de tendência do PF de janeiro a fevereiro SIGFE. ....	66
Figura 32 Evolução da produção de energia durante o mês de janeiro.....	66
Figura 33 Valores de contrato de energia com a EDP comercial.....	68
Figura 34 Cálculo do RPN para a Manutenção Centrada em Fiabilidade. ....	86
Figura 35 Recuperadores de calor, com placas de fluxo cruzado [24]. ....	96
Figura 36 Esquema de funcionamento do sistema de captação solar [23].....	97
Figura 37 Localização dos componentes do sistema de circulação no circuito primário [23].....	99
Figura 38 Sistema de circulação forçada [25].....	100
Figura 39 Sistema em termossifão [25]. ....	100
Figura 40 Plataforma BIMserver.center definição da equipa de trabalho [20].....	105
Figura 41 Ciclo de gestão de projetos com aprovação pelo coordenador [20]. ....	106
Figura 42 Open BIM Layout ferramenta de criação de documentação [20].....	107
Figura 43 Ocorrência gerada no Open Model Checker redes de saneamento e pluviais [20]. ....	108
Figura 44 Open BIM Model checker histórico dos equipamentos de construção [20].....	109

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Ferramentas disponíveis para detecção de falhas nos sistemas, adaptado da referência [10].	25
Tabela 2: Perda de desempenho relativamente a cada modo de falha adaptado da referência [10].	.... 26
Tabela 3: Grandezas a monitorizar /número de sensores (sistema elétrico).	..... 42
Tabela 4: Grandezas a monitorizar /número de sensores (sistema térmico).	..... 42
Tabela 5: Grandezas a monitorizar num edifício.	..... 43
Tabela 6: <i>Softwares</i> BIM utilizados nas diversas especialidades	..... 46
Tabela 7 Função amplificador analógico ( <i>Software</i> LOGO! Siemens).	..... 47
Tabela 8 Descrição da função amplificador analógico ( <i>software</i> LOGO! Siemens).	..... 48
Tabela 9 Função comparador analógico ( <i>software</i> LOGO! Siemens).	..... 50
Tabela 10 Função interruptor de valor limiar analógico ( <i>Software</i> LOGO! Siemens).	..... 51
Tabela 11 Função controlador de horas de serviço ( <i>Software</i> LOGO! Siemens).	..... 52
Tabela 12: Passos de execução do modelo para monitorização de sistema AQS.	..... 56
Tabela 13: Procedimentos dos blocos LOGO! Siemens, circuito de AQS com depósito de energia.	.. 58
Tabela 14: Procedimentos dos blocos LOGO! Siemens para o circuito de retorno.	..... 59
Tabela 15: Procedimentos dos blocos LOGO! siemens para bomba de calor.	..... 60
Tabela 16 Total de energia gerada por dia, mês, ano e durante 20 anos.	..... 67
Tabela 17 Resumo das folhas de cálculo do anexo VI.	..... 69
Tabela: 18 Matriz de Severidade [21].	..... 83
Tabela 19: Níveis de Gravidade das Situações Potencialmente Perigosas [21].	..... 83
Tabela 20 Matriz de Probabilidade de Ocorrência [21].	..... 84
Tabela 21: Descrição da probabilidade de ocorrência [21].	..... 84
Tabela 22: Matriz de Detetabilidade [21].	..... 84
Tabela 23: Detetabilidade [21].	..... 85
Tabela 24: Matriz de Criticidade [21].	..... 86
Tabela 25: RPN [21].	..... 86
Tabela 26: Definição de estratégias conforma Manutenção Centrada em Fiabilidade [21].	..... 87
Tabela 27: Poluentes mais significativos e respetivas origens em edifícios [22].	..... 94

Tabela 28: Concentrações admissíveis de poluentes no interior de edifícios em Portugal [22]. .....	95
Tabela 29: Tensão do sistema FV em função da potência instalada. ....	101
Tabela 30: Passos para a gestão de manutenção com modelo BIM. ....	105
Tabela 31: Simulação de Gestão de Manutenção BIM. ....	109

## **Lista de Abreviaturas**

- APP APPlication (aplicação)
- AQS Sanitary Hot Waters (Águas Quentes Sanitárias)
- AVAC Heating, ventilation and air conditioning (Aquecimento, ventilação e ar condicionado)
- BD Data base (Base de dados)
- BIM Building Information Modeling (Modelagem de informações de construção)
- CAD Computer-aided design (Desenho auxiliado por computador)
- CBR Case Based Reasoning (Raciocínio baseado em casos)
- CMMS Computerized Maint. Management System (Sistema de Gestão de Manut. Informatizada)
- FM Facility Management (Gestão de instalações)
- FMECA Failure Mode Effect and Criticality Analysis (Análise do modo de falha efeitos e criticidade)
- FV Photovoltaic (Fotovoltaico)
- GEE Greenhouse gases (Gases com efeito de estufa)
- I4.0 Industry 4.0 (Indústria 4.0)
- IEFP Institute of Employment and Vocational Training (Instituto de Emp. e Formação Profissional)
- IFMA International Facility Management Association (Ass. Internacional de Gestão de Instalações)
- IoT Internet of Things (A Internet das Coisas)
- IP Internet Protocol (Protocolo de Internet)
- ISO International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
- LED Light Emitter Diode (Diodo emissor de luz)
- LNEG National Laboratory of Energy and Geology (Laboratório Nacional de Energia e Geologia)
- LWE Logo Web Editor (Editor logo de rede)
- MIT Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachuettts)
- X

MPPT Maximum Power Point Tracking (Rastreador de Máximo Ponto de Potência)

MTBF Mean Time Between Failures (Tempo médio entre falhas)

NIBS National Institute of Building Sciences (Instituto Nacional de Ciências da Construção)

NTC Negative Temperature Coefficient(Coeficiente de temperatura negativa)

NTC Negative Temperature Coefficient (Coeficiente de temperatura negativa)

NZEB Nearly-Zero Emission Buildings (Edifícios com necessidades quase nulas de energia)

OEE Overall Equipment Effectiveness (Eficácia global do equipamento)

PF Photovoltaic Panel (Painel Fotovoltaico)

PFM Portuguese Facility Management Asso. (Asso. Portuguesa de Gestão de Instalações)

PID Potential Induced Degradation (Degradação induzida por potencial)

PLC Programmable Logic Controller (Controlador lógico programável)

PRI Return on investment period (Período de retorno do investimento)

PTC Positive Temperature Coefficient (Coeficiente de Temperatura Positiva)

PTC Positive Temperature Coefficient (Coeficiente de temperatura positiva)

RCM Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada na Fiabilidade)

RPN Risk Priority Numb (Número de prioridade de risco)

RTD Resistive Temperature Detector (Detector de temperatura resistivo)

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition (Controlo de supervisão e aquisição de dados)

SCF Cyber-Physical Systems(Sistemas Ciber-Físicos)

SIGFE European Photovoltaic Geographic Information System (Sist. de Inf. Geográfica Fot.Europeu)

SQL Structured Query Language (Linguagem de consulta estruturada)

TCP Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)

TIR Internal rate of return (Taxa interna de rentabilidade)

TPM Total Productive Maintenance (Manutenção produtiva total)

UV UltraViolet (UltraVioleta)

VAL Net present value (Valor atualizado líquido)

# Capítulo 1

## 1. Introdução

Neste capítulo é descrita a estrutura deste trabalho.

### 1.1. Motivação

Os sistemas energéticos dos edifícios são responsáveis pela maior parte das emissões de dióxido de carbono (60% CO<sub>2</sub>) e é atribuído ao setor da construção a grande parte do consumo de energia a nível mundial, sendo necessário redirecionar os consumos de energia para sistemas mais eficientes e de produção de energia limpa [1].

A União Europeia (UE) está empenhada em desenvolver um sistema energético sustentável e descarbonizado. No quadro de ação relativo ao clima e à energia para 2030, a UE estabeleceu compromissos com vista a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (em pelo menos 40% até 2030, face aos valores de 1990), promover maior utilização das fontes de energia renovável e obter poupanças de energia, competitividade e sustentabilidade. Desta forma, através da revisão da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios, tornou-se prioritário a melhoria do desempenho energético dos edifícios e a otimização da utilização de energia nos sistemas técnicos. A mesma diretiva refere ainda a necessidade de os Estados-Membros estabelecerem compromissos para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia - *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEB). As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades [1].

Esta tomada de decisão da UE permite aos estados-membros o incentivo à análise e consideração de novos sistemas nos edifícios para a substituição ou melhoria dos sistemas existentes, do ponto de vista técnico, económico e funcional. Da mesma forma, torna pertinente a implementação de novos processos de manutenção, utilizando tecnologias de informação e comunicação baseadas no conhecimento da I4.0.

O presente trabalho insere-se no âmbito da gestão da manutenção, com especial ênfase para a manutenção de edifícios. As organizações necessitam de modelos de trabalho e de gestão, em função dos serviços e utilidades que as instalações prestam, tornando-se fundamental o desenvolvimento de modelos ajustados à gestão da manutenção das instalações que integrem as funcionalidades dos edifícios.

A maioria das habitações em grandes cidades encontram-se degradada e com muitas dificuldades para cumprirem a legislação que enquadra a conservação dos edifícios. De acordo com os Censos de 2001,

cerca de 80% dos edifícios foram construídos antes do primeiro regulamento térmico, Decreto-Lei n.º 40/1990 (INE - 2001), portanto, estes edifícios não cumprem as exigências de eficiência energética a que são obrigados os edifícios mais recentes, construídos a partir de 2006 e em conformidade com o sistema de certificação energética, Decreto-Lei n.º 78/2006 e Decreto-Lei n.º 79/2006. Devido à ausência de manutenção e conservação adequadas, grande parte deste património está em processo de degradação acentuado, necessitando de obras de reabilitação profundas e urgentes. Em termos funcionais, pode considerar-se que não cumprem os mínimos de conforto e salubridade para os seus atuais utilizadores, obrigando a elevados consumos de energia através de equipamentos de climatização.

A reabilitação energética de edifícios apresenta-se como a solução para a melhoria do desempenho energético destes edifícios, em paralelo com a adequação ao uso, seguida pela utilização de energias renováveis.

As medidas de reabilitação energética, devidamente estruturadas, além de conduzirem à redução das necessidades de energia de aquecimento e de arrefecimento, podem ter reflexos na melhoria das condições de conforto nos edifícios e na redução da potência dos equipamentos de climatização a instalar ou reabilitar. Têm ainda um impacto ambiental e para a saúde muito positivo ao permitir a redução das emissões de gases com efeito de estufa e a melhoria da qualidade do ar interior.

A combinação de medidas de diferentes tipos, como climatização, produção de energia, ventilação e reforço de proteção térmica e de humidade, em simultâneo, podem trazer sinergias ao permitir reforçar frequentemente o efeito de cada uma delas, tendo em conta que, por vezes, só quando se adota uma determinada medida, o efeito de outra é completamente assegurado [2].

A monitorização dos equipamentos tem contribuído para aumentar a eficiência e, conseqüentemente, a produtividade das intervenções de manutenção, operação e consumo de energia. Este novo impulso tecnológico assente no conceito Indústria 4.0 (I4.0) tem aumentado a confiança dos agentes económicos e junto da sociedade, criando uma tendência para acreditar numa nova revolução industrial. O conceito da I4.0 permite uma interação entre sensores, equipamentos e sistemas de tecnologia de informação através de protocolos de internet, conseguindo produzir informação em tempo real. Permite de igual forma prever falhas e obter uma otimização constante no processo de manutenção de edifícios, incrementando o processo de uma manutenção melhorada durante toda a vida útil dos edifícios, focada nos sistemas e equipamentos mecânicos de produção de energia. Conduz ao prolongamento da vida útil dos equipamentos e melhora a sua eficiência, reduzindo custos, a pegada ecológica e evitando, muitas vezes, riscos para a saúde [2].

No âmbito da I4.0, modelagem da construção pelo processo *Building Information Modeling* (BIM) permite representar em modelo 3D, conseguindo integrar as características e especificações dos equipamentos, auxiliando a gestão de manutenção no processo diagnóstico e análise de falhas da estrutura funcional do edifício.

## 1.2. Objetivo do trabalho

O presente trabalho pretende desenvolver processos de gestão de manutenção com base no conceito I4.0, para implementar na manutenção dos sistemas técnicos dos edifícios nas suas três principais vertentes energéticas:

1. Sistemas de aquecimento;
2. Sistemas de fornecimento de água quente;
3. Sistemas fotovoltaicos.

Para a supervisão do processo de informação sobre as condições dos equipamentos é apresentado um estudo baseado na monitorização de um sistema de aquecimento águas quentes sanitárias (AQS), com base num coletor solar e apoio de uma bomba de calor. Neste sistema são aplicados vários sensores de temperatura monitorizados por um controlador inteligente da Siemens que possibilitam otimizar a programação das bombas de calor juntamente com o armazenamento de energia térmica e ajusta a produção de energia ao ponto máximo de maior produção. Permitem ainda registar as condições de funcionamento e horas de funcionamento para manutenção preventiva.

Para monitorizar e executar a manutenção dos equipamentos nos edifícios, este estudo sugere o desenvolvimento de um modelo virtual do edifício em questão para gerir informação relativa à manutenção dos elementos construtivos, através da tecnologia da nuvem de bases de dados, *Computerized Maintenance Management System* (CMMS) e *softwares* BIM.

Para análise da informação recolhida pelos diversos tipos de sensores, este trabalho recorre a técnicas de Análise do Modo de Falha Efeitos e Criticidade (FMECA) ou a uma análise de manutenção centrada na fiabilidade, designada pela terminologia inglesa *Reliability Centered Maintenance* (RCM), na fase de projeto ou na fase de utilização, permitindo a tomada decisão para futuras operações de manutenção ou de monitorização.

## 1.3. Organização e estrutura do trabalho

O trabalho encontra-se estruturado em seis capítulos.

## Capítulo 1 - Introdução

Este capítulo enquadra a motivação para o estudo de um método de manutenção baseada na I4.0 para a construção e reabilitação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, utilizando *softwares* BIM para apoio a manutenção.

## Capítulo 2 – Estado da Arte

O capítulo 2 contempla o estado da arte com potencialidades para aplicação na manutenção preditiva, planeada e de melhoria para os sistemas técnicos dos edifícios e caracteriza as tecnologias aplicadas na I4.0, nomeadamente:

1. Grande volume de dados;
2. Análise Avançada;
3. Sistemas Ciber-Físicos;
4. IoT (Internet das coisas);
5. Computação em nuvem;
6. Segurança;
7. Realidade aumentada.

De seguida, o capítulo começa por caracterizar o nível de maturidade das empresas para se desenvolverem com tecnologias baseadas na I4.0.

O capítulo caracteriza ainda as várias tipologias da manutenção e desenvolve diversas ferramentas de diagnóstico para apoio à decisão nas diversas tipologias de manutenção:

1. Análise de vibrações;
2. Termografia;
3. Sensores.

O capítulo continua com um resumo dos sistemas de aquecimento e geração de energia em edifícios NZEB. Tem em consideração a incorporação de sistemas mecânicos e elétricos de modo eficiente com a utilização de energias renováveis de forma a reduzir a produção de CO<sub>2</sub> e manter o conforto do edifício de acordo com a tipologia de utilização. Os sistemas que melhor contribuem para diminuir significativamente os consumos energéticos dos sistemas técnicos são:

1. Sistemas de aquecimento
  - a. Climatização por AVAC
  - b. Ventilação
  - c. Coletores solares térmicos

2. Sistemas de produção de energia
  - a. Painéis solares fotovoltaicos

No capítulo pretende-se operacionalizar a gestão da manutenção de edifícios através da metodologia BIM e CMMS numa lógica de manutenção para a I4.0, com base na pesquisa e análise bibliográfica sobre o tema. Apresenta o conceito da metodologia, os seus múltiplos domínios, a sua aplicação e normalização. Caracteriza-se os modelos BIM através da aplicação do Cype e o BIM 360 da Autodesk. Por fim, descreve o modo como os diferentes sistemas tecnológicos BIM podem integrar o processo de gestão de manutenção, assinalando as diferenças entre os dois processos, um mais adaptado aos processos de manutenção através do BIM Autodesk e o outro com melhores características ao cumprimento da legislação nacional pelo Cype.

O capítulo estuda ainda a forma de sistematizar e centralizar toda a informação sobre a gestão de manutenção com base no *software* de CMMS da Navaltik, utilizando os recursos disponíveis no site da empresa.

### Capítulo 3 – Metodologia

O capítulo estabelece uma metodologia de trabalho com a descrição dos principais critérios na criação de um modelo para a implementação da manutenção baseada na I4.0 em edifícios com necessidades quase nulas de energia, nomeadamente, nos seus sistemas técnicos.

A aplicação de FMECA apresenta-se como uma ferramenta fundamental para determinar o tipo de sensibilização a aplicar nos sistemas técnicos dos edifícios e a forma como os dados são recolhidos e utilizados na manutenção. A FMECA operacionaliza a monitorização em três grandes áreas: os sistemas de consumo de energia, os sistemas térmicos e os sistemas de comportamento térmico arquitetónico. Nesta análise, são estabelecidos os tipos de sensores a utilizar na monitorização, o tipo de sinal para informação e a respetiva localização. Este capítulo sugere a utilização dos aplicativos BIM, como forma de mitigar operações de manutenção ao longo da vida útil do edifício, aproveitando as valências destes aplicativos já numa etapa de grande desenvolvimento nas fases de projeto. Como a supervisão do processo de monitorização dos sistemas técnicos é executada por um PLC da Siemens, são descritas as principais funções que permitem recolher os dados de um sistema térmico do edifício pelas sondas de temperatura.

### Capítulo 4 - Estudo de um caso

Este capítulo apresenta um trabalho de monitorização de um coletor solar com apoio de uma bomba de calor para produção de AQS, que atua sempre que o sistema baixa a temperatura de referência. A monitorização não teve como base uma FMECA, mas sim a experiência da empresa que o implantou

e as exigências do cliente. No entanto, neste mesmo capítulo, são apresentadas algumas sugestões que permitem melhorar a operacionalização do sistema para a função manutenção. O Capítulo 4 faz ainda a simulação da monitorização de um Pannel Fotovoltaico (PF), baseando-se num protótipo com um PF de 240 W de potência, tensão de 30,3 V e corrente eléctrica de 7,95 A, acoplado a uma estrutura de suporte do PF que permite simular inclinações diversas com vista a estudos da melhor posição a que se adequa ao perfil de produção de energia. Analisa ainda perdas de tensão e corrente eléctrica devido a sombreamentos e sujidades. O capítulo termina com uma análise de custos ao sistema de apoio com PF em autoconsumo e demonstra a rentabilidade do apoio fotovoltaico e a influência da monitorização na rentabilidade destes sistemas.

#### Capítulo 5 - Conclusão

O último capítulo pretende sistematizar o processo de monitorização em estudo, implementação do sistema de automação de AQS e bomba de calor e do apoio do PF de autoconsumo. Este estudo permite demonstrar que a manutenção preditiva apoiada em I4.0 tem potencial para a deteção de sinais de falha, baseados em informações digitais transmitidas por sensores a PLC e aplicativos BIM, permitindo às organizações o tratamento dos dados para apoio à manutenção e possível deteção de falhas críticas, estabelecer tipos de manutenção e reduzir custos de investimento.

Este capítulo pretende ainda identificar a necessidade de criar uma organização orientada para o registo e tratamento de dados que apoiem decisões de trabalhos de manutenção e a necessidade de formação de técnicos.

# Capítulo 2

## 2. Estado da Arte

Neste capítulo serão caracterizadas algumas das tecnologias da I4.0 e seguidamente será feita uma análise simplificada sobre os principais conceitos e tecnologias abordados neste trabalho de fim de curso.

### 2.1. Indústria 4.0

O conceito I4.0 surgiu na Alemanha através de um projeto desenvolvido por universidades, empresas e governo alemão com o objetivo de modernizar a Indústria Alemã. O termo I4.0 traduz-se no desenvolvimento constante de uma rede inteligente que opera em tempo real e que interliga pessoas, objetos e sistemas. As redes inteligentes permitem interligar máquinas, sistemas de produção e equipamentos, permitindo o controlo de produção de forma inteligente.

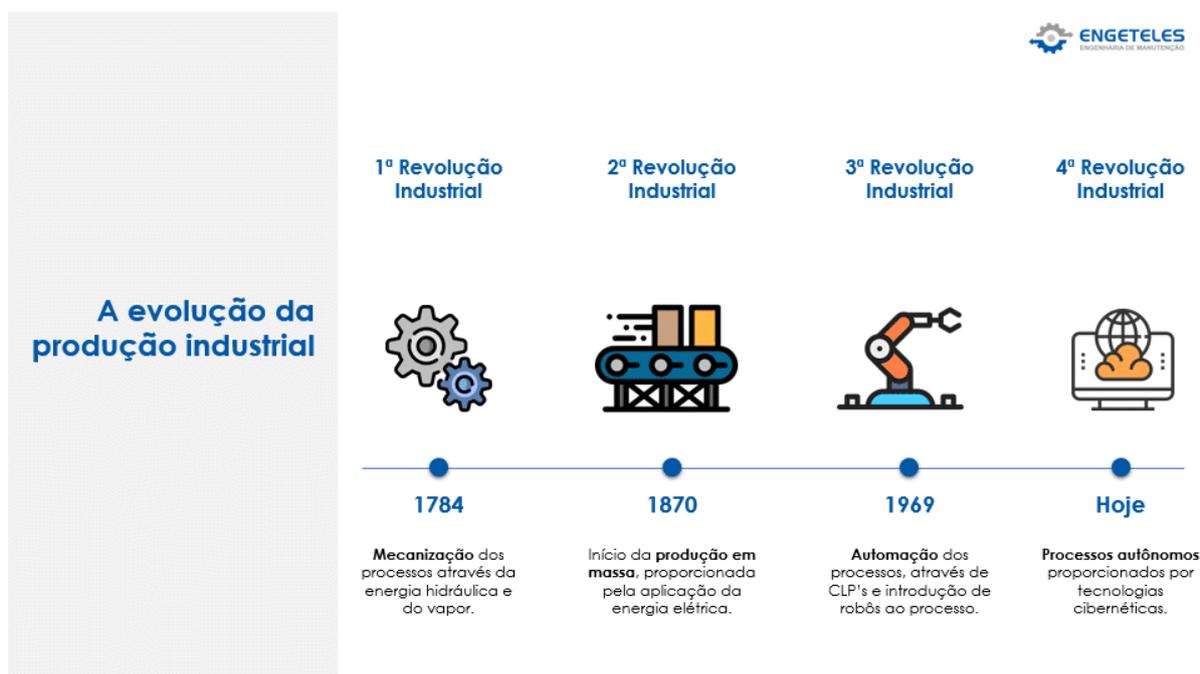


Figura 1 Evolução das Indústrias ao longo do tempo [3].

A I4.0 é a revolução que sucede às três revoluções industriais da história (Figura 1). Na primeira revolução industrial, ocorreu a mecanização da produção fazendo uso da energia hidráulica e a vapor. A segunda revolução industrial começou com a especialização do trabalho passando a produzir-se produtos em série, facultando uma redução ao nível de custos. Descobriram-se novos processos de produção de energia através do petróleo (motor de combustão), da água (barragens hidroelétricas) e do urânio (energia nuclear). Na terceira revolução industrial surgiu a digitalização que permitiu a

automação dos processos através de PLC e a substituição de mão de obra especializada pela introdução de robôs, os quais realizam trabalhos mais precisos e minuciosos. Passou-se a produzir mais em menos tempo, reduzindo custos ao produto final. A quarta revolução industrial, conhecida por I4.0, surge na anterior década e trata-se de uma evolução dos sistemas de produção caracterizados pela automação total das fábricas com aplicação de sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas (IoT), armazenamento de banco de dados na nuvem, e possibilita a obtenção de informações de todos os processos em tempo real. Os processos de fabricação são otimizados, caso a caso, em toda a rede de valor. Além disso, ao invés de ter de parar a produção, os sistemas podem ser otimizados continuamente durante a produção em termos de consumo de recursos, de energia ou da redução de emissões [4].

### 2.1.1. Caracterização das tecnologias da I4.0

A I4.0 aplicada aos sistemas técnicos dos edifícios pretende promover uma integração de tecnologias físicas com as digitais (Figura 2), originando ganhos significativos de eficiência através de processos inteligentes de manutenção. Dentro destas tecnologias, as que mais se evidenciam são:

**Grande volume de dados** – Representa a área de conhecimento que estuda como tratar, analisar e obter informação a partir de um conjunto de dados que são armazenados a cada instante, resultantes da existência de milhões de sistemas atualmente ligados em rede. Com os sistemas informáticos que existem atualmente e redes de comunicação abrangentes, é possível obter e armazenar de forma rápida esta grande quantidade de informação. Esta informação é de grande importância na definição de estratégias de marketing, produtividade, redução de custos e de tomada de decisões inteligentes, nomeadamente para apoio à produção e manutenção. O seu tratamento e análise em tempo real irão permitir aos gestores tomar decisões com mais precisão e confiança, extraíndo, desta forma, valor desta informação.

**Análise avançada** – Usa um conjunto de métodos e técnicas avançadas para prever decisões futuras, através de técnicas científicas, baseadas em estatísticas, algoritmos de otimização e análise de cenários. A deteção de acontecimentos é uma tarefa automática que valida amostras de acontecimentos e determina a probabilidade de estes serem repetidos no futuro. O modelo de análise mais conhecido para aplicação aos sistemas de manutenção de edifícios é a análise preditiva. Este modelo estuda a correlação entre dados e, com base nesta informação, prevê cenários futuros que permitem tomadas de decisões. Os modelos mais utilizados para obter informação para uma análise preditiva são:

1. Dados estatísticos
2. Histórico
3. Inteligência Artificial

Assim, é possível detetar comportamentos dos sistemas dos edifícios e prever tendências para futuras intervenções.

**Sistemas Ciber-Físicos (SCF)** – São sistemas que permitem a combinação entre componentes de *software* com a parte mecânica ou eletrónica das máquinas, geralmente por via de sensores. Os sistemas integram entidades físicas, como mecanismos e robots, monitorizados por algoritmos de computador, que otimizam a tomada de decisão e gerem os processos. Na prática, os SCF funcionam em termos gerais da seguinte forma: os sensores geram dados sobre o funcionamento de determinada máquina ou sistema, os computadores e as redes integradas monitorizam os processos físicos para uma tomada de decisão através de atuadores. São muito utilizados em grandes infraestruturas com operações dispendiosas, geração e transporte de energia elétrica e indústrias de bens e serviços críticos.

**Internet das coisas** – A IoT é um conceito muito semelhante aos SCF e significa interligar os aparelhos do dia-a-dia, máquinas, equipamentos de transporte, eletrodomésticos e pequenos objetos de uso diário à internet, interagindo entre si e “lendo” o ambiente à sua volta através de sensores (temperatura, humidade, variação de tensão, etc.). Imagine-se um mundo com biliões de objetos que podem comunicar e partilhar informação com tudo interligado em rede. A internet é não só uma rede de computadores como evoluiu para uma rede de dispositivos de todos os tipos e tamanhos, veículos inteligentes, telefones, eletrodomésticos, brinquedos, câmaras, instrumentos médicos e sistemas industriais, pessoas, edifícios, todos conectados, comunicando e partilhando informações com base em redes públicas e privadas de protocolos (IP). Estes objetos possuem dados que podem ser recolhidos regularmente, analisados e usados para planeamento, gestão e tomadas de decisões.

**Computação em nuvem** – A computação em nuvem é um sistema informático em que o armazenamento de dados é efetuado em servidores especializados (*Cloud computing*). O armazenamento pode ser acedido em qualquer lugar do mundo, a qualquer hora, não havendo necessidade de instalação de programas ou de armazenar dados. O acesso a programas, serviços e arquivos é remoto, através da Internet - daí a alusão à nuvem. A computação na *cloud* é um fornecimento de serviços informáticos, incluindo servidores, armazenamento, bases de dados, rede, *software*, análises e inteligência, através da Internet.

**Segurança** – Um dos principais desafios para a I4.0 está relacionado com a segurança e robustez de todo o sistema e da informação. A combinação de sistemas físicos e digitais na manutenção possibilita a interoperabilidade em tempo real dos sistemas, mas leva a um risco de ataques cibernéticos. Os SCF, devido à enorme quantidade de dispositivos ligados, possuem uma superfície de ataque muito ampla, aumentando a vulnerabilidade à exposição de agentes mal-intencionados. As principais características que contribuem para um cenário de insegurança são as seguintes:

1. Interface homem-máquina;
2. Códigos maliciosos;
3. Senhas fracas;
4. Ataques baseados na *web*;
5. Falhas de configuração;
6. Monitorização e roubo de dados;
7. Acesso físico;
8. Ataques aos sistemas de comunicação;
9. Comunicação entre máquinas.

As motivações que fundamentam estes ataques cibernéticos são normalmente de natureza política ou interesse económico. Toda esta interligação acarreta desafios para a segurança de toda a rede: com informação crítica a circular, é necessário garantir que a mesma é fidedigna, protegida e disponibilizada em tempo real.

**Realidade aumentada** – Estes sistemas fornecem ao trabalhador uma visão muito próxima da realidade. Esta visão consegue ser obtida por sistemas informáticos de elevado processamento e *softwares* próprios e pode ser reproduzida em telemóveis, tablettes, etc. através de uma ligação Wi-Fi à nuvem, permitindo assim uma consulta virtual do trabalho a executar. Os sistemas de realidade aumentada podem ter várias aplicações e, no caso da manutenção de sistemas técnicos de edifícios, são utilizados para o envio de ordens de manutenção para os dispositivos móveis. O conceito fornece assim aos trabalhadores informação em tempo real com uma melhor perceção da avaria, melhorando os procedimentos a utilizar pelo trabalhador na reparação.

A interligação destas tecnologias (Figura 2) cria condições para a criação de sistemas inteligentes em edifícios de habitação ou de serviços, onde, por exemplo, os Sistemas controlam os processos de manutenção e tomam decisões com base no algoritmo definido. A IoT interliga os sistemas técnicos através de uma rede IP, comunicando e partilhando dados através de nuvens, que, depois de analisados servem para tomadas de decisão. Os *softwares* para aplicações de gestão de manutenção caminham nas tendências da I4.0, encurtando a fronteira entre os sistemas físico, digital e o Homem [5].



Figura 2 As tecnologias da I4.0 baseiam-se na convergência e na aplicação de 11 tecnologias [6].

### 2.1.2. Impactos da I4.0

O ponto central de uma revolução industrial é o aumento de produtividade associado à redução de custos. A indústria I4.0 irá permitir novas formas de criar valor e emprego, modificando as competências dos trabalhadores, no sentido em que a maior parte das suas funções serão substituídas por processos físicos ou por funcionários com outras características, permitindo, dessa forma, criar novas oportunidades e serviços. Assim, poderemos ter:

1. Redução de funções repetitivas;
2. Novos postos de trabalho;
3. Pessoas mais especializadas;
4. Mudanças demográficas no local de trabalho;
5. Aumento da produtividade;
6. Equilíbrio trabalho-vida.

Os principais pontos negativos nesta revolução industrial incidem na extinção de um elevado número de postos de trabalho, difícil de pôr em prática com as atuais políticas existentes, bem como num elevado investimento em processos de produção e manutenção baseados em SCF e IoT e falhas de segurança ou erros de programação.

### 2.1.3. Implementação da I4.0

Segundo CGI Group INC, existem características que estão relacionadas com o nível de maturidade em relação à implementação da I4.0, definindo cinco patamares por onde uma empresa passa no processo de transformação.

**Ignorar:** Os departamentos atuam como entidades autónomas. Estes formulam as suas próprias estratégias e os seus planos de trabalho. Também têm os seus próprios sistemas e armazéns de dados. O foco é a execução das tarefas da unidade organizacional. Existe proteção de rede básica, pois os equipamentos e sistemas de produção não estão conectados à internet. A capacidade de passar para o próximo nível de maturidade depende da consciência, dos interesses, do conhecimento e das capacidades dos indivíduos [7].

**Explorar:** Os departamentos começam a colaborar, a compartilhar dados, a integrar aplicações e a experimentar novas tecnologias da I4.0. A integração das plataformas IT e IoT é utilizada para reunir e analisar dados. Aplicações e a infraestrutura são fornecidas com garantias de segurança cibernética [7].

**Padronizar:** Os departamentos e as funções colaboram na empresa toda. Além disto, a organização define uma estratégia corporativa, uma arquitetura de referência e padrões de dados da I4.0 para uma automação de processos de dados e de ponta a ponta. Os equipamentos e sistemas de produção estão conectados às plataformas IoT. Existe proteção de aplicações e da infraestrutura na empresa [7].

**Adotar:** Este nível é caracterizado pela colaboração entre empresas em todo o ecossistema comercial. A organização define uma estratégia I4.0 e uma arquitetura de referência para o ecossistema comercial. Os dados são compartilhados em tempo real entre os limites da empresa. As aplicações baseadas nas plataformas IoT oferecem serviços adicionais e os modelos preditivos são usados para apoiar a tomada de decisões. Existe uma proteção de informações com conhecimento de identidade [7].

**Adaptar:** Estas empresas estão no mais alto nível de maturidade e lideram o ecossistema comercial. Introduzem novos produtos, serviços e modelos de negócios, que são baseados na automação da cadeia de valor. Os modelos impostos são usados para simular e otimizar o negócio. Existe um controlo de segurança adaptável e automatizado [7].

O grande desafio da I4.0 é colecionar todos os dados considerados relevantes, processá-los, transformando-os em conhecimento. Esta atividade requer sistemas tecnologicamente evoluídos, providos de capacidade de processamento em tempo real e algoritmos sofisticados [7].

#### 2.1.4. O fator Humano na indústria

Na introdução às recentes tecnologias da nova I4.0, pode haver perdas em relação ao número de empregos em alguns setores. Este cenário surge, porque a tarefa que antes era manual passa a ser substituída por novas tecnologias, como os dados digitais, ou pela conectividade. Nesta nova fase, existe a ideia de que o papel do ser humano é irrelevante. O papel do ser humano na linha de produção automatizada pode ser encontrado na interface homem-máquina, na tarefa de controlo e de

coordenação. No entanto, nos atuais e nos futuros cenários de produção no sentido da revolução da I4.0, são necessárias outras competências, que devem ser abordadas para que os atuais responsáveis e trabalhadores das organizações lidem com os desafios do sistema de produção, que está cada vez mais digital. As organizações necessitam que os seus colaboradores adquiram as competências e capacidades necessárias para conseguirem tirar benefício da I4.0. Uma organização que pretende aprender continuamente é aquela onde as pessoas aproveitam na totalidade o seu potencial e treinam a aprendizagem em conjunto [6].

A automação de processos, a interação com as máquinas inteligentes e o uso de sistemas de assistência como parte da I4.0 vão mudar fundamentalmente os locais de trabalho da maioria dos funcionários e vão implicar novos requisitos de qualificações, de segurança e de proteção de dados, bem como regulamentos flexíveis de tempo de trabalho. A revolução da I4.0 pode não sobreviver se não houver capital humano com o conhecimento e com as habilidades necessárias para transformar conceitos abstratos em realidade, para facultarem valor à organização. O sucesso ou fracasso da revolução I4.0 depende inteiramente de como o capital humano contribui para o sucesso e produtividade. O capital humano representa o valor coletivo das competências, do conhecimento e das habilidades [7].

#### 2.1.5. Oportunidades na I4.0

Hoje, as soluções mais promissoras da I4.0 são a gestão de energia e a previsão da manutenção, em combinação com sistemas de produção. Isto foi visível em Hannover Messe, em abril de 2016, onde a monitorização de condições, manutenção preditiva e gestão de energia foram os casos de uso mais comumente mostrados.

O uso de sensores para determinar quando o equipamento precisa ser intervencionado pode evitar avarias e reduzir a rotina de custos de manutenção. Com sensores embutidos conectados à Internet, é possível monitorizar a produção remotamente e em tempo real. Isso permite uma manutenção preditiva, onde modelos analíticos podem ser aplicados para prever zonas de intervenção da manutenção. Nesse caso, recomendações podem ser enviadas aos departamentos de operações, manutenção e TI para resolver uma falha, mesmo antes que ela ocorra. Ao fazer isso, custos operacionais e de capital podem ser reduzidos, facilitando a manutenção proativa e a reparação de equipamentos, aumentando a capacidade produtiva, (Figura 3).

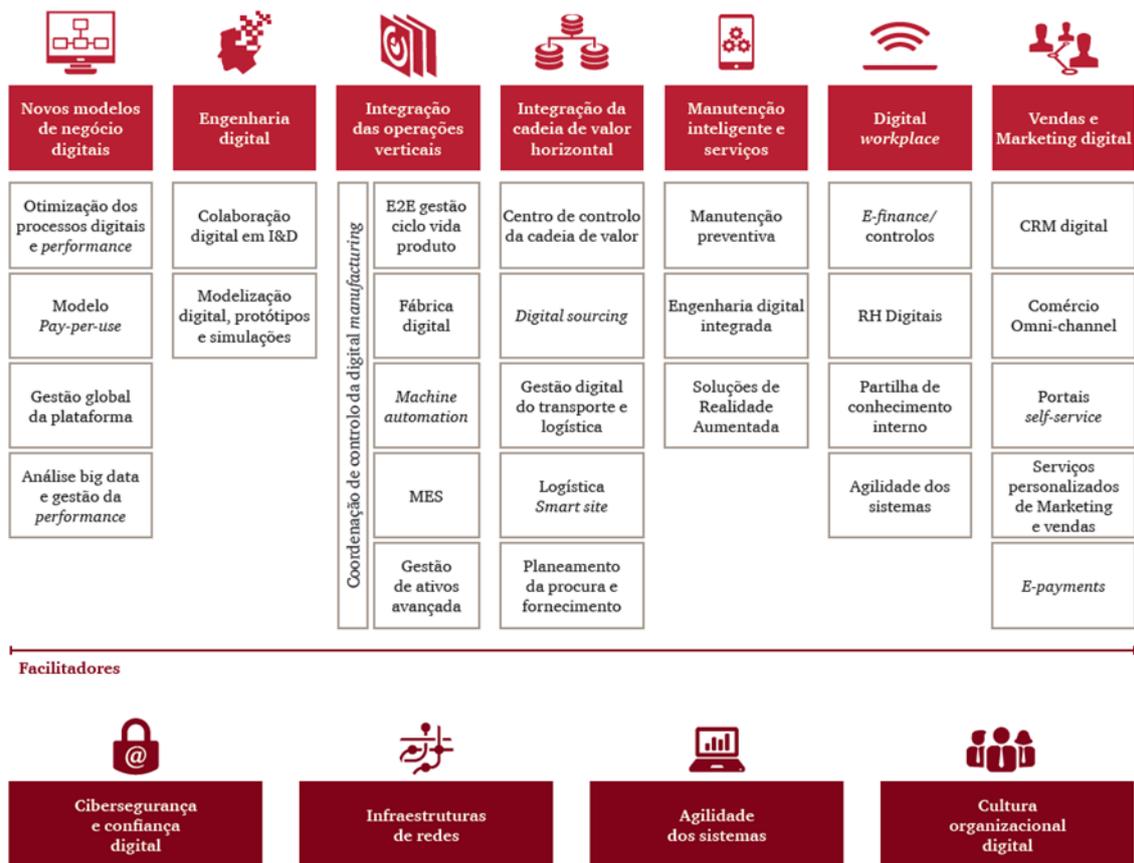


Figura 3 “PwC 1ª edição” oportunidades na I4.0, nas cadeias de valor horizontal e vertical [6].

A CGI, juntamente com a Microsoft, desenvolveu uma solução de manutenção, usando os sistemas mais recente IoT e aplicando uma abordagem de manutenção mais proativa e preditiva, orientada por dados em tempo real. A solução baseia-se na extração de dados de sensores inteligentes, que gera informações valiosas usando análises e que disponibiliza as informações para técnicos de serviço por meio de painéis baseados na nuvem. O sistema, embora tenha sido implementado numa empresa de elevadores, resultou na redução do tempo de inatividade do elevador e melhoria no planeamento de recursos para manutenção e previsão de custos [6].

O consumo de energia nos sistemas técnicos dos edifícios pode ser facilmente monitorizado através de sensores em instalações e equipamentos dos sistemas. O registo do consumo de energia pode também ajudar a detetar falhas no equipamento. De acordo com pesquisa da McKinsey & Company, PWC e Roland Berger, a gestão da energia usando a IoT pode reduzir os custos de energia da fábrica em 10 a 30% e em manutenção planeada [6].

### 2.1.6. Solução inteligente de manutenção preditiva I4.0

A manutenção preditiva é um conjunto de atividades que detetam alterações na estrutura física e na condição do equipamento (sinais de falha), a fim de realizar os devidos trabalhos de manutenção para maximizar a vida útil do equipamento sem aumentar o risco de falha [5].

É classificado em dois tipos, de acordo com os métodos de detecção de sinais de falha [5]:

- a) Manutenção preditiva baseada em estatística;
- b) Manutenção preditiva baseada em condições.

A manutenção preditiva baseada em estatística depende de dados estatísticos do registo metuculoso das paragens dos itens e componentes internos do sistema de produção para desenvolver modelos para prever falhas, enquanto a manutenção preditiva baseada em condições (também chamada de manutenção baseada em condições) depende das condições de monitorização contínua ou periódica do equipamento para detetar sinais de falha e tomar decisões de manutenção [5].

Uma solução inteligente de manutenção preditiva abre possibilidades inovadoras para as empresas. Os dados gerados pelo SCF são transmitidos e monitorizados pelos sistemas IoT para detetar quaisquer padrões que indiquem uma possível falha nos sistemas.

## 2.2. Manutenção de Edifícios

A manutenção em edifícios tem sido usada apenas quando uma patologia impossibilita o uso total ou parcial do equipamento do edifício em questão. Para que um edifício cumpra as suas funcionalidades, procura-se que as intervenções de manutenção sejam executadas periodicamente, e não somente quando o bom funcionamento do edifício é posto em causa, e que os seus sistemas reajam no sentido de evitar ocorrências.

Uma construção é resultado de um projeto específico, com uma utilização definida e dotado de instalações e equipamentos em que a sua manutenção é uma atividade importante. Os edifícios são, cada vez mais, dotados de um grande número de equipamentos, que devem funcionar sempre que solicitados e sem interrupções, com o intuito de proporcionar conforto e melhor qualidade de vida.

Qualquer equipamento, sistema ou instalação está sempre sujeito a um processo progressivo de manutenção em consequência da sua utilização. Isto requer que sejam executadas reparações, correções de defeitos, substituições de órgãos, lubrificações, limpezas, inspeções, rotineiras... para repor a operacionalidade.

A Organização Internacional de Normalização (ISO) define também manutenção como sendo a “combinação de ações técnicas e respetivos procedimentos administrativos que, durante a vida útil de um edifício, se destinam a assegurar que este desempenhe as funções para que foi dimensionado.” [ISO 6707-1, 1989].

### 2.2.1. Gestão de instalações

A gestão de instalações conhecida por *Facility Management* (FM) surge pela necessidade de melhorar e otimizar processos, produtos ou serviços das organizações e é uma atividade interdisciplinar, dedicada principalmente à manutenção e conservação de edifícios, com o objetivo de garantir a funcionalidade da construção, durante o máximo tempo do seu ciclo de vida. O responsável pelo FM dos edifícios tem a seu cargo toda a gestão técnica relacionada com todos os aspetos do edifício.

A Associação Internacional de Gestão de Instalações (IFMA), cuja nomenclatura anglo-saxónica se descreve por International Facility Management Association), explica que se trata de um campo de gestão caracterizado por múltiplas disciplinas para assegurar a funcionalidade do ambiente construído por meio da integração de pessoas, lugar, processos e tecnologia.

O objetivo da FM é conseguir agregar as operações de manutenção nas proporções ideais com um padrão de desempenho a um custo mínimo, sendo que este custo não é apenas o custo da manutenção, no sentido contabilístico, mas sim o custo da manutenção mais a soma dos custos indiretos da manutenção e dos benefícios obtidos com as melhorias [8].

Este objetivo, normalmente, só pode ser procurado nos domínios da manutenção planeada e preditiva, isto é, aquela em que a gestão pode intervir efetivamente. Na manutenção não planeada, designadamente na manutenção corretiva ou curativa, a gestão faz-se entre os acontecimentos, que são aleatórios e variadíssimos, em vez de os determinar. A manutenção de edifícios é assim uma tarefa complexa, não só porque a identificação e análise de todos os modos de falha da construção exigem um esforço considerável dos agentes responsáveis pela manutenção, mas também porque esta é da responsabilidade do administrador do edifício, que, usualmente, não é especialista em manutenção de edifícios. O principal objetivo do FM consiste em minimizar as operações de manutenção, maximizando a disponibilidade das máquinas (garantindo, de modo prioritário, a qualidade dos produtos).

O FM deve fazer gerir o arquivo de telas finais de todos os projetos, manter atualizada toda a documentação técnica, refletindo alterações ocorridas, e garantir que o sistema informatizado esteja atualizado, de modo a assegurar que toda a informação sobre os sistemas dos edifícios esteja correta.

### 2.2.2. Estrutura organizacional

O departamento de manutenção de uma empresa depende das suas características e da sua dimensão. É normalmente exibido na forma de um organograma, onde se especifica as várias funções de forma hierárquica, enquadrando todos os colaboradores que intervêm na manutenção. Os seus objetivos devem ser mensuráveis e consistentes com a estrutura da manutenção, deve estar definido sobre quais

se aplicam planos e ordens de trabalho, custos, histórico e sobre os quais incidirão as monitorizações e análises [8].

As principais funções do departamento de manutenção são:

1. Planeamento de manutenção;
2. Gestão de manutenção;
3. Gestão de materiais de manutenção;
4. Gestão de energia;
5. Operação e condução das instalações.

As competências normalmente realizadas pelo departamento de Manutenção são:

1. Civil;
2. Eletricidade;
3. Mecânica;
4. Redes de fluidos;
5. Carpintaria;
6. Serralharia;
7. Climatização e refrigeração.

### 2.2.3. Custos manutenção

Os custos de manutenção para a gestão de edifícios são os que podem ajudar a definir a melhor política de manutenção, são uma soma algébrica complexa que inclui os custos de manutenção contabilísticos, os custos das perdas por falta de manutenção e os benefícios com a manutenção de melhoria. A gestão de manutenção divide os custos fundamentalmente em custos de manutenção diretos e custos de manutenção indiretos.

#### a) Custos de Manutenção diretos

Caracterizam-se como custos diretos aqueles que podem ser identificados e diretamente apropriados a cada tipo de obra a ser custeado, no momento da sua ocorrência.

Os custos diretos estão ligados diretamente a cada tipo de bem ou centro de custo. Sendo exemplos de centros de custo [8]:

1. Custos de mão de obra;
2. Despesas globais do serviço de Manutenção;
3. Custo de posse de stocks, ferramentas e máquinas;
4. Consumo de matérias-primas e bens para Manutenção;

5. Consumo de peças de substituição;
6. Custo dos contratos de Manutenção;
7. Custo dos trabalhos subcontratados.

#### b) Custos de Manutenção Indiretos

Os custos diretos de manutenção (custos visíveis, quantificáveis) são apenas a ponta do iceberg, pois submersos estão ou poderão estar os custos indiretos (custos invisíveis, não quantificáveis). São custos de perda de produção: perdas de produtos não fabricados, perda de qualidade, perda de produtos desclassificados, perda das matérias-primas em curso de transformação; custos de mão-de-obra parada; amortização dos equipamentos parados, despesas com arranque do processo de produção.

A gestão de manutenção tem de ser sensível em relação a todos os custos da organização. A sua análise constitui uma ferramenta para a gestão, permitindo ao gestor tomar decisões como as seguintes:

1. Estabelecer um orçamento anual;
2. Acompanhar as receitas relativamente às despesas;
3. Verificar a eficácia das várias tipologias de manutenção;
4. Substituir equipamentos.

### 2.3. Tipologias de manutenção

A manutenção pode ser implementada com base em várias tipologias, sendo que cada tipo depende dos comportamentos e especificidades técnicas de cada equipamento, ou seja, a política de manutenção dos equipamentos divide-se em três grandes áreas [8]:

1. Manutenção curativa;
2. Manutenção corretiva;
3. Manutenção preventiva.

Por sua vez a manutenção preventiva subdivide-se em:

- a. Sistemática;
- b. Condicionada
  - i. Baseada em estatística;
  - ii. Baseada em condições.

### 2.3.1. Manutenção curativa

Consiste em reparação de avarias quando estas ocorrem. Este tipo de manutenção apresenta algumas características indesejáveis, sendo as mais significativas:

- a) A urgência da avaria não permite a correta avaliação e preparação do trabalho a realizar;
- b) A equipa de manutenção tem carga de trabalho irregular.

Justifica-se quando os itens alvo de manutenção não são críticos para a produção ou os custos em caso de avaria não justificam outros meios de ação.

### 2.3.2. Manutenção corretiva

Destina-se a reparar avarias e maus funcionamentos ocorridos em serviço. É uma manutenção não planeada, efetuada após a deteção de uma avaria, ou planeada, para repor equipamentos antes de entrarem em funções ou com vista a atividades de melhoria. Em algumas situações, é idêntica à manutenção curativa, com o acréscimo de serem desenvolvidas ações de melhoria juntamente com a reparação. Estas ações são já uma atividade de manutenção de natureza técnica, administrativa e de gestão. Num âmbito mais detalhado dedica-se ao estudo e projeto dos equipamentos, de forma a evitar ocorrência de novas avarias. Inclui as modificações ou alterações destinadas a melhorar o desempenho do equipamento, ajustá-lo a novas condições de funcionamento, melhorar ou reabilitar as suas características operacionais podendo ser atribuído o nome de Manutenção de Melhorias.

### 2.3.3. Manutenção preventiva

Orientada no sentido de evitar a ocorrência de avarias e garantir o funcionamento seguro e eficiente do equipamento. É a manutenção que se baseia em tomada de ações com vista a evitar alguma avaria antes de ela vir a acontecer. Tem de ser fundamentada com boa análise de previsão, fiabilidade e financeira, no sentido de avaliar o benefício da sua utilização. Pressupõe um vasto conhecimento dos equipamentos ou itens alvos de manutenção e disponibilidade de mão-de-obra para a sua execução. Dentro da manutenção preventiva existem os seguintes subtipos:

- a) Manutenção preventiva sistemática

Os trabalhos fazem-se a intervalos de tempo predeterminados; é efetuada com periodicidade fixa, em intervalos de tempo preestabelecidos ou com um número definido de unidades de funcionamento. Na prática convém fazer uma reflexão crítica equipamento a equipamento e estabelecer a medida em que as manutenções preventivas sistemáticas serão aplicáveis, não esquecendo que a abordagem sistemática tem a grande vantagem de ser a mais simples de gerir no dia-a-dia. Por outro lado, a prevenção de avarias por manutenção condicionada baseia-se no facto de a maioria das avarias serem precedidas por alguma forma de pré-aviso. Este pré-aviso poderá ser de escassos segundos, dias ou meses.

Normalmente, estas inspeções e os pontos a serem avaliados são definidos de acordo com o manual de cada equipamento ou por meio de indicadores, como o indicador de tempo médio entre falhas (MTBF) cuja nomenclatura anglo-saxónica se descreve por, *Mean Time Between Failures*. No **Anexo I**, apresenta-se um plano de manutenção preventiva sistemática para ativos de referência de um edifício baseado no *software* Cype, módulo manutenção de edifícios. Este sugere um plano de manutenção de acordo com a experiência de uma equipa de trabalho dedicada para o efeito.

#### b) Manutenção preventiva condicionada

Na manutenção preventiva condicionada, os trabalhos executam-se quando existem indicações técnicas para o fazer através de:

- i. Diagnóstico de uma avaria (análise de vibrações, análise de tendência, etc. );
- ii. Avaliação do estado do equipamento (ruído, folgas visíveis, rendimento, parâmetros de funcionamento etc.).

A manutenção preventiva tem como objetivo as seguintes etapas:

- i. Prever datas prováveis em que as avarias poderão ocorrer a fim de poder tomar, antecipadamente, as medidas tendentes a evitá-las;
- ii. Reduzir ao mínimo os fatores que contribuem para as avarias ou, se preferirmos, incrementar os fatores que contribuem para o bom funcionamento dos equipamentos;
- iii. Evitar as consequências de uma avaria.

A manutenção preventiva condicionada atua de acordo com as condições reais do equipamento, monitorizando as condições de funcionamento do equipamento, recorrendo à vigilância sistemática do funcionamento dos equipamentos e utilizando técnicas de diagnóstico, o que depende dos tipos de equipamentos em questão:

- i. Análises de tendência;
- ii. Termografia;
- iii. Controlo de parâmetros de funcionamento (vibração, ruído etc.).

#### 2.3.4. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva baseia-se na utilização de sensores, processadores ou outros que levam ao desenvolvimento de sistemas inteligentes de aquisição e tratamento de dados relativos aos processos.

- a) Sistemas de autodiagnóstico e proteção do equipamento;

b) Análise de parâmetros de funcionamento.

O essencial é que o departamento de manutenção aproveita esta informação fornecida pelos sensores ou outros, de modo a planear o seu trabalho de forma eficiente.

A estratégia da manutenção preditiva depende principalmente de sinais e dados que refletem a condição do equipamento. Podem apoiar-se ainda em técnicas inteligentes de apoio a decisão que incluem bases de dados baseadas em:

1. **Árvore de decisão de falhas** – é o método aplicado no programa; utiliza uma árvore de decisão de falhas; utiliza sintomas ou resultados de testes para decidir que ramo da árvore deve ser corrigido.
2. **Case Based Reasoning (CBR)** – é um processo de resolução de novos problemas com base nas soluções de problemas anteriores semelhantes; é uma metodologia para modelar o raciocínio humano e construir sistemas especialistas; armazena experiências de soluções anteriores que são chamadas para novos problemas;
3. **Lógica Fuzzy** – Fornece um meio alternativo de representar a imprecisão e a falta de informação associada à descrição das características de um determinado elemento de um problema particular;
4. **Redes Neurais** – São inspiradas no funcionamento do cérebro humano; são compostas por estruturas de processamento chamadas neurónios interconectados e organizadas em camadas; são aplicadas para desenvolver problemas de processamento de padrões; baseiam-se em unidades processadoras.

### 2.3.6. Manutenção centrada na fiabilidade

O RCM (Figura 4), é uma manutenção estruturada para selecionar as atividades de manutenção necessárias para manter a disponibilidade e fiabilidade de qualquer sistema técnico do edifício, de modo a que se reduza ao máximo o custo do ciclo de vida do equipamento. O método RCM é o mais utilizado para determinar o tipo de metodologia de manutenção mais efetivo para o tratamento de falhas potenciais.

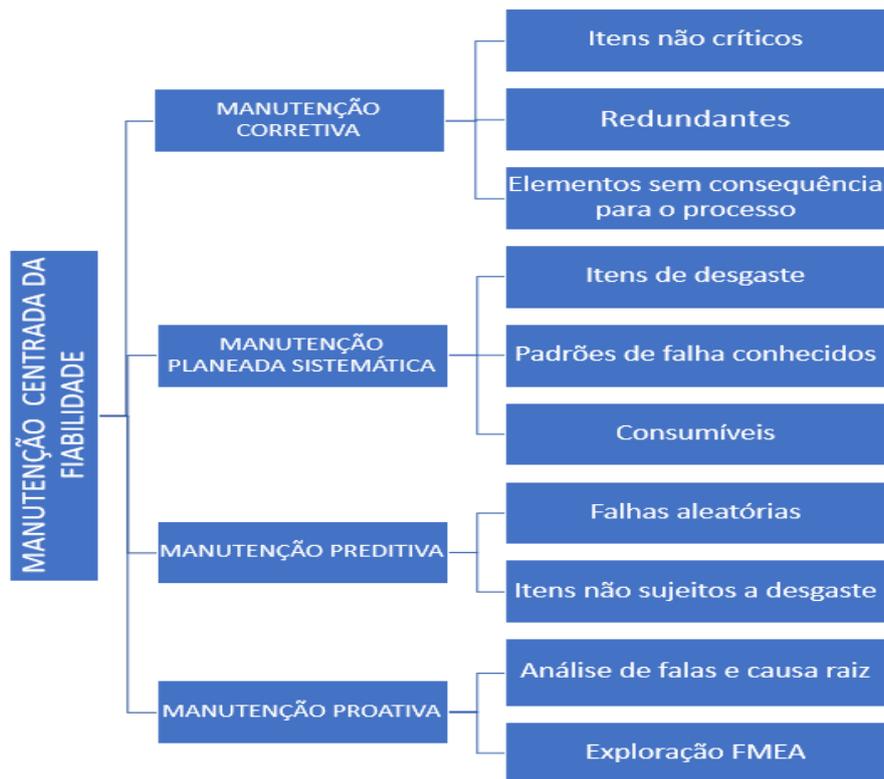


Figura 4 Diagrama de RCM .

A manutenção centrada na fiabilidade pretende definir o tipo de manutenção para cada sistema técnico em função do seu grau de criticidade. Assenta na aplicação integrada de manutenção preventiva, realização de testes e inspeções preditivas, manutenção reativa e proativa, cujos objetivos são os seguintes:

1. Certificar que o sistema técnico cumpre com os requisitos designados e com a fiabilidade e disponibilidade definidas ao custo mínimo;
2. Otimizar o binómio custo/eficácia da manutenção de forma a conduzir a altos níveis de segurança e simultaneamente à disponibilidade adequada de equipamentos.

Dentro de um programa de RCM, as ações de manutenção devem ter três objetivos básicos:

1. Diminuir ou eliminar a ocorrência de uma falha;
2. Diminuir ou eliminar a severidade de uma falha;
3. Aumentar a hipótese de deteção da falha na fase inicial de produção.

As normas de implementação do RCM são as seguintes:

1. IEC 60300-3-11: *Gestion de la surté de fonctionnement – Parte 3-11: Guide d’ application – Maintenance basée sur la fiabilité. Comission Electrotechnique Internationale, Geneva, Switzerland.*
2. SAE JA1012: *SAE International. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SAE JA1012, Warrendale, PA, USA, 2002*

O programa RCM é implementado com base nas ferramentas de análise do modo de falha, efeitos e criticidade, em que a terminologia em inglês é *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA), e consiste na análise do processo de funcionamento dos sistemas técnicos e na identificação das falhas que podem acontecer nos sistemas, ou seja, quais são os sintomas que aquelas falhas apresentam (modos de falha), quais são as suas consequências (efeitos) e qual a sua gravidade (índice de severidade).

#### 2.3.6.1 FMECA

A FMECA é uma ferramenta utilizada com a finalidade de definir, identificar e eliminar/ minimizar falhas (reais ou potenciais) de um sistema, concepção, processo ou serviço. Para cada uma das falhas é feita uma estimativa da frequência, severidade e detetabilidade, dando origem a uma avaliação quantitativa global das mesmas.

Seguidamente, e de acordo com as necessidades, definem-se ações a tomar, planeando a manutenção ou ignorando as ocorrências. É um método de análise e previsão das avarias com o objetivo da pesquisa de soluções para as evitar, aplicável na concepção dos equipamentos e nos estudos de engenharia de manutenção. Este método e a sua aplicação vêm descritos nas normas francesa “AFNOR X 60-510” e inglesa “BS 5760 Part 5” [9].

A análise FMECA é feita com recurso a três tipos de bases de informação, que contemplam diversos itens. São eles:

1. A utilização de histórico de avarias, manuais de equipamento;
2. A aplicação de modelos estatísticos;
3. Recurso a sensores de leitura de dados montados nos sistemas técnicos.

Como base na estratégia RCM, esta metodologia identifica ações corretivas para prevenir falhas que atinjam o funcionamento dos sistemas, visando assegurar a maior durabilidade e fiabilidade dos sistemas técnicos. Uma análise FMECA realiza as seguintes ações:

1. Identifica os modos de falha, conhecidas ou potenciais;
2. Identifica as causas e efeitos de cada modo de falha;

3. Estabelece prioridades entre os modos de falha;
4. Sugere ações corretiva e o seu seguimento.

Pretende-se assim avaliar a criticidade, tendo como base a frequência do aparecimento das falhas e a gravidade das mesmas, permitindo estabelecer prioridades para as ações de manutenção. Existem três critérios que contribuem para a definição da prioridade dos modos de falha:

1. Ocorrência (O) – frequência da falha;
2. Severidade (S) – gravidade dos efeitos de falha;
3. Detetabilidade (D) – facilidade de deteção da falha.

Os três critérios têm valores diversos, não existindo nenhum padrão predefinido, contudo, existem duas escalas de aplicação. A primeira é a escala de 1 a 5 e a segunda é a escala de 1 a 10.

Após a determinação do índice de severidade, a avaliação começa por se basear na definição do risco. Este é definido pela equipa responsável pelo FMECA, numa escala qualitativa, mediante as circunstâncias de operacionalidade do equipamento. Constan normalmente da escala os seguintes itens, seguidos das respetivas ações:

1. Perante um risco menor, não é tomada qualquer medida;
2. Quando o risco é moderado, pode haver alguma medida a tomar;
3. Face a um risco elevado, são adotadas medidas definidas com devida validação e avaliação;
4. Finalmente, se o risco for de criticidade máxima, serão também tomadas medidas rigorosas.

Se existirem mais do que duas falhas com o mesmo índice de severidade, a prioridade recai no fator severidade, já que o mesmo depende diretamente dos efeitos da falha. Caso a severidade seja idêntica, o critério de desempate é a detetabilidade, que pode atingir diretamente o cliente final, tornando-se de maior importância face à frequência de falha.

De uma forma geral, é aceite a existência de dois tipos de FMECA em análise de sistemas de edifícios. São eles:

1. **FMECA de Projeto** – Usado para analisar sistemas e subsistemas nas fases de conceção e design.
2. **FMECA de Utilização** – Utilizado para analisar sistemas em funcionamento com defeitos de deficiente montagem ou mau enquadramento da estrutura em causa.

Os FMECA de utilização são assim os mais adequados para os modos de falha decorridos durante funcionamento dos sistemas técnicos dos edifícios.

### 2.3.6.2. FMECA - Aplicação prática

As tabelas do Anexo II permitem elaborar um RCM com base na metodologia FMECA para estabelecer os critérios de manutenção de um sistema fotovoltaico de autoconsumo, podendo ser utilizado o mesmo critério para todos ou outros sistemas técnicos do edifício como aquecimento, fornecimento de AQS e ventilação interior. A informação foi adquirida com base no histórico de uma pequena empresa da especialidade e com base na utilização de ferramentas de deteção de falhas nos sistemas fotovoltaicos, tais como a inspeção visual, a curva I-V de cada painel, o uso de técnicas de análise termográfica e alguma experiência com sistemas de monitorização dos painéis fotovoltaicos, nomeadamente o controlador de carga (Smart Solar MPPT 100/20), Tabela 1.

Tabela 1: Ferramentas disponíveis para deteção de falhas nos sistemas, adaptado da referência [10].

	<b>Componente</b>	<b>Modo de Falha</b>
<b>Inspeção visual</b>	Painel Fotovoltaico (FV)	Delaminação do painel traseiro, descoloração do material EVA, célula quebrada, pontos quentes, caixa de junção partida, sujidade, fissuras no vidro frontal
	Cabos e conexões	Curto-circuito, circuito aberto
	Inversor	Não funcional
	Sistema de apoio do painel FV	Partida, falta de peças ou peças soltas
	Disjuntor	Abre prematuramente ou falha a fechar, falha a abrir
	Relé	Falha a abrir, abre prematuramente
<b>Curva I-V</b>	Painel FV	Pontos quentes, célula quebrada, PID, descoloração do EVA, sujidade, diodo bypass aberto, diodo bypass em curto-circuito
	Inversor	Não funcional, funcionamento impróprio
<b>Termografia</b>	Painel FV	Pontos quentes, célula quebrada, diodo em curto-circuito
	Cabos e conexões	Curto-circuito

Para a análise das ocorrências, e não havendo histórico suficiente para realizar um processo estatístico, teve-se em conta a experiência de técnicos de montagem de sistemas fotovoltaicos e a análise de histórico de equipamentos partilhados por uma outra dissertação [10]. As ocorrências foram avaliadas de forma qualitativa e não com base num levantamento que permitisse criar um processo estatístico. Existe escassa informação relativamente a taxas de falha dos componentes e subcomponentes, o que se traduz também numa limitada literatura disponibilizada de forma gratuita acerca dos valores respeitantes às falhas de componentes ou subcomponentes eletrónicos específicos. Além disto, para obter o valor da ocorrência de cada modo de falha, a taxa de falha de cada subcomponente tem de ser distribuída pelos modos de falha considerados, onde o subcomponente participa. A execução FMECA foi realizada com base em reuniões e entrevistas, de modo a realizar o levantamento de falhas em projetos de sistemas FV executados pela empresa.

Tabela 2: Perda de desempenho relativamente a cada modo de falha adaptado da referência [10].

Componente	Subcomponente	Modo de Falha	Perda de desempenho
Sistema de apoio do painel	Estrutura de apoio	Estrutura danificada	100%
		Desaperto de peças	100%
Painel FV	Células FV	Pontos quentes	4%
		Snail-track	0,3%
		Célula Quebrada	3%
		PID	9%
	Vidro frontal	Sujidade	5%
		Fissuras	2%
	Painel traseiro	Delaminação	7%
	Díodo bypass	Díodo com funcionamento impróprio	33%
Inversor		Não funcional	100%
		Funcionamento impróprio	20%
Proteção CC	Fusível	Lento ou falha a abrir	100%
		Abre prematuramente	
	Disjuntor CC	Abre prematuramente ou falha a fechar	100%
		Falha a abrir	

O cálculo da severidade baseou-se na análise da informação da dissertação de mestrado descrita no ponto relativo a referências bibliográficas e que se descreve na Tabela 2.

No **Anexo III** encontra-se, para cada modo de falha, a classificação proposta e usada na estratégia de aplicação da manutenção centrada na fiabilidade, tendo como base o valor da Ocorrência (O), da Detecção (D), da Severidade no desempenho (S) e Criticidade (C), para sistemas de painéis fotovoltaicos do setor residencial<sup>1</sup> inferior a 5 kW.

Como conclusão, a estratégia da manutenção centrada na fiabilidade para manter a disponibilidade de um gerador de energia fotovoltaica a custo reduzido passa por medir e monitorizar os seus principais parâmetros de medição em tempo real,  $U_p$  tensão no módulo,  $U_s$  tensão na *string*,  $I_s$  corrente na *string*,  $I_t$  e corrente DC total.

O estudo conclui que os sistemas fotovoltaicos funcionam bem durante largos anos e que eventuais avarias estão normalmente associadas às falhas dos seguintes equipamentos:

- a) O componente mais fiável de um sistema fotovoltaico é o próprio gerador. As principais causas de falha são os díodos.
- b) A falha mais frequente ocorre no inversor. As principais causas são normalmente provocadas pelo incorreto dimensionamento.
- c) O fenómeno de corrosão está sempre presente nos diferentes materiais sendo uma constante.

<sup>1</sup> Define-se como cenário residencial, casas destinadas a habitação com sistema FV com uma potência até 10 kWp

A aplicação de um sistema de medição e monitorização contínua dos principais parâmetros permite classificar as áreas dos módulos em termos de eficiência, de modo a ficar completamente certo de que a sua instalação está a trabalhar nas melhores condições (Figura 5).

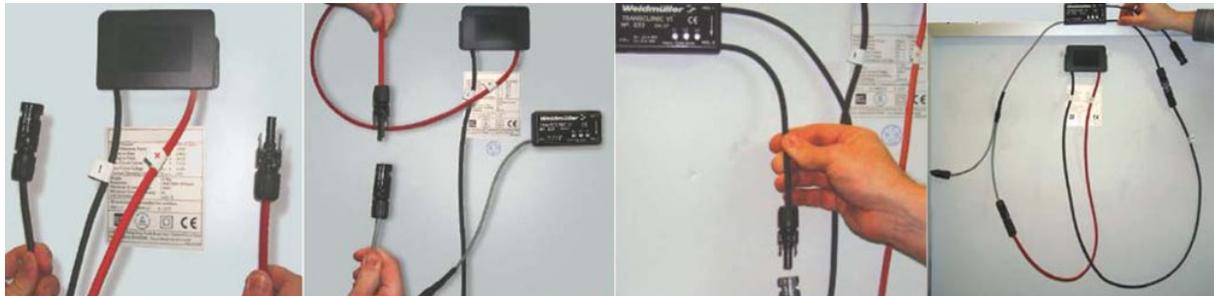


Figura 5 Instalação de um transreceptor para monitorização (V-I) de um painel fotovoltaico [11].

## 2.4. Ferramentas de diagnóstico e deteção de falhas

### 2.4.1. Análise de vibração

A análise de vibrações é uma ferramenta poderosa no diagnóstico de problemas em máquinas rotativas. Estima-se que 85% dos problemas que ocorrem em máquinas rotativas possam ser identificados a partir da análise no domínio da frequência (Figura 6).

O acompanhamento e evolução deste nível de vibrações em bombas de circulação, tubagens de aquecimento válvulas, motores e compressores, possibilita uma maior segurança no planeamento da manutenção preventiva condicionada, uma vez que o ponto de potencial avaria é assinalado com maior espaço no tempo, garantindo assim uma monitorização precisa do estado de funcionamento de uma máquina.

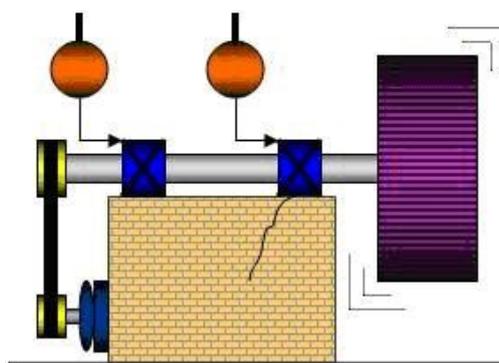


Figura 6 Análise de vibrações [12].

A análise de vibrações é um dos recursos fundamentais da manutenção preditiva condicionada, a análise de vibração faz medições periódicas ou contínuas dos órgãos das máquinas, com o fim de evitar paragens inesperadas do equipamento, identificando o momento exato da sua troca. Todas as máquinas produzem vibrações e esses sinais vibratórios geram uma frequência, com a análise de

vibrações é possível detetar alterações no fluxo contínuo da vibração, permitindo a previsão de uma avaria. A análise de vibrações é um processo que permite prever a possível falha mais cedo do que os outros métodos de análise, (Figura 7), pelo que deve ser tido em conta em todos os órgãos de máquinas rotativas e/ou alternativas para análise das seguintes peças:

1. Rolamentos deteriorados;
2. Defeitos nas engrenagens;
3. Acoplamentos desalinhados;
4. Eixos deformados;
5. Folgas estruturais;
6. Folgas internas;
7. Correias;
8. Cavitação;
9. Eixos empenados;
10. Falha na lubrificação;
11. Ressonância Estrutural;
12. Problemas aerodinâmicos ou hidráulicos.

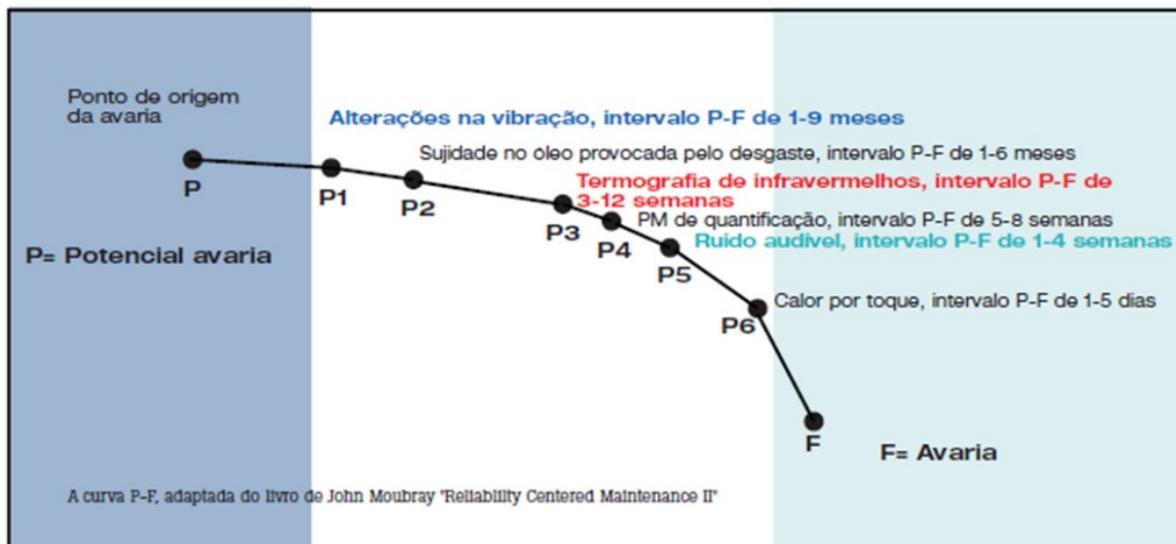


Figura 7 Curva de tempo e deteção de avaria [13].

#### 2.4.2. Análise termográfica

A termografia de infravermelhos permite, para além da avaliação do desempenho térmico dos edifícios (utilização mais usual no sector da engenharia civil), a deteção e a identificação de anomalias nos equipamentos que libertem calor, tais como bomba de calor, circuitos de aquecimento e de transformação de energia. Para que seja possível realizar este tipo de ensaios não destrutivos é necessário existir um fluxo térmico através do elemento em análise, resultante de uma diferença de

temperatura entre o interior e o exterior ou gerado por uma fonte de calor. Para garantir a existência do fluxo térmico referido, podem ser utilizados dois métodos de aquecimento:

- a) O método passivo, ou termografia passiva: o fluxo térmico é gerado apenas pelo diferencial de temperatura existente entre o ambiente exterior e o ambiente interior do edifício. Recomenda-se que esse diferencial de temperatura entre ambientes seja sempre superior a 10°C.
- b) O método ativo, ou termografia ativa: o aquecimento do elemento em estudo é realizado através de um fluxo térmico imposto, de forma natural, através da incidência da radiação solar, ou artificialmente, utilizando lâmpadas ou outros tipos de dispositivos que provoquem aquecimento (óticos ou mecânicos).

A análise de anomalias através da termografia em manutenção de edifícios (Figura 8) pode focar-se na detecção de água e ar, sob o sistema de tubagens de aquecimento da bomba de calor, do piso radiante, do coletor solar, quadros elétricos e painéis fotovoltaicos, análise de quadros, painéis inversores e controladores.

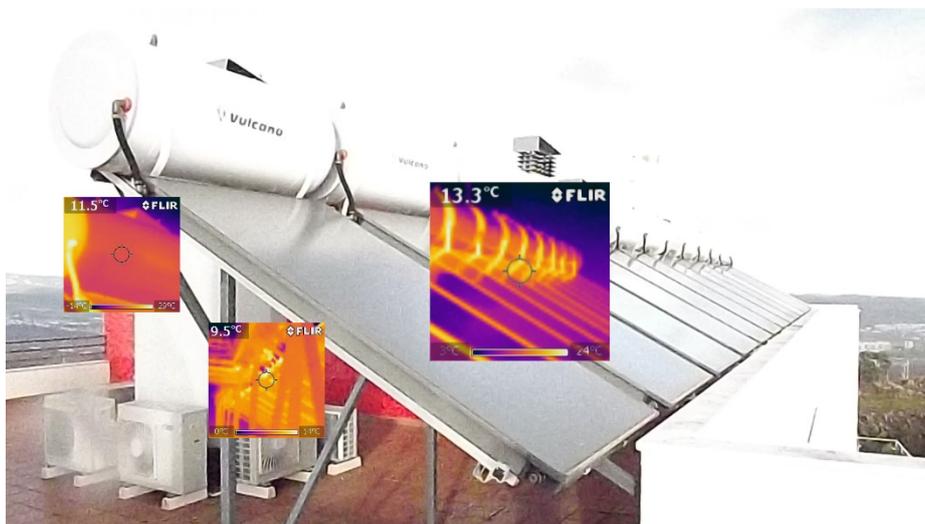


Figura 8 Análise com câmara termográfica de AQS no coletor Solar.

### 2.4.3. Utilização de sensores

Os sensores são dispositivos que convertem um parâmetro físico, como temperatura, fluxo da água, humidade, pressão, entre outros, num sinal elétrico, de modo a ter essa informação em formato digital. Existem diferentes tipos de sensores para cada uma das aplicações:

- a) O sensor de temperatura é um dos mais utilizados em qualquer área (Figura 9). Está presente em praticamente todos os dispositivos, podendo ser mecânico ou eletrónico, requerendo, ou não, contato físico direto com o dispositivo. O comportamento do sensor de temperatura é equivalente ao termómetro de mercúrio, em que o mercúrio expande e contrai consoante a

temperatura. Entre eles estão o termostato e o termostato bi-metálico, termístor (NTC e PTC), RTD (*Resistive Temperature Detector*), termopar (*Thermocouple*) [14].



Figura 9 Sensores de temperatura [14].

- b) Os sensores ultravioleta (UV) medem a corrente elétrica ou potência incidente de raios ultravioleta no sensor (Figura 10). Estes sensores servem, por exemplo, para averiguar se a exposição ao sol (numa praia) num certo período horário é, ou não, prejudicial para a pele humana, pois esta é uma radiação que tem uma largura de banda que não é visível ao olho humano. O sensor UV tem também diversas aplicações em automóveis, farmácia, robótica, entre outros. É usado um diamante policristalino no qual a luz incidente é refletida para um detetor que vai detetar a corrente elétrica da radiação UV presente [14].



Figura 10 Sensor UV [14].

- c) O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro que pode matar repentinamente. Normalmente estes sensores são usados em garagens e espaços onde existe gás para combustão, nomeadamente cozinhas. O princípio de funcionamento é igual ao dos sensores de temperatura, contudo, este tem um semicondutor de metal óxido que altera a resistência interna de acordo com a quantidade de monóxido de carbono existente. Essa alteração faz disparar um relé que normalmente ativa as ventoinhas das condutas de ar [14].
- d) Outros tipos de sensores podem ser aplicados para obter informação dos órgãos de máquinas porventura instalados numa habitação. De um modo genérico têm todos o mesmo princípio de funcionamento. Passa por alterar a corrente elétrica (através da resistência interna dos

sensores), criando uma queda de potencial aos seus terminais que, posteriormente, com os valores fornecidos pelo *Datasheet* do fornecedor, se pode obter um valor conhecido aos olhos do utilizador. Alguns dos outros sensores mais conhecidos são os seguintes:

- a. Sensores de som;
- b. Sensores de vibração;
- c. Sensores de deformação;
- d. Sensores de movimento;
- e. Sensores de luminosidade;
- f. Sensores de pressão;
- g. Sensores de humidade;
- h. Sensores de fumo;
- i. Sensores de presença;
- j. Sensores de proximidade;
- k. Sensores indutivos;
- l. Sensores capacitivos.

Os sensores, após recolherem os dados, necessitam de enviá-los para a *Cloud*, permitindo que o utilizador possa aceder a essa informação. Os dados recebidos pelos sensores são enviados para um dispositivo eletrónico que, posteriormente, quando o utilizador tiver acesso à internet, são enviados para a *Cloud*. Existem várias plataformas para o telemóvel, estando entre elas a plataforma Android, iOS, Windows e iPhone.

## 2.5. Os edifícios de necessidades quase nulas de energia

A construção e reabilitação, segundo o conceito de NZEB, é uma solução para o cumprimento das exigências da Diretiva Europeia 2010/31/EU nos próximos anos.

A nova abordagem de edifícios deve integrar especificidades ambientais, tais como melhorias nas condições de conforto interior, um aumento da eficiência energética e redução dos consumos energéticos [15].

Os edifícios deverão estar integrados com o meio ambiente, conseguindo um correto posicionamento das aberturas no posicionamento do edifício e na implementação de materiais com bom desempenho térmico. Deve ser considerada a incorporação de sistemas mecânicos e elétricos de modo eficiente e utilizadas energias renováveis, de forma a que as leituras dos vários sistemas se integrem e harmonizem para que os sistemas colaborem uns com os outros de modo eficiente.

Em países do sul da Europa, como o caso de Portugal, as melhorias de eficiência energética resultam numa possibilidade de simplificar o sistema de aquecimento, sendo possível manter o edifício

confortável apenas com o aquecimento do ar que é necessário fornecer ao edifício, de forma a garantir uma boa qualidade do ar interior (Figura 11). Assim, todo o sistema de distribuição de calor pode ser reduzido a um pequeno sistema com recuperador de calor e/ou com produção de calor ou frio de menor potência, ligados a sistemas de energia renovável. Esta solução resulta num sistema de alta eficiência energética e com um bom custo/benefício [15].

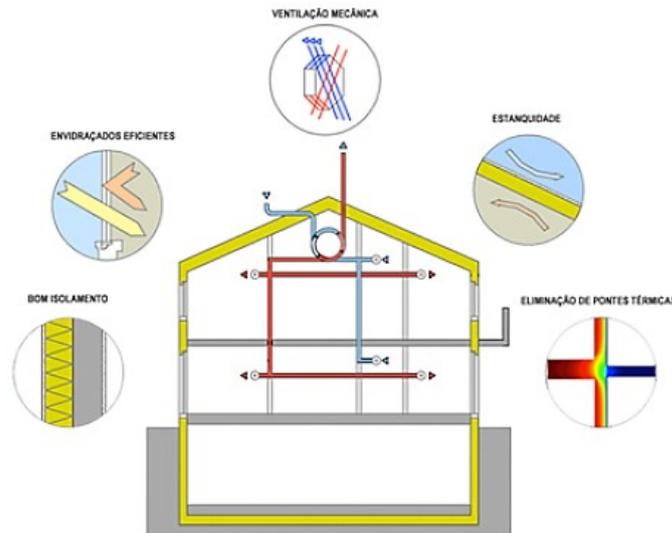


Figura 11 Os cinco conceitos da construção da Casa Passiva, aplicáveis a um NZEB [16].

Um NZEB é um edifício que apresenta um elevado desempenho energético, sendo que as suas necessidades energéticas deverão ser supridas pelo recurso a fontes de energias renováveis. Estas energias deverão ser produzidas no local ou nas proximidades deste.

Este conceito assenta inicialmente em seis princípios fundamentais:

1. Bom nível de isolamento térmico da envolvente opaca;
2. Minimização das pontes térmicas;
3. Estanquidade ao ar;
4. Ventilação mecânica com recuperação de calor;
5. Utilização de energias renováveis para a produção de energia necessária aos sistemas;
6. Automação para o funcionamento e manutenção de equipamentos.

Desta abordagem resultam seis consequências favoráveis:

1. Excelente qualidade do ar interior;
2. Conforto térmico;
3. Reduzido consumo energético;
4. Ausência de anomalias de origem térmico-higrotérmica;

5. Redução na produção de CO<sub>2</sub>;
6. Durabilidade.

Desta forma, torna-se essencial que seja desenvolvida uma correta escolha relativamente às tecnologias a aplicar e aos investimentos a realizar nos edifícios. O **Anexo IV** apresenta, de forma resumida, alguns dos sistemas que se deve considerar na incorporação de sistemas dos edifícios NZEB.

## 2.6. Os *softwares* de CMMS

Os *softwares* para gestão de edifícios são, atualmente, uma ferramenta de uso generalizado em organizações de gestão de imobiliários. Para a operacionalização de gestão de manutenção torna-se imprescindível o uso destes *softwares* de CMMS como garantia ao apoio à manutenção.

Os CMMS são base de dados (BD) que facilitam a inserção e consulta de informações relacionadas de peças e equipamentos. Estes sistemas apresentam configurações de duas maneiras diferentes:

- a) Podem ser instalados num computador ou servidor de aplicações e base de dados em SQL, sendo a solução mais indicada para redes fechadas e redes locais;
- b) Podem ainda ser instalados com base em servidores remotos (*datacenter*), disponibilizando as aplicações com protocolos de internet TCP IP. Esta tecnologia permite que o utilizador tenha acesso remoto aos dados de forma segura em qualquer ponto do mundo, com qualquer equipamento que comunique com base no protocolo de internet TCP IP.

Com o apoio destas ferramentas informáticas - *softwares* CMMS - é possível proporcionar uma estratégia de manutenção diferente, onde os dados adquiridos dos equipamentos são-no em grande quantidade e são tratados e enviados para os respetivos técnicos. Estes dados transformam-se em diagnósticos e são capazes de fornecer a informação no contexto exato e no momento exato para a intervenção de manutenção. Por exemplo, a informação de valores de temperaturas, pressão, quantidades, entre outros.

A manutenção da era I4.0 alerta as pessoas adequadas, nos momentos adequados, coordenando necessidades produtivas com necessidades humanas e interligando os mais diversos departamentos, conseguindo oferecer soluções ao nível da eficiência muito mais vantajosas e benéficas [17].

Os *softwares* CMMS são normalmente apoiados por sistemas de manutenção remota, “*Remote Maintenance*”, permitindo que a deslocação do técnico seja otimizada, podendo muitas das vezes interagir com o sistema quase sempre à distância. [17].



Figura 12 Manutenção remota [18].

A manutenção remota (Figura 12) permite ter, de forma rápida e prática, as seguintes situações:

- Acesso ao histórico dos equipamentos;
- Pequenos registos – pressão, temperatura, quilómetros, entre outros;
- Informação em tempo real, como pedidos à manutenção e indisponibilidades;
- Registo de pequenas intervenções;
- Toda a alocação de recursos inerentes a um trabalho de manutenção.

Os equipamentos encontram-se conectados ao sistema CMMS, permitindo obter uma quantidade muito elevada de análise de informação e a deteção de problemas ou mesmo eventuais tendências de disfuncionamento. As ações de manutenção são desencadeadas e irão prevenir falhas das máquinas, assim como reduzir custos de manutenção e reparação. O facto de tudo estar interconectado fará com que as máquinas se auto-mantenham, aplicando ações corretivas.

### 2.6.1. Atribuição de pontos de leitura

As atribuições de pontos de leitura para a monitorização da condição dos equipamentos são importantes para a manutenção preditiva. Têm como base inspeções periódicas do estado conservação, funcionamento dos equipamentos e identificação de tendências de um ou vários parâmetros de medição, pretendendo antecipar a ocorrência de uma potencial avaria.

Estas leituras são introduzidas diretamente no sistema por um PC ligado fisicamente ao servidor, utilizando aplicações APP (aplicação móvel) ou por sensores que terão acesso ao servidor de rede.

A interligação de manutenção torna possível uma intervenção de natureza técnica realizar-se virtualmente e remotamente, uma vez que o correto registo e monitoramento dos dados do processo revela eventuais falhas no sistema. Para além disto, será possível saber em que lugar se encontra determinada equipa de manutenção, assim como planear futuras ações de manutenção e evitar a calendarização de outras ações à mesma equipa, porque que os técnicos já estão adjudicados a outra tarefa de manutenção [17].

## 2.7. Tecnologia BIM

O *National Institute of Building Sciences* (NIBS) definiu BIM como uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação, com o objetivo de partilha de recursos para a obtenção de informação sobre edifícios e seus sistemas técnicos, formando uma base para a tomada de decisões e partilha de dados desde o início do seu ciclo de vida do edifício, construção e manutenção. O BIM nasceu da evolução do aplicativo CAD, sendo uma geração mais avançada para o projeto integrado 3D, onde as várias disciplinas trabalham em conjunto, surgindo um elevado grau de colaboração entre os parceiros. Atualmente, as várias casas de *software* têm apostado no BIM, criando inúmeras soluções baseadas neste conceito. Estas soluções são compostas basicamente por ferramentas especializadas para atender a projetos de arquitetura, estruturas, instalações prediais e planeamento e gestão de edifícios, bem como a total integração desses projetos entre si através de um modelo comum [18].

Como referido, a tecnologia BIM comporta um conjunto de dados relacionados com elementos paramétricos, base do processo de modelação. Os dados do modelo BIM incluem, pois, características físicas e funcionais de todos os elementos que o compõem, permitindo obter múltiplos pormenores na forma de desenhos (2D) e de projeções (3D), listas de dados e animações e apoiar a análise energética ou acústica e muitas vezes o dimensionamento de complexos componentes das instalações) como mostra a (Figura 13).



Figura 13 Imagem de tubagens software EcoDomus [19].

O processo paramétrico da criação do modelo BIM confere a possibilidade de realizar uma deteção automática de conflitos, de promover uma ligação entre o modelo e o cronograma de planeamento da obra. A agregação de diverso tipo de informação num único meio confere um enorme valor ao modelo, funcionando como um recurso que pode ser acedido diretamente por inúmeras pessoas, evitando o dispêndio de tempo e dinheiro em duplicações de trabalho e permitindo que a informação seja permanentemente atualizada [18].

Na escolha de um *software* BIM, destaca-se a importância do fornecimento completo de soluções para a produção de documentos de construção e manutenção, sem necessidade de utilizar outro aplicativo, assim como a disponibilidade de uma biblioteca adequada de objetos e a capacidade de conectividade de relações entre objetos [19]. Estes *softwares* melhoram:

1. O planeamento e transparência do processo de manutenção;
2. A integração entre a operação e gestão de sistemas;
3. A gestão do espaço, já que, através das ferramentas gráficas do BIM, é possível visualizar de forma rápida diferentes formas de ocupação do espaço e possíveis conflitos causados;

Para a maioria dos intervenientes, a implementação do BIM induz uma alteração nas práticas de trabalho usuais, antecipando algumas decisões e acontecimentos que só seriam detetáveis durante a fase de construção, ocorrendo, portanto, uma considerável redução de custos. Como resultado, essas soluções melhoram enormemente a produtividade, a eficiência e a eficácia da coordenação do projeto, comunicação da equipa, planeamento da construção e estimativa do projeto. No entanto, estes sistemas BIM só estão implementados em alguns países de elevada tecnologia, uma vez que lhes são apontadas algumas desvantagens.

1. Maior detalhe por parte dos projetistas e dos construtores;
2. Necessidade de existir uma predisposição para a mudança, incluindo a formação de novos utilizadores e o dispêndio de tempo para a sua implementação;
3. Necessidade de investimento em *hardware* sofisticado e em *software* caro (com respetivas atualizações).

### 2.7.1. BIM e a manutenção

O desenvolvimento do BIM veio auxiliar as operações de manutenção e conservação de edifícios realizadas pelos gestores da manutenção. O BIM torna as ações de manutenção mais rápidas, fiáveis e precisas, essencialmente devido ao facto de toda a informação relativa ao edifício estar concentrada apenas numa só plataforma e devido à grande capacidade de representação 3D (Figura 14). Durante a fase de operação do edifício, qualquer operador responsável pela manutenção pode aceder ao modelo digital com o objetivo de aceder a diversas informações, podendo ainda inserir novos dados, sendo garantido que qualquer alteração efetuada ao modelo é automaticamente atualizada. Assim, pode considerar-se que a manutenção de edifícios é um dos ramos da indústria da construção que pode beneficiar bastante com a implementação e uso do BIM.

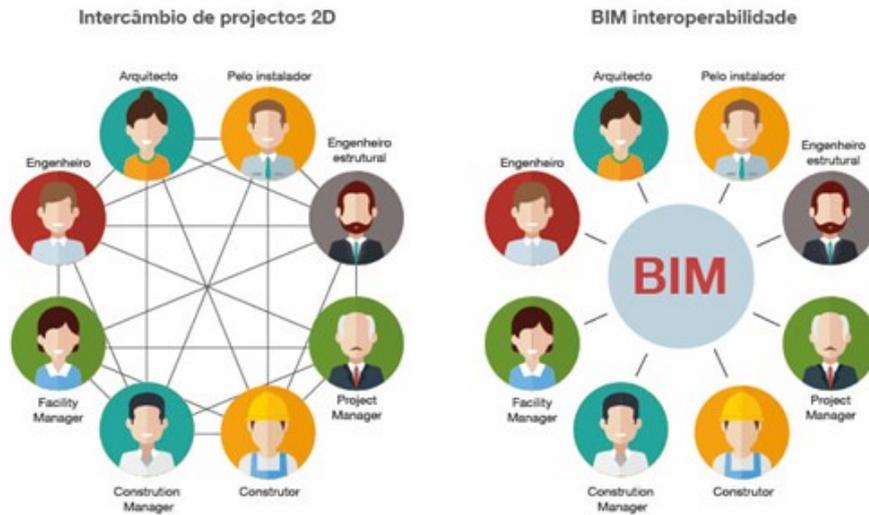


Figura 14 Metodologia BIM [20].

No entanto, conseguir uma atualização dos modelos de forma correta e isenta de omissões é uma das principais dificuldades verificadas na utilização dos modelos BIM na fase de exploração de um edifício, factos estes que não podem ser descurados, já que é essencial que a informação contida no modelo corresponda exatamente à realidade. Esta atualização torna-se mais assertiva quando este tipo de trabalho é desempenhado por equipas especializadas e bem formadas. A metodologia BIM, assenta essencialmente na estreita colaboração entre os diversos intervenientes durante a construção e vida útil do edifício, não sendo possível distinguir qual a componente que mais contribui para o seu sucesso, pois o BIM depende do conjunto de todas as incorporações num todo.

### 2.7.2. Criação do modelo BIM

Existem diversas plataformas BIM para apoio ao projeto, construção, orçamentação, planeamento e manutenção de obras. Embora o *software* utilizado no presente trabalho tenha sido o BIMserver.center, foi ainda analisado outro *software* de base BIM, o BIM 360R da Autodesk, com grandes potencialidades para a gestão da manutenção. Considerou-se, no entanto, a criação do modelo de gestão de manutenção com o BIMserver center da Cype por a licença de utilização deste produto não apresentar qualquer custo, sendo por isso mais fácil simular o seu funcionamento e adaptá-lo à gestão de manutenção de um edifício. No **Anexo V**, apresenta-se um estudo para o apoio à manutenção de edifícios.

Página deixada propositadamente em branco

## Capítulo 3

### 3. Metodologia

No capítulo anterior foram abordados os principais conceitos e tecnologias que envolvem este trabalho. Neste capítulo é descrito a metodologia para a modelação do sistema de manutenção baseada no conceito da I4.0 na manutenção de edifícios de balanço de energia quase nula.

#### 3.1. Metodologia de manutenção apoiada na I4.0

A aplicação de uma metodologia de manutenção apoiada na I4.0 para os sistemas técnicos em edifícios NZEB permite criar a capacidade e autonomia para preparar trabalhos de manutenção preventiva ou corretiva assim como prever falhas, baseando-se em processos inteligentes de monitorização em tempo real dos sistemas instalados nos edifícios (Figura 15). As operações de manutenção baseiam-se em inspeções do estado dos elementos e numa avaliação permanente dos parâmetros de funcionamento face aos sintomas de anomalia pré verificados. Estes sintomas aparecem antes da deteção visível das anomalias, constituindo os primeiros sinais de mudança nas características do elemento.

As avaliações da condição dos equipamentos são registadas por redes computacionais, tornando-se necessário a aplicação de instrumentos de análise característicos desta manutenção, os quais já foram referidos em capítulos anteriores, sendo os mais comuns:

- ✓ Sensores de temperatura;
- ✓ Sensores de humidade;
- ✓ Sensores de vibração;
- ✓ Sensores indutivos;
- ✓ Sensores capacitivos;
- ✓ Sensores de pressão.

Os registos recebidos pelos sensores são enviados para dispositivos eletrónicos montados nos controladores dos equipamentos e posteriormente enviados por *wi-fi* para uma *Cloud*, facilitando a consulta ou introdução de dados em base de dados de um servidor quando o utilizador tem acesso à internet. Os sucessivos registos dos pontos de leitura permitem controlar a temperatura, humidade, vibrações, tensão, corrente elétrica e pressões do equipamento e antever alguma alteração do equipamento em relação às variações das respetivas características dos equipamentos.

O BIM torna-se numa abordagem melhorada à conceção, construção, operação e manutenção, utilizando um modelo digital 3D único e normalizado para cada obra, nova ou antiga, que contém toda a informação criada ou reunida sobre essa obra, num formato legível por todos os intervenientes

ao longo do seu ciclo de vida. Devido à possibilidade de introduzir as diversas especialidades num modelo único, os problemas de interferência entre as várias especialidades são detetados através dos registos fornecidos pelos diversos sensores, possibilitando o agendamento da execução de processos de manutenção nas diversas especialidades. Os intervenientes nos processos podem aceder, em modo digital, à informação e consultar ou completar informação utilizando tecnologia IoT.

O BIM permite alertas de manutenção em tempo real para equipas de trabalho e envia os dados certos para o pessoal certo na hora certa. As informações são transmitidas exibindo apenas dados relevantes e úteis para os usuários finais.

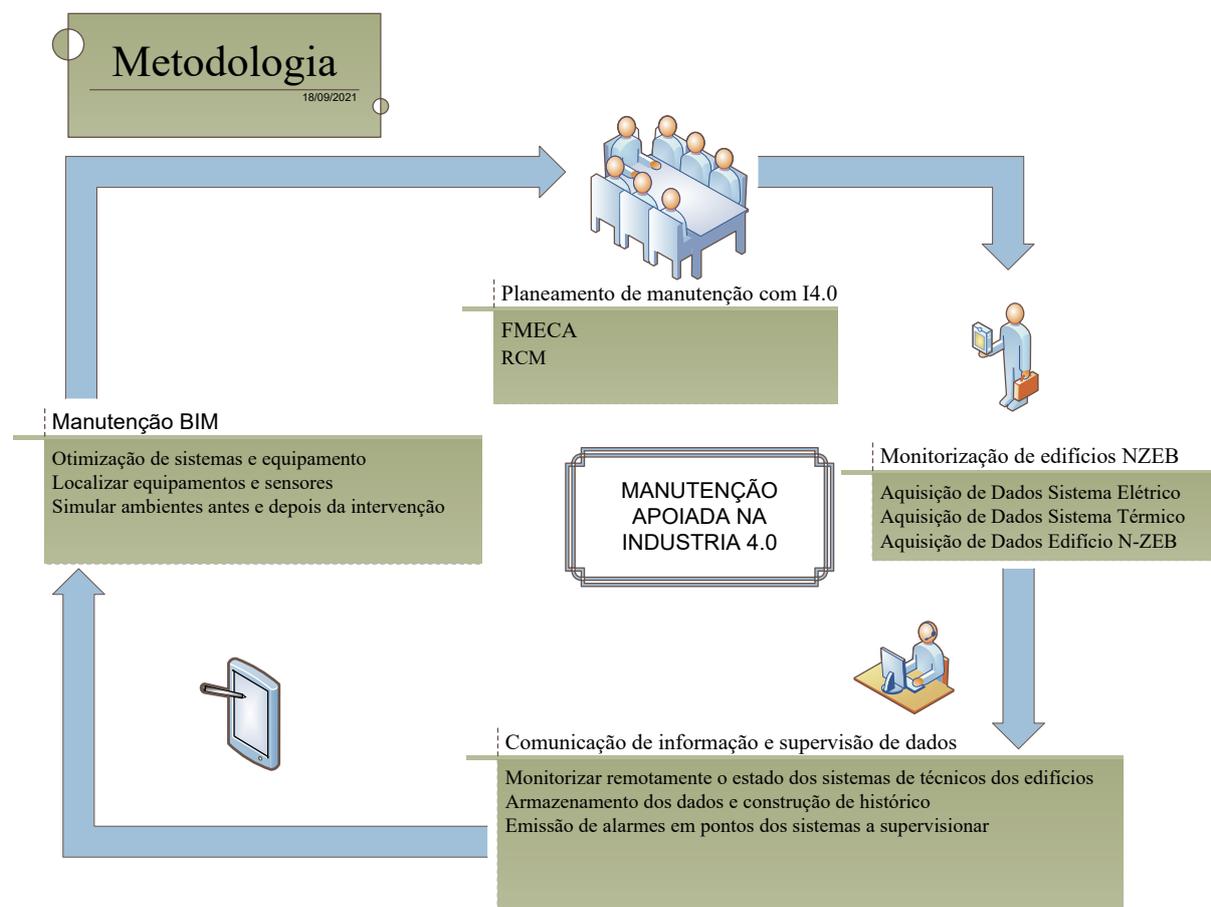


Figura 15 Metodologia de manutenção apoiada na I4.0.

### 3.1.1. Planeamento de manutenção com I4.0

Para melhorar a eficiência da manutenção durante a utilização de um edifício, o planeamento das atividades deve começar logo na fase de estudos e projetos, através da seleção de materiais e soluções construtivas adequadas, previsão do comportamento do funcionamento de todos os sistemas técnicos em funcionamento e elaboração de manuais de utilização e manutenção.

A primeira etapa consiste em realizar uma FMECA com uma análise RCM na fase de projeto, com vista a catalogar uma relação de possíveis incompatibilidades, defeitos ou falhas que podem ocorrer durante o processo de montagem e funcionamento dos diferentes sistemas ao longo da sua vida útil. Este levantamento serve de base à seleção de informação para a elaboração de documentação de auxílio ao diagnóstico e definição de principais técnicas de manutenção e reparação, aplicando normas e legislação relacionadas com os sistemas. Com base neste estudo, o gestor de manutenção pode realizar o preenchimento de formulários, planos de manutenção e anexar fotografias de todos os sistemas em análise.

A aplicação de FMECA em manutenção de edifícios na fase de projeto permite analisar os projetos de arquitetura e especialidades, permitindo a tomada de decisão para sistemas técnicos com base em histórico e estatísticas, adequando o tipo de equipamento ao sistema. Facilita ainda a passagem do edifício da fase de construção para a fase de exploração, eliminando pontos negativos na definição de elementos de monitorização dos sistemas. Estes equipamentos devem ser selecionados de acordo com a fiabilidade dos resultados e a facilidade de transmitir dados para sistemas de informação. Os sensores escolhidos devem recolher valores corretos e transmiti-los para a *cloud* para serem analisados utilizando o *software* selecionado.

### 3.1.2. Monitorização de edifícios NZEB

A segunda fase consiste na monitorização dos sistemas técnicos nos edifícios NZEB. Embora possa variar substancialmente com o tipo de características do edifício, de um modo genérico deve incluir os seguintes recursos:

- Sistema de sensores e aquisição de dados;
- Comunicação de informação e supervisão de dados
- Processamento inteligente, armazenamento e gestão de dados;

#### 3.1.2.3. O Sistema de sensores e aquisição de dados.

Os sensores e módulo de aquisição de dados é o primeiro passo na implementação de uma estratégia para diagnóstico de máquinas. A tarefa deste módulo é selecionar um sensor adequado à função que se quer controlar ou autorregular. O processo de aquisição de dados transforma os sinais do sensor em domínios que contêm informações sobre a condição do equipamento. Vários sensores, como micros sensores, sensores ultrassónicos, sensores de vibração e sensores de emissão acústica, são projetados para obter dados diferentes dos equipamentos em causa.

A operacionalização da monitorização divide os sistemas técnicos em três grandes grupos:

a) O sistema de produção e consumo de energia (sistema elétrico), constituído normalmente por módulos fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas urbanas, onde se aplicam sensores de monitorização referenciados na Tabela 3.

Tabela 3: Grandezas a monitorizar /número de sensores (sistema elétrico).

Grandeza medida	Unidade	Tipo de sensor	Sinal de saída	Localização
Corrente PF	A	Shunt	mA	Circuito do PF
Tensão PF	V	Voltímetro	V	Circuito do PF
Potência PF	W	Wattímetro	mV	Circuito do PF
Produção de energia corrente alterna (CA)	Wh	Contador	Impulsos	Saída do inversor
Direção do vento	°	Catavento	Tensão	Edifício (Cobertura)
Irradiação solar	Wm <sup>-2</sup>	Piranómetro	Tensão	Edifício (plano dos módulos)
Temperatura dos módulos PF	°C	PT100	Resistência	Módulos
Energia armazenada para a rede CA	Wh	Contador	Impulsos	Inversor

b) Os sistemas térmicos, constituídos pelo armazenamento de água quente sanitária (coletores solares) e bombas de calor a ar/água com depósito de inércia, permitem produzir aquecimento ou arrefecimento através de ventiloconvetores ou piso radiante, onde se aplicam sensores de monitorização referenciados na Tabela 4.

Tabela 4: Grandezas a monitorizar /número de sensores (sistema térmico).

Grandeza medida	Unidade	Tipo de sensor	Sinal de saída	Localização
Temperatura de entrada coletores	°C	PT 100	Corrente/Tensão	Coletor solar
Temperatura de saída coletores	°C	PT 100	Corrente/Tensão	Coletor solar
Temperatura de entrada de depósito AQS	°C	PT 100	Corrente/Tensão	Entrada na rede
Temperatura de saída de depósito AQS	°C	PT 100	Corrente/Tensão	Topo
Medidor de Caudal coletores	m <sup>3</sup> /h	Caudalímetro	Corrente/Tensão	Coletor solar
Temperatura de depósito de inércia (entrada)	°C	PT100	Corrente/Tensão	Entrada depósito de inércia
Temperatura de depósito de inércia (saída)	°C	PT 100	Corrente/Tensão	Saída depósito de inércia
Medidor Caudal de consumo AQS	m <sup>3</sup> /h	Caudalímetro	Corrente/Tensão	Saída Consumo AQS
Temperatura da bomba de calor	°C	PT100	Corrente/Tensão	Entrada na rede
Temperatura da bomba de calor	°C	PT100	Corrente/Tensão	Saída (consumo)
Consumo da Bomba de calor	Wh	Contador	Digital	Alimentação c.a.
Irradiância incidente nos coletores solares	W/m <sup>2</sup>	Piranómetro	Tensão	Coletores solares

Quaisquer destes sistemas possuem autómatos ou controladores inteligentes acoplados que possibilitam otimizar a programação das bombas de calor juntamente com o armazenamento de energia térmica, ou ajustar a produção de energia ao ponto máximo de maior produção. A

harmonização destes controladores deve permitir interconectar o sistema elétrico ao térmico para que o período de operação da bomba de calor esteja em função da produção de eletricidade.

c) O sistema de comportamento térmico arquitetónico e estrutural do edifício. Nos edifícios torna-se importante a monitorização das soluções passivas de eficiência energética que conduzem à redução do uso de energia e ao aumento do conforto térmico. Entre estas soluções, destacam-se os vãos envidraçados, estratégias de ventilação (paredes de trombe) e sombreamento solar, ou ainda materiais de mudança de fase PCM<sup>2</sup>. Embora este tema não esteja no âmbito deste trabalho, é importante a monitorização destas estruturas passivas pelo que se considera a aplicação de alguns tipos de sensores para edifícios que recebem público e que são mencionados na Tabela 5.

Tabela 5: Grandezas a monitorizar num edifício.

Grandeza medida	Unidade	Tipo de sensor	Sinal de saída	Localização
Temperatura do ar exterior	°C	PT100	Corrente Tensão	Exterior do edifício
Humidade relativa	%	Higrómetro	Tensão	Exterior do edifício
Velocidade do vento	m/s	Anemómetro	Tensão	Exterior do edifício
Direção do vento	°	Catavento	Tensão	Exterior do edifício
Irradiância solar horizontal	Wm <sup>-2</sup>	Piranómetro	Tensão	Exterior do edifício
Irradiância solar global no plano vertical da fachada.	Wm <sup>-2</sup>	Piranómetro	Tensão	Exterior do edifício
Illuminância	lx	Luxímetro	Tensão	Interior do edifício
Temperatura do ar	°C	PT100	Corrente Tensão	Interior do edifício
Humidade relativa	%	Higrómetro	Tensão	Interior do edifício
Fluxo de calor condutivo envidraçado	Wm <sup>-2</sup>	Fluxímetro	Tensão	Interior do edifício
Fluxo de calor condutivo paredes	Wm <sup>-2</sup>	Fluxímetro	Tensão	Interior do edifício

### 3.1.3. Comunicação de informação e supervisão de dados

A supervisão do processo de monitorização dos sistemas técnicos em manutenção de edifícios passa pela aplicação de um *software* de controlo de supervisão e aquisição de dados (SCADA), cuja nomenclatura anglo-saxónica se descreve por *Supervisory Control And Data Acquisition*, permitindo o controlo dos dados em tempo real nas instalações. O *software* permite o controlo dos sistemas, energia, aquecimento e arrefecimento, reduzindo consideravelmente os consumos de energia. Permite ainda otimizar os níveis de iluminação com base na informação da radiação ou com base em planos de ocupação. Os respetivos sensores medem a temperatura interna e externa e enviam a informação ao sistema de controlo de aquecimento e ventilação para regular automaticamente os ciclos de

<sup>2</sup> PCM - *Phase Change Materials* - são agentes que intervêm como meios de armazenamento de calor latente. Estes materiais absorvem calor quando fundem, e libertam calor quando solidificam.

temperatura e de aquecimento. Este sistema maximiza o potencial de economia de energia, permitindo manter a tecnologia do edifício sob controlo.

Os principais objetivos do SCADA são:

- Monitorizar remotamente o estado dos sistemas técnicos dos edifícios;
- Armazenar os dados e construção de histórico;
- Emitir alarmes em pontos dos sistemas a supervisionar;
- Otimizar sistemas e equipamento.

O sistema é composto por uma aplicação local que processa os pedidos e permite a comunicação com os vários equipamentos a monitorizar. Esta comunicação é feita através de um controlador lógico de controlo (PLC), que fornece uma interface com os sensores analógicos ou digitais dos vários equipamentos, utilizando tecnologia *wireless*, ou fibra ótica, ou *Bluetooth*, com recurso um protocolo específico do equipamento. A aplicação local disponibiliza os dados através de uma interface “SCADA” para controlo e monitorização via *web*. Assim, o operador e gestor visualizam a informação dos vários dispositivos remotamente (Figura16).

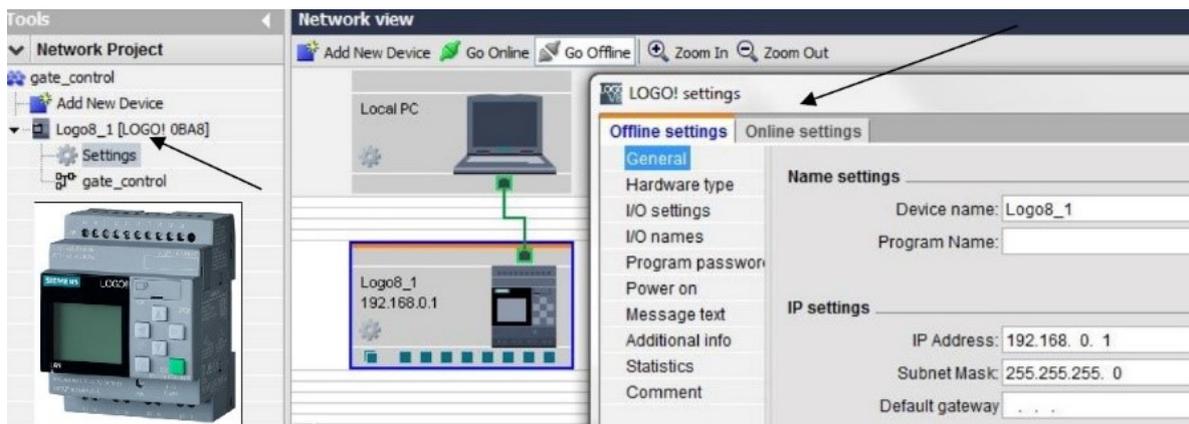


Figura 16 Ativar servidor web no PLC Logo Siemens OBA8 (Adaptada do manual Logo Siemens).

### 3.1.3.1. O Processamento inteligente, armazenamento e gestão de dados

O processamento inteligente depende principalmente de sinais e dados de sensores que refletem a condição do equipamento. Pode apoiar-se ainda em técnicas inteligentes que incluem bases de dados, processos estatísticos e análise de históricos para apoio à tomada de decisão. Este apoio pode ser dividido em quatro categorias:

1. Físico, que se baseia em verificações do estado de funcionamento do equipamento assente em técnicas de Manutenção preventiva condicionada;

2. Estatístico, que se baseia em condições estatísticas da manutenção MTBF e fiabilidade de equipamentos;
3. Orientado a dados, que se baseia na recolha de dados através da base de dados dos sistemas inteligentes;
4. Modelo híbrido, que conjuga normalmente a decisão tomada com base no modelo estatístico e orientado por dados.

O processamento de dados é crucial para os pilares que garantem uma informação de qualidade. De uma maneira geral, o processo ocorre conjuntamente entre servidores, sistemas operacionais, base de dados e dispositivos móveis que mostram ou analisam os dados.

### 3.1.4. Manutenção BIM

O BIM apresenta um conjunto de *aplicativos* que atuam em nuvem ao longo do processo construtivo, permitindo mitigar o ciclo de vida dos edifícios desde a fase de projeto à sua exploração, possibilitando que todos os utilizadores tenham controlo sobre os processos e as fases do mesmo, através de um modelo virtual com acesso à monitorização dos respetivos equipamentos do sistema (Figura17).

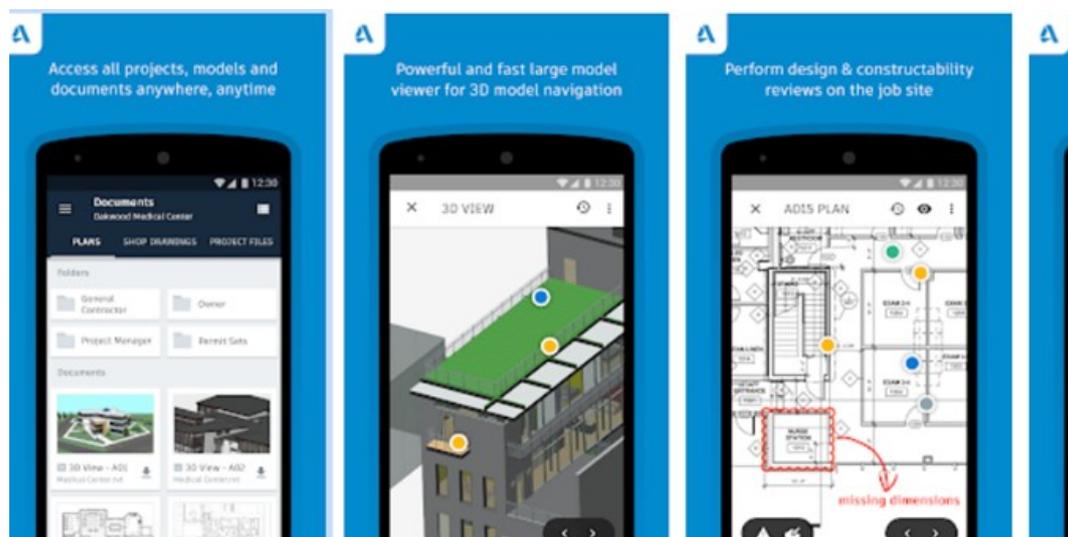


Figura 17 Aplicações BIM específicas para diversas fases do processo construtivo em nuvem.

Estes aplicativos têm especificações e objetivos próprios, em que a coordenação entre todos garante a abrangência de todo o processo de gestão dos edifícios, e podem ser utilizados em computadores e/ou em dispositivos móveis, através de apps.

A utilização de cada produto BIM depende da fase do processo na qual a equipa trabalha. A Tabela 6 apresenta alguns dos *softwares* mais importantes de tecnologia BIM nas especialidades de construção e manutenção de edifícios.

Tabela 6: *Softwares* BIM utilizados nas diversas especialidades

Especialidades	<i>Softwares</i>
Conceção de projeto Arquitetura	Archi CAD; Autodesk Revit Architecture; Bentley Architecture;
Estruturas	Tekla Structures; Bentley Structural Modeler; Autodesk Revit Structure; CypeCAD; Sap 2000
Documentação	Autodesk 360 DOCOS Open BIM Layout
Construção	Innovaya; Bentley ConstrucSim; BIM 360 LAYOUT BIM 360 PLAN Open BIM Checker
Operação Manutenção	Bentley Facilities; FM: Systems FM: Interact; EcoDomus. BIM 360 FIELD Autodesk Open BIM Checker BIM 360 OPS

A evolução BIM apresenta ainda uma grande diversidade de pequenos aplicativos das marcas de equipamentos que permitem transportá-los para uma arquitetura virtual dos edifícios. Podem assim programar-se inspeções nos equipamentos dos sistemas técnicos; incluir-se listas de verificações em dispositivos móveis para realizar procedimentos de análise baseados em padrões regulamentares; atribuir-se a responsabilidade da manutenção dos equipamentos aos fornecedores ou técnicos específicos; e permitir também monitorizar as intervenções.

Com recurso ao sistema de monitorização podem transmitir-se informações em tempo real dos sistemas técnicos para uma plataforma de análise baseada em nuvem. É possível assim detetar anomalias nos sistemas antes que estas provoquem o fim do seu funcionamento e emitir alertas de forma automática, que garantem que todos os utilizadores responsáveis pela manutenção são notificados das anomalias existentes.

A utilização do BIM permite às equipas de manutenção acederem a todas as informações dos sistemas técnicos dos edifícios em qualquer lugar. Aos gestores dos edifícios permite o acompanhamento de todo o processo de gestão dos sistemas. A intermutabilidade entre os PLC do sistema escada e o BIM permite o seguinte:

- Monitorizar remotamente o estado dos sistemas técnicos dos edifícios;
- Emitir alarmes em pontos dos sistemas a supervisionar;
- Otimizar sistemas e equipamentos;
- Simular ambientes antes e depois da intervenção.

## 3.2. Funções lógicas de motorização

A unidade PLC integra um módulo lógico que resolve tarefas técnicas nas instalações dos edifícios, este módulo possui funções pré-estabelecidas tais como:

- Ligação retardada e desligamento retardado;
- Relé de impulso;
- Programação horária;
- Memória (marcadores) digitais e analógicos.

Através de uma ligação de comunicação por Ethernet, o módulo lógico permite descentralizar o comando e controlar e monitorizar à distância sistemas de ventilação, bombas de calor, sistemas de aquecimento e de produção de energia.

### 3.2.1. Controlo do aquecimento

Os edifícios possuem uma grande variedade de sistemas técnicos onde pode ser aplicado o controlo de aquecimento e assim melhorar a eficiência energética dos sistemas e vigiar de uma forma mais precisa as operações de manutenção, uma vez que o utilizador pode receber na hora as informações do comportamento do sistema.

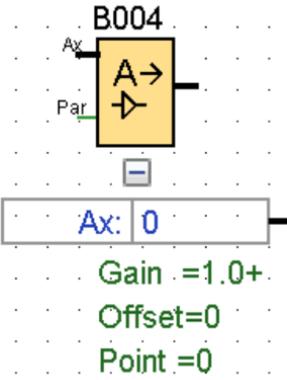
No estudo de caso deste trabalho, foram utilizados diferentes tipos de blocos de funções dos quais será feita uma apresentação dos mais importantes para o seu desenvolvimento.

### 3.2.2. Amplificador analógico

Esta função amplifica o valor existente na sua entrada afetado de um ganho e de um *offset* (Tabela 7). No caso presente, o amplificador analógico recebe o sinal de uma entrada analógica AI1, que fisicamente está ligada a um sensor PT 100, que mede a temperatura. Os ganhos (*Gain*) e *offset* são parametrizados de forma a converter o valor do sinal analógico numa temperatura medida em graus Celsius. As entradas analógicas poderão funcionar com sinal em tensão (0 a 10 V) ou corrente elétrica (0 a 20 mA). Podem assim monitorizar grandezas físicas, como por exemplo temperatura, pressão, número de rotações, etc.

Tabela 7 Função amplificador analógico (*Software LOGO! Siemens*).

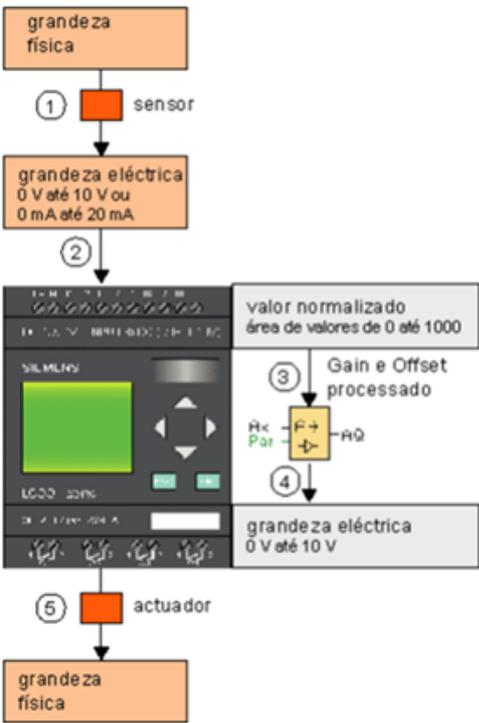
Conexão	Descrição
Entrada Ax	Na entrada Ax recebe o sinal analógico, que deve ser amplificado. 0 - 10 V corresponde a 0 -1000 (valor interno).
Parâmetros	A: Amplificação (Gain) Margem de valores: +ou - 10,00 B: Deslocamento do ponto zero (Offset) Margem de valores: +ou - 10.000 P: Número de casas decimais Margem de valores: 0, 1, 2, 3

Conexão	Descrição
	
Saída AQ	Saída analógica Margem de valor para AQ: -32768...+32767

### 3.2.2.1. Descrição da função amplificador analógico

Esta função lê o valor analógico do sinal existente na entrada analógica Ax, Tabela 8.

Tabela 8 Descrição da função amplificador analógico (*software* LOGO! Siemens).

	<p>1- A grandeza física (p. ex. temperatura, pressão, número de rotações, etc.) convertida em grandeza elétrica efetuada por um sensor externo.</p> <p>2- A grandeza elétrica é lida pelo PLC e convertida num valor normalizado na margem de 0 a 1000 para outro processamento.</p> <p>3- Para poder adaptar o valor normalizado na aplicação o PLC calcula o valor analógico a partir do valor normalizado numa função especial analógica, tendo em consideração o ganho (<i>Gain</i>) e o deslocamento do ponto zero (<i>Offset</i>).</p> <p>4- A tensão pode neste caso assumir valores entre 0 e 10 V.</p> <p>5- Com esta tensão o PLC pode aciona um atuador externo, que reconverte a tensão e o valor analógico numa grandeza física.</p>
---	---

Este valor é multiplicado pelo parâmetro A (*Gain*). O parâmetro B (*Offset*) é depois adicionado ao valor analógico.

$$(Ax * Gain) + Offset = \text{valor actual } Ax.$$

O valor atual é indicado na saída AQ.

Exemplo:

Sensor: Sensor de temperatura, área de medição  $-50$  até  $100^{\circ}\text{C}$

Para a temperatura medida  $22^{\circ}\text{C}$  (Figura 18).

1. O sensor converte a temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$  num valor de tensão de  $4,8\text{ V}$ .
2. O PLC converte os  $4,8\text{ V}$  no valor normalizado  $480$ .
3. Ao se escolher o tipo de Sensor, o PLC determina para o ganho (*Gain*) o valor  $0,15$  e para o *Offset* o valor  $-50$ .

De acordo com a fórmula:

$$\text{valor da grandeza} = (\text{valor normalizado} \times Gain) + Offset$$

O PLC calcula:

$$\text{valor da grandeza} = (480 \times 0,15) - 50 = 22^{\circ}\text{C}$$

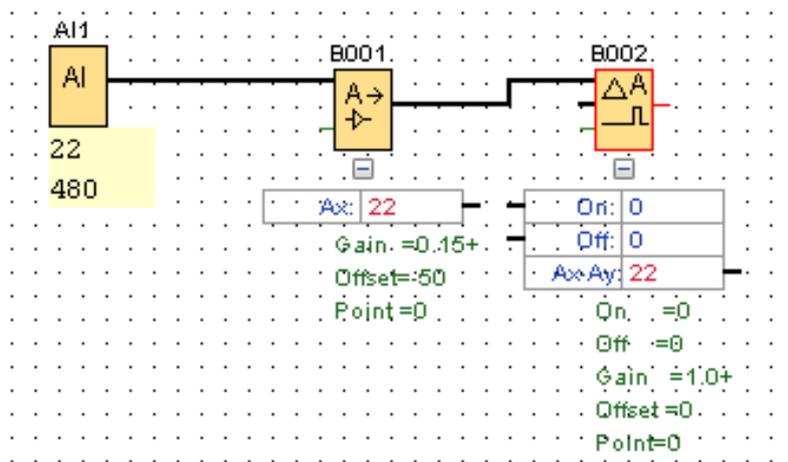
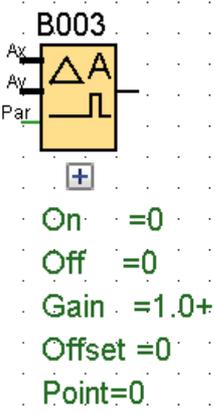


Figura 18 Demonstração do exercício com o *software* LOGO! da Siemens

### 3.2.3. Função comparador analógico

É uma função que compara a diferença  $Ax - Ay$  e dois valores parametrizáveis, e a saída é ligada ou desligada em função da leitura dos valores, Tabela 9.

Tabela 9 Função comparador analógico (*software* LOGO! Siemens).

Conexão	Descrição
Entradas Ax, Ay	Os sinais analógicos nas entradas Ax e Ay, cujas diferenças devem ser avaliadas.
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>A: Amplificação (<i>Gain</i>) Margem de valores: + ou - 10,00            B: Deslocamento do ponto zero (<i>Offset</i>) Margem de valores: +ou- 10.000  <i>On</i>: Limiar de ligação Margem de valores: + ou - 20.000  <i>Off</i>: Limiar de desligamento Margem de valores: + ou - 20.000            P: Número de casas decimais Margem de valores: 0, 1, 2, 3</p> </div> </div>	
Saída Q	Q é colocada ou reposta em função da diferença Ax-Ay e dos valores limiares ajustados.

### 3.2.3.1. Descrição da função comparador analógico

Esta função lê os valores analógicos dos sinais que ocorrem nas entradas analógicas Ax e Ay.

Este valor é multiplicado pelo parâmetro A (*Gain*). O parâmetro B (*Offset*) é adicionado depois ao respectivo valor analógico, ou seja:

$$(Ax * Gain) + Offset = \text{valor atual Ax}$$

ou

$$(Ay * Gain) + Offset = \text{valor atual Ay.}$$

A função verifica a diferença (delta) dos valores atuais Ax - Ay.

A saída Q é colocada ou reposta em função da diferença dos valores atuais Ax - Ay e os valores limiares definidos. Ver a seguinte regra de cálculo.

### 3.2.3.2. Regra de cálculo comparador analógico

Se limiar de ligação (*On*)  $\geq$  limiar de desligamento (*Off*), então é válido:

- Q = 1, se: (valor actual Ax – valor actual Ay) > limiar de ligação (*On*);
- Q = 0, se: (valor actual Ax – valor actual Ay)  $\leq$  limiar de desligamento (*Off*).

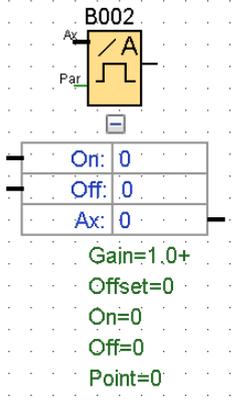
Se limiar de ligação (On) < limiar de desligamento (Off), então Q = 1, se:

- On <= (valor actual Ax – valor actual Ay) < Off.

### 3.2.4. Função interruptor de valor limiar analógico

É uma função onde a saída é ligada ou desligada em função de dois valores limiares parametrizáveis, Tabela 10.

Tabela 10 Função interruptor de valor limiar analógico (Software LOGO! Siemens).

Conexão	Descrição
Entrada Ax	Na entrada Ax aplique o sinal analógico, que deve ser avaliado.
Parâmetros	 <p>A: Amplificação (<i>Gain</i>) Margem de valores: + ou - 10,00 B: Deslocamento do ponto zero (<i>Offset</i>) Margem de valores: + ou - 10.000 On: Limiar de ligação Margem de valores: + ou - 20.000 Off: Limiar de desligamento Margem de valores: + ou - 20.000 p: Número de casas decimais Margem de valores: 0, 1, 2, 3 Saída</p>
Saída Q	Q é colocada ou reposta em função dos valores limiares.

#### 3.2.4.1. Descrição da função

Esta função lê o valor analógico do sinal existente na entrada analógica Ax.

Este valor é multiplicado pelo parâmetro A (*Gain*). O parâmetro B (*Offset*) é depois adicionado ao valor analógico (Figura19).

$$(Ax * Gain) + Offset = \text{valor actual Ax.}$$

A saída Q é colocada ou reposta em função dos valores limiares definidos.

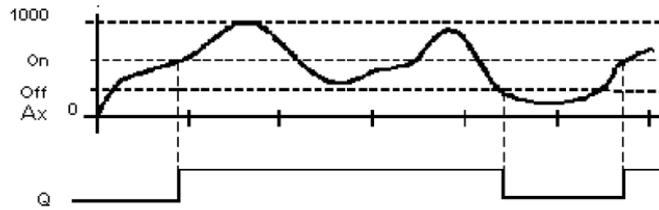


Figura 19 Gráfico da função interruptor de valor limiar analógico (*software* LOGO! Siemens).

O parâmetro *Offset* é adicionado a um valor analógico lido. A seguir, o resultado será multiplicado com o parâmetro Amplificação.

$$\text{valor} = (\text{AI} + \text{Offset}) * \text{Amplificação}$$

Se o valor calculado ultrapassar o limiar de ligação (*On*), a saída Q será colocada em 1.

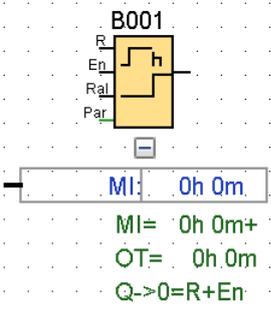
Q será novamente reposta a 0, se o valor alcançar ou ultrapassar o limiar de desligamento (*Off*).

### 3.2.5. Contador de horas de serviço

É uma função que mede o tempo de funcionamento de uma entrada (ex: contador de horas de funcionamento de um equipamento), Tabela 11.

Tabela 11 Função controlador de horas de serviço (*Software* LOGO! Siemens).

Conexão	Descrição
Entrada <b>R</b>	Com o flanco a subir (mudança de 0 para 1) na entrada de reposição a zero R ( <i>Reset</i> ) o contador é colocado para o tempo restante (MN) no valor parametrizado MI e a saída Q é reposta a zero.
Entrada <b>En</b>	En é a entrada de monitorização. Mede o tempo durante o qual esta entrada está colocada.
Entrada <b>Ral</b>	Com o flanco crescente na entrada de reposição a zero Ral ( <i>Reset all</i> ), é colocado o tempo restante (MN) no valor parametrizável MI, e o contador das horas de serviço (OT) e a saída são repostos a zero. Ou seja, <ul style="list-style-type: none"> <li>• Saída Q = 0,</li> <li>• Horas de serviço medidas OT = 0 e</li> <li>• Tempo residual que restou do intervalo de espera MN = MI.</li> </ul>

Conexão	Descrição
<p>Parâmetros</p> 	<p>MI: intervalo de espera a ser especificado na unidade Horas. Margem de valores: 0000...9999 h</p> <p>OT: Tempo de serviço total transcorrido. Pode predefinir-se um <i>Offset</i>. Margem de valores: 00000...99999 h</p> <p>Q 0:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleção "R": Q = 1, se MN = 0; Q = 0, se R = 1 ou Ral = 1</li> <li>• Seleção "R+En": Q = 1, se MN = 0; Q = 0, se R = 1 ou Ral = 1 ou En = 0.</li> </ul>
<p>Saída Q</p>	<p>Se o tempo restante MN = 0, então é colocada a saída. A saída é repostada a zero:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Em "Q 0:R+En", se R = 1 ou Ral = 1 ou En = 0</li> <li>• Em "Q 0:R", se R = 1 ou Ral = 1.</li> </ul>

### 3.2.5.1. Descrição da função

O contador de horas de serviço supervisiona a entrada. Enquanto permanecer nesta entrada o valor 1, a função incrementa o tempo decorrido e atualiza o tempo restante. O PLC mostra os tempos no modo de funcionamento parametrizado. Se o tempo residual que estiver a restar MN for igual a 0, a saída Q será colocada em 1. Com a entrada de reposição a zero, R repõe a saída Q e o contador para o tempo restante no valor predefinido MI. O contador de horas de serviço OT não é afetado. Com a entrada de reposição a zero, R repõe a saída Q e o contador para o tempo restante no valor predefinido MI. O contador das horas de serviço OT é repostado a 0. Em função da parametrização do parâmetro Q, a saída é repostada a zero se um sinal *Reset* (R ou Ral) for 1 ("Q R"), ou então, se um sinal *Reset* 1 ou o sinal En for 0 ("Q R+").

Página deixada propositadamente em branco

# Capítulo 4

## 4. Estudo de um caso

Neste capítulo é feita uma descrição da implementação e monitorização de um sistema AQS e um sistema fotovoltaico, seguida de uma análise de resultados.

### 4.1 Monitorização de sistemas técnicos

O caso de estudo selecionado para ilustrar alguns dos aplicativos propostos pelas tecnologias I4.0 corresponde à monitorização de uma habitação de ocupação sazonal com um sistema AQS e um sistema de geração de energia por painéis solares fotovoltaicos. A monitorização do sistema AQS já se encontra em produção, e o sistema fotovoltaico ainda se apresenta em forma de possível solução.

#### 4.1.1. Monitorização de um sistema AQS

O sistema AQS é composto por oito coletores solares, um depósito de 500 litros para acumulação de água quente com duas serpentinas, uma do solar térmico e outra do circuito proveniente do um depósito de inércia com 80 litros de capacidade. Um dos circuitos primários possui uma bomba circuladora de 50 litros por minuto, que permite a permuta de calor entre o depósito de inércia e o depósito de acumulação de água quente. O circuito secundário possui um circuito de retorno com a aplicação de uma bomba também de 50 litros por minuto.

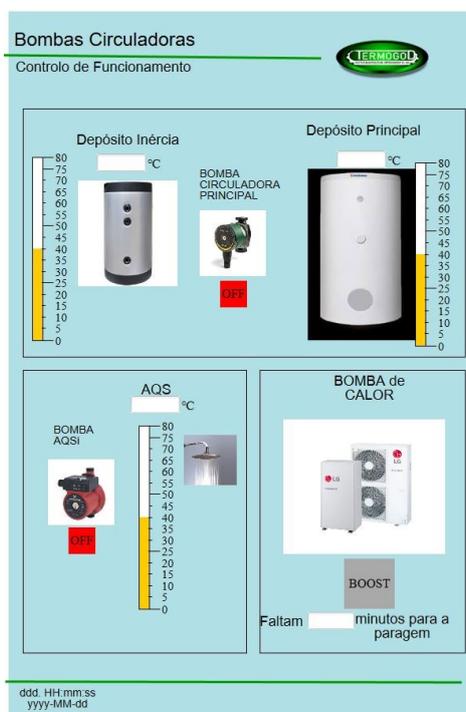


Figura 20 Menu de monitorização de temperaturas e de bombas de circulação (software LWE).

Em virtude da ocupação sazonal do edifício foi solicitado o controlo e monitorização remotos de forma a otimizar o consumo e eficiência energética (Figura 20). Este acesso remoto permite obter dados do funcionamento da instalação que são utilizados na manutenção preditiva e condicionada. A Tabela 12 estabelece a metodologia seguida para a monitorização de uma habitação.

Tabela 12: Passos de execução do modelo para monitorização de sistema AQS.

Ordem	Procedimento
1º Passo	Determinação dos pontos de recolha de informação
2º Passo	Definição da plataforma de monitorização
3º Passo	Estrutura de programação
4º Passo	Implementação
5º Passo	Recolha de dados e análise

1º Passo - consistiu numa visita ao local para a instalação dos equipamentos AQS. Foi definida a necessidade de monitorizar os três circuitos AQS: sistema primário dos coletores solares, sistema primário da bomba de calor e sistema secundário de retorno. Foi ainda decidido monitorizar as temperaturas dos depósitos principal e de inércia. Não foi implementado nenhum sistema de controlo dos coletores solares por estes estarem a ser controlados pelo autómato do coletor solar de forma independente.

2º Passo - definição da plataforma de monitorização dos sistemas AQS composta pelo seguinte:

- a) Um módulo lógico programável LOGO! Siemens com cartas de expansão de entradas analógicas e servidor *webserver* integrado;
- b) Três sondas de temperatura (PT100);
- c) Um *software* com a programação da lógica combinatória do funcionamento do sistema (elaborado com recurso a *software* LOGO! Siemens);
- d) Um *software* de interface “SCADA” para controlo e monitorização via *web* (elaborado com recurso a LWE).

3º Passo – A estrutura de programação vai permitir o controlo de temperatura dos depósitos, e o comando das três bombas de circulação é executado pelo programável LOGO! Siemens com cartas de expansão de entradas analógicas. O módulo de programação permite colocar o sistema de produção de AQS em funcionamento de modo eficiente com recurso às novas tecnologias. A sua estrutura é decomposta em três módulos:

1. Módulo de circulação de AQS entre depósito principal e depósito de inércia;
2. Módulo de circulação de circuito de retorno;
3. Módulo de circulação de bomba de calor.

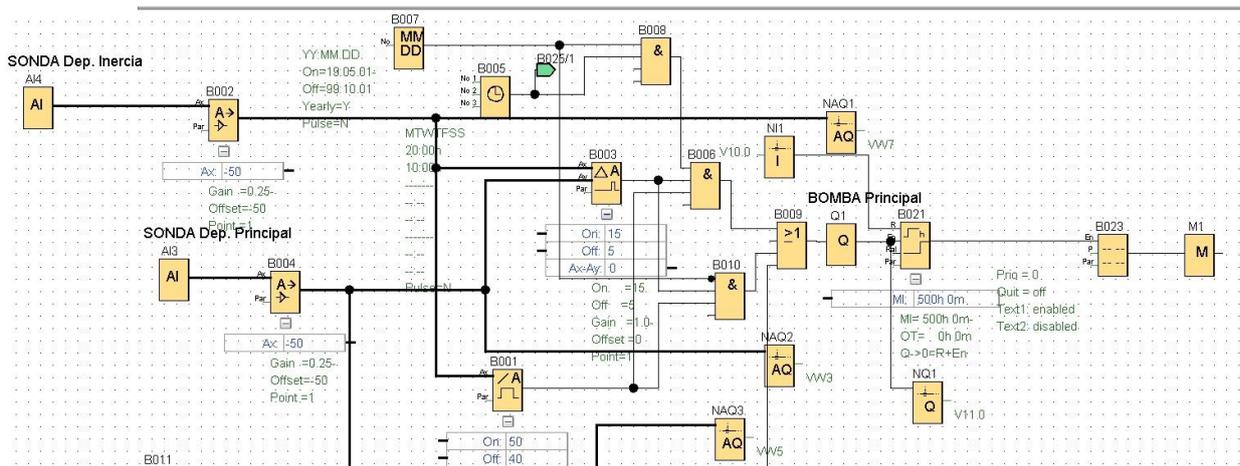


Figura 21 Programação LOGO! Siemens de sonda de depósito de inércia.

#### 4.1.1.1. Circulação de AQS entre depósito principal e depósito de inércia

Neste módulo, Tabela 13, as entradas analógicas AI4 e AI3 representam, respectivamente, a ligação da sonda de temperatura localizada no depósito de inércia e a sonda de temperatura que se encontra no depósito principal. Com estas sondas são realizadas as leituras das temperaturas da água quente nos respetivos depósitos. Os blocos B002 e B004 convertem o valor analógico da temperatura para graus Celsius. Os blocos B007 e B005 são dois relógios, sendo um anual e outro semanal, que permitem comandar a bomba de circulação de acordo com as parametrizações anuais e semanais. O bloco B008 é uma porta lógica AND que permite verificar as condições de B007 e B005 e executar a ordem quando as duas condições forem simultaneamente válidas. O B003 é um comparador analógico que compara as temperaturas da sonda AI4 com a AI3 e executa o arranque da bomba de circulação do sistema de apoio, caso a condição seja favorável. O bloco B006 faz a verificação da simultaneidade das condições B001, B003 e B008. O Bloco B010 faz a verificação da simultaneidade das condições B001, B003 e da negação de B007. Caso algum dos blocos B006, B010 ou B026 esteja dentro dos parâmetros indicados, a bomba principal entra em funcionamento. Esta bomba circuladora (saída Q1) não possui comando manual, pelo que só entra em funcionamento quando um dos blocos apresenta valor verdadeiro. O esquema ainda apresenta mais quatro variáveis importantes para a manutenção do equipamento: os blocos B021, NQ1, NAQ1 e a NI1. O bloco B021 controla as horas de funcionamento da bomba Q1 e de 500 em 500 horas emite um sinal de aviso no visor do autómato e da rede, “executar uma fotografia térmica”. Os restantes blocos fazem a ligação do autómato da Siemens à rede. O primeiro coloca na rede (aplicação LWE) a variável V11.0 com indicação de ON e OFF, o segundo coloca na rede a variável VW7, que é o valor da temperatura da sonda AI4, e o último faz o circuito inverso que ativando a variável V10.0 faz a contagem de horas da bomba de circulação (Figura 22).

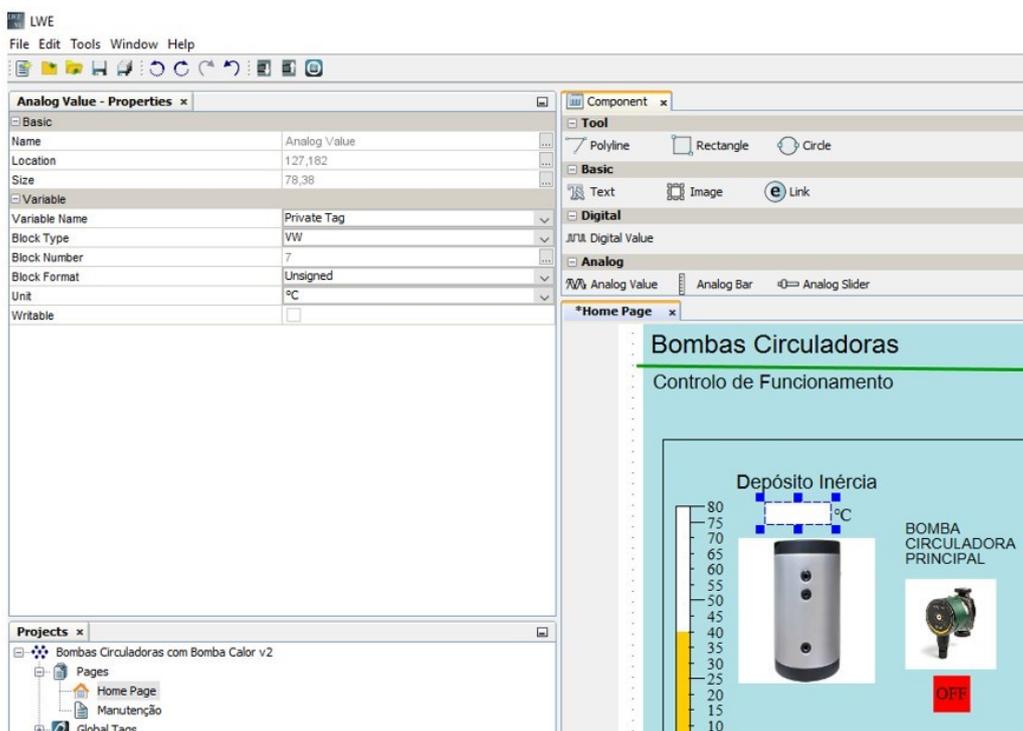


Figura 22 Parametrização de saída VW7 da sonda de temp. do depósito de inércia (Software LWE).

Tabela 13: Procedimentos dos blocos LOGO! Siemens, circuito de AQS com depósito de energia.

Blocos	Procedimentos
AI4	Sinal de sonda de temperatura do depósito de inércia
AI3	Sinal da sonda de temperatura do depósito principal
B001	Verifica o diferencial de temperatura entre 40° e 50° das duas sondas
B002	Operador que converte o sinal analógico para graus celsius
B004	Operador que converte o sinal analógico para graus celsius
B007	Relógio anual verão inverno. Inverno inicia a 1 de maio e termina 1 outubro
B005	Relógio semestral que liga as 02 horas e desliga às 10 horas
B008	Porta lógica (AND) verifica as condições B007 e B005. A saída apresenta o valor (1) quando as condições ficam válidas
B003	Comparador analógico que compara as temperaturas de AI4 com AI3. Quando o diferencial de temperaturas é maior ou igual que 15°C existe condição para o arranque da bomba. Quando o diferencial é menor ou igual a 5°C deixa de existir a condição anterior
B006	Comparador que verifica os blocos B007 e B005 e a diferença entre os blocos B003 e B001
B010	Porta lógica (AND) que verifica a negação de B007, B003 e B001 este bloco verifica a temperatura entre 50°C e 40°C
B009	Porta lógica (OR) Ou aplica o bloco B006 ou o bloco B010
B021	Controla as horas de funcionamento da bomba Q1 (500 horas em 500 horas)
Q1	Saída Q1 Liga a bomba principal
NQ1	Saída para a rede da variável V11.0 sinal ON OFF
NAQ1	Saída para a rede variável NI1 analógica VW7 AIA temperatura AQS deposito principal
NI1	Entrada pela rede variável V10.0 – limpa as horas do contador de horas

#### 4.1.1.2. Circulação de circuito de retorno

Neste módulo, Tabela 14, o circuito é controlado pela sonda AI5, onde o bloco B014 converte o valor analógico em graus, e o B013 verifica a temperatura da água de retorno e liga a bomba de circulação do circuito de retorno a partir dos 5°C até atingir os 40°C.

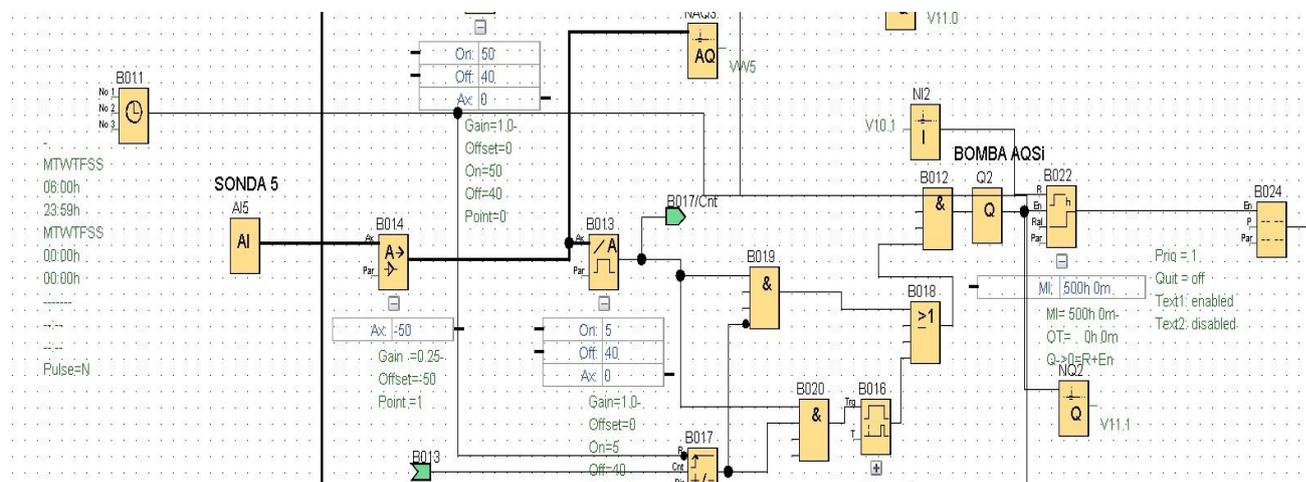


Figura 23 Programação do circuito de retorno.

O circuito de retorno funciona ainda com a condição B011 que controla a hora de funcionamento da bomba circuladora, evitando que trabalhe em horas mortas (Figura 23).

Tabela 14: Procedimentos dos blocos LOGO! Siemens para o circuito de retorno.

Blocos	Procedimentos
AI5	Sinal de sonda de temperatura do circuito de retorno
B014	Operador que converte o sinal analógico para graus celsius
B013	Comparador analógico que compara as temperaturas da água de retorno > 5°C < que 40°C
B011	Temporizador semanal liga entre as 23:59 horas e 6 horas. Só trabalha à noite
B012	Porta lógica (AND) verifica as condições B018 e bloco B011
B017	Contador que evita o pára-arranca quando a temperatura baixa de 40°C
B019	Recebe o valor de B013 e evita o arranque imediato de B17
B020	Porta lógica (AND) verifica as condições B017 e B013
B016	O bloco faz um atraso da função B020
Q2	Saída Q2 liga a bomba de circulação
B022	Controla as horas de funcionamento da bomba circuladora (500 horas em 500 horas)
B024	Mensagens de manutenção da bomba

#### 4.1.1.3. Circulação de bomba de calor

O módulo, Tabela15, de circulação de bomba de calor tem três modos de arranque: por botão de pressão; por botão, via um servidor de internet (podendo funcionar de qualquer lado sem rede de dados); ou sempre que o depósito principal tenha uma temperatura inferior a 40°C B013 e que B011 desde que seja à noite (Figura 24).

Tabela 15: Procedimentos dos blocos LOGO! siemens para bomba de calor.

Bloco	Procedimento
I1	Comando de arranque por interruptor
NI3	Comando de arranque por web APP
B029	Porta lógica (OR) ao arranca por comando ou arranca por web
B030	Temporiza 30 minutos, permanece 30 minutos ligado
B028	Porta lógica (OR) ou liga por B030 ou I1 ou sempre que o depósito principal tenha uma temperatura inferior a 40 °C B013 e que B011 só pode trabalhar a noite
B027	Operador matemático que regista o tempo em falta para o funcionamento da bomba de calor

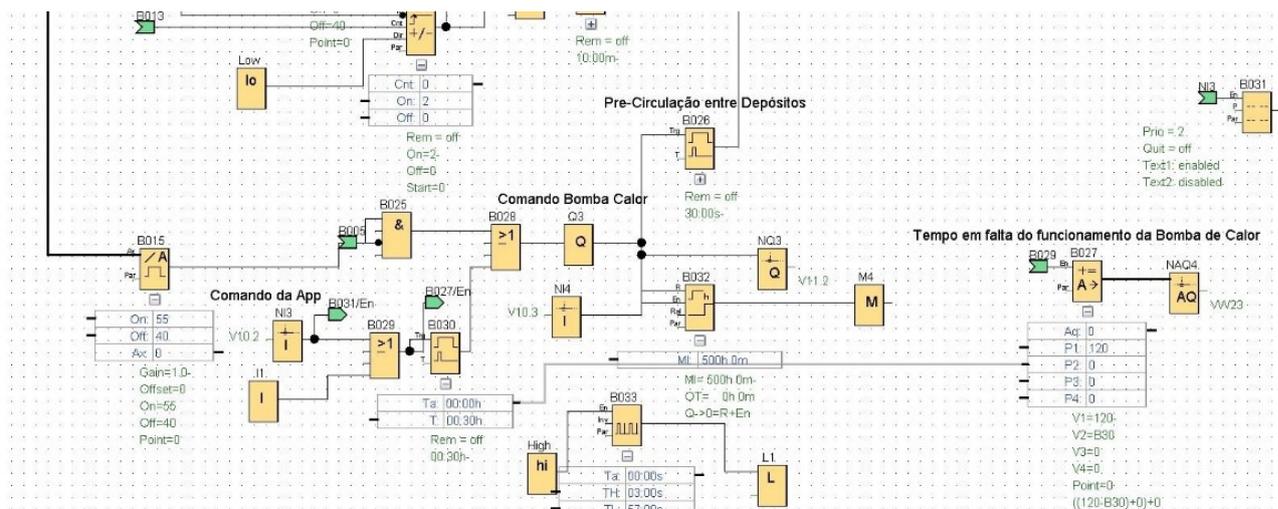


Figura 24 Programação do circuito da bomba de calor.

## 4.2. Monitorização de um sistema fotovoltaico

Para otimizar o sistema fotovoltaico é possível monitorizar muitos dos seus elementos, como por exemplo:

- Controlador de carga;
- Inversor;
- Caixas de *strings*;
- Módulos FV.

Existem no mercado sistemas de monitorização que permitem controlar os parâmetros mais importantes dos sistemas FV que são:

- Tensão do módulo de *string*;
- Corrente elétrica do módulo *de string*.

Ao contrário do coletor solar, em que o estudo se centrou num trabalho executado para um cliente de uma empresa da especialidade, o estudo do Painel Fotovoltaico (PF) baseia-se na monitorização de

um protótipo: um painel fotovoltaico de 240 W de potência, tensão de 30,3 V e corrente elétrica de 7,95 A, acoplado a uma estrutura de suporte do PF, que permite simular inclinações diversas com vista a estudos da melhor posição que se adequa ao perfil de produção de energia.

São simuladas neste estudo as seguintes falhas de produção de energia:

- a) Sombreamento parcial;
- b) Inclinação de fora de projeto;
- c) Sujidade do PF.

Para a recolha dos dados (Figura 25), foi utilizado um controlador MPPT 100 I20, que possui um protocolo de comunicação de curto alcance e baixo consumo de energia, que permite dois dispositivos trocarem informações entre si sem cabos e que permite guardar os dados durante um mês de produção e transmiti-los por *software* através de telemóvel ou por um servidor de internet.



Figura 25 Estrutura de teste para teste de sistema fotovoltaico.

Na primeira simulação, foi criado um sombreamento artificial a 1/3 do painel fotovoltaico. A exportação dos valores da potência, tensão e corrente elétrica foram importados para o telemóvel (Figura 26). As análises das curvas de tendência indicaram que a tensão se manteve quase inalterada - 27,55 V a 22,16V - e que a corrente elétrica baixa de 7,2 A para 0,5 A. Por consequência, a potência de produção baixou. Outro valor que começou a baixar foi o da carga da bateria que passou a compensar o consumo da lâmpada LED.

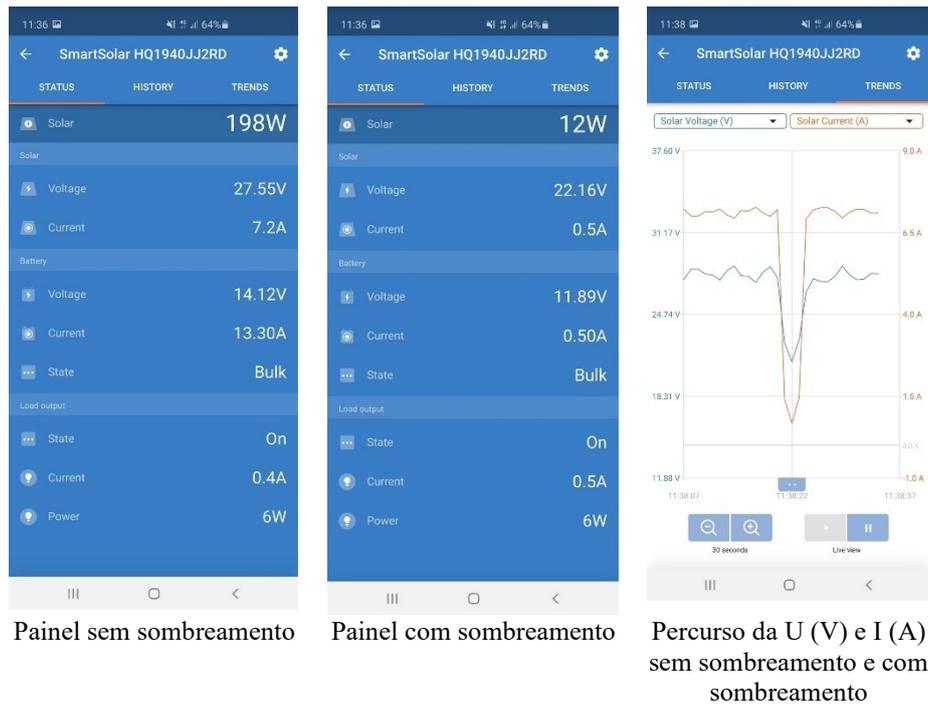


Figura 26 Análise de painel solar com uma sombra de 1/3 da área.

Na segunda simulação, foi modificado o ângulo de incidência do sol de 35° para 25° (Figura27). Foram novamente exportados os valores da potência (P), tensão (V) e corrente elétrica (I) para o telemóvel através de *Bluetooth*. Ao analisar os três parâmetros P, V e I, verifica-se uma redução generalizada dos valores.

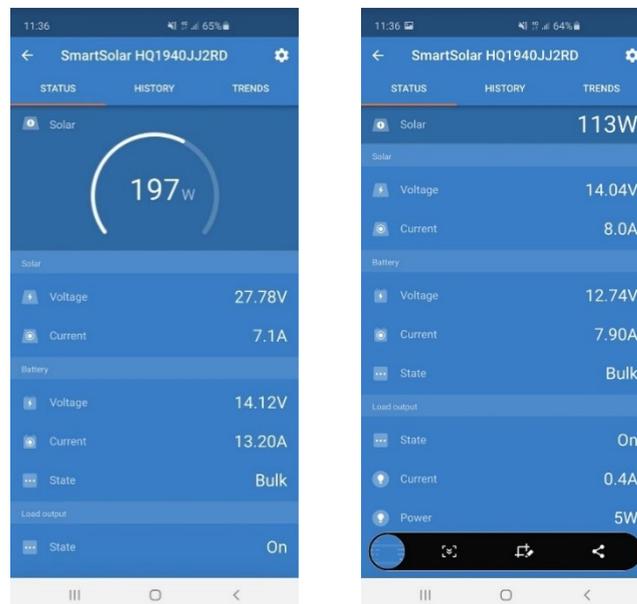


Figura 27 Análise do painel fotovoltaico com inclinação de 35° e 25°.

A terceira simulação consistiu em monitorizar o desempenho diário do PF (Figura 28). Os valores ao serem exportados para o telemóvel podem ser comparados com o desempenho do sistema de

informação geográfica em Wh (Figura 29). A sua análise permite caracterizar o desempenho do PF, esta caracterização torna-se mais consistente à medida que se cria um histórico do sistema fotovoltaico.

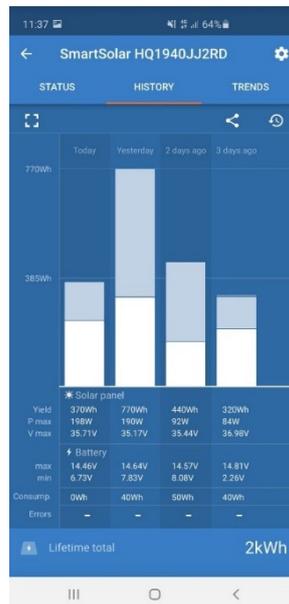


Figura 28 Histórico diário do rendimento do P.V.



Última atualização: 15/10/2019 Tooo

Figura 29 Desempenho de sistema solar fotovoltaico no centro de formação do IEFP de Alverca.

## 4.3. Análise de resultados

### 4.3.1. Sistema AQS

As bombas circuladoras, normalmente centrífugas, motores elétricos e compressores são vulgarmente utilizados nos sistemas hidráulicos das habitações. A I4.0 vai passar a ser um fator determinante para a monitorização e deteção de avarias em detrimento dos métodos tradicionais clássicos de análise de históricos e dados estatísticos.

Bombas Circuladoras

Manutenção

Temperaturas

Dep. Principal    Dep. Inércia    AQSI

°C    °C    °C

Horas Funcion. Bombas

AQSI    Circuladora Principal

RESET    RESET

Bomba de Calor

Horas Funcion.    Tempo em Falta do Boost (min)

RESET    Ajuste do Tempo Boost

ddd. HH:mm:ss  
yyyy-MM-dd

Figura 30 Menu de manutenção das bombas circuladoras (*software* LWE).

A monitorização do número de rotação da bomba centrífuga entre o circuito do depósito de inércia e do depósito principal vai permitir (Figura 30):

1. Aferir o número de horas correto para uma manutenção ou substituição por potencial avaria.  
O número de horas de funcionamento (500h) prevê o desencadeamento de uma ação de prevenção por análise térmica, registando-se em seguida as temperaturas de funcionamento da bomba. O registo permite calibrar o número de horas de funcionamento da bomba centrífuga.
2. Verificar o desempenho dos depósitos de acordo com os padrões de consumo.  
O número de horas de funcionamento da bomba circuladora, além de prever a manutenção da bomba centrífuga, vai dar a informação das condições de armazenamento dos depósitos. Por exemplo, quando para um mesmo consumo de água, a bomba de calor funciona mais horas, implica menor eficiência do sistema de aquecimento.

Uma evolução do sistema de monitorização e controlo pode tornar mais eficientes as condições de manutenção. No futuro, o sistema pode progredir para os seguintes pontos de monitorização.

- a) Monitorização de vibrações.

A monitorização das vibrações prevê a deteção de vibrações no veio e rotor da bomba circuladora, muito antes da análise térmica (Figura 6).

b) Monitorização de pressão antes e depois da bomba.

A variação da pressão da bomba pode originar formação de bolhas de ar que, em grande número, podem interferir na altura manométrica da bomba e provocar cavitação. Sob efeito da cavitação, o fluxo de caudal, através do impulsor, é turbulento, resultando no aumento das vibrações na bomba. O impacto dos jatos das bolhas de ar na superfície do material é suficientemente forte para danificar a bomba circuladora, tubagem e válvulas do sistema e provocar erosão.

#### 4.3.2. Sistema fotovoltaico

Um sistema de produção de energia fotovoltaica implica um investimento importante para a redução de custos com a energia nos edifícios. A instalação de um sistema de monitorização para analisar a produção de energia vai permitir detetar os problemas mais comuns de falha dos PF. Com o sistema ligado a um servidor de internet, o técnico acompanha a instalação sem o deslocamento ao local e deteta na hora os erros mais comuns.

Na primeira simulação, a análise da V-I permite detetar uma variação importante na potência do painel solar. Este comportamento é normalmente provocado por um sombreamento, caso o valor da diferença entre leituras se altere durante o tempo de funcionamento diário. Se o valor V-I se mantiver constante ao longo do tempo, implica uma degradação do painel. A tensão elevada a que cada célula está submetida pode dar origem a correntes de fuga indesejadas entre as células, danificando permanentemente o painel. No caso do sombreamento, este deve ser corrigido com a retirada da sombra ou a modificação da localização do PF. No caso do PF ficar danificado, deverá ser substituído.

Na segunda simulação, a variação da potência é baixa, as variáveis V-I alteram em sentido contrário ao da primeira simulação. Os controladores MPPT têm a característica de procurar a maior potência possível de produção, uma vez que a tensão baixa o controlador e altera o valor da corrente elétrica para compensar o valor da tensão. Este tipo de funcionamento é característico de um deslocamento do PF da inclinação ideal. A inclinação do PF deve ser corrigida para as condições de projeto.

A terceira situação não é uma simulação, mas sim uma monitorização constante da geração do PF. Se verificarmos a tendência do desempenho do sistema solar fotovoltaico proposta pelo Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaico Europeu (SIGFE), (Figura 29), verifica-se que a geração de energia sobe em valor até aos meses de julho e agosto, para depois voltar a baixar. Estes registos devem ter a mesma tendência ao longo do ano no PF (Figura 31), pelo que, se a tendência for acentuada negativamente, é porque existe uma perda de produção de energia por sujidade ou por

envelhecimento do PF que deve ser verificada. Esta variação torna-se mais precisa quando o sistema solar começa a ter um histórico de geração de energia próprio. Na monitorização dos registos do mês de janeiro, a análise do gráfico do PF apresenta uma tendência crescente, é esperado que este valor se mantenha crescente até julho/agosto e depois comece a decrescer. A Figura 32 mostra a evolução da produção de energia de PF com uma tendência de janeiro em crescendo: alguns valores diários apresentam desvios à tendência, motivados pelas alterações do tempo durante as horas de produção, no entanto, o valor médio apresenta uma curva crescente.

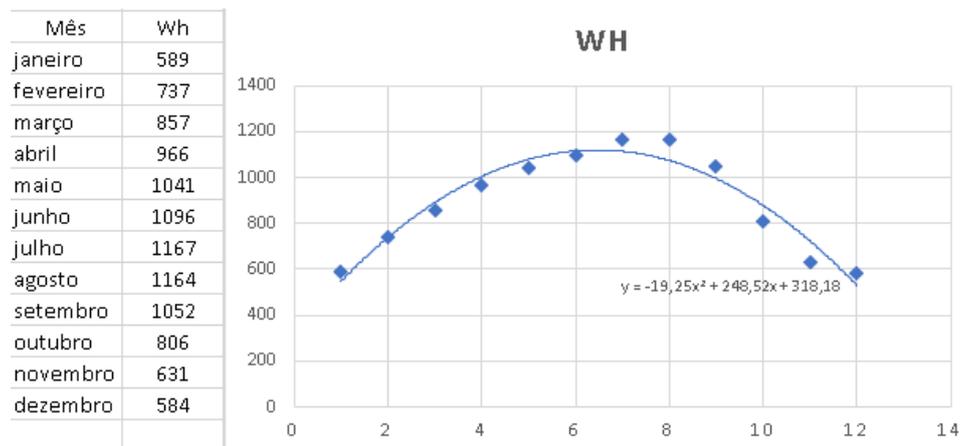


Figura 31 Linha de tendência do PF de janeiro a fevereiro SIGFE.

Cada instalação fotovoltaica requer uma configuração específica para maximizar a produção de energia. As sombras, os painéis com defeito ou as variações de energia reduzem a produtividade dos sistemas de produção de energia fotovoltaica. Em condições de bom funcionamento, os inversores MPPT fixam a tensão de funcionamento no ponto máximo da potência pelo que, por todo o sistema, se encontra a mesma tensão. As diminuições da radiação mantêm a curva de potência, embora com menor corrente elétrica. A monitorização desta característica contribui para a análise e decisão de proposta de manutenção diferenciadas.



Figura 32 Evolução da produção de energia durante o mês de janeiro.

### 4.3.3. Análise de investimento

Neste estudo, pretende-se encontrar vantagens para o investimento de um sistema de apoio ao consumo de energia, através da instalação de painéis solares fotovoltaicos para produzir energia elétrica e para apoio ao sistema de aquecimento através de coletor solar e bomba de calor. Isto porque se torna difícil contabilizar a automatização da bomba de calor e coletor solar por não se ter acesso ao histórico dos equipamentos. Para apoio à produção de energia foi proposto instalar 14 Módulos Fotovoltaicos AXITEC 320W e duas baterias de lítio, 2 Bateria SOALX 4.5 HV, totalizando os 4.480 W de potência total a instalar. Para analisar esta proposta de investimento, é importante saber quantos kWh se consegue produzir e qual o preço, em euros, pago por cada kW à rede. O número médio de horas de sol por ano em Portugal ronda as 3 500, o que equivale a cerca de 9 horas de sol por dia. Destas 9 horas, consideram-se apenas as horas de exposição direta, ou seja, o sol da madrugada ou do final do dia, numa posição que já está muito lateral, não produz nada, por isso, é aproveitado o sol das 11h da manhã às 16/17h da tarde, o que faz com que a média de horas de exposição solar em Portugal ronde as 5 horas de sol por dia.

Desta forma, tendo a potência e o número médio de horas de sol por dia, consegue-se calcular a energia gerada por dia, através da multiplicação desses dois fatores. Ou seja, para 5 horas de sol diárias, produz-se 22,4kWh por dia, através da fórmula:

$$E = HS \times P_i$$

$$E = 5 \text{ h} \times 4,480 = 22,4 \text{ kWh}$$

Em que:

E- Energia gerada por dia, em kWh,

HS - Nº de horas de Sol, em horas

P<sub>i</sub> - Potência, em kW

Com a energia gerada por dia, torna-se possível saber quanta energia é produzida por mês, por ano e até mesmo em 20 anos, tal como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 Total de energia gerada por dia, mês, ano e durante 20 anos.

Energia Gerada			
	Horas (h)	Potência instalada (kW)	Total (Kwh)
1 dia	5	4.480	22.4
Mês	5 x 30	4.480	672.0
Ano	5 x 365	4.480	8176.0
20 anos	5 x 7300	4.480	163520.0

O valor do investimento de 14 painéis fotovoltaicos é de 13350 €, ao qual se deve adicionar o custo de manutenção no valor de 2% ao ano, ou seja, o valor do investimento a 20 anos é de 18 750 €, obtido através da seguinte fórmula:

$$CT = CIF + 2\% \times CIF \times Na$$

$$CT = 13350 + (2\% * 13500) \times 20 = 18750 \text{ €}$$

Em que:

CT - Custo Total, em €

CIF - Custo da instalação fotovoltaica, em €

Na - N° anos, em anos

$$CT_{20} = CT / E_{20}$$

$$CT_{20} = 18750\text{€} / 16352,0 \text{ kWh}$$

$$CT_{20} = 0.114\text{€ por kWh}$$

Em que:

CT<sub>20</sub> - Custo do kWh durante 20 anos, em € por kWh

CT - Custo Total, em €

E<sub>20</sub> - Energia gerada em 20 anos, em kWh

ELETRICIDADE		FATURA Nº FT2021 34/340026931377		DE: 3 de julho 2021		VALOR: 81,02 €		
1% desconto (débito direto + fatura eletrónica)								
Descrição	Quantidade	x	Preço	=	Valor	Desconto	Total s/IVA	IVA
<b>Consumo real</b>								
Vazio	110 kWh		0,0922 €		10,14 €	1% (-0,10 €)	10,04 €	23%
Fora Vazio	201 kWh		0,1829 €		36,76 €	1% (-0,37 €)	36,39 €	23%
31 mai a 30 Jun 2021								

Figura 33 Valores de contrato de energia com a EDP comercial.

Sendo o objetivo da instalação dos painéis solares o autoconsumo, através dos cálculos efetuados anteriormente, é possível concluir que para as 5 horas de sol por dia, o preço do kWh é de 11,4 cêntimos e a fatura da operadora de energia é de 18,29 cêntimos em consumo fora de vazio e 9,22 cêntimos em consumo em vazio, ou seja, com a instalação dos painéis fotovoltaicos tem-se um

retorno de 6,89 cêntimos por kWh, o que leva a concluir que existe retorno económico embora um pouco baixo (Figura 33). No entanto, com o cenário de consumo fora de vazio, a energia da rede é mais económica 2,18 cêntimos, pelo que não compensa investir no projeto, caso o sistema necessite de energia durante a noite.

Em função do número de horas de sol por ano consegue-se saber a poupança anual

$$P_a = N \times P_i \times C_{FV}$$

$$P_a = 1825h \times 4,48 \text{ kW} \times 0,18 \text{ €}$$

$$P_a = 1471,68 \text{ €}$$

Em que:

$P_a$  - Poupança anual, em €

$N$  - Nº horas anuais, em horas

$P_i$  – Potência instalada, em

$C_{FV}$  - Consumo fora de vazio, em €

Para obter o Período de Retorno do Investimento (PRI) e determinar qual a Taxa Interna de Retorno (TIR), foram simuladas várias operações de investimento com uma folha de calculo incluída no anexo VI. A Tabela 17 descreve o resumo dos resultados obtidos.

Tabela 17 Resumo das folhas de cálculo do anexo VI.

Investimento		Fluxo de caixa	PRI	Taxa juro (i)	VAL	TIR
PF + Bateria	18750,00 €	1471,00 €	15	2%	5134,08 €	5,0%
PF	10920,00€	1471,00 €	9		13144,08 €	
PF + Avaria 1	10920,00 €	1471,00 €	13		8027,22 €	
PF + Avaria 2	10920.00 €	1471,00 €	10		10,989.61 €	

O investimento para os PF com bateria tem um PRI de 15 anos, valor ao fim do qual o projeto começa a dar lucro com uma taxa de juro de 2%. Foi simulado um segundo investimento com uma taxa de juro de 6%, que permitiu calcular o TIR de 5,0%, esta é a taxa de juro é limite para que o investimento não apresente prejuízo.

O estudo pode ser melhorado fazendo uma redução de custos de investimento, retirando as baterias do sistema fotovoltaico, uma vez que o valor do kWh da energia é de 9,2 cêntimos para consumo em

vazio, não justificando o preço da energia com baterias do sistema proposto, que é de 10,8 cêntimos. Com este objetivo foi pedido outro orçamento sem os custos das baterias.

$$CT = CIF + 2\% \times CIF \times Na$$

$$CT = 7800 + (2\% * 7800) \times 20 = 10920 \text{ €}$$

Em que:

CT - Custo Total, em €

CIF - Custo da instalação fotovoltaica, em €

Na - N° anos, em anos

$$CT_{20} = CT / E_{20}$$

$$CT_{20} = 10920\text{€} / 16352,0.0 \text{ kWh}$$

$$CT_{20} = 0.067\text{€ por kWh}$$

É possível concluir que, para as mesmas horas de sol por dia, o kWh custa 6,7 cêntimos. Sendo o custo da energia da rede de 18,29 cêntimos em consumo fora de vazio, existe um ganho de 11,3 cêntimos por kWh.

Calculando o PRI para uma taxa de juro de 2% com o mesmo cenário de investimento, os resultados são melhores com um PRI de 9 anos.

Durante os ensaios e monitorização do PF, foram demonstradas perdas de eficiência de produção de energia devido a sombreamentos parciais e sujidade que podem chegar aos 95%. Numa simulação de falta de monitorização dos painéis fotovoltaicos estas avarias podem durar anos.

Foi simulado o retorno do investimento dos 14 PF, onde, durante 4 anos, não houve manutenção nem monitorização, Tabela 17. O PRI passa de 9 para 13 anos, podendo ser atribuído o atraso no retorno do investimento a falta de monitorização e conseqüente ausência de manutenção.

Numa segunda simulação, foi construída uma tabela com perda na produção de energia devido a erros de inclinação dos PF. Na Tabela 17, está registado a variação do PRI de 9 para 10 anos. O atraso no retorno do investimento não se tornou tão grave, porque a perda de produção é menor, no entanto, é um erro muito frequente e de difícil deteção que pode prolongar-se pela vida útil da instalação.

#### 4.3.4. Conclusão

Difícilmente a instalação de apoio ao aquecimento é rentável com inclusão de baterias no projeto. As baterias tornam o projeto mais oneroso e difícil de amortizar com benefícios. Nos custos, não foi contabilizado, o facto de a vida útil das baterias não corresponder aos 20 anos do projeto de investimento. As baterias, por regra, têm uma duração de 8 a 10 anos o que implicaria uma substituição a meio do investimento.

A proposta mais rentável recai nos 14 painéis em autoconsumo, amortizáveis em 9 anos e com indicação de monitorização dos mesmos, com vista a que as operações de manutenção se realizem no mais curto espaço possível de forma a não perder rentabilidade do projeto. O projeto de apoio com PF não foi executado até a data, no entanto, com as alterações de apoios ao financiamento, é uma hipótese de investimento futuro.

Página deixada propositalmente em branco

# Capítulo 5

## 5. Conclusão

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões, bem como algumas sugestões de trabalho futuro, de modo a melhorar o sistema proposto.

Os conceitos apresentados têm como objetivo mostrar os contributos para a aplicação de tecnologia baseada na I4.0 à manutenção de edifícios de habitação e serviços. A IoT e computação em nuvem são conceitos incorporados pela manutenção preditiva e são estes que atribuem a designação “I4.0”. O avanço tecnológico, que acompanha a chegada de novas soluções de conforto e de eficiência energética, torna pertinente a implementação de técnicas de monitorização e acompanhamento da condição dos equipamentos durante a sua vida útil.

### 5.1 Conclusões gerais

Foram identificadas algumas das tecnologias da I4.0 desenvolvidas e a forma como poderão ser utilizadas na manutenção de edifícios. Foi dada principal ênfase à forma como pode ser estruturada no processo a gestão de manutenção baseada na fiabilidade utilizando a ferramenta FMECA. O estudo de fiabilidade permitiu ajustar a manutenção através de sensores instalados em pontos estudados, para que a recolha de informação seja realizada pelo utilizador através da *Cloud*, procedendo assim à programação da manutenção, sem que estejam dependentes de pontos fixos com internet, de operadoras móveis para enviar os seus dados através destas e de uma instalação elétrica. Este conceito de fiabilidade permite o seguinte:

1. Detetar as falhas críticas para os equipamentos em sistemas técnicos de edifícios;
2. Determinar o tipo de manutenção para cada equipamento em função do seu grau de criticidade;
3. Certificar que os sistemas cumpram os seus requisitos com a fiabilidade e disponibilidade definida com custo mínimo.

Foram estudadas soluções para geração de energia limpa, tais como:

1. Coletor solar apoiado por bomba de calor;
2. Pannel fotovoltaico, com especial ênfase no autoconsumo.

Estes sistemas apresentados, quer pela redução do consumo de energia para obter os índices de conforto térmico ideais, quer pela evolução da tecnologia para a produção de energia limpa, vão passar a estar presentes nos edifícios NZEB num futuro muito próximo.

Foram analisadas as vantagens de investimento em PF para apoio ao sistema AQS, assim como evolução do PRI tendo em consideração a monitorização dos PF. O facto de se executar a monitorização em tempo real dos sistemas e equipamento traz benefícios para o cumprimento dos prazos de amortização dos investimentos. O atraso da manutenção de um sistema de produção de energia provoca atraso no retorno do investimento.

Este trabalho também pretendeu mostrar que o BIM, pode ser aplicado na gestão da manutenção de edifícios, essencialmente nas manifestações patológicas em elementos de construção e também em processos mecânicos e transformação de energia. O BIM possibilita a integração dos modelos virtuais 3D com outros tipos de informações da edificação e a introdução de dados e referências técnicas relacionadas com o diagnóstico e recuperação de elementos construtivos.

A manutenção preditiva apoiada em I4.0 tem potencial para deteção de sinais de falha baseados em informações digitais transmitidas por sensores e PLC, em condições fortemente digitalizadas e integradas e com apoio de soluções de *softwares* BIM.

## 5.2 Barreiras a serem ultrapassadas para a implementação da manutenção 4.0

Com o objetivo de desenvolvimentos futuros e contribuição do progresso da investigação na área da manutenção de edifícios, existem lacunas que podem ser eliminadas com a criação de uma estrutura para a construção orientada para o registo e tratamento de dados que apoie decisões de trabalhos de manutenção, nomeadamente:

1. Definição de vida útil e exigências funcionais de elementos construtivos e dos sistemas;
2. Definir mecanismos de degradação;
3. Recomendações técnicas de produtos, soluções e custos de manutenção;
4. Desenvolver estudos de diagnóstico – experimentação;
5. Conhecer as patologias, falhas e desgastes mais correntes;
6. Desenvolver tecnologias a utilizar em ações de manutenção.

Dentro das limitações, destaca-se que a aplicação do BIM em edificações existentes ainda é restrita, devido a aspetos relacionados com o custo para a aquisição do *software* BIM e da necessidade de formação da equipa. Além disso, a adoção do método na Gestão da Manutenção de edificações existentes pode ser dificultada pela ausência de projetos, de especificações técnicas dos materiais construtivos e do histórico das manutenções realizadas, conforme abordado na revisão de literatura.

## 5.3. Perspetivas e trabalhos futuros

A digitalização, num futuro próximo, será parte integrante na evolução da humanidade. Os processos de produção, construção e manutenção vão utilizar cada vez mais PLC e sistemas SCADA, sendo de

grande interesse para a comunidade acadêmica a existência de formação nestas áreas em cursos de engenharia, integrados em especializações e mestrados.

Sendo o BIM um conceito inovador com aplicabilidade tanto na indústria, como construção de edifícios, assentando numa metodologia participativa de informação entre os intervenientes durante o ciclo de vida do produto ou do edifício, numa perspetiva futura, deve ser integrado na formação em engenharia, de uma forma horizontal, de modo a abranger várias áreas de formação, projeto, planeamento do trabalho, construção, manutenção e até em processos de fim de vida dos elementos estruturais.

A rápida adoção destas metodologias na prática profissional torna premente o interesse num estudo mais aprofundado da sua integração, explorando o maior número possível de *softwares* com vista a explorar múltiplas abordagens na aplicação dos conceitos em trabalhos futuros.

Página deixada propositalmente em branco

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografia

- [1] P. Europeu, “Desempenho energético dos edifícios,” *Diretiva*, 2018.
- [2] J. A. V. d. Paiva, “Medidas de reabilitação energética em edifícios,” *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, 2000.
- [3] Engeteles, “I 4.0,” *Artigo*, <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>.
- [4] S. A. S. Fernandes, “Ferramentas de Gestão e Desenvolvimento de Competências na Transição para a Indústria 4.0,” *Relatório*, <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/29602>.
- [5] P. M. N. Coelho, “Rumo à Indústria 4.0,” *Dissertação de Mestrado*, 2016.
- [6] PWC, “I4.0 Construir a empresa digital,” *Artigo*, 2016.
- [7] GGI, “Industry 4.0 Making you business more competitive,” *Artigo*, 2017.
- [8] J. P. S. Cabral, “Organização e Gestão da Manutenção,” *Lidel*, 2006.
- [9] F. M. C. Filipe, “Gestão e organização da manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estruturas ferroviárias,” *Dissertação de Mestrado*, 2006.
- [10] F. M. M. F. Monteiro, “Análise da criticidade das falhas e a sua monitorização em sistemas solares fotovoltaicos,” *Dissertação de Mestrado*, 2019.
- [11] Weldmuler, “Components and solutions for photovoltaic systems,” *Catálogo*, 2011.
- [12] M. I. Indústrias, “Análise de vibrações,” <https://www.mmtec.com.br/analise-de-vibracao/>, 2021.
- [13] J. Moubray, “U.S. Reliability-Centered Maintenance II,” *Industrial Press Inc*, 1997.
- [14] J. d. B. Inês Flores, “Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios,” *Artigo*, 2002.
- [15] R. M. d. N. Pinto, “Dissertação de Mestrado “Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços. Convergência para NZEB,” *Dissertação de Mestrado*, 2014.
- [16] U. d. Aveiro, “Casa Passiva,” <https://www.ua.pt/pt/casapassiva>, Site.
- [17] D. J. A. Borlido, “I4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção,” *Dissertação de Mestrado*, <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/102740>.
- [18] M. S. d. g. d. manutenção, “remote maintenance,” <https://www.manwinwin.com/>, 2021.
- [19] D. G. Simões, “Manutenção de edifícios apoiada no modelo BIM,” *Dissertação de Mestrado*, 2013.
- [20] Ecodomus, “Viewer, 3D / 2D,” <https://www.ecodomus.com/portal>, 2021.
- [21] Cype, “BIM,” <http://www.cype.pt/>, 2021.
- [22] F. M. C. Filipe, “Gestão e organização da manutenção, de equipamento de conservação e manutenção de infra-estruturas ferroviárias,” *Dissertação de Mestrado*, 2006.
- [23] A. M. R. e. L. F. R. A Canha da Piedade, “Climatização em edifícios envolvente e comportamento térmico,” *Edições ORION*, 2000.
- [24] A. M. R. e. A. M. B. A Canha da Piedade, “Térmica de Edifícios,” *Edições ORION*, 2009.
- [25] S. Autentibrisa, “Recuperadores de Fluxos,” <http://www.autentibrisa.pt/recuperadores-de-fluxos-cruzados>, 2021.
- [26] M. Â. S. d. O. Filipe Alexandre de Sousa Pereira, “Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica,” *Publindústria*, 2015.

Página deixada propositadamente em branco

## **Anexo I**

### **1. Plano de manutenção preventiva sistemático**

#### **P.M.P. (ÁGUA QUENTE)**

##### **PELO UTILIZADOR**

De 6 em 6 meses:

- I. No esquentador, verificação do funcionamento correto da evacuação de gases queimados para o exterior, assim como da sua correta ventilação.

Todos os anos:

- II. No esquentador, verificação do queimador e colocação em funcionamento, assim como dos valores limite mínimos e máximos de pressão.
- III. No esquentador e no termoacumulador a gás, verificação do funcionamento e estanquidade da válvula de segurança do gás, assim como as do resto dos circuitos hidráulicos.

De 5 em 5 anos:

- IV. Limpeza e reparação, se for o caso, dos elementos suscetíveis de maior deterioração no esquentador a gás.

##### **PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO**

De 4 em 4 anos:

- V. Revisão de aparelhos exclusivos para a produção de água quente sanitária de potência térmica nominal  $\leq 24,4$  kW.

#### **M.P.P. (ISOLAMENTO TÉRMICO DE TUBAGENS)**

##### **PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO**

Todos os anos:

- I. Revisão do estado do isolamento térmico.
- II. Revisão do estado de caixas e junções de sistema de tubagens de distribuição de aquecimento por piso radiante.

#### **P.M.P. (CAPTAÇÃO SOLAR)**

##### **PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO**

De 6 em 6 meses:

- I. Revisão para instalações com superfícies de captação superior a 20 m<sup>2</sup>.
- II. Inspeção visual dos seguintes elementos:
  - a. Coletores.
  - b. Condensações e sujidade nos vidros.
  - c. Fendas e deformação em juntas.
  - d. Corrosão e deformações no absorvedor.
  - e. Deformação, oscilações e janelas de respiração na carcaça.

- f. Aparecimento de fugas nas ligações.
- g. Degradação, indícios de corrosão e aperto de parafusos na estrutura.

Todos os anos:

- III. Revisão da instalação para instalações com superfícies de captação inferior a 20 m<sup>2</sup>.
- IV. Verificação da presença de lodos no fundo do depósito do sistema de acumulação.
- V. Verificação do nível de desgaste e do bom funcionamento dos ânodos do sistema de acumulação.
- VI. Verificação da presença de humidade no isolamento.
- VII. Controlo de funcionamento e limpeza do permutador de placas e da serpentina.
- VIII. Inspeção visual e controlo de funcionamento no fluido refrigerante, isolamento, purgador, bomba, vaso de expansão,
- IX. sistema de enchimento e válvulas.
- X. Controlo de funcionamento do quadro elétrico, de controlo diferencial, do termostato e do sistema de medida.
- XI. Controlo de funcionamento do sistema auxiliar e das sondas de temperatura.

#### **P.M. P. - Iluminação (SOLAR FOTOVOLTAICA)**

PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO

De 6 em 6 meses:

- I. Verificação das proteções elétricas.
- II. Verificação do estado dos módulos, verificando a localização em relação ao projeto original e verificando o estado das ligações.
- III. Verificação do estado do inversor, o seu funcionamento, as lâmpadas de sinalizações e alarmes. Verificação do estado mecânico de cabos, terminais, chapas, transformadores, ventiladores, extratores, ligações, reaperto e limpeza.

#### **P.M.P. – (UNIDADES CENTRAIS DE CLIMATIZAÇÃO)**

PELO UTILIZADOR

De 6 em 6 meses:

- I. Preferencialmente antes da temporada de utilização:
- II. Inspeção visual das partes à vista e a possível deteção de anomalias como fugas, condensações, corrosões ou perda do isolamento, com o fim informar a empresa responsável pela manutenção.
- III. Limpeza exterior dos equipamentos de produção sem produtos abrasivos nem dissolventes dos materiais plásticos da sua carcaça.

PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO

Todos os anos:

- IV. Para instalações de potência térmica nominal  $\leq 70$  kW:
- V. Limpeza dos evaporadores e condensadores.

- VI. Verificação da estanquidade e níveis de refrigerante e óleo em equipamentos frigoríficos.
- VII. Revisão e limpeza de filtros de ar.
- VIII. Revisão de unidades terminais de distribuição de ar.
- IX.

**P.M.P. – (Condutas de Admissão e Extração para Ventilação)**

**PELO UTILIZADOR**

De 6 em 6 meses:

- I. Observação do estado das aberturas e limpeza das mesmas.

**PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO**

Todos os anos:

- II. Verificação de que não existem problemas de funcionamento nas condutas de extração e de que os aparelhos que realizam a extração para as mesmas não sofrem anomalias na extração (falta ou excesso de tiragem).
- III. Verificação do funcionamento adequado da aspiração.
- IV. Inspeção visual do estado do aspirador.

De 5 em 5 anos:

- V. Verificação da estanquidade das condutas de extração.
- VI. Limpeza das condutas de extração.
- VII. Limpeza do extrator, eliminando aqueles elementos que se possam ter fixado sobre ele, com cuidado para que não aiam restos no interior das condutas.
- VIII. Limpeza das aberturas.

De 10 em 10 anos:

- IX. Completa revisão da instalação.

Página deixada propositalmente em branco

## Anexo II

### 1. Metodologia para elaboração de RCM com base em AMFCA

O primeiro passo da análise de risco é quantificar a Severidade dos Efeitos sendo os Efeitos avaliados numa escala de 1 a 4, sendo o 4 o mais severo Tabela 18.

Tabela: 18 Matriz de Severidade [21].

NÍVEL	CÓDIGO
CATASTRÓFICO	4
CRÍTICO	3
MARGINAL	2
INSIGNIFICANTE	1

De acordo com os níveis de severidade apresentados podem ser quantificados quantitativamente pelo quadro seguinte, Tabela 19:

Tabela 19: Níveis de Gravidade das Situações Potencialmente Perigosas [21].

NÍVEL DE SEVERIDADE	CONSEQUÊNCIAS PARA AS PESSOAS E MEIO AMBIENTE	CONSEQUÊNCIAS PARA O SERVIÇO
CATASTRÓFICO	Morte e/ou várias pessoas gravemente feridas e/ou prejuízos muito graves para o ambiente.	Perda do sistema principal.
CRÍTICO	Uma morte e/ou uma pessoa gravemente ferida e/ou prejuízos graves para o ambiente.	Eventual perda do sistema principal.
MARGINAL	Ferimentos menores e/ou ameaça grave para o ambiente.	Prejuízos graves para um (ou vários) componente(s) do sistema principal.
INSIGNIFICANTE	Eventualmente um ferido ligeiro.	Prejuízos menores para o sistema.

Os efeitos são avaliados como um grupo quando se avalia o risco, embora estejam atribuídos níveis de Severidade individualmente. É assumido que todos os feitos acontecem se o Modo de Falha ocorre. Então, o Efeito mais grave toma relevo quando se avalia o risco potencial. Alterando o projeto ou mudando o processo, podem-se reduzir os níveis de Severidade.

Depois dos Efeitos e Severidade serem identificados, o próximo passo é identificar as Causas dos Modos de Falha. Causas são erros específicos descritos em termos de algo que pode ser corrigido ou pode ser controlado. As Causas são avaliadas em termos de Ocorrência. Ocorrência é a probabilidade que uma Causa particular possa acontecer e resultará no Modo de Falha durante a vida útil e uso do produto. As ocorrências são classificadas numa escala de 1 a 6.

No modelo de FMECA apresentado neste trabalho considerou-se seis níveis distintos de Probabilidade de Ocorrência, Tabela 20.

Tabela 20 Matriz de Probabilidade de Ocorrência [21].

OCORRÊNCIA	CÓDIGO
Frequente	6
Provável	5
Ocasional	4
Remota	3
Improvável	2
Impossível	1

Os níveis de probabilidade de ocorrência apresentados podem ser descritos qualitativamente e quantitativamente, Tabela 21.

Tabela 21: Descrição da probabilidade de ocorrência [21].

CATEGORIA	DEFINIÇÃO	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA
FREQUENTE	Fortes hipóteses de ocorrer frequentemente. A situação potencialmente perigosa está sempre presente.	$P > 0,6$
PROVÁVEL	Pode ocorrer muitas vezes. Pode-se esperar que a situação potencialmente perigosa ocorra muitas vezes.	$0,3 < P \leq 0,6$
OCASIONAL	Fortes hipóteses de ocorrer várias vezes no ciclo de vida do sistema.	$0,3 < P \leq 0,6$
REMOTA	Fortes hipóteses de ocorrência algumas vezes no ciclo de vida do sistema. É razoável esperar que a situação potencialmente perigosa possa ocorrer.	$0,1 < P \leq 0,3$
IMPROVÁVEL	Poucas hipóteses de ocorrer, mas possível. Pode-se assumir ocorrência excepcional de perigo potencial.	$0,05 < P \leq 0,1$
IMPOSSÍVEL	Extremamente difícil de ocorrer. Pode-se assumir a não ocorrência de perigo potencial.	$0 < P \leq 0,05$

Os valores de Detetabilidade são uma medida da capacidade de detetar as Causas ou mecanismos de falha ou os subsequentes Modos de Falha. É atribuído um valor de Detetabilidade que representa essa capacidade, conforme se apresenta na Tabela 22.

Tabela 22: Matriz de Detetabilidade [21].

NÍVEL	CÓDIGO
IMPOSSIVEL	4
DIFICIL	3
MODERADA	2
FÁCIL	1

Os valores da detetabilidade apresentados podem ser descritos qualitativamente e quantitativamente, de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23: Detetabilidade [21].

CATEGORIA	DEFINIÇÃO	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA
IMPOSSÍVEL	Impossível de detetar, não detetável a olho nu, impossibilidade de utilização de equipamento especial.	P=0
DIFÍCIL	Difícil de detetar, não detetável a olho nu, só se consegue detetar com recurso a equipamento especial.	$0 < P \leq 0,5$
MODERADA	Hipótese moderada de ser detetável, não detetável a olho nu, consegue-se detetar com recurso ao equipamento /aparelhagem da máquina.	$0,5 < P \leq 1$
FÁCIL	Fortes hipóteses de detetabilidade, detetável a olho nu.	P=1

O objetivo fundamental da FMECA é recomendar e tomar ações para reduzir o risco.

Estas ações quando exercidas frequentemente resultam numa Severidade, Ocorrência, ou nível de deteção mais baixos. Uma revisão ao projeto ou processo pode resultar numa Severidade e Probabilidade de Ocorrência mais baixos.

O número de risco prioritário, em inglês Risk Priority Number (RPN) (Figura 34), classifica as falhas de acordo com o risco. Quanto maior o RPN, maior é o risco que aquela falha apresenta para o ativo da edificação. Portanto, mais recursos devem ser aplicados para reduzir esse risco. Seja atuando na ocorrência da falha, na severidade ou na deteção.

$$RPN = S \times O \times D$$

Em que:

RPN – Número de prioridade e risco

S – Severidade

O – Ocorrência

D - Deteção

Os elevados valores de severidade merecem atenção especial, particularmente quando juntos com valores de Ocorrência também altos. O termo Criticidade (C) foi desenvolvido para chamar a atenção para estas combinações. Criticidade é definido como o produto matemático de Severidade e Ocorrência.

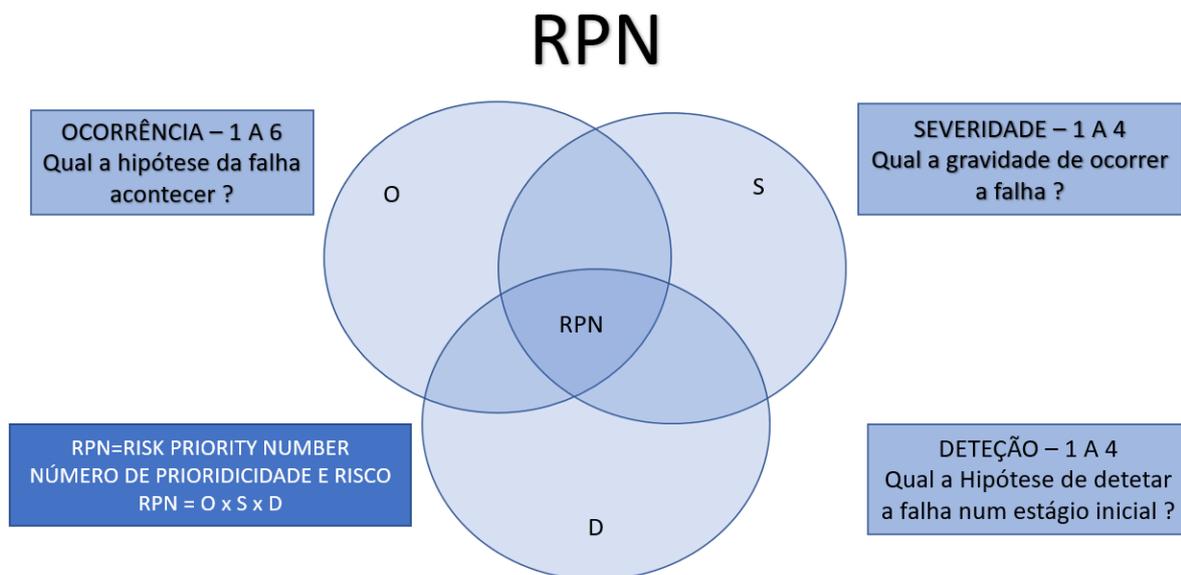


Figura 34 Cálculo do RPN para a Manutenção Centrada em Fiabilidade.

Na Tabela 24, mostra-se a Matriz de Criticidade, que corresponde ao produto da Frequência de Ocorrência (O) pelo Nível de Severidade (S).

Tabela 24: Matriz de Criticidade [21].

6	Frequente	6	12	18	24
5	Provável	5	10	15	20
4	Ocasional	4	8	12	16
3	Remota	3	6	9	12
2	Improvável	2	4	6	8
1	Impossível	1	2	3	4
		Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico
		1	2	3	4

Na Tabela 25, mostra-se a Matriz do RPN, que não é mais do que o produto da Matriz de Criticidade (S x O) pela Tabela de Detetabilidade estipulada (D).

Tabela 25: RPN [21].

		Detetabilidade 1 >>>>4				Detetabilidade 1 >>>>4				Detetabilidade 1 >>>>4				Detetabilidade 1 >>>>4			
6	Frequente	6	12	18	24	12	24	36	48	18	36	54	72	24	48	72	96
5	Provável	5	10	15	20	10	20	30	40	15	30	45	60	20	40	60	80
4	Ocasional	4	8	12	16	8	16	24	32	12	24	36	48	16	32	48	64
3	Remota	3	6	9	12	6	12	18	24	9	18	27	36	12	24	36	48
2	Improvável	2	4	6	8	4	8	12	16	6	12	18	24	8	16	24	32
1	Impossível	1	2	3	4	2	4	6	8	3	6	9	12	4	8	12	16
		Insignificante				Marginal				Crítico				Catastrófico			
		1				2				3				4			

Na Tabela26, pretende-se definir estratégias baseadas numa matriz do produto do Número de Periodicidade de Risco (RPN) pelo fator de criticidade, para determinar o tipo de manutenção mais adequado aos ativos, tendo em atenção a análise FMECA.

Tabela 26: Definição de estratégias conforma Manutenção Centrada em Fiabilidade [21].

CRITICIDADE	NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (RPN)				
	384 - 96	96 - 72	72 - 48	48 - 36	MENOR 36
CATASTRÓFICO	(1)(2)(5)	(2)(5)	(3)(5)	(5)	(6)
CRÍTICO	(2)(5)	(3)(5)	(3)	(4)	(6)
MARGINAL	(3)(5)	(4)	(4)	(4)	(6)
INSIGNIFICANTE	(3)	(6)	(6)	(6)	(6)

(1) Manutenção Online (2) Manutenção Preditiva (3) Manutenção Preventiva Planeada Condicionada (4) Manutenção Preventiva Planeada (5) Manutenção Planeada por deteção (6) Manutenção Corretiva

Necessariamente, o produto pela RPN x Criticidade pode não ser iguais ao da matriz. O importante é levar em consideração que os RPN maiores merecem maior atenção e que sejam tratados com manutenção preditiva; os medianos recebam atenção mediana e sejam tratados com manutenção planeada condicionada; e que os RPN menores sejam tratados com manutenção corretiva.

Página deixada propositadamente em branco

### Anexo III

#### 1. Plano de manutenção baseada na fiabilidade.

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE (FMECA)															
FMEA de Produto			X FMEA de Utilização			Nome do Cliente						No da peça do cliente		Página	
X Sistema															
Subsistema						Nome do Fornecedor						No da peça fornecedor		Modelo aplicado/ano	
Componente															
Nome da Peça						Código			Projetista Responsável				FMEA No		
Instalação fotovoltaica autónoma															
Item	Modo(s) de falha em potencial	Efeito(s) potencia l(is) da falha	S	Causa(s) potencial(is)/ mecanismos de falha	O	Controle do projeto		D	RPN (SxOxD)	C	Ação Recomendada (RPN x C)		Observações:		
						Preven ção	Deteção								
Estrutura de apoio	Estrutura danificada	Colapso da estrutura	3	Eventos meteorológicos, impactos acidentais, projeto mecânico inadequado e instalação	4	Visual	Situação face ao projeto inicial	2	24	2	48	(4) Manutenção Preventiva planeada	Fotografar evolução da condição do aperto		
Caixa de ligações, fichas de ligação e cablagens	Oxidação dos terminais	Falha nas conexões	3	Material defeituoso e o seu envelhecimento	2	Anual	Inspeção visual	4	24	3	72	(3)(5) Manutenção Preventiva Planeada por deteção	Sistema de monitorização Clinics da Weidmuller Medição de V e I		

<i>String Box</i>	Funcionament o impróprio: díodos de bloqueio, fusíveis, contactares, chaves de seccionamento	Perda de corrente elétrica de corrente na string	2	Material defeituoso e envelhecimento	4	Anual	Inspeção visual Monitorização de módulos e <i>string</i> V e I	2	16	3	48	(4) Manutenção Preventiva planeada	Fotografar evolução da condução com máquina termográfica.
Gerador Fotovoltaico:													
Células FV	Pontos quentes	Perda de corrente elétrica de corrente na <i>string</i>	2		4		Inspeção visual Monitorização de módulos e <i>string</i> V e I	3	24	3	72	(3) Manutenção Preventiva Condicionada	Fotografar evolução da condução com máquina termográfica. Sistema de monitorização <i>Clinics</i> da <i>Weidmuller</i> Medição de V e I
	<i>Snail-track</i>		1		3			3	9	3	27		
	Célula quebrada		2		3	Anual		2	12	3	36		
	PID		2	degradação do módulo fotovoltaico	3			3	18	3	54		
Vidro frontal	Sujidade	Perda de corrente elétrica de corrente na string	2	Causas naturais (dejetos, neve, poeira...)	4		Inspeção visual	1	8	3	24	(3) Manutenção Preventiva Condicionada	limpeza e controlo visual da fissuração e delaminação do painel fotovoltaico.
	Fissuras		1	Má instalação, impactos acidentais, pontos quentes ou eventos meteorológicos	5	Anual		1	5	3	15		
Painel traseiro	Delaminação		2	Esforços térmicos e impactos acidentais	5			2	20	3	60		

Inversor	Não funcional	Perda de potência	4	Instalação/configuração errada, falha na ventoinha e consequente sobreaquecimento, falha no hardware/software do inversor	1	Anual	Inspeção visual Monitorização de temperatura	5	20	2	40	(2) (5) Manutenção Preditiva; Manutenção Planeada por deteção	Sistema de monitorização <i>Clinics</i> da <i>Weidmuller</i> Comparação da curva I e V
	Funcionamento impróprio	Variação na potência	4	Temperatura ambiente elevada, falha na ventoinha e filtro de ar sujo.	2			4	32	3	96		
Proteção CC e CA													
Fusível	Lento ou falha a abrir	Defeitos de fabrico; Projeto inadequado do sistema FV	2	Falha do poder de corte. Origina picos de corrente e sobrecargas com sobre aquecimento.	3	Anual	Verificação visual Substituição	3	18	3	54	(2) (5) Manutenção Preditiva; Manutenção Planeada por deteção	Sistema de monitorização <i>Clinics</i> da <i>Weidmuller</i> Comparação da curva I e V
Disjuntor	Abre prematuramente		5		3			1	15	2	30		

Página deixada propositadamente em branco

## **Anexo IV**

### **1. Sistemas de aquecimento**

Um sistema de climatização é definido como um conjunto de equipamentos combinados de forma coerente com vista a satisfazer um, ou mais, dos objetivos da climatização (ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação, desumidificação e purificação do ar). O ar condicionado é o exemplo de equipamento que satisfaz todos estes objetivos.

Assim, por sistema de aquecimento, entende-se como sendo um processo de aquecimento dos compartimentos de um edifício que é geralmente composto por uma unidade geradora de calor (caldeira, bomba de calor, entre outros) e por um sistema de distribuição do calor (bombas, válvulas, acessórios, etc.) com as respetivas unidades terminais de regulação e controlo.

#### **1.1. Sistemas de climatização**

O sistema de climatização consiste num conjunto de equipamentos instalados num espaço ou edifício, com o objetivo de manter a temperatura, humidade, ventilação e renovação do ar.

Os sistemas de climatização podem agrupar-se de acordo com as seguintes funções:

1. Fluido térmico utilizado;
2. Área que o sistema climatiza.

##### **1.1.1. Classificação em função do fluido térmico**

Nesta classificação, principalmente utilizada nos sistemas centralizados para o fluido térmico ou fluido secundário, são normalmente considerados três tipos base de sistemas, “tudo ar”, “ar água” e “tudo água”, e um quarto tipo, “expansão direta”, que pode ser considerado nas instalações centralizadas em função do sistema que é usado.

##### **1.1.2. Classificação em função da área que o sistema irá climatizar**

Os sistemas podem ser classificados em sistemas centralizados ou individuais, em função da área que o sistema de climatização irá servir para produzir frio ou calor.

### **2. Ventilação**

O conforto e a ventilação estão interligados, pois para atingir os patamares de conforto interior é indispensável o uso de meios de ventilação, passivos ou ativos, para proporcionar condições aceitáveis de qualidade do ar, temperatura, humidade e velocidade do ar, entre outros, que interferem na comodidade do interior. Os valores da temperatura do ar foram fixados admitindo que a velocidade do ar é baixa ( $< 0.2\text{m/s}$ ), o que em geral se verifica em edifícios em período de inverno; em período de verão, a velocidade pode ser um pouco maior, não ultrapassando  $0,5\text{ m/s}$ .

## 2.1 Ventilação Edifício

A ventilação tem por fim eliminar ou diluir os poluentes e controlar as condições de temperatura ambiente e humidade dos edifícios. Deve ser suficiente para remover qualquer poluente e humidade gerada no interior ou para diluir as suas concentrações para níveis aceitáveis para a saúde e o conforto dos ocupantes, bem como para manter a integridade do edifício.

Faz parte de hábitos quotidianos adquiridos a necessidade de abrir as janelas para arejar a habitação, substituindo o ar contaminado ou saturado por ar puro. Tal deve-se a serem significativas as cargas poluentes e as necessidades de oxigénio decorrentes das atividades humanas em ambientes fechados: o ar é contaminado com fumos, poeiras e partículas, procedentes do tabaco, de lareiras ou de processos ligados às atividades respiratórias. A qualidade do ar no interior dos edifícios deve estar em condições de sanidade para os utilizadores, não devendo conter gases tóxicos, poeiras, aerossóis nocivos ou acima dos limites recomendados.

Em edifícios, os poluentes mais significativos são os que se referem na Tabela 27. A presença significativa destes poluentes é nociva, nomeadamente os efeitos do CO e do Radão - cancro do pulmão - e do NO<sub>2</sub> - intumescimento das mucosas, ardor nos olhos, irritação das vias respiratórias. Com o conhecimento das taxas de produção interna dos poluentes e as exigências de qualidade do ar consegue-se estabelecer os caudais de ventilação exigíveis para garantir a qualidade do ar interior [22].

Tabela 27: Poluentes mais significativos e respetivas origens em edifícios [22].

Fontes	Partículas	Formaldeídos	Gases orgânicos	Amianto	Radão	Monóxido de carbono	Dióxido de carbono	Dióxido de azoto
Materiais do edifício e solo de fundação		X	X	X	X			
Aparelhos de aquecimento por combustão	X	X				X		X
Fumo de tabaco	X		X			X		X
Presença humana	X						X	

A redução da concentração de poluentes nocivos no interior da habitação pode ser conseguida de duas formas:

- Por controlo na fonte, reduzindo ou mesmo eliminando a fonte de poluição (manter o caudal, mas reduzir a taxa de produção de poluente);
- Por diluição, através da renovação do ar por via mecânica ou natural (mantendo a taxa de produção do poluente, mas aumentando o caudal de ventilação).

A humidade interior é influenciada pelas taxas de ventilação e esta, geralmente, reduz os níveis de humidade interior. Um elevado nível de humidade interna está associado a um aumento do crescimento de microrganismos como fungos e bactérias, ver a Tabela 28.

Tabela 28: Concentrações admissíveis de poluentes no interior de edifícios em Portugal [22].

Parâmetros	Concentração máxima permitida (mg/m <sup>2</sup> )
Partículas suspensas no ar (PM10)	0.15
Dióxido de Carbono C (CO <sub>2</sub> )	1800
Monóxido de Carbono (CO)	12.5
Ozono (O <sub>2</sub> )	0.2
Formaldeído	0.1
Compostos orgânicos voláteis totais	0.6
Microrganismos –Bactérias, Fungos	500 UFC(1)
Legionela (se aplicável)	100 UFc
Radão ( se aplicável)	400 Bq/m <sup>3</sup> (2)
(1) UFC – Unidades Formadoras de Colónias	
(2) Bq/m <sup>3</sup> – (Becquerel/m <sup>3</sup> ) – Unidade usada para expressar a radioatividade	

### 2.2.1. Tipos de ventilação

A ventilação tem consequências diretas nos consumos de energia. O seu próprio funcionamento deve-se ajustar o mais possível à quantidade de ar de ventilação adequada ao local, e o número de renovações deve ser otimizado de modo a que o espaço não apresente um nível de poluição e aumento de impurezas. O ar atmosférico limpo pode ser utilizado como agente de remoção dos poluentes produzidos no interior do espaço, no entanto, se o ar exterior estiver poluído por poeiras ou outras substâncias existe a necessidade de tratamento destes elementos [22].

#### 2.2.1.1 Ventilação natural

A ventilação natural é o método mais antigo de fornecer ar novo a um espaço interior e, portanto, de remover poluentes e odores. O processo de ventilação natural é explicado pelo movimento de massas de ar induzidas por diferenças de pressões e/ou temperaturas entre a zona interior e exterior de qualquer abertura, como por exemplo, portas, janelas, frinchas, chaminés ou aberturas específicas para a ventilação. Os processos físicos que permitem gerar essa diferença de pressões são de dois tipos: processo térmico (devido à diferença de temperaturas) e o eólico (devido à conversão da energia cinética do vento em pressão estática sobre a envolvente do edifício) [23].

#### 2.2.1.2. Ventilação mecânica

A ventilação mecânica é baseada na exigência de que a taxa de ventilação é mantida em todas as condições climatéricas sem envolver os ocupantes do edifício. Quando a ventilação é garantida por um sistema mecânico de insuflação e de extração, a envolvente do edifício pode ser considerada praticamente hermética, as perdas de energia devido à infiltração e exfiltração são, portanto, reduzidas. A envolvente do edifício também melhora o isolamento acústico e reduz a transferência de ruídos externos para o interior do edifício face à ventilação natural. A eficiência energética de

ventilação pode ser melhorada através de recuperação de calor da exaustão do ar; a extração é controlada, dependendo da humidade, da ocupação, ou fatores de qualidade do ar. O ar fornecido para a ventilação deve ser limpo de poluentes do ar exterior. Além disso, aquecimento e refrigeração podem ser facilmente combinados com os sistemas de ventilação mecânica [23].

### 2.2.1.3. Ventilação mista

A ventilação mista é a conjugação dos dois tipos de ventilação, natural e mecânica, sendo caracterizada pela existência de extractores individuais (exaustores, extractores de casa de banho) ligados a condutas individuais [23].

### 2.1.2. Recuperadores de calor

Os recuperadores de calor normalmente de fluxos cruzados (Figura35) são equipamentos que têm por função reaproveitar o calor que seria “rejeitado” para o exterior através do ar de exaustão. Este sistema é composto por um permutador de placas com camadas alternadas através das quais o calor é transferido entre o ar novo e o de exaustão, garantindo a separação dos fluxos. Tem como vantagens permitir a eliminação na totalidade dos potenciais problemas causados pela mistura de caudais e o fato de não ter partes móveis. Como inconveniente apresenta a grande dificuldade de limpeza do permutador (placas) [23].



Figura 35 Recuperadores de calor, com placas de fluxo cruzado [24].

### 3. Sistemas de AQS

#### 3.1. Instalação solar térmica

Um coletor solar térmico é um dispositivo que transforma energia solar térmica em energia interna num fluido. O coletor mais utilizado em aplicações domésticas, nomeadamente em edifícios, é o coletor solar plano que capta tanto a radiação direta como a difusa sem fazer o acompanhamento da trajetória solar. Os coletores solares planos são utilizados para as temperaturas moderadas, o que, tendo em conta os limites de aprovisionamento térmico dos coletores, o torna compatível com as exigências de aquecimento ambiente e preparação de AQS [23].

##### 3.1.1. Sistema de captação

Um coletor solar térmico plano é constituído pelos seguintes elementos (Figura 36):

1. **Caixa**, que contém todos os elementos do coletor;
2. **Junta de estanqueidade**, de cobertura transparente, que é um material elástico cuja principal função é impedir a entrada de água da chuva;
3. **Cobertura transparente**, é o elemento responsável pelo efeito de estufa sobre a placa de absorção;
4. **Isolamento térmico**, que serve para reduzir as perdas térmicas pela parte posterior e laterais do coletor solar;
5. **Placa absorvora**, consiste numa chapa metálica com um revestimento de pintura preto baço (elevada absorvância) cuja função é absorver a radiação solar que nela incide;
6. **Sistema de tubos**, onde circula o fluido de trabalho que faz a transferência de calor entre o coletor e o depósito de acumulação da instalação.

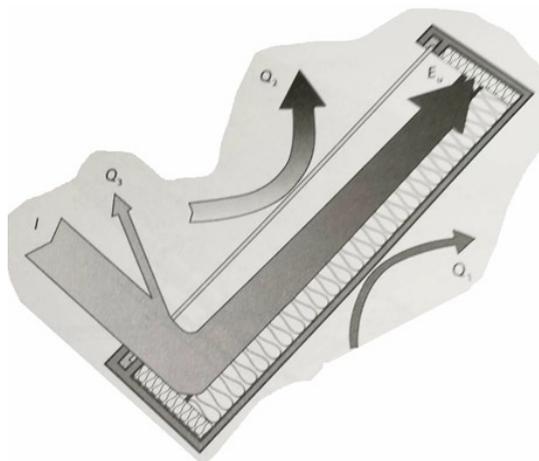


Figura 36 Esquema de funcionamento do sistema de captação solar [23].

Legenda: I – Radiação Solar,  $Q_3$  – Perdas Óticas,  $Q_1, Q_2$  – Perdas térmicas por conversão e por condução,  $E_u$  – Aproveitamento útil.

### 3.1.2. Sistema de acumulação

Como a radiação solar é uma fonte de energia intermitente e variável no tempo, a sua utilização eficiente depende de um método adequado de armazenamento que reduza a diferença temporal entre a geração e a utilização dessa energia. O depósito acumulador é o componente da instalação solar térmica que permite armazenar energia térmica ajustando o desfasamento do tempo existente entre a oferta e a procura. As suas características mais importantes são a resistência mecânica, a durabilidade e o nível de isolamento térmico. Quanto menor for o coeficiente de perdas térmicas de um acumulador, melhor será o seu desempenho em termos de poupança de energia. A função do depósito de acumulação é manter a água quente durante o maior tempo possível, devido à diferença da densidade a água distribui-se verticalmente no interior do depósito, permanecendo a água mais quente na sua parte superior (água de consumo) e a água mais fria na base do depósito. A estratificação de temperaturas é uma característica importante, podendo influenciar o desempenho e contribuindo para a eficiência do sistema [23].

### 3.1.3. Permutadores

Os permutadores podem ser exteriores ao depósito de acumulação ou incorporados no mesmo. Os permutadores interiores geralmente geram perdas de carga inferior, devido à sua pequena superfície de transferência, pelo que se aplicam em instalações de dimensão reduzida. Em instalações de grande dimensão utilizam-se permutadores de calor exteriores.

### 3.1.4 Sistemas de circulação

O sistema de circulação transporta a energia térmica aos elementos de acumulação e consumo com o auxílio de componentes como as tubagens, o vaso de expansão, o fluido de trabalho, o isolamento térmico, a bomba de circulação, o purgador de ar e diversas válvulas. O material mais utilizado nas tubagens é o cobre que, para além de admitir temperaturas elevadas, é fácil de instalar, resiste à corrosão e tem um baixo coeficiente de dilatação térmica. Atualmente, em obras de dimensão pequena, utiliza-se o polipropileno, que tem a vantagem de ter uma condutibilidade térmica baixa e ser compatível com os materiais metálicos.

### 3.1.5. Bomba

A bomba de circulação, nem sempre necessária, é instalada no circuito primário à saída do depósito e serve para movimentar o fluido nos circuitos forçados.

### 3.1.6. Principais válvulas do sistema solar

Na Figura 37 estão representadas esquematicamente as principais válvulas que caracterizam a instalação de um sistema solar térmico.

- a) Válvula de corte – Permite ou impede a passagem do fluido de trabalho;

- b) Válvula de segurança – Limita a pressão máxima do circuito. A pressão que faz atuar a válvula de segurança, deixando sair o fluido, deve ser inferior à pressão suportada pelo elemento mais sensível da instalação, habitualmente o vaso de expansão ou o próprio coletor;
- c) Válvula de antirretorno – Apenas permite a circulação do fluido num sentido, impedindo a sua passagem no sentido contrário;
- d) Válvula de passagem – Interrompe total ou parcialmente a passagem do fluido pelas tubagens;
- e) Válvula de três vias – Permite a circulação por vias alternativas;
- f) Válvula misturadora termostática – Mistura a água fria da rede com a água de retorno do coletor a elevadas temperaturas para proteger equipamentos e evitar riscos de queimaduras para o utilizador;
- g) Válvula de enchimento automático - Serve para manter a pressão no circuito introduzindo água sempre que necessário.

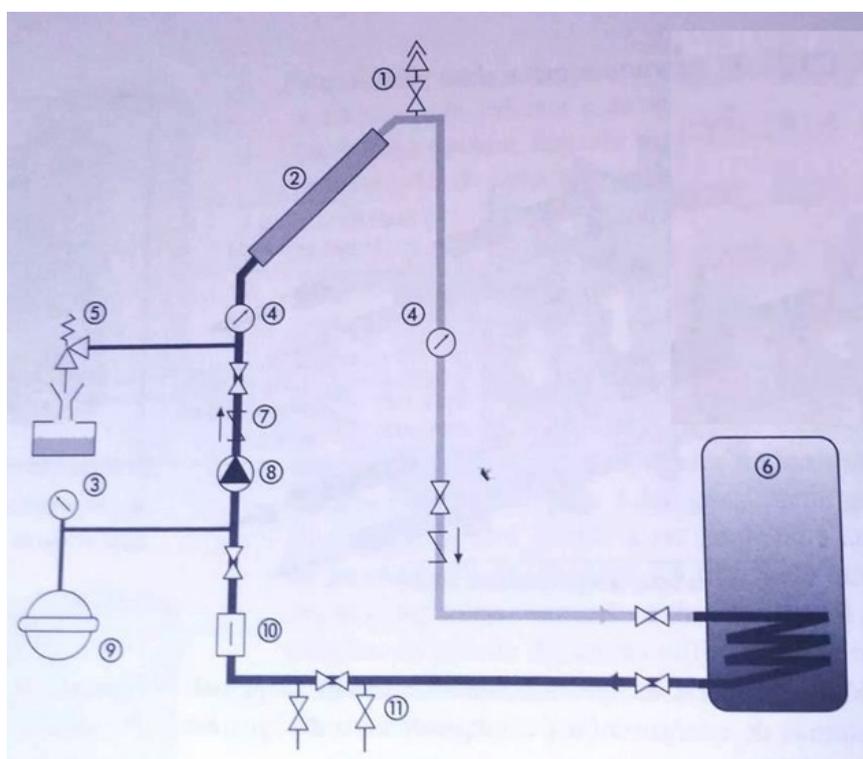


Figura 37 Localização dos componentes do sistema de circulação no circuito primário [23].

Legenda: (1) Purgador, (2) Coletor, (3) Manómetro, (4) Termómetro, (5) Válvula de Segurança, (6) Depósito, (7) Válvula antirretorno, (8) Bomba (9) Vaso de expansão, (10) Caudalímetro, (11) Válvula enchimento. [7]

### 3.1.7. Sistema de controlo

Tem como objetivos garantir uma gestão ótima da energia, manter as condições de segurança necessárias e ainda repor erros e fornecer informações relevantes para a medição e monitorização do

sistema, de forma que este opera adequadamente. O circuito de controlo pode incluir vários componentes como um controlador, sensores de temperatura e de pressão, bombas e caudalímetro.

### 3.1.8. Princípio de circulação

Os sistemas solares de aquecimento de água podem dividir-se em duas categorias:

- Aqueles em que o fluido circula de forma natural por convecção térmica, sistemas passivos como termosifão (Figura 35);
- Os que recorrem a um meio mecânico auxiliar para efetuar essa circulação, sistemas ativos (Figura 38).

Os primeiros têm a vantagem de ser uma instalação mais simples e barata, mas a sua integração ao nível da cobertura é condicionada pelo facto de o depósito de acumulação ficar a uma cota acima dos coletores (normalmente no exterior), causando um maior impacto visual. Nestes sistemas, a circulação do fluido no circuito primário efetua-se por convecção devido à diferença de densidade que se estabelece entre o fluido quente – mais leve – e o fluido frio – mais pesado. Assim, a circulação é feita de modo natural, de baixo para cima, com o fluido frio a substituir o fluido quente e vice-versa.

No segundo caso, o movimento do fluido através do coletor solar é realizado através de bombas de circulação. Neste tipo de instalação de circulação forçada, o acumulador pode situar-se no interior da habitação, proporcionando uma melhor integração arquitetónica, menores perdas térmicas e maior durabilidade dos componentes protegidos. Permite ainda controlar o sobreaquecimento da instalação e incorporar outros métodos de proteção contra o congelamento.

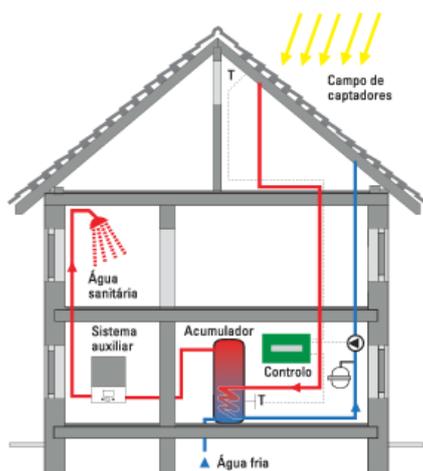


Figura 38 Sistema de circulação forçada [25].

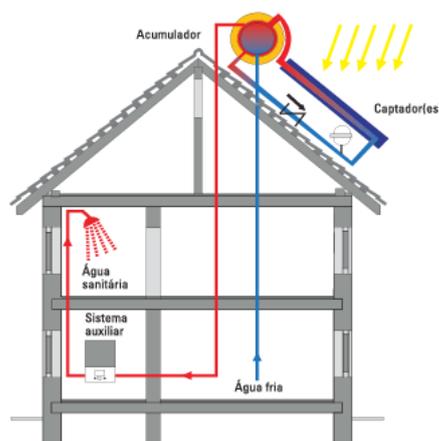


Figura 39 Sistema em termosifão [25].

## 4. Sistema produção de energia renovável

### 4.1. Sistemas solares fotovoltaicos

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos [17]:

- a) Sistemas isolados ou autónomos, com e sem armazenamento;
- b) Sistemas híbridos em conjugação com mais uma fonte de energia para além da fotovoltaica;
- c) Sistemas de ligação à rede.

#### 4.1.1. Sistemas Isolados

Os sistemas isolados são sistemas constituídos por um conjunto de painéis, um regulador de carga, uma ou mais baterias e um inversor. Os reguladores de carga são responsáveis pelo controlo da carga das baterias. Por sua vez, as baterias deverão ter capacidade suficiente para alimentar as cargas durante a noite ou durante dias com baixos valores de radiação. Os módulos solares fotovoltaicos produzem energia elétrica em corrente contínua a partir da energia obtida da exposição solar. A tensão contínua a utilizar deverá ser escolhida tendo em conta a potência do sistema, Tabela 29.

Tabela 29: Tensão do sistema FV em função da potência instalada.

<b>Potência do consumo (W)</b>	<b>Tensão do Sistema Solar FV (V)</b>
<b>Menor 1500</b>	12
<b>1500 - 5000</b>	24 ou 48
<b>Maior 5000</b>	120 ou 300

A grande desvantagem destes sistemas para grandes potências reside na utilização de imensas baterias, o que eleva o custo da instalação e a manutenção das mesmas.

#### 4.1.2. Sistema sem armazenamento

Num sistema autónomo sem armazenamento de energia com carga DC / AC (corrente contínua / corrente alternada), os preceptores consomem de imediato a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos. Este tipo de sistema é muito usual em edifícios de habitação (moradias unifamiliares). Tem vantagem de ser mais barato, pois não utiliza as baterias para armazenamento de energia. Pode ser utilizado num sistema de comutação à rede elétrica, caso não exista radiação no momento, o que se torna mais eficaz e permite uma redução de custos energéticos aos particulares e empresas.

#### 4.1.3 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos consistem na combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia que asseguram a carga das baterias na ausência do sol. As fontes de energia de auxílio podem ser a diesel, a gás ou mesmo um gerador eólico.

#### 4.1.4 Sistemas ligados à rede

Os sistemas ligados à rede elétrica podem ser integrados no regime Produtor-Consumidor ou Regime Produtor. Um sistema de ligação à rede elétrica permite a venda de energia elétrica às companhias distribuidoras de energia, e toda a energia gerada é enviada diretamente para a rede, não sendo necessário as baterias, o que torna o sistema mais simples e com menos manutenção.

#### 4.1.5. Regulador de carga

A função do regulador é proteger os acumuladores contra as sobrecargas. O regulador também impede que a bateria continue a receber carga do painel solar, quando este alcança a sua carga máxima, o que previne que a bateria se venha a deteriorar por meio da gaseificação ou aquecimento, encurtando a sua vida útil.

Outra função do regulador é proteger a bateria de descargas profundas, com o objetivo de evitar que se esgote o seu excesso de carga, provocando uma diminuição da sua capacidade. Para além desta função, um regulador de carga assegura o funcionamento de um sistema no ponto de máxima eficiência.

Neste tipo de equipamentos, podem ser visualizados os seguintes parâmetros:

- a) Estado e funcionamento do regulador;
- b) Valores instantâneos do voltímetro e amperímetro.

A maioria dos reguladores permite inicialmente que toda a corrente produzida pelo campo gerador fotovoltaico passe para a bateria. Assim, quando esta se aproximar do seu estado final de carga, fornecem-se correntes intermitentes destinadas a mantê-la num estado de “flutuação”. Além disso, alguns reguladores sobrecarregam a bateria periodicamente (cargas de compensação) para homogeneizar todas as células e diminuir a estratificação do eletrólito. Para além de vigiar e controlar o estado da carga da bateria para maximizar o seu tempo de vida útil, a maioria dos reguladores de carga dispõe de funções adicionais como alarmes, compensação por temperatura de bateria, monitorização e indicadores. Dado que os módulos têm uma tensão nominal maior que a bateria, se não existisse regulador, esta poderia produzir sobrecargas. O motivo para que esta tensão nominal dos módulos seja maior deve-se fundamentalmente a duas razões:

- a) Atenuar possíveis diminuições da tensão devido ao aumento da temperatura;
- b) Assegurar a carga correta da bateria. Para isso, a tensão do módulo deverá ser maior que a tensão nominal da bateria.

#### 4.1.6. Tipos de reguladores

Os reguladores podem ser de tipo série, paralelo ou *shunt*, e ainda Rastreador de Máximo Ponto de Potência (MPPT). A diferença reside na forma como interrompe a circulação da corrente.

- a) O regulador série é constituído na sua essência por interruptores eletrónicos, um detetor de tensão (eventualmente digital) e um dispositivo de controlo, por exemplo um microcontrolador, capaz de efetuar a gestão do processo de carga e descarga das baterias através da análise dos valores de tensão lidos. A designação regulador série advém da posição dos interruptores eletrónicos em relação ao módulo fotovoltaico, sendo que estes se encontram em série. O controlo dos processos de carga e descarga é feito pela comutação dos interruptores eletrónicos, isolando o módulo fotovoltaico das baterias quando estas se encontram totalmente carregadas e desligando as cargas das baterias quando, durante o processo de descarga, é atingida a profundidade máxima de descarga admissível;
- b) O Regulador paralelo é semelhante aos reguladores série, a principal diferença reside no fato de um dos interruptores eletrónicos ser colocado em paralelo com o módulo fotovoltaico. Deste modo, a carga é controlada curto-circuitando momentaneamente o módulo fotovoltaico. Este tipo de reguladores permite ainda evitar que o módulo funcione como carga durante a noite, mantendo-o curto-circuitado durante o período noturno;
- c) Reguladores MPPT é o mais adequado para sistemas fotovoltaicos em que se pretende tirar o máximo partido do módulo fotovoltaico a utilizar. A função deste tipo de regulador, para além das já indicadas para os anteriores, é pesquisar o ponto de potência máxima e impor ao módulo a tensão correspondente a esse ponto, garantindo assim que o sistema opere sempre, pelo menos, em torno desse ponto. Os reguladores deste tipo têm normalmente uma constituição mais complexa que os anteriormente referidos, devido a maiores exigências ao nível do controlo e à necessidade de inclusão de um conversor DC/DC que permita impor ao módulo fotovoltaico o funcionamento no ponto de potência máxima. [25].

#### 4.1.7. Inversores DC/AC

As habitações em Portugal possuem equipamentos em que a tensão de funcionamento é de 230/400 VAC 50 Hz, que é a tensão da rede elétrica nacional de baixa tensão. Como a saída para os consumos do regulador é feita em corrente contínua (DC), necessita-se de um equipamento que faça a conversão dessa tensão contínua para um valor de tensão em corrente alternada (230/400 VAC) e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado. A esse equipamento chama-se inversor ou ondulator.

Pode-se dividir os inversores em dois grupos, dependendo da aplicação que estes sistemas terão, havendo então uma distinção entres os inversores para sistemas ligados à rede (GridTie) e os inversores para sistemas isolados da rede (Off-Grid). Mais recentemente começou a surgir uma nova

família no mercado, os chamados inversores híbridos. Estes inversores combinam as vantagens de sistemas Grid-Tie e Off-Grid, fazendo uma gestão inteligente de toda a energia.

Os sistemas fotovoltaicos com potências instaladas até 5Kwp (ou com uma dimensão inferior a 50 m<sup>2</sup>) são constituídos normalmente para sistemas monofásicos. Para sistemas de potência superior, a alimentação terá de ser trifásica e é ligada ao sistema de alimentação trifásica [25].

#### 4.1.8. Painéis fotovoltaicos

No mercado existem dois tipos de células, conforme o método de fabricação. Os tipos mais comuns são os seguintes:

- a) Painéis fotovoltaicos monocristalinos;
- b) Painéis solares policristalinos.

A principal diferença entre os diferentes tipos de placas fotovoltaicas é a pureza do silício utilizado. Quanto mais puro o silício, mais bem alinhadas são as suas moléculas e melhor ele converte energia solar em eletricidade. Dessa maneira, é estabelecida uma relação direta entre a pureza do silício e a eficiência dos painéis solares. Por outro lado, aumentar a pureza do silício implica processos mais onerosos. O silício cristalino é a base das células monocristalinas e policristalinas.

- a) A tecnologia monocristalina é a mais antiga e possui a eficiência mais alta. Os painéis solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis olhando de perto. Possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados. São feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro (lingotes de silício de forma cilíndrica). Este é fatiado como um "salame" originando lâminas de silício individuais, que são posteriormente tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo.
- b) Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981. Ambos, mono e policristalino, são feitos de silício, a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos num bloco, preservando a formação de múltiplos cristais (daí o nome policristalino). Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais. Uma vez fundido, são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células, tal como acontece no monocristalino, mas a produção deste método é mais fácil. A par do monocristalino, no policristalino o desempenho e a degradação são semelhantes, exceto as células serem ligeiramente menos eficientes.

## Anexo V

### 1. Construção de um modelo BIM para um edifício

Atualmente estão disponíveis dezenas de aplicações cada uma com objetivos bem definidos para o projeto. Torna-se importante definir a aplicação mais adequada e estabelecer um fluxo de trabalho que torne as especialidades do projeto um modelo prático e simples. O fluxo de trabalho caracteriza-se por cinco passos estabelecidos na Tabela 30 e caracteriza uma construção típica de pequeno porte composto por equipas de trabalho pequenas, normalmente constituídas por arquitetos, engenheiros civis, mecânicos e de eletricidade e sistemas de potência.

Tabela 30: Passos para a gestão de manutenção com modelo BIM.

Ordem	Aplicação	Procedimento
1º passo	BIMserver.center	Criar equipas de trabalho para executar projeto.
2º passo	BIMserver.center ou Open BIM para Revit	Importar projetos BIM para plataforma.
3º passo	Open BIM Checker	Verificação de incongruências entre projetos por projetistas e coordenador de projetos.
4º passo	Open Bim Layout	Criação de esquemas desenhos 2D e 3D com vista à execução de manutenção e acompanhamento de obras.
5º passo	Open Bim Checker	Executar ocorrências.

O **primeiro passo** na plataforma BIM (Figura 40) é definir a equipa de trabalho com base nas especialidades para executar. Define-se o coordenador do projeto responsável por aprovar todos os projetos e os restantes colaboradores que interagem com a plataforma.

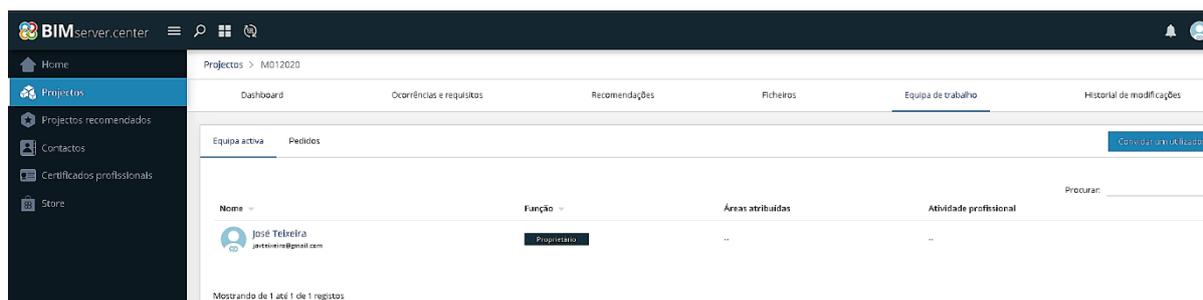


Figura 40 Plataforma BIMserver.center definição da equipa de trabalho [20].

O **segundo passo** na plataforma BIM prossegue com a execução dos projetos, sendo o procedimento lógico iniciar com a arquitetura, estabilidade, térmica etc. Sempre que um colaborador conclui um projeto, este é exportado para a plataforma e em seguida aprovado pelo coordenador do projeto (Figura 41). Só em seguida se continua com o projeto seguinte. A exportação é de forma direta se o *software* de execução do trabalho for da aplicação Cype ou através da aplicação Open BIM para Revit.

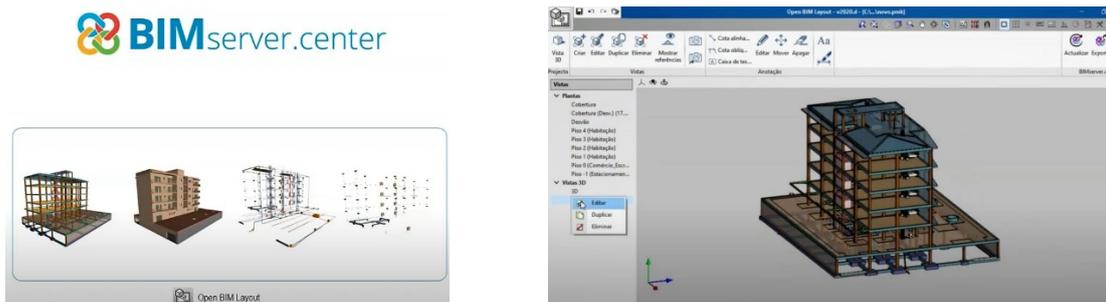


Figura 41 Ciclo de gestão de projetos com aprovação pelo coordenador [20].

**O terceiro passo** - os colaboradores podem importar os trabalhos executados por outros para realizarem o seu trabalho que, depois de concluído, será exportado para a plataforma com o contributo do seu trabalho (Figura 39). Exemplos deste trabalho é a relação entre o projeto de arquitetura e a estabilidade e a térmica com a climatização.

De notar que o colaborador, ao importar trabalhos de outros, pode verificar de forma automática as incongruências entre especialidades; e, quando exportado novamente para a plataforma, o coordenador de projeto pode detetar automaticamente as incongruências entre todos os projetos. Estas verificações são executadas pelo OpenBIM Model Checker, que serve como ferramenta de coordenação das diferentes especialidades, evitando colisões e interferências. O coordenador, depois de detetar a ocorrência, exporta-a e os projetistas recebem uma notificação para a retificação.

**O quarto passo** - o coordenador pode gerar documentação em conjunto de vários projetos conforme o desejado, o Open BIM Layout, (Figura 42).



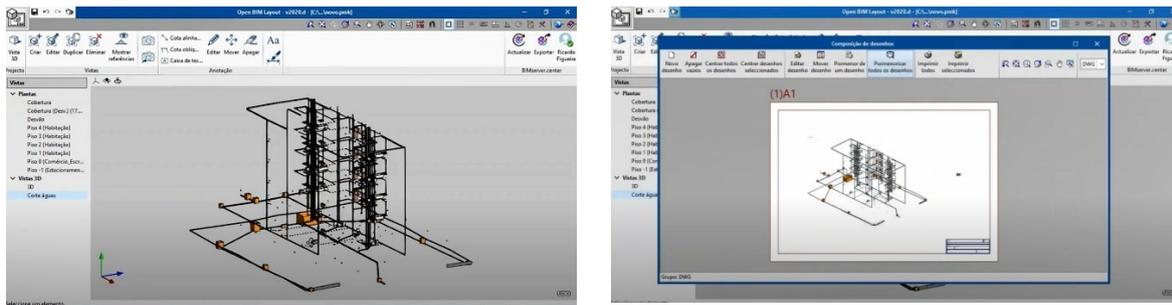


Figura 42 Open BIM Layout ferramenta de criação de documentação [20].

Os desenhos gerados com o programa podem ser visualizados na plataforma BIMserver.center pelos participantes autorizados do projeto BIM (concretamente na secção "Ficheiros" do projeto). Open BIM Layout" é uma ferramenta informática, cujo principal objetivo é a geração de vistas e cotação de desenhos através de modelos BIM (plantas, alçados, cortes e perspetivas axonométricas). O programa está integrado no fluxo de trabalho Open BIM, o que lhe permite importar os modelos de um projeto alojado na plataforma BIMserver.center e fazer parte do fluxo de trabalho colaborativo, multidisciplinar e multiutilizador que proporciona a tecnologia Open BIM.

1. O programa gera automaticamente as vistas de planta e uma perspetiva axonométrica 3D quando se inicia um projeto.
2. O programa permite também introduzir quadros de texto para indicar anotações no desenho.

**O quinto passo:** os dados que foram introduzidos na plataforma durante a fase de construção e acompanhados até à fase de produção do edifício. Os dados são enviados por *softwares* das especialidades de acordo com a legislação nacional e as normas aplicadas em Portugal. Os dados identificados pelo gestor de manutenção de edifícios, que englobam processos de identificação e análise de possíveis desgastes, defeitos e falhas em sistemas no edifício, geram ocorrências no “Open BIM Model Checker” (tanto as definidas pelo utilizador como as que este seleciona através do processo de deteção automática de colisões) que se visualizam na plataforma BIMserver.center (no separador "Avisos") e no programa relacionado com a especialidade para correção de cada ocorrência. A principal característica do “Open BIM Model Checker” é a criação de ocorrências. As ocorrências permitem-nos comunicar com os restantes colaboradores do projeto, sugerindo recomendações na conceção, colisões entre elementos e erros no modelo (Figura 43).

O técnico responsável pela realização da manutenção do edifício desloca-se ao local utilizando um iPad com o aplicativo Open BIM Model checker da Cype, ferramenta para a revisão de projetos BIM, incluindo a gestão de ocorrências sobre o modelo existente na plataforma BIM do edifício. Este modelo está integrado no fluxo de trabalho Open BIM através da plataforma BIMserver.center. Cada uma das ocorrências criadas pode ser associada a um “ponto de referência”. Se for acrescentado um ponto de referência, pode-se aceder a essa ocorrência e à sua informação a partir do modelo 3D do

projeto, na plataforma BIMserver.center, e a partir da vista 3D dos programas relacionados com a ocorrência.

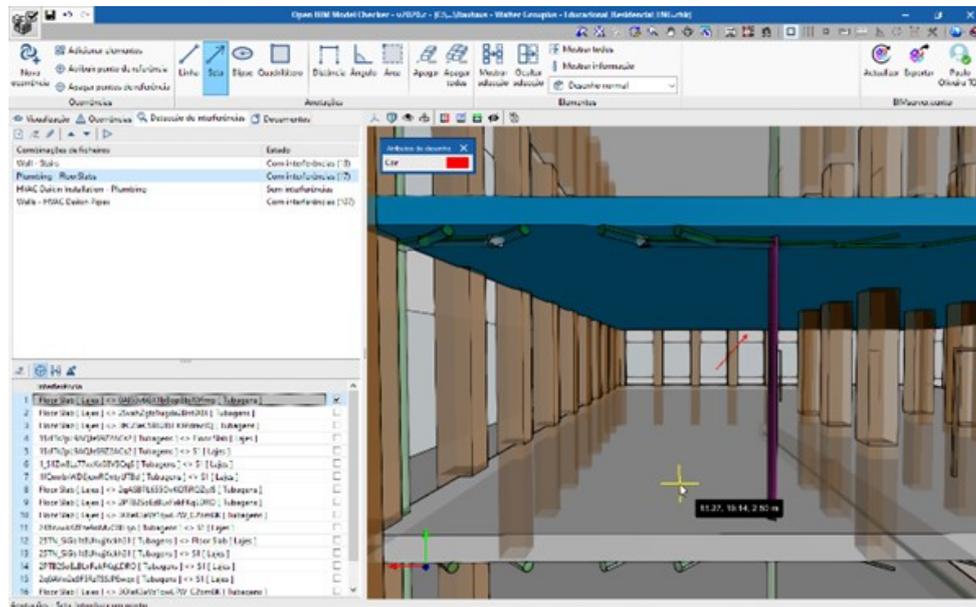


Figura 43 Ocorrência gerada no Open Model Checker redes de saneamento e pluviais [20].

Também disponibiliza ferramentas de anotações que permitem ao utilizador anotar diretamente sobre o modelo 3D. Podem-se desenhar linhas, setas, elipses ou quadriláteros sobre as superfícies do modelo e, além disso, graças ao sistema de captura, é possível realizar anotações de medições de distâncias, ângulos e áreas, permite ainda gerar de forma automática colisões entre as várias especialidades do projeto. Por exemplo, entre as instalações e a estrutura, detetando possíveis erros de disposição em algum dos elementos destas especialidades (como a interseção de uma tubagem de abastecimento com um pilar).

O programa permite a inspeção do projeto de forma simples. Para facilitar e agilizar este processo de inspeção sobre o modelo geométrico, o programa permite três opções de visualização:

1. Visualização por pisos;
2. Visualização por modelos de especialidades;
3. Visualização por categorias de elementos.

Além dos documentos citados, podem ser adicionados na biblioteca o histórico de manutenções, problemas e danos anteriores e registos das reparações já realizadas. A partir do separador "Documentos" é possível aceder a toda a informação associada aos ficheiros IFC exportados por cada especialidade do projeto alojado na plataforma BIMserver.center. Isto permite ter um maior controlo sobre todos os aspetos da obra. Ao fazer duplo clique sobre o ficheiro que deseja consultar, este será

aberto com o programa que se tenha associado por defeito ao tipo de ficheiro (PDF, DWG, ...) (Figura 44).

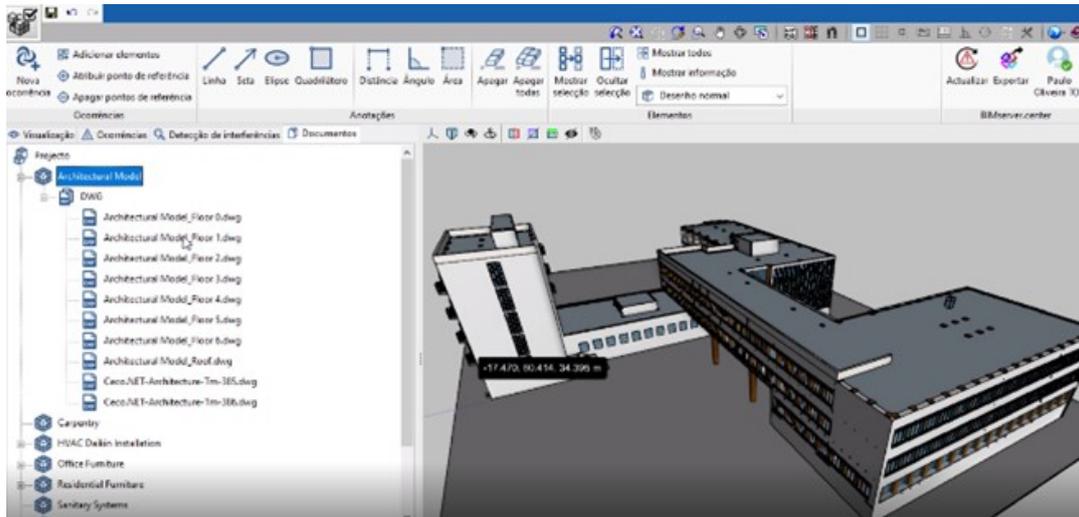


Figura 44 Open BIM Model checker histórico dos equipamentos de construção [20].

## 2. Simulação do método proposto para a Gestão da Manutenção com auxílio do BIM.

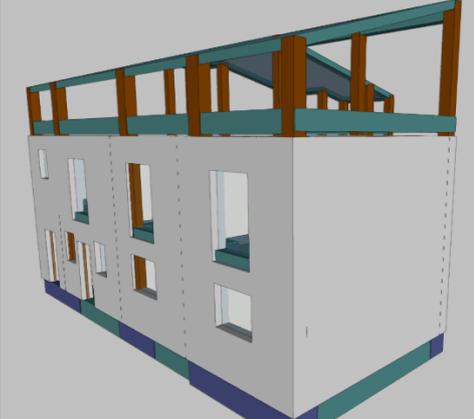
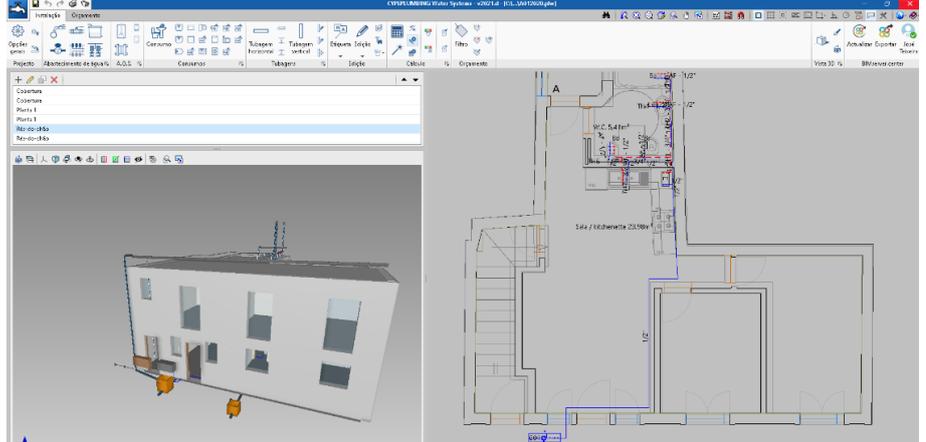
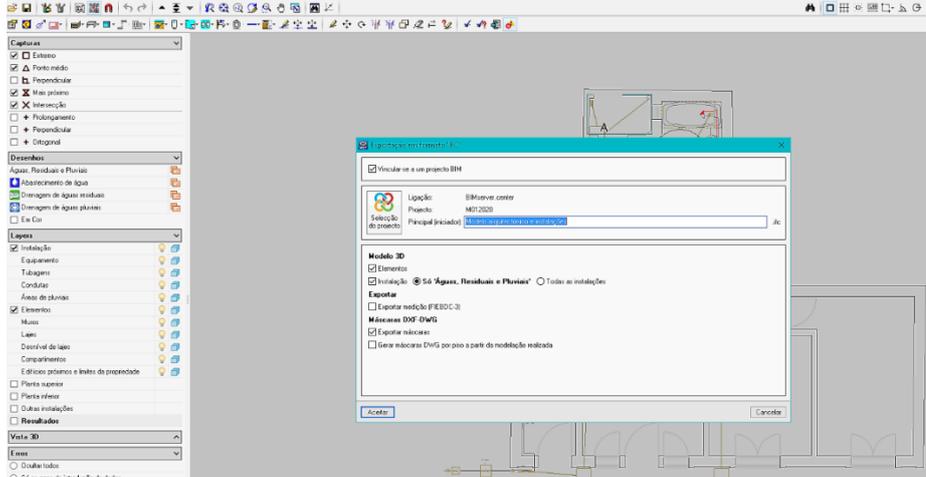
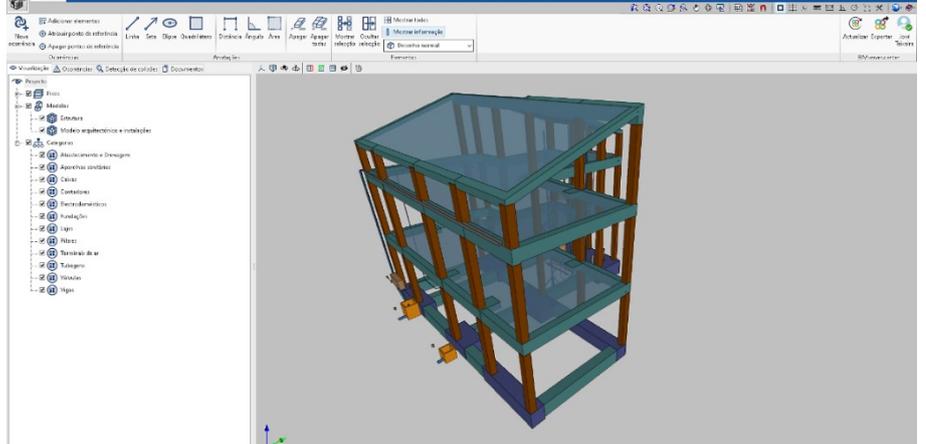
A simulação de gestão de manutenção BIM do modelo apresentado foi baseada nos seguintes softwares (Tabela 31):

- IFC Buildes para elementos de arquitetura do edifício;
- Cypacad para análise da estrutura de betão do edifício;
- Cypeplumbing water para análise de sistema AQS;
- Cypeplumbing sanitary systems para análise de saneamento de águas residuais e pluviais.

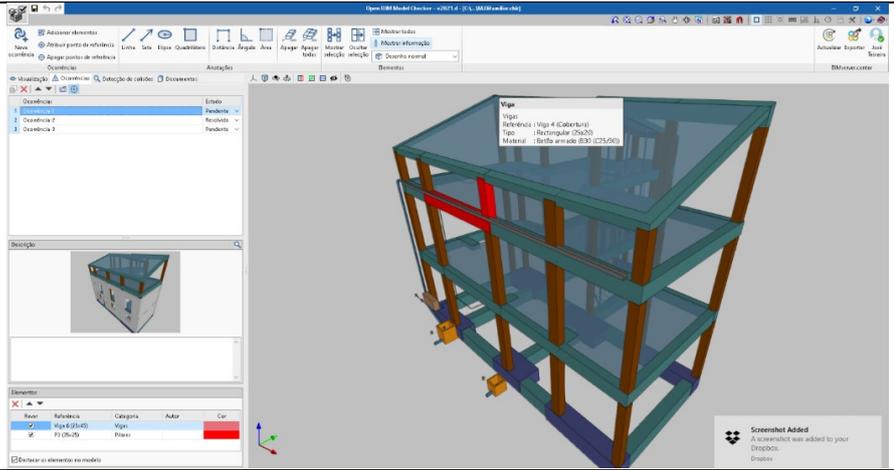
Não foi tido em consideração dois *softwares* também importantes, o Cypetherm HVAC (para sistemas AVAC) e o Cypetherm EPUS (para eficiência energética), por falta de licença de exploração destes *softwares*.

Tabela 31: Simulação de Gestão de Manutenção BIM.

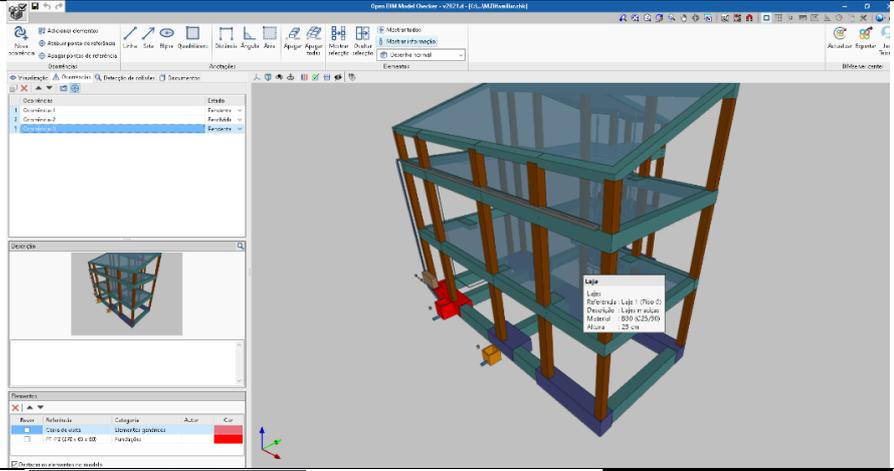
Descrição	Ilustração
<p>1. Importação de projeto de arquitetura em formato IFC para a plataforma BIMServer center.</p>	

<p>2. Exportação do projeto de arquitetura para o <i>software</i> de Estabilidade. Verificação de estrutura e arquitetura (dimensionamento de acordo com as normas nacionais).</p>	
<p>3. Exportação projeto de arquitetura para o <i>software</i> de AQS Cypeplumbing water. Verificação de sistema de AQS e arquitetura (dimensionamento de acordo com as normas nacionais).</p>	
<p>4. Vinculação do projeto de AQS em formato IFC na plataforma BIMServer center.</p>	
<p>5. Análise de estabilidade e de sistema AQS no <i>software</i> Open BIM Model checker.</p>	

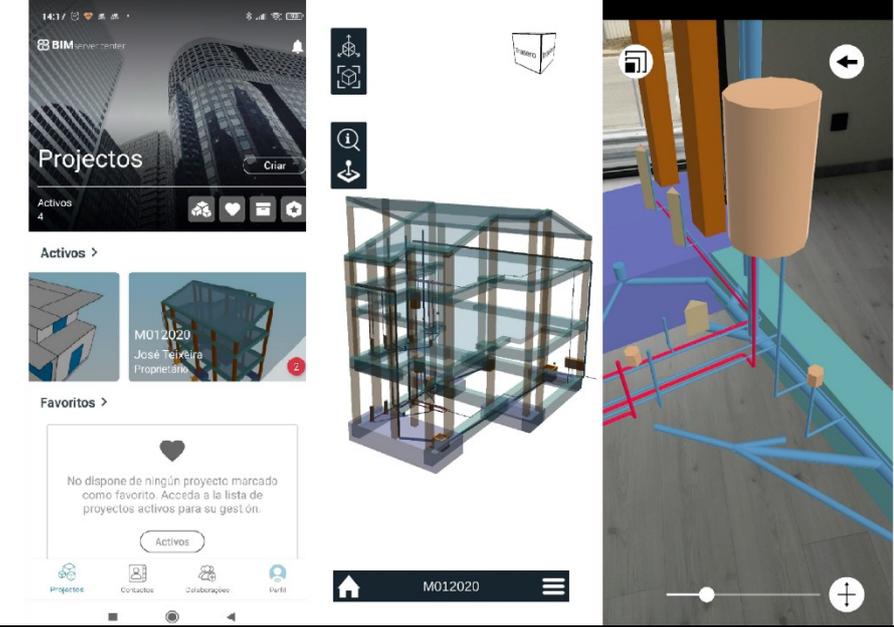
6. Visualização de ocorrência para retificação entre viga e pilar.



7. Visualização de ocorrência para retificação entre caixa de saneamento e sapata estrutural.



8. Visualização de especialidades, estruturas e redes de AQS e saneamento. Acompanhamento de obra com dispositivo móvel com apoio de aplicativo de visualização em realidade aumentada.



Página deixada propositalmente em branco

## Anexo VI

### 1. Folhas de Calculo para determinar PRI, VAL e TIR

#### 1.1 Valor de investimento 17750,00€ e taxa de juro 2%.

Ano	Valor do investimento (€)	Fluxo de caixa, R (€)	(1+i)^n	R/(1+i)^n	Valor Atualizado Líquido <b>VAL</b>	Período de retorno de investimento <b>PRI</b>
0 -	18 750,00 €		0,02	-	18 750,00 €	
1		1 471,68 €	1,02	1 442,82 €	17 307,18 €	17 278,32 €
2		1 471,68 €	1,04	1 414,53 €	15 892,64 €	15 806,64 €
3		1 471,68 €	1,06	1 386,80 €	14 505,85 €	14 334,96 €
4		1 471,68 €	1,08	1 359,60 €	13 146,24 €	12 863,28 €
5		1 471,68 €	1,10	1 332,95 €	11 813,30 €	11 391,60 €
6		1 471,68 €	1,13	1 306,81 €	10 506,49 €	9 919,92 €
7		1 471,68 €	1,15	1 281,19 €	9 225,30 €	8 448,24 €
8		1 471,68 €	1,17	1 256,06 €	7 969,24 €	6 976,56 €
9		1 471,68 €	1,20	1 231,44 €	6 737,80 €	5 504,88 €
10		1 471,68 €	1,22	1 207,29 €	5 530,51 €	4 033,20 €
11		1 471,68 €	1,24	1 183,62 €	4 346,89 €	2 561,52 €
12		1 471,68 €	1,27	1 160,41 €	3 186,48 €	1 089,84 €
13		1 471,68 €	1,29	1 137,66 €	2 048,83 €	381,84 €
14		1 471,68 €	1,32	1 115,35 €	933,48 €	1 853,52 €
15		1 471,68 €	1,35	1 093,48 €	160,00 €	3 325,20 €
16		1 471,68 €	1,37	1 072,04 €	1 232,04 €	4 796,88 €
17		1 471,68 €	1,40	1 051,02 €	2 283,06 €	6 268,56 €
18		1 471,68 €	1,43	1 030,41 €	3 313,47 €	7 740,24 €
19		1 471,68 €	1,46	1 010,21 €	4 323,68 €	9 211,92 €
20		1 471,68 €	1,49	990,40 €	5 314,08 €	10 683,60 €

A Taxa Interna de retorno

$$TIR = i_1 + \left[ (i_2 - i_1) \times \frac{V_1}{V_1 - V_2} \right]$$

V2	5314,08	i1	0,020
V1	-1869,95	i1	0,060

**TIR** 5,0%

1.2. Valor de investimento 17750,00€ e taxa de juro 6%.

Ano	Valor do investimento (€)	Fluxo de caixa, R (€)	(1+i)^n	R/(1+i)^n	Valor Atualizado Líquido <b>VAL</b>	Período de retorno de investimento <b>PRI</b>
0 -	18 750,00 €		0,06		- 18 750,00 €	
1		1 471,68 €	1,06	1 388,38 €	- 17 361,62 €	- 17 278,32 €
2		1 471,68 €	1,12	1 309,79 €	- 16 051,83 €	- 15 806,64 €
3		1 471,68 €	1,19	1 235,65 €	- 14 816,18 €	- 14 334,96 €
4		1 471,68 €	1,26	1 165,71 €	- 13 650,47 €	- 12 863,28 €
5		1 471,68 €	1,34	1 099,72 €	- 12 550,75 €	- 11 391,60 €
6		1 471,68 €	1,42	1 037,48 €	- 11 513,27 €	- 9 919,92 €
7		1 471,68 €	1,50	978,75 €	- 10 534,52 €	- 8 448,24 €
8		1 471,68 €	1,59	923,35 €	- 9 611,17 €	- 6 976,56 €
9		1 471,68 €	1,69	871,09 €	- 8 740,09 €	- 5 504,88 €
10		1 471,68 €	1,79	821,78 €	- 7 918,31 €	- 4 033,20 €
11		1 471,68 €	1,90	775,26 €	- 7 143,04 €	- 2 561,52 €
12		1 471,68 €	2,01	731,38 €	- 6 411,66 €	- 1 089,84 €
13		1 471,68 €	2,13	689,98 €	- 5 721,68 €	381,84 €
14		1 471,68 €	2,26	650,93 €	- 5 070,76 €	1 853,52 €
15		1 471,68 €	2,40	614,08 €	- 4 456,68 €	3 325,20 €
16		1 471,68 €	2,54	579,32 €	- 3 877,36 €	4 796,88 €
17		1 471,68 €	2,69	546,53 €	- 3 330,83 €	6 268,56 €
18		1 471,68 €	2,85	515,59 €	- 2 815,23 €	7 740,24 €
19		1 471,68 €	3,03	486,41 €	- 2 328,82 €	9 211,92 €
20		1 471,68 €	3,21	458,88 €	- 1 869,95 €	10 683,60 €

A Taxa Interna de retorno

$$TIR = i_1 + \left[ (i_2 - i_1) \times \frac{V_1}{V_1 - V_2} \right]$$

V2	5314,08	i1	0,020
V1	-1869,95	i1	0,060

**TIR** 5,0%

1.3. Valor de investimento 10920,00€ e taxa de juro 2%.

Ano	Valor do investimento (€)	Fluxo de caixa, R (€)	$(1+i)^n$	$R/(1+i)^n$	Valor Atualizado Líquido <b>VAL</b>	Período de retorno de investimento <b>PRI</b>
0 -	10 920,00 €		0,02		- 10 920,00 €	
1		1 471,68 €	1,02	1 442,82 €	- 9 477,18 €	9 448,32 €
2		1 471,68 €	1,04	1 414,53 €	- 8 062,64 €	7 976,64 €
3		1 471,68 €	1,06	1 386,80 €	- 6 675,85 €	6 504,96 €
4		1 471,68 €	1,08	1 359,60 €	- 5 316,24 €	5 033,28 €
5		1 471,68 €	1,10	1 332,95 €	- 3 983,30 €	3 561,60 €
6		1 471,68 €	1,13	1 306,81 €	- 2 676,49 €	2 089,92 €
7		1 471,68 €	1,15	1 281,19 €	- 1 395,30 €	618,24 €
8		1 471,68 €	1,17	1 256,06 €	- 139,24 €	853,44 €
9		1 471,68 €	1,20	1 231,44 €	1 092,20 €	2 325,12 €
10		1 471,68 €	1,22	1 207,29 €	2 299,49 €	3 796,80 €
11		1 471,68 €	1,24	1 183,62 €	3 483,11 €	5 268,48 €
12		1 471,68 €	1,27	1 160,41 €	4 643,52 €	6 740,16 €
13		1 471,68 €	1,29	1 137,66 €	5 781,17 €	8 211,84 €
14		1 471,68 €	1,32	1 115,35 €	6 896,52 €	9 683,52 €
15		1 471,68 €	1,35	1 093,48 €	7 990,00 €	11 155,20 €
16		1 471,68 €	1,37	1 072,04 €	9 062,04 €	12 626,88 €
17		1 471,68 €	1,40	1 051,02 €	10 113,06 €	14 098,56 €
18		1 471,68 €	1,43	1 030,41 €	11 143,47 €	15 570,24 €
19		1 471,68 €	1,46	1 010,21 €	12 153,68 €	17 041,92 €
20		1 471,68 €	1,49	990,40 €	13 144,08 €	18 513,60 €

1.4. Valor de investimento 10920,00€ e taxa de juro 2% e simulação de avaria por sombreamento ou sujidade no PF durante 4 anos.

Ano	Valor do investimento (€)	Fluxo de caixa, R (€)	$(1+i)^n$	$R/(1+i)^n$	Valor Atualizado Líquido <b>VAL</b>	Período de retorno de investimento <b>PRI</b>
0 -	10 920,00 €		0,02	-	10 920,00 €	
1		1 471,68 €	1,02	1 442,82 € -	9 477,18 € -	9 448,32 €
2		1 471,68 €	1,04	1 414,53 € -	8 062,64 € -	7 976,64 €
3	5%	73,58 €	1,06	69,34 € -	7 993,30 € -	7 903,06 €
4	5%	73,58 €	1,08	67,98 € -	7 925,32 € -	7 829,47 €
5	5%	73,58 €	1,10	66,65 € -	7 858,68 € -	7 755,89 €
6	5%	73,58 €	1,13	65,34 € -	7 793,34 € -	7 682,30 €
7		1 471,68 €	1,15	1 281,19 € -	6 512,15 € -	6 210,62 €
8		1 471,68 €	1,17	1 256,06 € -	5 256,09 € -	4 738,94 €
9		1 471,68 €	1,20	1 231,44 € -	4 024,65 € -	3 267,26 €
10		1 471,68 €	1,22	1 207,29 € -	2 817,36 € -	1 795,58 €
11		1 471,68 €	1,24	1 183,62 € -	1 633,74 € -	323,90 €
12		1 471,68 €	1,27	1 160,41 € -	473,33 €	1 147,78 €
13		1 471,68 €	1,29	1 137,66 €	664,33 €	2 619,46 €
14		1 471,68 €	1,32	1 115,35 €	1 779,67 €	4 091,14 €
15		1 471,68 €	1,35	1 093,48 €	2 873,15 €	5 562,82 €
16		1 471,68 €	1,37	1 072,04 €	3 945,19 €	7 034,50 €
17		1 471,68 €	1,40	1 051,02 €	4 996,21 €	8 506,18 €
18		1 471,68 €	1,43	1 030,41 €	6 026,62 €	9 977,86 €
19		1 471,68 €	1,46	1 010,21 €	7 036,83 €	11 449,54 €
20		1 471,68 €	1,49	990,40 €	8 027,23 €	12 921,22 €

1.5. Valor de investimento 10920,00€ e taxa de juro 2% e simulação de avaria por erro de inclinação no PF durante 4 anos.

Ano	Valor do investimento (€)	Fluxo de caixa, R (€)	$(1+i)^n$	$R/(1+i)^n$	Valor Atualizado Líquido <b>VAL</b>	Período de retorno de investimento <b>PRI</b>
0 -	10 920,00 €		0,02	-	10 920,00 €	
1		1 471,68 €	1,02	1 442,82 € -	9 477,18 € -	9 448,32 €
2		1 471,68 €	1,04	1 414,53 € -	8 062,64 € -	7 976,64 €
3	60%	883,01 €	1,06	832,08 € -	7 230,57 € -	7 093,63 €
4	60%	883,01 €	1,08	815,76 € -	6 414,80 € -	6 210,62 €
5	60%	883,01 €	1,10	799,77 € -	5 615,03 € -	5 327,62 €
6	60%	883,01 €	1,13	784,09 € -	4 830,95 € -	4 444,61 €
7		1 471,68 €	1,15	1 281,19 € -	3 549,76 € -	2 972,93 €
8		1 471,68 €	1,17	1 256,06 € -	2 293,70 € -	1 501,25 €
9		1 471,68 €	1,20	1 231,44 € -	1 062,26 € -	29,57 €
10		1 471,68 €	1,22	1 207,29 €	145,03 €	1 442,11 €
11		1 471,68 €	1,24	1 183,62 €	1 328,65 €	2 913,79 €
12		1 471,68 €	1,27	1 160,41 €	2 489,06 €	4 385,47 €
13		1 471,68 €	1,29	1 137,66 €	3 626,71 €	5 857,15 €
14		1 471,68 €	1,32	1 115,35 €	4 742,06 €	7 328,83 €
15		1 471,68 €	1,35	1 093,48 €	5 835,54 €	8 800,51 €
16		1 471,68 €	1,37	1 072,04 €	6 907,58 €	10 272,19 €
17		1 471,68 €	1,40	1 051,02 €	7 958,60 €	11 743,87 €
18		1 471,68 €	1,43	1 030,41 €	8 989,01 €	13 215,55 €
19		1 471,68 €	1,46	1 010,21 €	9 999,22 €	14 687,23 €
20		1 471,68 €	1,49	990,40 €	10 989,61 €	16 158,91 €