



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

GESTÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE HIDRÁULICA METROLÓGICA DO LNEC: ESTRUTURA DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E DE SEGURANÇA



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

GESTÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE HIDRÁULICA METROLÓGICA DO LNEC: ESTRUTURA DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E DE SEGURANÇA

Lisboa • janeiro 2026

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

RELATÓRIO 21/2026 – CICTI/NQM

Título

GESTÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE HIDRÁULICA METROLÓGICA DO LNEC: ESTRUTURA DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E DE SEGURANÇA

Autoria

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

Álvaro Silva Ribeiro

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Qualidade Metrológica

Catarina Isabel Ferreira Simões

Bolseira de Investigação, Núcleo de Qualidade Metrológica

Gustavo Fernandes Esteves Soares Coelho

Investigador Auxiliar, Núcleo de Qualidade Metrológica

Ana Catarina Vaz Soares de Freitas Martins

Técnica Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Ricardo André Cardoso Mendes

Técnico Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Hélia Dimas Garcia

Técnica Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 21/2026

Proc. 0904/3103/1596401

GESTÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE HIDRÁULICA METROLÓGICA DO LNEC: ESTRUTURA DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E DE SEGURANÇA

Resumo

A Unidade de Hidráulica Metrológica (UHM) do LNEC é fundamental para o reconhecimento do LNEC como Instituto Designado para as grandezas caudal e velocidade de escoamento de líquidos, garantindo a rastreabilidade metrológica essencial para a gestão dos recursos hídricos em setores como abastecimento de água, agroindústria e tratamento de águas residuais.

Este relatório detalha a estrutura dos planos de manutenção e de segurança que suportam a operação da infraestrutura hidráulica da UHM, composta por sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrónicos complexos. São abordadas as práticas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva, visando a confiança e a qualidade das calibrações. Os planos de segurança incluem a avaliação de riscos, medidas preventivas, equipamentos de proteção, procedimentos de emergência, capacitação do pessoal, auditorias e comunicação, assegurando a segurança das pessoas e o cumprimento dos requisitos da ISO/IEC 17025.

Palavras-chave: Metrologia hidráulica / Manutenção / Segurança / Sistemas de Gestão / Qualidade

TECHNICAL MANAGEMENT OF THE HYDRAULICS METROLOGICAL UNIT OF LNEC: STRUCTURE OF MAINTENANCE AND SAFETY PLANS

Abstract

The Hydraulics Metrological Unit (UHM) of LNEC is essential to the recognition of LNEC as the Designated Institute for the quantities of flow rate and flow velocity of liquids, ensuring the metrological traceability required for water resource management in sectors such as water supply, agro-industry, and wastewater treatment.

This report details the structure of the maintenance and safety plans that support the operation of UHM's hydraulic infrastructure, which comprises complex mechanical, hydraulic, electrical, and electronic systems. It addresses preventive, corrective, and predictive maintenance practices aimed at ensuring the reliability and quality of calibrations. The safety plans include risk assessment, preventive measures, protective equipment, emergency procedures, staff training, audits, and communication, thereby ensuring personal safety and compliance with ISO/IEC 17025 requirements.

Keywords: Hydraulic Metrology / Maintenance / Safety / Management Systems / Quality

Índice

1	Introdução	1
2	Descrição da infraestrutura	4
2.1	Introdução	4
2.2	A Infraestrutura da UHM e suas competências	5
2.3	Características técnicas, padrões e componentes da infraestrutura	6
2.3.1	Infraestrutura elétrica de potência.....	7
2.3.2	Características técnicas, padrões e componentes da infraestrutura	8
2.3.3	Linhas de calibração	16
2.3.4	Sistema de regulação do caudal.....	18
2.3.5	Medição de caudal pelo método mássico gravimétrico	19
2.3.6	Automação e controlo	22
2.3.7	Ponte rolante (movimentação de cargas) e portão de acesso.....	25
3	Plano de manutenção da UHM-LNEC	29
3.1	Introdução	29
3.2	Importância de um Plano de Manutenção	29
3.3	Enquadramento Normativo – ISO/IEC 17025:2017	29
3.4	Conceitos Fundamentais de Manutenção em Laboratórios.....	30
3.5	Ações do Plano de Manutenção Global.....	31
3.6	Elementos Sujeitos a Manutenção na UHM do LNEC.....	32
3.7	Intervalos de Manutenção na UHM do LNEC	32
3.8	Subcontratação de Atividades de Manutenção.....	33
3.9	Documentos e Registos de Manutenção	34
4	Plano de segurança da UHM-LNEC	35
4.1	Objetivos do Plano de Segurança.....	35
4.2	Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos	35
4.3	Medidas de Controlo e Prevenção.....	35
4.4	Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC).....	36
4.4.1	Trabalhos em Altura.....	36
4.4.2	Movimentação de cargas.....	36
4.4.3	Espaços Confinados	37
4.4.4	Atmosferas Perigosas (Águas Residuais).....	37
4.5	Procedimentos de Emergência	38
4.6	Treino e Capacitação	38
4.7	Conformidade Legal e Normativa	38
4.8	Gestão de Resíduos e Sustentabilidade.....	39
4.9	Monitorização e Auditorias Internas.....	39
4.10	Responsabilidades e Comunicação.....	39
5	Notas finais.....	40
	Referências bibliográficas	43

Índice de figuras

Figura 2.1 – Unidade de Hidráulica Metrológica	4
Figura 2.2 – Representação esquemática simplificada do sistema hidromecânico e dos principais equipamentos de potência da UHM, adaptação de (Palma, 2013)	7
Figura 2.3 – Esquema do quadro geral de alimentação elétrica	8
Figura 2.4 – Indicador associado aos dispositivos de medição de temperatura da água	9
Figura 2.5 – Medidor de Nível de água	9
Figura 2.6 – Esquema (vista de topo) dos principais elementos da infraestrutura associada às quatro linhas de calibração com indicação da área subterrânea ocupada pelo reservatório	10
Figura 2.7 – Bombas hidráulicas associadas aos grupos eletrobomba	11
Figura 2.8 – Grupos eletrobomba (EB1 e EB2)	12
Figura 2.9 – Grupo eletrobomba EB3	12
Figura 2.10 – Sistema de filtração	14
Figura 2.11 – Condutas de retorno de água ao reservatório (observadas do interior do reservatório durante a sua limpeza)	16
Figura 2.12 – Linhas de calibração	17
Figura 2.13 – Juntas telescópicas	17
Figura 2.14 – Caudalímetros eletromagnéticos de referência (à esquerda) e elementos para regularização de caudal (à direita)	18
Figura 2.15 – Obturador de pera	18
Figura 2.16 – Sistema de pesagem	20
Figura 2.17 – Defletor associado ao sistema de pesagem 2	21
Figura 2.18 – Arquitetura do sistema de automação da UHM, adaptação de (Palma, 2013)	23
Figura 2.19 – Arquitetura geral do software de supervisão	24
Figura 2.20 – Exemplo dos ecrãs sinópticos do programa de supervisão	25
Figura 2.21 – Sala de comando e supervisão da UHM	25
Figura 4.1 – EPI associados a trabalhos em altura	36
Figura 4.2 – EPI associados a trabalhos de movimentação de cargas	36
Figura 4.3 – EPI associados a trabalhos a realizar em espaços confinados	37
Figura 4.4 – EPI associados a trabalhos a realizar em atmosferas perigosas	37

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Potências e velocidades nominais dos motores dos grupos eletrobomba.....	12
Quadro 2.2 – Pontos de funcionamento das bombas hidráulicas dos grupos eletrobomba para um valor de velocidade nominal	13
Quadro 2.3 – Relações entre grandezas de entrada que determinam o caudal gerado pelos grupos eletrobomba, para os diâmetros nominais das condutas das quatro linhas de ensaios....	14
Quadro 3.1 – Identificação dos componentes que necessitam de manutenção	32
Quadro 3.2 – Prazos de manutenção	33

1 | Introdução

A Unidade de Hidráulica Metrológica (UHM) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) constitui um dos pilares fundamentais do reconhecimento do LNEC como Instituto Designado para as grandezas metrológicas caudal e velocidade de escoamento de líquidos, no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia. Este reconhecimento reflete o elevado grau de competência técnica e científica da unidade e a sua capacidade de assegurar medições fiáveis e rastreáveis, com base em padrões de referência robustos e em conformidade com os requisitos da norma ISO/IEC 17025.

A atividade da UHM é essencial para garantir a rastreabilidade metrológica de instrumentos de medição utilizados em diversos setores da gestão dos recursos hídricos, com especial relevância para as entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água, as infraestruturas de regadio e irrigação agrícola, os sistemas da agroindústria, as instalações de tratamento de águas residuais, e outros contextos industriais e ambientais. Desta forma, assegura a confiança das medições, contribuindo diretamente para a eficiência técnica, segurança operacional e conformidade legal dos sistemas onde estas grandezas são monitorizadas.

A infraestrutura hidráulica afeta à UHM integra um conjunto de sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrónicos de elevada complexidade, cuja operação contínua requer uma gestão técnica cuidadosa, nomeadamente através da implementação de planos de manutenção e de planos de segurança devidamente estruturados.

A ausência de um plano de manutenção conduz inevitavelmente ao aumento da probabilidade de falhas críticas, interrupções nos ensaios de calibração, degradação da exatidão metrológica e incumprimento dos requisitos normativos. Por outro lado, um plano bem estruturado permite:

- garantir a disponibilidade e fiabilidade da infraestrutura;
- assegurar o cumprimento dos requisitos técnicos e legais;
- prolongar a vida útil dos equipamentos;
- e reduzir os custos associados a falhas não planeadas.

Neste contexto, este relatório descreve os conceitos fundamentais da manutenção adotados pela UHM, a caracterização dos componentes sujeitos a manutenção, as periodicidades associadas e as abordagens preventiva, corretiva e preditiva, conforme aplicável.

De forma complementar ao plano de manutenção, os planos de segurança da UHM constituem um pilar essencial para a proteção das pessoas, instalações e equipamentos envolvidos nas atividades laboratoriais e em campo. Estes planos estão a ser concebidos de forma a garantir a conformidade com os regulamentos nacionais de segurança, normas internacionais aplicáveis e com o sistema de gestão da qualidade do LNEC.

Os planos de segurança da UHM-LNEC integram os seguintes elementos estruturais:

- *Objetivos*: garantir a segurança dos colaboradores e utilizadores da unidade, prevenir acidentes e incidentes, e assegurar a continuidade das operações técnicas e metrológicas minimizando o risco associado às atividades.
- *Avaliação de risco*: identificação e caracterização dos perigos associados às atividades internas (em laboratório) e externas (em campo), avaliação da probabilidade e gravidade dos seus impactos, e determinação dos níveis de risco.
- *Medidas de controlo e prevenção*: adoção de práticas, procedimentos operacionais e técnicos que minimizem os riscos identificados, incluindo barreiras físicas, protocolos de atuação, sinalização adequada e restrições de acesso.
- *Equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC)*: definição e aquisição dos EPI adequados ao tipo de intervenção (por ex., óculos, calçado, coletes, arneses) e das soluções de proteção coletiva (por ex., corrimãos, coberturas, sinalética, ventilação, etc.), aplicável em diferentes contextos de atuação.
- *Procedimentos de emergência*: definição das ações a adotar em caso de incêndio, acidente, falha elétrica ou outro incidente, incluindo os planos de evacuação, os contactos de emergência e a articulação com os serviços de socorro.
- *Capacitação de pessoal*: formação contínua em segurança, treino em primeiros socorros, simulações periódicas de emergência e ações de sensibilização sobre comportamentos seguros e cumprimento dos procedimentos de atuação.
- *Gestão de recursos*: planeamento e alocação de recursos humanos, materiais e logísticos adequados à execução segura das atividades, incluindo a manutenção do inventário de EPI/EPC e a atualização das instruções operacionais.
- *Auditoria e melhoria contínua*: realização periódica de auditorias internas aos sistemas de segurança, análise de incidentes e quase-acidentes, revisão dos planos com base na experiência e boas práticas internacionais.
- *responsabilidade e comunicação*: definição de responsabilidades claras na estrutura da UHM em matéria de segurança e implementação de canais eficazes de comunicação interna e externa, incluindo reporte de ocorrências e partilha de lições aprendidas.

A integração dos planos de manutenção e segurança na gestão técnica da Unidade de Hidráulica Metrológica é considerada estratégica sendo essencial para a sustentabilidade da infraestrutura técnica e científica, a eficiência da atividade laboratorial e de campo, a garantia da qualidade e da confiança dos serviços prestados, a redução dos riscos operacionais e humanos, e o cumprimento integral dos requisitos do sistema de gestão da qualidade, especialmente os definidos pela ISO/IEC 17025.

Adicionalmente, a UHM do LNEC tem desempenhado um papel relevante no apoio à investigação, desenvolvimento e inovação (I&DI) em áreas emergentes da metrologia hidráulica, assim como na prestação de serviços especializados de consultoria técnica a diversas partes interessadas, entre as quais se incluem as entidades reguladoras e autoridades públicas; os operadores de redes e

infraestruturas de água; as universidades e centros de investigação; os fabricantes e representantes de sistemas de medição; os organismos de acreditação e certificação; e organizações internacionais no domínio da metrologia.

Em síntese, este relatório apresenta, de forma sistemática, a estrutura dos planos de manutenção e segurança implementados na UHM, detalhando os seus objetivos, métodos, periodicidades, recursos envolvidos e impactos na operação. Pretende-se com este documento reforçar a transparência e robustez dos processos adotados, promover a melhoria contínua e contribuir para a consolidação da UHM como uma infraestrutura de excelência técnico-científica ao serviço da metrologia hidráulica nacional.

2 | Descrição da infraestrutura

2.1 Introdução

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é uma instituição de referência no contexto da metrologia, com experiência no desenvolvimento de soluções de rastreabilidade e de gestão metrológica de instrumentação, em particular, associadas a medições utilizadas em estudos e projetos relacionados com os recursos hídricos e o meio ambiente. O suporte técnico e científico oferecido pelo LNEC neste contexto tem uma importante componente inserida na infraestrutura da Unidade de Hidráulica Metrológica (UHM) - Figura 2.1, que é uma das principais unidades de calibração e ensaio metrológico dentro da instituição.



Figura 2.1 – Unidade de Hidráulica Metrológica

A UHM está hierarquicamente integrada no Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA), com gestão coordenada pelo Núcleo de Qualidade Metrológica do Centro de Instrumentação Científica e Tecnologias de Informação (CICTI) do LNEC, o qual é responsável por assegurar que todas as suas atividades da unidade cumprem elevados padrões de qualidade metrológica. Esse alinhamento institucional permite à UHM realizar atividades técnicas e científicas de relevância internacional, contribuindo diretamente para a evolução da medição e rastreabilidade em áreas fundamentais para a economia nacional.

2.2 A Infraestrutura da UHM e suas competências

A Unidade de Hidráulica Metrológica do LNEC dispõe de uma infraestrutura de classe internacional, permitindo a realização abrangente e diversificada de calibrações de equipamentos e sistemas de medição, e a avaliação de desempenho destes sistemas, aplicados em hidráulica e hidrologia. Para concretizar a sua atividade, dispõe de recursos humanos qualificados e experientes e de equipamentos, que permitem a realização de atividades especializadas visando a qualidade da medição necessária para a gestão de recursos hídricos e a tomada de decisões em diversos setores, designadamente, as entidades gestoras de recursos hídricos, as autoridades reguladoras, os fabricantes de equipamento e outras partes interessadas.

No quadro de competências da UHM encontram-se as atividades essenciais que garantem a rastreabilidade de grandezas associadas a fluidos líquidos, com destaque para os que medem grandezas associadas à dinâmica de água. Entre as grandezas medidas, destacam-se:

- caudal (mássico e volúmico);
- velocidade de escoamento;
- volume de líquidos;
- nível;
- pressão; e
- precipitação.

Estas grandezas são fundamentais para a gestão e controle de sistemas de abastecimento de água, aproveitamentos agrícolas, tratamento de águas residuais e diversas outras aplicações na área de gestão e utilização de recursos hídricos.

O trabalho de calibração da UHM é realizado numa gama variada de instrumentos de medição, para os quais foram desenvolvidas e validadas metodologias para calibração e realização de ensaios metrológicos para avaliação do desempenho, com adequada rastreabilidade ao SI, sendo esta atividade um dos pilares da atuação da unidade. O portfólio de instrumentos de medição que podem ser calibrados na UHM incluem:

- caudalímetros eletromagnéticos;
- caudalímetros ultrassónicos;
- contadores de turbina;
- caleiras Parshall e descarregadores;
- tubos Venturi;
- contadores de deslocamento positivo;
- contadores de engrenagens ovais;
- caudalímetros de Coriolis;

- placas de orifício;
- rotâmetros;
- medidores de nível; e
- udómetros.

A diversidade de instrumentos calibrados pela UHM reflete a amplitude de aplicações que exigem exatidão nas medições das grandezas aplicadas em hidráulica e em hidrologia, efetuando-se a calibração de forma individualizada, com base em procedimentos suportados em normas aplicáveis ou recorrendo a procedimentos internos desenvolvidos no LNEC.

A UHM também se destaca no campo da investigação, desenvolvimento tecnológico e inovação (I&DI), onde o conhecimento da metrologia se combina com os avanços do conhecimento científico e tecnológico das áreas de hidrologia e hidráulica. Nesta unidade realizam-se estudos de investigação, e consultoria avançada em colaboração com diversas partes interessadas, nomeadamente:

- Entidades Gestoras de Recursos Hídricos: Autoridades responsáveis pela gestão de abastecimento de água, tratamento de águas residuais e drenagem urbana.
- Fabricantes de Equipamentos de Medição: dando resposta a requisitos de rastreabilidade e de avaliação do desempenho associada ao desenvolvimento de novos instrumentos, sistemas e tecnologias.
- Prestadores de Serviços e Indústrias: Empresas que requerem a qualidade da medição para as suas operações, processos industriais e sistemas de monitorização ambiental.
- Municípios e Entidades Regionais: apoiando a tomada de decisões na gestão e regulação de sistemas hídricos urbanos e rurais.

2.3 Características técnicas, padrões e componentes da infraestrutura

A infraestrutura da UHM é composta por diversas instalações e equipamentos que permitem a realização de calibrações, ensaios e estudos metrológicos cujo elevado rigor resulta da conceção da estrutura e de soluções técnicas fundamentais para atingir os níveis de desempenho que possui. Esta secção expõe os principais elementos da sua estrutura e alguns dos detalhes de componentes essenciais para se atingir a exatidão e a qualidade da medição.

A descrição dos elementos principais que constituem a infraestrutura e requerem manutenção segue a seguinte ordem nesta secção:

- infraestrutura elétrica de potência;
- reservatório subterrâneo de água, grupos eletrobomba;
- linhas de calibração e ensaios hidráulicos;
- sistema de regulação de caudal;
- medição do caudal pelo método mássico gravimétrico;
- automação e controlo;

- ponte rolante (movimentação de cargas) e portão de acesso;
- sistema de ar comprimido; e
- sistema de ar condicionado.

2.3.1 Infraestrutura elétrica de potência

O espaço laboratorial da UHM ocupa um pavilhão adjacente ao edifício do Núcleo de Engenharia Sanitária (NES) do DHA onde, além de dependências administrativas, gabinetes de investigadores e salas diversas, se situam laboratórios de processos físico-químicos e microbiológicos. A alimentação de energia elétrica do conjunto é feita em baixa tensão (BT) a partir de um posto de transformação com dois transformadores. Cada transformador serve exclusivamente um dos edifícios, a fim de reduzir os efeitos de eventuais perturbações eletromagnéticas conduzidas, originadas pelo funcionamento dos equipamentos eletrónicos de potência da UHM. Na Figura 2.2 é apresentado um esquema simplificado do sistema hidromecânico e dos principais equipamentos de potência da UHM.

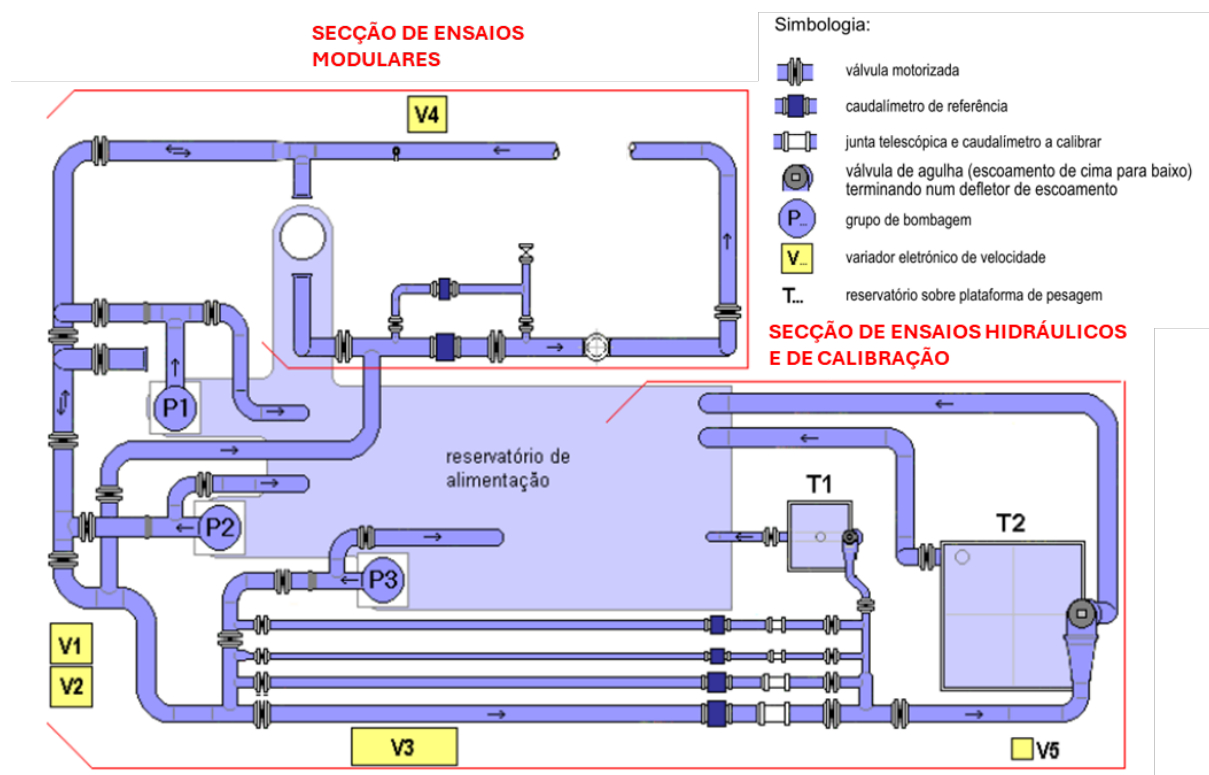


Figura 2.2 – Representação esquemática simplificada do sistema hidromecânico e dos principais equipamentos de potência da UHM, adaptação de (Palma, 2013)

As cargas de potência mais elevada previstas para a UHM dizem respeito a acionamentos eletromecânicos, nomeadamente:

- Grupos eletrobomba com variadores eletrónicos de velocidade;
 - 2 grupos eletrobomba de 145 kW, com variadores eletrónicos de 160 kVA
 - 1 grupo eletrobomba de 250 kW, com variador eletrónico de 311 kVA
 - 1 variador eletrónico para a secção de ensaios modulares até 75 kW;

- Acionamentos dos defletores de escoamento (4 e 5,5 kW);
- Válvulas motorizadas (potência total não superior a 10 kW);
- Ponte rolante (potência total não superior a 5 kW).

Junto de cada grupo eletrobomba e no posto de supervisão existem botoneiras de paragem de emergência para satisfazer requisitos regulamentares de segurança, quer quanto às peças móveis acessíveis de máquinas quer quanto a projeções de água, inundações e outras ocorrências perigosas na parte hidromecânica. As botoneiras comandam diretamente os variadores de velocidade.

Na Figura 2.3 é apresentado o esquema do quadro geral de alimentação elétrica da infraestrutura da UHM.

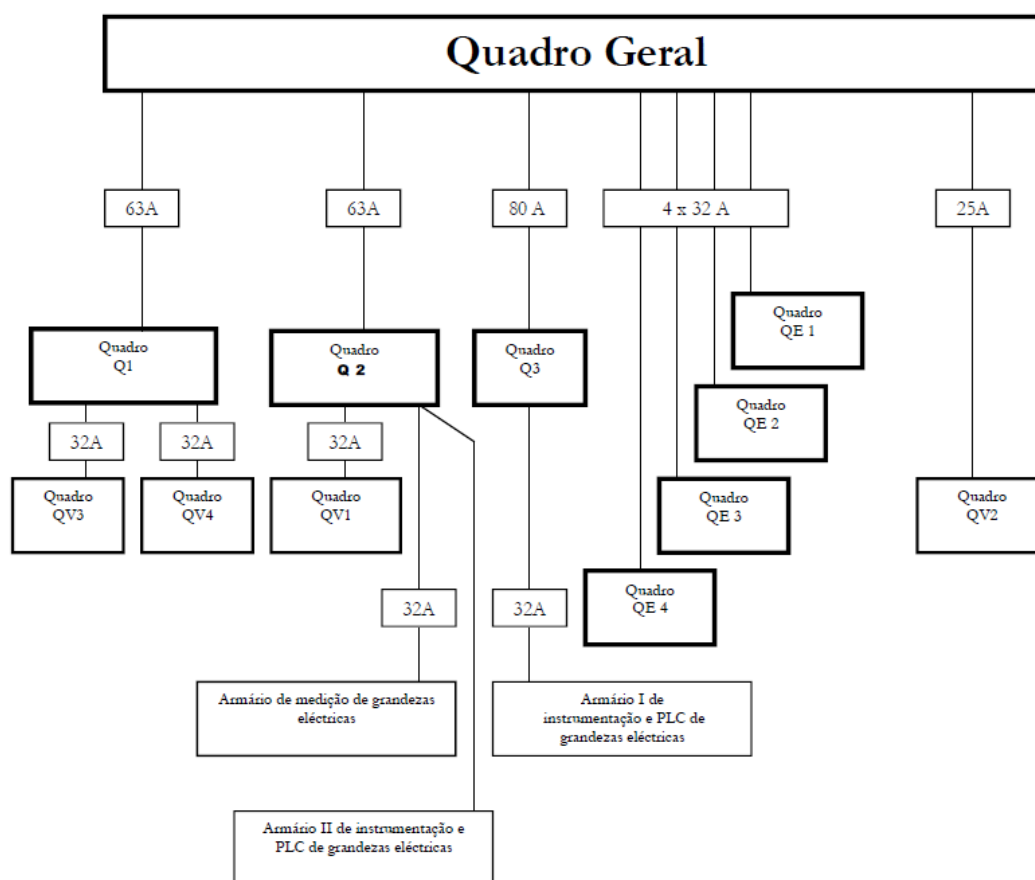


Figura 2.3 – Esquema do quadro geral de alimentação elétrica

2.3.2 Características técnicas, padrões e componentes da infraestrutura

O banco de calibração e ensaios hidráulicos incorpora diversos componentes, entre os quais, um reservatório subterrâneo, que assegura a manutenção do volume adequado de água para os elevados caudais e velocidades de escoamento necessárias à sua operação, e três grupos eletrobomba responsáveis pela circulação e controle do caudal nas condutas. Adicionalmente, o circuito hidráulico inclui dispositivos de controle de temperatura (Figura 2.4), filtragem da água e medição de nível (Figura 2.5), todos essenciais para garantir a qualidade e eficiência dos ensaios.



Figura 2.4 – Indicador associado aos dispositivos de medição de temperatura da água



Figura 2.5 – Medidor de Nível de água

O reservatório subterrâneo tem uma capacidade útil de cerca de 340 m³, encontrando-se localizado abaixo do piso 1 da Nave de Ensaios Hidráulicos, tendo sido projetado para suportar as flutuações de nível da água durante os ensaios (Figura 2.6). A profundidade da água no reservatório pode variar entre 4,0 m e 4,3 m ao longo dos ciclos de calibração ou ensaio, dependendo do caudal em circulação nas condutas em serviço.

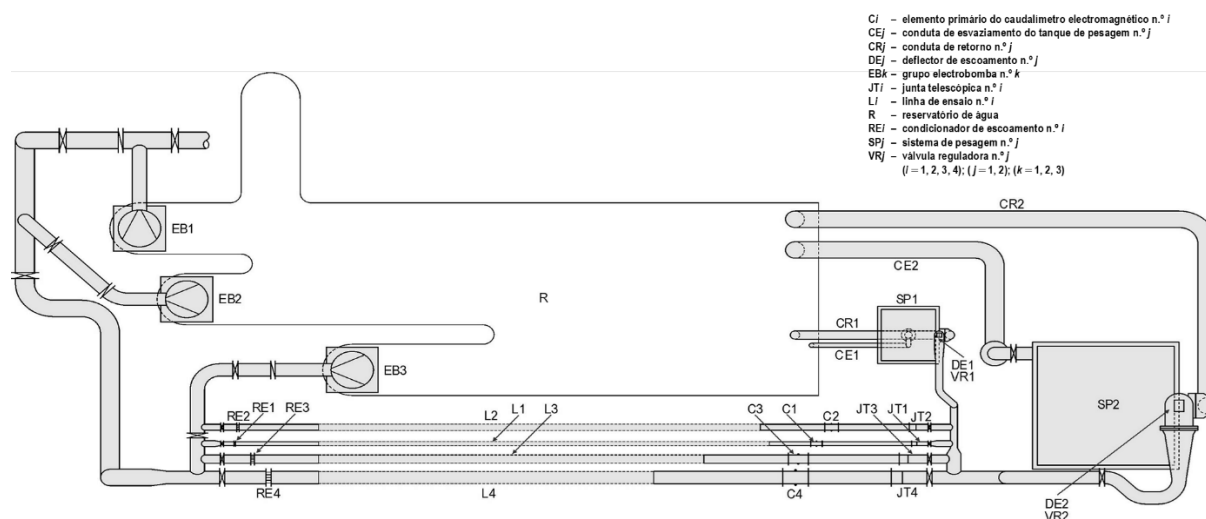


Figura 2.6 – Esquema (vista de topo) dos principais elementos da infraestrutura associada às quatro linhas de calibração com indicação da área subterrânea ocupada pelo reservatório

A manutenção da estabilidade térmica e hidráulica no sistema depende da regulação do nível da água e da compensação automática da redução do nível durante o funcionamento dos grupos eletrobomba, a qual é realizada mediante um sistema de controle automático, que ajusta o funcionamento das bombas hidráulicas de modo a garantir que, mesmo com variações no volume de água, o regime permanente de escoamento nas linhas de calibração seja mantido, proporcionando condições adequadas para a operação que se pretende realizar.

Os grupos eletrobomba desempenham um papel essencial na geração controlada de caudais de água no sistema. Existem três grupos eletrobomba na infraestrutura, identificados como EB1, EB2 e EB3, cada um com um motor e uma bomba hidráulica associados (Figura 2.7). Esses grupos podem funcionar isoladamente ou em paralelo, dependendo da necessidade do ensaio, permitindo a geração de diferentes caudais em condições de estacionariedade, ou seja, em regime hidráulico permanente.



Figura 2.7 – Bombas hidráulicas associadas aos grupos eletrobomba

A operação dos grupos eletrobomba resulta da alteração da variação da velocidade de rotação dos motores, com o objetivo de obter o caudal desejado para cada tipo de ensaio. Para controlar o caudal, são utilizados gráficos e tabelas desenvolvidas nos anos de 1990, que facilitam a seleção das opções de operação conforme os diâmetros das condutas nas quatro linhas de operação. O controle do funcionamento dos grupos resulta da observação, em tempo real, dos dados de operação, designadamente, da variação da frequência e do caudal medidos pelo caudalímetro eletromagnético tubular de referência instalado na respetiva linha de calibração.

Cada grupo eletrobomba pode ser ajustado individualmente, com a regulação da velocidade do motor, utilizando um conversor eletrónico de frequência. Este dispositivo possibilita uma modulação da largura de impulso, permitindo a variação do caudal conforme necessário, desde o caudal mínimo até o máximo que o sistema pode atingir.

No que se refere às características dos grupos eletrobomba, refira-se que a infraestrutura dispõe de três grupos eletrobomba de eixo vertical, sendo que o EB1 (Figura 2.8) e o EB2 (Figura 2.8) podem funcionar tanto de forma isolada quanto em paralelo, enquanto o EB3 (Figura 2.9) opera apenas isoladamente. Cada grupo é constituído por um motor e uma bomba hidráulica, com motores da marca U.S. Motors e bombas hidráulicas da marca Layne, ambas fabricadas em 1993. As potências e as velocidades nominais dos motores encontram-se expostas no Quadro 2.1.



Figura 2.8 – Grupos eletrobomba (EB1 e EB2)



Figura 2.9 – Grupo eletrobomba EB3

Quadro 2.1 – Potências e velocidades nominais dos motores dos grupos eletrobomba

Motor	Potência		Velocidade nominal
	(hp)	(kW)	(rpm)
M1	200	149	1470
M2	200	149	1470
M3	350	261	1477

As bombas hidráulicas possuem características específicas, como número de andares e tipo de impulsores. No caso das bombas hidráulicas B1 e B2, cada uma tem dois andares e impulsores do tipo 95G15, enquanto a bomba hidráulica B3 possui três andares. Estas características são fundamentais para a definição dos pontos de funcionamento das bombas hidráulicas, incluindo o caudal, a altura de elevação e o rendimento em diferentes condições de operação.

Cada bomba hidráulica tem pontos de funcionamento dos grupos eletrobomba bem definidos, que variam conforme o caudal e a altura de elevação exigidos. Estes pontos são essenciais para garantir que as bombas hidráulicas operem dentro de sua capacidade ideal, com a máxima eficiência. Os valores de caudal e altura de elevação são ajustados em função das necessidades dos ensaios, e os sistemas de controle permitem que as bombas hidráulicas operem em diversos regimes de caudal, desde o mínimo até o máximo. O controlo de cada grupo eletrobomba efetua-se mediante o acionamento de velocidade variável associado a um conversor eletrónico de frequência dedicado, constituído por uma associação retificador-ondulador de tensão elétrica com modulação de largura de impulso, o que possibilita a fácil regulação do caudal por ela debitado para qualquer valor compreendido na sua gama total de variação.

No Quadro 2.2 estão definidos os pontos de funcionamento (q , h , η) especificados para diferentes caudais, sendo q o caudal, h a altura total de elevação e η o rendimento nominal (correspondente ao valor máximo do rendimento), para cada uma das bombas hidráulicas, e para o caudal de referência de 0,300 m³/s, para o caudal máximo e para o caudal nulo, os quais são observados durante a realização dos ensaios.

Quadro 2.2 – Pontos de funcionamento das bombas hidráulicas dos grupos eletrobomba para um valor de velocidade nominal

Bomba hidráulica	Velocidade nominal (rpm)	Ponto de funcionamento											
		Nominal			Para $q = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$			Para q máximo			Para q nulo		
		q	h	η	q	h	η	q	h	η	q	h	η
		(m ³ /s)	(m)	(%)	(m ³ /s)	(m)	(%)	(m ³ /s)	(m)	(%)	(m ³ /s)	(m)	(%)
B1	1470	0,252	41,5	83,9	0,300	32,6	81,8	0,348	22,0	67,8	0	69,8	0
B2	1470	0,265	39,7	84,4	0,300	33,6	82,0	0,348	22,3	68,3	0	70,5	0
B3	1477	0,270	72,7	83,7	0,300	62,8	82,0	0,348	45,8	72,4	0	122,0	0

A operação do circuito de bombagem resulta teoricamente da conjugação da frequência e da velocidade de rotação do motor elétrico como forma de obter o caudal pretendido, podendo ser obtido usando gráficos que permitem obter essa relação ou mediante a realização de estudos que facilitam a seleção das opções. O Quadro 2.3 apresenta o resultado de um desses estudos que foi desenvolvido pelo LNEC para esse efeito nos anos 90.

Quadro 2.3 – Relações entre grandezas de entrada que determinam o caudal gerado pelos grupos eletrobomba, para os diâmetros nominais das condutas das quatro linhas de ensaios

Grupo	Condutas							
	100		150		200		300	
	Caudal (dm ³ /s)	Frequência (Hz)	Caudal (dm ³ /s)	Frequência (Hz)	Caudal (dm ³ /s)	Frequência (Hz)	Caudal (dm ³ /s)	Frequência (Hz)
1 H elev. rpm	40	25	90	30	160	31	300	45
2 H elev. rpm	40	55,0 25 700	90	60,0 30 900	90,0 160	25	130,0 300	45 1300
3 H elev. rpm	50,0 40	25 700	90	60,0 30	90,0 160	32	130,0 300	45

O circuito hidráulico associado ao reservatório inclui dispositivos auxiliares, designadamente, um sistema de filtração, um sistema de frio para arrefecimento da água bombeada com dispositivos para monitorização e regulação do caudal a arrefecer, incluindo um quadro de comando de todo o circuito de arrefecimento, e um sistema de medição de nível. Estes dispositivos são sucintamente descritos nos parágrafos que se seguem.

A operação do reservatório incorpora, no circuito hidráulico, um sistema de filtração (Figura 2.10) visando o controle da qualidade da água, que é constantemente filtrada para remover impurezas e garantir que as condições de ensaio não são afetadas por contaminação de elementos externos. A água do reservatório é aspirada pela bomba hidráulica de aspiração, que a envia para um filtro de limpeza (Filtomat tipo M102C), o qual possui um elemento filtrante com malha de 120 µm, adequado para garantir a pureza da água e evitar a obstrução das condutas e equipamentos.



Figura 2.10 – Sistema de filtração

O sistema de filtração opera em regime cíclico, acompanhando a circulação da água até esta ser devolvida ao reservatório. Em caso de necessidade de se promover a autolimpeza, o filtro realiza a operação de limpeza e enviando o produto de limpeza para o circuito de aspiração das caleiras, subsequentemente direcionado para o esgoto exterior. Essa limpeza periódica é essencial para manter o sistema livre de contaminantes, e preservar a qualidade da água aumentando o tempo necessário à sua renovação, constituindo um elemento de sustentabilidade ambiental da infraestrutura.

O sistema de controlo e arrefecimento da temperatura da água foi desenhado para manter a temperatura da água dentro de parâmetros considerados adequados para a realização das calibrações, considerando que esta grandeza é uma variável de influência para a incerteza da medição. O arrefecimento resulta da interação com um equipamento de frio que assegura a redução da temperatura antes do retorno ao reservatório, de forma a uniformizar rapidamente a temperatura do tanque, proporcionando condições constantes e controladas para as calibrações e ensaios.

A medição do nível da água no reservatório (Figura 2.5) é realizada através de um sistema de medição por radar, utilizando o equipamento Vega modelo VEGAPULS_60_3_80_00. Este instrumento de medição gera uma corrente de 4 a 20 mA, que permite efetuar as observações da grandeza nível da água no reservatório, em tempo real. Este sistema de medição é crítico para garantir que as condições do reservatório são adequadas ao funcionamento dos grupos eletrobomba, evitando que o nível da água seja inferior ao mínimo necessário para a operação correta do sistema de bombagem.

A aspiração e o retorno da água ao reservatório são duas operações essenciais para o processo de medição, uma vez que a primeira operação visa alimentar o circuito de caudais apropriados às calibrações mantendo condições de estacionariedade apropriadas para assegurar que a magnitude de incerteza é reduzida e o processo de retorno assegura que o nível da água no reservatório se mantém adequado para não haver perda de carga.

A aspiração da água a partir do reservatório desenvolve-se com recurso à ação dos grupos eletrobomba (Figura 2.7) atuados por comandos dos variadores de velocidade, os quais fornecem os caudais de acordo com os requisitos de operação associados aos patamares de calibração pretendidos. A relação entre as frequências associadas aos caudais que se podem obter nas diferentes linhas de calibração encontram-se expostas no Quadro 2.3.

No que se refere ao retorno da água ao reservatório (Figura 2.11), esta operação efetua-se de diferentes formas, dependendo das condições do patamar de calibração e do regime de pressão aplicado. O retorno pode ser feito pela linha de *bypass*, ou por deflexão, quando a água retorna ao tanque após ser desviada ou pesada. O objetivo de todo esse processo é manter o regime hidráulico permanente, garantindo que o sistema de bombeamento possa operar sem interrupções.



Figura 2.11 – Condutas de retorno de água ao reservatório (observadas do interior do reservatório durante a sua limpeza)

2.3.3 Linhas de calibração

A infraestrutura dispõe de quatro linhas de calibração (Figura 2.12), com as seguintes características:

- **Designação:** L1, L2, L3, L4 com diâmetros nominais, respetivamente, de DN 100, DN 150, DN 200 e DN 300. Adicionalmente, dispõe de acessórios de ligação que permitem a utilização de equipamentos e condutas (DN 65, DN 125, DN 250, DN 350 e DN 400).
- **Comprimento de cada linha:** Aproximadamente 15 metros.
- **Disposição:** As linhas são dispostas de forma paralela e a diversos níveis, o que permite um controlo diferenciado do fluxo de líquidos durante os ensaios.
- **Eixos Horizontais:** Garantem a estabilidade e a exatidão durante as medições.
- **Tubos e acessórios de aço galvanizado.**
- **Unões rápidas de interligação:** permitindo a execução facilitada de montagens e desmontagens.
- **Válvulas de seccionamento** de passagem plena (de cunha elástica).



Figura 2.12 – Linhas de calibração

Da diversidade de elementos essenciais para a operação da infraestrutura que integram as linhas de calibração, destacam-se quatro juntas telescópicas ligadas às válvulas de jusante (Figura 2.13), instaladas em cada uma das linhas, as quais permitem o ajustamento das condutas à dimensão dos equipamentos a calibrar ou às condutas onde estes são instalados (por exemplo, os caudalímetros ultrassónicos de “clamp-on”).



Figura 2.13 – Juntas telescópicas

2.3.4 Sistema de regulação do caudal

A UHM utiliza um sistema particularmente eficaz para conseguir a regulação de caudal, fundamental para conseguir incertezas de medição adequadas à calibração de equipamentos com elevada exatidão. Este sistema é composto por elementos hidráulicos que asseguram a regulação do escoamento combinada com a observação do regime de escoamento com recurso a caudalímetros eletromagnéticos de referência colocados em cada uma das linhas de calibração (Figura 2.14).

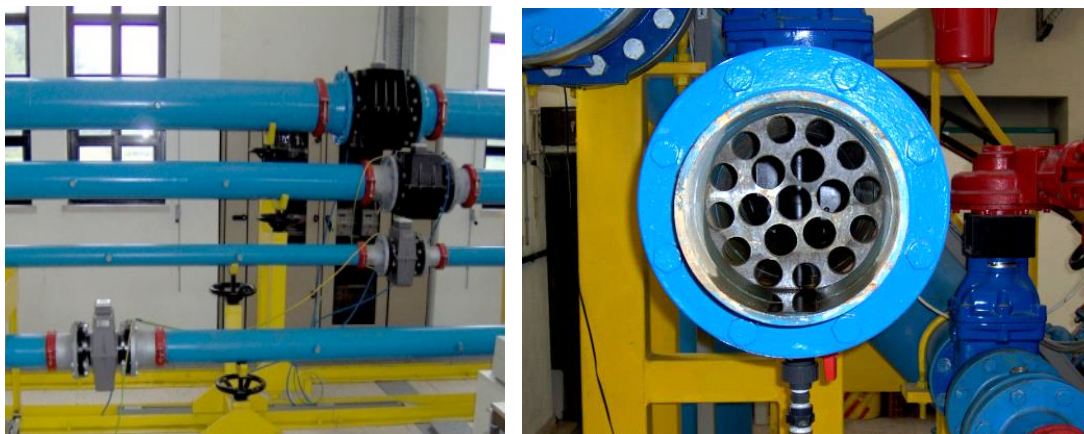


Figura 2.14 – Caudalímetros eletromagnéticos de referência (à esquerda) e elementos para regularização de caudal (à direita)

A regularização do escoamento beneficia da colocação de regularizadores de escoamento que se encontram instalados a montante, em cada linha, e da observação das leituras recorrendo à indicação do caudalímetro eletromagnético tubular que se encontra na mesma linha.

A regulação do caudal nas linhas de calibração faz-se mediante a variação da velocidade das bombas hidráulicas acionadas por três variadores de velocidade que podem atuar individualmente ou em conjunto, permitindo uma gama de velocidades alargada. O ajuste fino da regulação resulta da atuação de um obturador de pera (Figura 2.15) colocada a jusante das linhas, permitindo variar a pressão de forma a atingir um regime estacionário com variabilidade suficientemente reduzida, considerada adequada quando a medição do caudal num dado intervalo de tempo é obtida com reduzida variância.



Figura 2.15 – Obturador de pera

2.3.5 Medição de caudal pelo método mássico gravimétrico

A calibração de caudal por um processo designado por mássico gravimétrico consiste na aplicação de um método que visa determinar o fluxo de um fluido (geralmente líquido) suportado na medição da massa do fluido (no contexto laboratorial, na medição do seu peso), que passa num dado circuito hidráulico, durante um intervalo de tempo.

O termo “mássico gravimétrico” refere-se, por isso, à observação da grandeza massa (em vez da grandeza volume) para a calibração, usando um processo de pesagem do fluido para determinar o caudal. Esse método é particularmente recomendado para condições em que a exatidão da medição requer uma rastreabilidade com incertezas mais baixas, nomeadamente, quando se pretende aplicar em processos industriais ou laboratoriais com elevados níveis de exatidão.

O procedimento de calibração pelo método mássico gravimétrico, é constituído pelas seguintes etapas associadas à medição das grandezas mensuráveis que determinam o valor da estimativa de caudal:

- a. Recolha do fluido num recipiente de um instrumento de pesagem: O fluido que se pretende medir e que se encontra em circulação num circuito fechado de condutas é desviado para um tanque sobre uma plataforma de pesagem onde é recolhido durante um intervalo de tempo, permitindo a determinação da massa associada ao volume de fluido recolhido.
- b. Efetua-se a medição da massa do fluido recolhido e a medição do intervalo de tempo.
- c. Determina-se a estimativa do caudal mássico usando a seguinte relação funcional:

$$Q = \frac{m}{\Delta t} \quad (1)$$

onde:

- Q representa o caudal mássico (em kg/s),
- m representa a massa do fluido recolhido (em kg),
- Δt representa o intervalo de tempo durante o qual se realizou a recolha do fluido (em s).

No que se refere à adoção deste método como método de referência para a medição do caudal mássico, refira-se que a mesma resulta de fatores que beneficiam a exatidão do método, designadamente, porque permite:

- uma melhor exatidão, que resulta do facto da medição ser baseada na observação da massa, sendo possível minimizar e corrigir o efeito associado a variações de temperatura, pressão e massa volúmica, bem como, reduzir as respetivas contribuições para o balanço de incertezas de medição; e

que a aplicação do método mássico gravimétrico a fluidos com massa volúmica variável conduz a estimativas com menor incerteza, por se suportar na medição da massa em vez da medição do volume. A medição da massa de líquido é efetuada com recurso a duas plataformas de pesagem Mettler, designadas por sistemas de pesagem n.º 1 e n.º2 (SP1 e SP2, respetivamente), com os quais a UHM consegue medir com uma exatidão da ordem de 0,1 g / 1 g a massa de água contida nos tanques de

pesagem. Tendo em consideração o volume disponível nos tanques respetivos (Figura 2.16), os alcances máximos de peso (capacidade) são de 1 700 kg para o SP1 e de 17 600 kg para o SP2.



Figura 2.16 – Sistema de pesagem

A medição do intervalo de tempo é concretizada pela aplicação de tecnologias de processamento digital de sinais em tempo real usando contadores universais de tempo HP 53131 A. Estes contadores possuem a capacidade de efetuar o processamento digital de sinais em tempo real (DSP – Digital Signal Processing), conjuntamente com a análise de dados e a aquisição contínua de leituras, característica particularmente adequada para sistemas de medição que requerem a monitorização em regime dinâmico e respostas imediatas a variações nos sinais.

No contexto da infraestrutura, incorporando sistemas controlados por computador, cada contador é equipado com uma interface padrão HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus), compatível com o padrão SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments), permitindo a sua programação, bem como, permitindo uma interface que admite taxas de transferência até 200 medições por segundo, apropriadas para a sua integração com software e com sistemas automatizados de aquisição de dados.

O modelo HP 53131 A utilizado dispõe de dois canais com resolução em frequência até 10 dígitos por segundo e largura de banda de 225 MHz. A resolução para medição de intervalos de tempo é de 500 picosegundos (ps), garantindo a exatidão necessária para medições temporais com elevada variação.

As grandezas mensuráveis disponíveis nos contadores universais de tempo incluem:

- frequência;
- período;
- intervalo de tempo;

- largura de pulso;
- tempo de subida e descida do sinal;
- ângulo de fase;
- ciclo de trabalho;
- totalização; e
- tensão de pico.

A medição mais comum do intervalo de tempo no processo de calibração consiste na medição dos instantes em que se inicia e termina o processo de deflexão que orienta o líquido para o interior do tanque de pesagem e o bypass que permite o retorno do líquido ao reservatório. Neste contexto, o cálculo de incertezas considera os contributos que resultam da sincronização e da execução das manobras do defletor não ser instantânea.



Figura 2.17 – Defletor associado ao sistema de pesagem 2

Em ambos os casos, a rastreabilidade dos equipamentos de referência para a medição das grandezas massa e tempo é estabelecida pela calibração pelo Instituto Português da Qualidade, que dispõe dos padrões nacionais destas grandezas. Esta rastreabilidade ao Laboratório Primário Nacional decorre de um requisito a cumprir pelos Institutos Designados.

Refira-se que a infraestrutura dispõe, ainda, de diversos equipamentos (por ex., para medição de nível no reservatório de água, para medição da temperatura e pressão atmosférica do ambiente envolvente) e de redes de transdutores de pressão e temperatura que se encontram instalados nas condutas, permitindo a observação destas grandezas de influência que afetam os resultados da medição e, por isso, são contabilizados nos balanços de incerteza.

O processo de regulação do caudal é determinante, para a realização das calibrações com nível de incerteza reduzidos, sendo esta operação desenvolvida com o apoio da observação dos valores medidos pelos caudalímetros eletromagnéticos tubulares que se encontram em cada linha de calibração.

A UHM possui competências e capacidades operacionais que permitem realizar calibrações e ensaios numa diversidade de condições técnicas com elevada exatidão. As suas limitações operacionais, para as grandezas mensuráveis principais, são as seguintes:

- **caudal volumétrico:** até 500 m³/s;
- **caudal mássico:** até 400 kg/s;
- **diâmetro nominal:** até DN 400.

No que concerne às melhores capacidades de medição (CMC), determinadas pelas incertezas de medição expandida (95%), atualmente são as seguintes:

- **caudalímetros eletromagnéticos:** 0,05%;
- **caudalímetros ultrassônicos:** 0,3%.

Estas capacidades obtidas tecnicamente pela UHM permitem que se constitua como uma referência internacional em termos de calibração e rastreabilidade metrológica em hidrologia e hidráulica.

2.3.6 Automação e controlo

O sistema de automação e controlo consiste em várias redes de campo e protocolos destinados a integrar os vários equipamentos e subsistemas necessários para a realização das tarefas de medição, comando e supervisão remota bem como verificação de aspetos de segurança no acionamento de equipamento eletromecânico. As soluções de instrumentação para medição das grandezas físicas mais relevantes (caudal, pressão, temperatura, massa e tempo) subordinam-se a objetivos de qualidade metrológica, a requisitos funcionais de integração no sistema de automação e ainda à facilidade de procedimentos para a sua calibração. O programa de supervisão em computador que foi desenvolvido está preparado para a condução semiautomática dos ensaios de calibração de caudalímetros quer pelo método gravimétrico quer com caudalímetro de referência.

Os principais objetivos da automação e controlo da infraestrutura da UHM são os seguintes:

- integração de equipamentos e subsistemas (variadores de velocidade para grupos de bombagem e atuadores dos defletores; válvulas motorizadas; posto de supervisão; aparelhos de medição; redes de sensores);

- funções de segurança de pessoas e do próprio equipamento laboratorial, especialmente motivadas pelo equipamento eletromecânico de potência elevada (procedimentos de arranque; mecanismos de paragem de emergência; estabelecimento apenas de configurações hidráulicas admissíveis com a manobra de válvulas; impedimento de pressões excessivas);
- funções de controlo em cadeia fechada (caudal, pressão);
- integração de cadeias de medição;
- condução automática de procedimentos de calibração e/ou de ensaio, mantendo um nível mínimo (razoável) de operação humana;
- recursos de supervisão (interface humano-máquina; alarmes; aquisição e arquivo de dados; produção de certificados/boletins de calibração ou de ensaio).

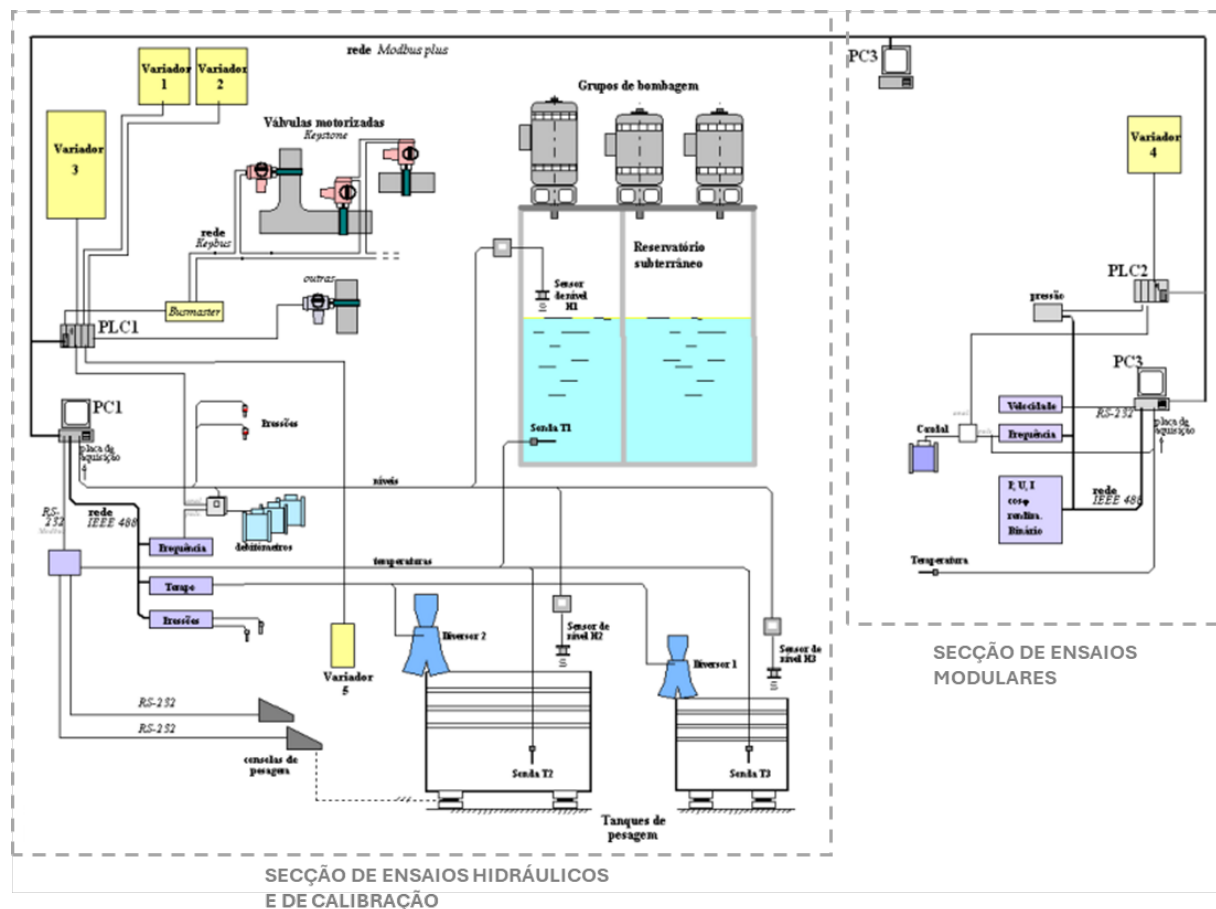


Figura 2.18 – Arquitetura do sistema de automação da UHM, adaptação de (Palma, 2013)

À data de escrita do presente documento, o sistema de automação e controlo é baseado numa solução monolítica suportada em autómato programável (PLC - Programmable Logic Controller) com acesso por uma rede industrial do tipo Modbus RTU e ModbusPlus. Este PLC, programado em linguagem de diagramas de contactos (Ladder Logic) tem a seu cargo o comando dos três grupos eletrobomba mais potentes (variadores eletrónicos 1, 2 e 3), o controlo de caudal em cadeia fechada, o comando das válvulas motorizadas (onde se inclui a validação de configurações hidráulicas) e ainda o comando dos deflectores de escoamento.

A funções de supervisão são suportadas por um computador do tipo PC, instalado na sala de comando e supervisão, dotado dos recursos de comunicação digital com os periféricos (placa Modicon SA85 para rede Modbus plus, interfaces RS-232-C, interface IEEE 488). Na Figura 2.19 é apresentada a arquitetura geral do software de supervisão.

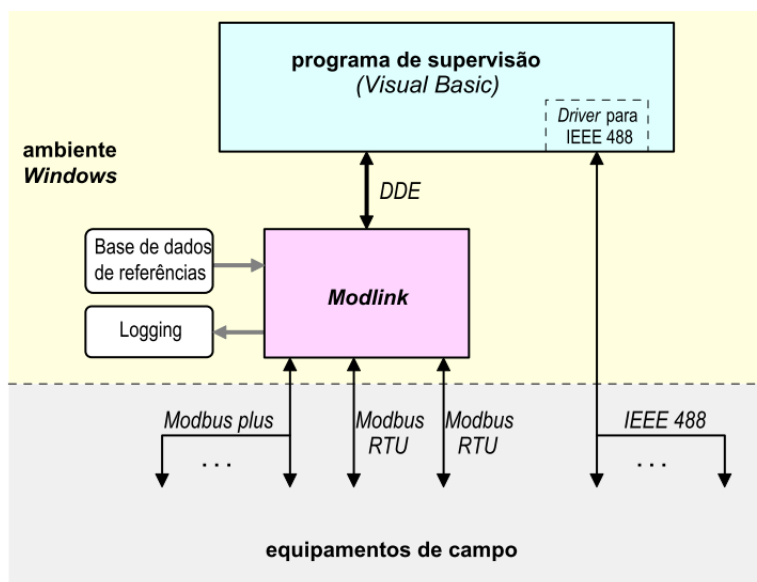


Figura 2.19 – Arquitetura geral do software de supervisão

O programa de supervisão – designado por SuperLEHid – foi elaborado em linguagem Visual Basic (VB6) em 2004 pelo Eng.º Armando Cordeiro, no âmbito dos trabalhos para a sua dissertação de mestrado, sob orientação no LNEC pelo Investigador Principal João Palma.

Resumidamente, o programa de supervisão foi concebido para a condução de ensaios de calibração de caudalímetros, com a presença de operador, possuindo recursos para as seguintes funções de supervisão:

- interface gráfica humano-máquina por ecrãs sinóticos;
- gestão de alarmes;
- registo de dados e sua visualização em diagramas temporais; e
- produção de boletins de ensaio.

Na Figura 2.20 são apresentados exemplos de ecrãs de supervisão do programa de supervisão, bem como a sala de comando e supervisão da UHM (Figura 2.21).

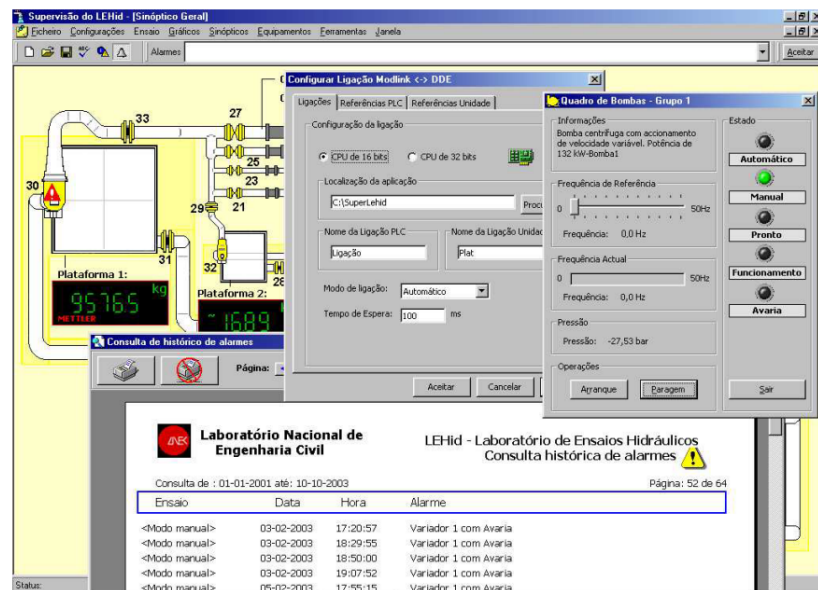


Figura 2.20 – Exemplo dos ecrãs sinópticos do programa de supervisão



Figura 2.21 – Sala de comando e supervisão da UHM

2.3.7 Ponte rolante (movimentação de cargas) e portão de acesso

A ponte rolante instalada na infraestrutura da UHM do LNEC constitui um equipamento de movimentação de cargas essencial ao manuseamento de componentes de grandes dimensões ou elevado peso, incluindo reservatórios, elementos estruturais e instrumentos de medição de grande escala. A sua utilização requer procedimentos rigorosos de operação, manutenção e segurança, de forma a evitar riscos para os operadores, danos nos equipamentos e perturbações nas atividades laboratoriais.

Uma ponte rolante típica, do tipo ponte rolante suspensa ou apoiada, é composta pelos seguintes elementos principais:

- **Vigas principais (vigas de ponte):** estruturas horizontais que suportam o carro de translação e permitem a deslocação transversal da carga.
- **Pilares ou caminhos de rolamento:** trilhos fixados à estrutura da edificação ou pórticos que permitem o movimento longitudinal da ponte.
- **Trole (carro):** conjunto mecânico que se desloca ao longo das vigas principais e suporta o mecanismo de elevação.
- **Guincho (ou talha):** sistema de elevação responsável por subir ou descer a carga, geralmente acionado por motor elétrico com redutor.
- **Cabos de aço ou correntes:** elementos de suspensão que suportam fisicamente a carga.
- **Ganchos e acessórios de amarração:** dispositivos para fixação segura da carga.
- **Sistema de comando:** pode incluir comandos suspensos com cabo, rádio controlo ou sistemas automatizados.
- **Painéis elétricos e sistemas de proteção:** asseguram a alimentação elétrica, comandos e segurança operacional (disjuntores, fim de curso, entre outros).

A operação da ponte rolante deve obedecer a um conjunto de requisitos técnicos e organizacionais que garantam a segurança dos operadores e das cargas movimentadas:

- **Apenas operadores autorizados e com formação específica** podem operar o equipamento.
- **Nunca se deve permitir a permanência de pessoas debaixo de cargas suspensas.**
- **A capacidade máxima de carga (carga nominal)** deve estar visivelmente identificada e nunca ser excedida.
- **Verificações pré-operacionais** incluem a inspeção do estado dos cabos, ganchos, travões, e funcionamento dos sistemas de fim de curso.
- **O controlo das zonas de operação** deve ser garantido através de sinalização, barreiras ou delimitação física adequada.
- **A velocidade de movimentação da carga** deve ser compatível com as características do objeto em manuseio e com o ambiente de operação (presença de pessoal, obstáculos, etc.).
- Em caso de **anomalia**, a operação deve ser imediatamente interrompida e comunicada aos responsáveis técnicos.

A manutenção da ponte rolante é fundamental para assegurar o seu funcionamento seguro e eficiente. As atividades devem seguir o plano de manutenção definido pela UHM e incluir:

- **Inspeções visuais e funcionais periódicas** dos componentes estruturais e mecânicos, com registo de anomalias.
- **Verificação de cabos de aço**, com atenção a fios partidos, corrosão, desgaste ou enrolamento incorreto.

- **Lubrificação de partes móveis**, como rolamentos, polias e guias, conforme especificações do fabricante.
- **Testes de carga**, realizados com periodicidade trienal ou conforme exigido pela legislação aplicável, para validação da capacidade nominal.
- **Verificação e calibração dos sistemas de fim de curso**, travões e dispositivos de segurança elétrica.
- **Limpeza e inspeção dos trilhos de rolamento**, para evitar obstruções ou desgaste irregular.
- **Registo de todas as intervenções** em relatórios normalizados, com indicação do estado final do equipamento.

A gestão eficaz da ponte rolante deve considerar:

- **Disponibilização de manuais técnicos, certificados de conformidade e documentação de manutenção**, acessíveis aos operadores e técnicos responsáveis.
- **Planeamento rigoroso das operações de elevação**, em especial quando envolvem cargas com centro de gravidade irregular, geometrias complexas ou materiais sensíveis.
- **Coordenação com os serviços de segurança do LNEC**, para garantir que as atividades de elevação não interferem com outras operações em curso no laboratório.
- **Sinalização e delimitação das zonas de operação**, em particular durante calibrações ou ensaios com equipamento instalado no solo.
- **Integração da ponte rolante nos simulacros e planos de emergência da UHM**, com cenários específicos que envolvam falhas durante movimentações críticas.
- **Gestão dos acessórios de elevação (cintas, manilhas, ganchos auxiliares)** com registo de utilização, inspeção e substituição, conforme normas aplicáveis.

O portão de acesso à UHM é constituído por uma folha superior, giratória de eixo horizontal superior, e duas folhas de correr horizontais. O quadro elétrico de comando apresenta dois botões de marcha e um de paragem de emergência. Um dos botões de marcha serve para abrir o portão e o outro para o fechar. Qualquer das ordens pode ser interrompida carregando na paragem de emergência. Se se desejar fechar o portão estando em curso a sua abertura, pode fazer-se carregando primeiro na paragem de emergência e depois no botão “fechar”. Se se desejar abrir o portão durante o seu fecho, pode fazer-se mediante processo análogo ao descrito anteriormente, mas pressionando o botão “abrir”.

O acionamento do portão vertical é feito por dois moto-redutores que acionam, cada um, um tambor com um cabo de aço.

O acionamento das duas folhas horizontais é efetuado por dois moto-redutores que acionam, cada um, uma cremalheira solidária a cada uma das folhas.

Cuidados a observar:

- O mais importante: manter o caminho de rolamento das folhas horizontais isento de detritos, sujidades e pedras. Caso isto não seja cumprido, há o perigo de as folhas poderem descarrilar.
- Lubrificar semanalmente com CASTROL GEAR LUB 200: os tambores enroladores do cabo de aço, o cabo de aço e as roldanas da folha superior; e os carretos e respetivas cremalheiras.

Verificar semestralmente:

- Nível de lubrificante dos redutores (atestar se necessário com CASTROL ALPHA SP220 ou equivalente).
- Estado dos cabos de aço quanto a fios soltos, zonas com esmagamentos ou perigo de rotura (é importante esta análise visual). A não observância deste preceito pode ter como consequência a queda repentina e brusca da folha superior. Substituir o cabo de aço de dois em dois anos esteja como estiver. O cabo a utilizar deve ser um cabo extra flexível, diâmetro 10 mm.
- Ativação dos oito fins de curso.

Os utilizadores do edifício devem ser avisados (colocando avisos se necessário) para nunca estacionarem viaturas ou colocarem objetos no trajeto do portão. É necessário também ter especial cuidado com crianças quando se estiver a operar o portão. Alertar o pessoal que opera a Ponte Rolante para ter cuidado na manobra da mesma na vizinhança do portão sempre que este estiver fechado.

3 | Plano de manutenção da UHM-LNEC

3.1 Introdução

A infraestrutura de metrologia hidráulica do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), associada à Unidade de Hidráulica de Medição (UHM), assume um papel fundamental na garantia da rastreabilidade metrológica das medições de caudal e volume no domínio hidráulico. O seu correto funcionamento assegura a calibração de instrumentos de medição utilizados em sistemas de abastecimento, rega, barragens, monitorização ambiental e investigação científica.

Num laboratório de referência como o LNEC, que opera de acordo com os requisitos da norma (ISO/IEC 17025, 2017), a manutenção da infraestrutura e dos equipamentos de medição é uma componente crítica do sistema de gestão da qualidade. A implementação de um plano de manutenção sistemático, tecnicamente fundamentado e documentalmente estruturado é, portanto, indispensável à continuidade das operações e à conformidade com os requisitos normativos.

3.2 Importância de um Plano de Manutenção

A infraestrutura hidráulica de calibração é composta por sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrónicos de elevada complexidade. A sua operação contínua requer intervenções periódicas de manutenção preventiva, corretiva e, quando justificado, preditiva.

A ausência de um plano de manutenção conduz ao aumento da probabilidade de falhas críticas, interrupções nos ensaios de calibração, degradação da exatidão metrológica e incumprimento de requisitos normativos. Por outro lado, um plano de manutenção bem estruturado permite:

- reduzir o risco de falhas catastróficas;
- garantir a confiabilidade dos resultados de medição;
- otimizar o ciclo de vida dos equipamentos;
- assegurar a qualidade da rastreabilidade metrológica; e
- responder aos requisitos de auditorias internas e externas.

3.3 Enquadramento Normativo – ISO/IEC 17025:2017

A norma (ISO/IEC 17025, 2017) estabelece os requisitos para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. No que diz respeito à manutenção, destacam-se as seguintes disposições:

- **Cláusula 6.4:** Equipamentos: exige que todos os equipamentos com impacto na validade dos resultados sejam mantidos em condições de funcionamento, calibrados, verificados, e sujeitos a manutenção periódica documentada.

- **Cláusula 6.3:** Instalações e condições ambientais: obriga à monitorização e controlo das condições ambientais, implicando a manutenção dos sistemas associados.
- **Cláusula 7.5:** Registo dos dados técnicos: determina que sejam mantidos registos de calibração, verificação, manutenção e reparação.
- **Cláusula 8.5:** Ações corretivas: prevê a identificação de causas de falhas, podendo implicar modificações nos planos de manutenção.

Estas disposições determinam que a manutenção seja tratada como parte integrante do sistema de gestão da qualidade do laboratório.

3.4 Conceitos Fundamentais de Manutenção em Laboratórios

A norma (NP EN 13306, 2021) estabelece a terminologia de base para as atividades de manutenção industrial, definindo os principais conceitos aplicáveis. A seguir, apresentam-se os principais conceitos de manutenção, com uma breve descrição técnica.

Manutenção Preventiva

Intervenção técnica planeada, realizada em intervalos predefinidos ou de acordo com critérios estabelecidos previamente, visando reduzir a probabilidade de falha ou de degradação de funcionamento de um equipamento ou componente de um sistema. A sua ação pode incluir tarefas de inspeção, limpeza, lubrificação, execução de testes funcionais e a substituição programada de componentes.

Manutenção Corretiva

Ação realizada após a deteção de uma falha ou de funcionamento inadequado, visando restabelecer o estado funcional de um componente ou sistema. A sua execução pode ser planeada ou imediata, em regra decidida em função da criticidade da falha.

Manutenção Preditiva

Tipo de manutenção baseada na avaliação do estado real do equipamento ou componente, nomeadamente, pela avaliação do desempenho de parâmetros físicos (como vibração, temperatura, ruído, entre outros). Tem como objetivo a previsão de falhas antecipadamente, permitindo uma atuação que permita minimizar o tempo de inatividade.

Calibração

Processo técnico que estabelece, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes de um padrão de referência. A calibração pode estar associada à manutenção, garantindo que os dispositivos mantêm a exatidão exigida face à utilização pretendida.

Verificação Técnica

Atividade que consiste na confirmação do estado operacional e de desempenho de um equipamento o sistema de medição, por meio de ensaios ou medições, assegurando que se cumprem os requisitos técnicos estabelecidos, podendo realizar-se entre calibrações sucessivas como alternativa de validação da adequação do seu funcionamento.

Plano de Manutenção

Documento técnico que contém a informação necessária à organização e definição das ações de manutenção a executar de acordo com um cronograma, devendo incluir o tipo de manutenção, a periodicidade, os responsáveis pela execução e os registos necessários. O plano pode ser elaborado por componente, sistema ou instalação.

Registo de Manutenção

Documento que formaliza a execução de uma atividade de manutenção, contendo informações como a data, a descrição da intervenção, o técnico responsável, os resultados obtidos e as recomendações futuras. É uma exigência em sistemas de gestão da qualidade, como o da ISO/IEC 17025:2017.

Lista de verificação (Checklist) de Manutenção

Lista de verificação utilizada para assegurar que todos os pontos críticos de uma intervenção são considerados e inspecionados, promovendo a padronização e rastreabilidade das ações.

Indicadores de Desempenho de Manutenção (KPIs)

Métricas utilizadas para avaliar a eficácia e eficiência das atividades de manutenção, como o tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio de reparação (MTTR), ou disponibilidade operacional.

3.5 Ações do Plano de Manutenção Global

O plano de manutenção é composto por um conjunto de ações adaptadas às características de cada componente da infraestrutura, designadamente:

- Inspeções visuais periódicas: deteção precoce de anomalias (fugas, corrosão, desgaste).
- Ensaios de funcionamento: testes sob condições controladas.
- Limpezas técnicas: remoção de resíduos, sedimentos ou incrustações.
- Lubrificação de elementos móveis: preservação da funcionalidade mecânica.
- Calibração e verificação de sensores: garantia da conformidade metrológica.
- Substituição de componentes críticos: ação preventiva com base em critérios de desgaste.
- Atualizações de *firmware* e software: manter a compatibilidade com sistemas modernos.
- Verificação de ligações elétricas: controlo de continuidade e segurança.

3.6 Elementos Sujeitos a Manutenção na UHM do LNEC

A lista representativa dos principais elementos que requerem manutenção sistemática na UHM do LNEC encontra-se no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Identificação dos componentes que necessitam de manutenção

Componente	Descrição genérica da manutenção a realizar
Reservatórios	Limpeza de sedimentos, inspeção de integridade estrutural.
Plataformas de pesagem	Verificação de células de carga e sistemas de aquisição.
Grupos eletrobomba	Lubrificação, controlo de vibrações e alinhamento.
Variadores de velocidade	Verificação de operação, ajustes e atualização de <i>firmware</i> .
Válvulas de seccionamento	Testes de abertura/fecho e verificação de estanquidade.
Válvulas de regulação de pressão	Testes de resposta e regulação, substituição de juntas.
Conduitas hidráulicas	Inspeção visual e deteção de fugas.
Juntas telescópicas e juntas	Controlo de vedação e integridade.
Reguladores de escoamento	Verificação da capacidade de regulação e movimentação.
Autómatos (PLC)	Testes de programa, substituição de módulos defeituosos, verificação das ligações elétricas e interfaces de comunicação
Botoneiras de paragem de emergência	Testar funcionalidade e verificação das ligações elétricas
Quadro e ligações elétricas	Inspeções térmicas e verificação de conexões.
Ponte rolante	Testes de carga, verificação de cabos e rolamentos.
Portão de acesso automático	Teste de sensores, lubrificação e controlo de segurança.
Sistema SCADA / comando e supervisão remoto	Testes funcionais, backups e atualizações de software.
Painéis de climatização	Inspeção de filtros, termostatos e condensadores.

3.7 Intervalos de Manutenção na UHM do LNEC

O Quadro 3.2 seguinte expõe os prazos de manutenção adotados na UHM para os principais componentes da infraestrutura.

Quadro 3.2 – Prazos de manutenção

Componente	Tipo de Manutenção	Intervalo
Reservatório	Limpeza e inspeção	3 anos
Plataformas de pesagem	Calibração/verificação	Anual
Grupos eletrobomba	Lubrificação, inspeção	2 anos
Variadores de velocidade	Testes e atualização	3 anos
Válvulas de seccionamento	Testes operacionais	2 anos
Válvulas de regulação de pressão	Verificação e ajuste	2 anos
Conduatas	Inspeção visual	3 anos
Juntas e juntas telescópicas	Verificação e substituição	3 anos
Reguladores de escoamento	Teste funcional	3 anos
Autómatos PLC	Verificação lógica e testes	3 anos
Botoneiras de emergência	Verificação lógica e testes	1 ano ?
Quadro elétrico	Verificação e limpeza	2 anos
Ponte rolante	Inspeção e testes de carga	3 anos
Portão de acesso	Testes e manutenção geral	2 anos
SCADA / supervisão remota	Atualização e backup	1 a 2 anos
Sensores de nível/caudal	Calibração	1 a 2 anos

3.8 Subcontratação de Atividades de Manutenção

A subcontratação de atividades de manutenção, quando necessária, é efetuada com base em especificações de forma a garantir a qualidade e conformidade com os requisitos do sistema de gestão em vigor. O caderno de encargos inclui, em regra:

- requisitos de qualificação técnica da empresa;
- experiência comprovada em manutenção de equipamentos e sistemas de medição;
- cumprimento da norma (ISO/IEC 17025, 2017), quando aplicável;
- requisitos de confidencialidade e proteção de dados;
- planos de trabalho, cronogramas e garantias de serviço;
- relatórios técnicos e registos normalizados;
- acesso a documentação técnica relevante do LNEC; e
- coordenação com os responsáveis técnicos da UHM.

3.9 Documentos e Registos de Manutenção

A concretização do plano de manutenção requer a existência de um conjunto de documentos que permitem registar e manter em arquivo a informação que evidencia a execução das tarefas de acordo com o planeamento e, simultaneamente, formalizar o suporte documental auditável no quadro do sistema de gestão (da qualidade) adotado nas unidades laboratoriais do LNEC. Os documentos que integram o acervo documental são os seguintes:

- listas de verificação para utilização na inspeção visual e funcional;
- ordens de serviço com referência a cada intervenção;
- fichas técnicas dos equipamentos;
- relatórios de intervenção (com anomalias, ações corretivas, fotos);
- plano de manutenção global (em formato de *Gantt* ou em tabela); e
- registos de calibração e verificação funcional.

Estes registos contêm um conjunto de informação base, designadamente:

- identificação do equipamento (código interno, localização);
- tipo de intervenção (preventiva, corretiva, preditiva);
- data e hora da execução;
- Técnico responsável e empresa subcontratada (se aplicável);
- ações realizadas e respetivas anotações;
- estado operacional final (OK/NOK); e
- anexos técnicos (fotos, medições, certificados).

4 | Plano de segurança da UHM-LNEC

4.1 Objetivos do Plano de Segurança

A UHM do LNEC realiza atividades de medição, calibração e ensaio em ambientes laboratoriais e em campo, frequentemente em contextos que envolvem infraestruturas hidráulicas de grande escala, águas residuais e ambientes de difícil acesso. A segurança é uma componente essencial na planificação e execução dessas atividades. Este plano tem como objetivo garantir a integridade física intervenientes, assim como a proteção das instalações e do meio ambiente, através da prevenção de acidentes e da mitigação dos riscos ocupacionais.

4.2 Identificação de Perigos e Avaliação de Riscos

A identificação e avaliação dos riscos são etapas fundamentais para estabelecer medidas eficazes de controlo. A UHM estabelece como riscos operacionais mais críticos os seguintes:

- trabalhos em altura;
- movimentação de cargas;
- trabalhos em espaços confinados; e
- exposição a atmosferas perigosas, designadamente, associadas a águas residuais.

Cada um destes cenários apresenta riscos específicos que podem comprometer a segurança dos trabalhadores e a qualidade das operações. A avaliação baseia-se na análise da severidade, probabilidade de ocorrência e medidas de controlo existentes.

4.3 Medidas de Controlo e Prevenção

Para controlar os riscos identificados, são aplicadas medidas preventivas e protetoras de acordo com a hierarquia do controlo de riscos (eliminação, substituição, medidas de engenharia, medidas administrativas e uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) / Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC). A UHM do LNEC promove a adoção de boas práticas, planeamento das atividades com avaliação de riscos prévia e a qualificação técnica dos profissionais para a realização de atividades críticas.

A cultura de segurança é reforçada através de briefings operacionais, registos de ocorrências, e revisões periódicas dos procedimentos operacionais (PO-UHM).

4.4 Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC)

A seleção e utilização de EPI e EPC de forma correta, são essenciais para garantir a proteção dos trabalhadores nas operações realizadas. A seguir descrevem-se os principais riscos, os equipamentos considerados apropriados para a sua proteção e a forma de os utilizar.

4.4.1 Trabalhos em Altura

- **Riscos:** queda livre, impacto, queda de objetos.
- **EPI:** Arnês com ponto dorsal e acessórios de ligação (EN 361, 2002), corda com absorvedor de energia (EN 355, 2002), Capacete de proteção com franquelete (BS EN 12492, 2012), calçado antiderrapante e com biqueira de aço (EN ISO 20345).
- **EPC:** Linha de vida, guarda-corpos, plataformas estáveis.
- **Uso correto:** Inspeção visual prévia à utilização dos EPI e EPC, ligação a ponto de ancoragem certificado, uso obrigatório de jugular.



Figura 4.1 – EPI associados a trabalhos em altura

4.4.2 Movimentação de cargas

- **Riscos:** queda da carga, esmagamento, choque contra a objetos, atropelamento, sobrecarga física.
- **EPI:** Capacete de proteção com franquelete, calçado com proteção antiaderente e com biqueira de aço, luvas com proteção antiaderente e contra abrasão / corte, óculos de segurança.
- **Uso correto:** apenas efetuado por técnicos qualificados; nunca transitar ou permanecer sob cargas suspensas; inspecionar cintas, cabos de aço e ganchos antes do uso; e garantir que a carga se encontra devidamente amarrada, equilibrada e dentro do limite de capacidade do equipamento.



Figura 4.2 – EPI associados a trabalhos de movimentação de cargas

4.4.3 Espaços Confinados

- **Riscos:** Irritação, intoxicação por agentes químicos, queda em altura, afogamento, asfixia, lesões oculares, incêndio.
- **EPI:** Arnês de resgate e acessórios de ligação, máscara com filtro ABEK-P3 ou SCBA, luvas químicas (ISO 374-1, 2024), fato tipo 3 ou 4, Capacete de proteção com franquelete, óculos de proteção mecânica/ química, vestuário de trabalho de alta visibilidade com identificação do LNEC, calçado com proteção antiaderente e com biqueira de aço, luvas com proteção antiaderente e contra abrasão / corte.
- **EPC:** Tripé com guincho, ventilador forçado, iluminação ATEX, medidor de gases
- **Uso correto:** Monitorização contínua de gases antes e durante a entrada nos espaços confinados, e acompanhamento externo permanente.



Figura 4.3 – EPI associados a trabalhos a realizar em espaços confinados

4.4.4 Atmosferas Perigosas (Águas Residuais)

- **Riscos:** H₂S, CH₄, CO – tóxicos e inflamáveis.
- **EPI:** Máscara ABEK-P3 ou *Self-Contained Breathing Apparatus* (SCBA), calçado com proteção antiaderente e impermeável, luvas nitrílicas, fato macaco Tyvek.
- **EPC:** medidor de gases para monitorização de quatro gases (O₂, H₂S, CO, CH₄), calibrado por entidade acreditada.
- **Uso correto:** Observação das medições associadas aos gases antes da entrada, interdição de acesso abaixo de 19,5% de O₂ ou na presença de gases em concentração perigosa.



Figura 4.4 – EPI associados a trabalhos a realizar em atmosferas perigosas

4.5 Procedimentos de Emergência

Dado o potencial de risco elevado em algumas das atividades mencionadas, é fundamental dispor de um plano de emergência robusto e conhecido por todos os intervenientes. Para a elaboração do plano de emergência estão definidas as seguintes diretrizes:

- Ativação do plano interno de emergência (PIE UHM-LNEC).
- Alarme e evacuação imediata da zona afetada.
- Comunicação com a serviços de emergência.
- Utilização de duche e lava-olhos, em caso de contacto com substâncias perigosas.
- Simulações periódicas (mínimo anual) de cenários críticos.

4.6 Treino e Capacitação

A formação contínua é uma condição essencial para a eficácia do plano de segurança. Todos os trabalhadores expostos a riscos críticos devem possuir:

- Formação certificada em:
 - o trabalhos em altura;
 - o trabalhos em espaços confinados; e
 - o utilização de SCBA e monitorização ambiental.
- Reciclagem com periodicidade definida, sempre que possível anual, com registos.
- Integração com formação interna do LNEC e simulacros regulares.

4.7 Conformidade Legal e Normativa

O cumprimento legal é assegurado através da aplicação das seguintes normas e diplomas:

- **Decreto-Lei n.º 50/2005** – SST em contexto laboral.
- **Decreto-Lei n.º 162/90** – Prevenção de riscos em espaços confinados.
- **EN 60079-10-1** – Atmosferas explosivas.
- **ISO 45001:2018** – Gestão da SST.
- **EN 689, EN 529** – Avaliação da exposição a agentes químicos no ar.
- **Normas EN 361, EN 355, BS EN 12492, EN 374-1, ISO 20345** – EPI.

4.8 Gestão de Resíduos e Sustentabilidade

Durante a realização de atividades técnicas de natureza metrológica e estudos experimentais, são gerados resíduos contaminados com matéria orgânica ou agentes químicos, os quais devem ser objeto de medidas de preservação do meio ambiente, destacando-se:

- Armazenamento temporário em recipientes devidamente identificados.
- Separação de EPI contaminados (por exemplo, luvas e fatos descartáveis).
- Remoção por entidade licenciada (operador de gestão de resíduos).
- Promoção de boas práticas ambientais (por ex., a reutilização de componentes não contaminados, e a escolha de reagentes com menor toxicidade).

4.9 Monitorização e Auditorias Internas

A avaliação regular das condições de operação dos equipamentos de segurança são uma ação necessária para assegurar atempadamente que estes são eficazes e mantêm o desempenho esperado. Neste contexto, promove-se a avaliação dos equipamentos com periodicidades pré-estabelecidas:

- Inspeções anuais aos EPC (tripés, guinchos e outros).
- Validação anual dos EPI e datas de validade.
- Auditorias internas do LNEC e revisões periódicas do plano de segurança.
- Registo de incidentes, acidentes e ações corretivas.

4.10 Responsabilidades e Comunicação

A estrutura de responsabilidade e comunicação da UHM é clara:

- **Coordenador de Segurança:** garante a aplicação do plano de segurança e propõe a formação para o seu cumprimento.
- **Técnico responsável por cada calibração ou estudo:** executa a avaliação de risco e lidera a equipa de trabalho em conformidade com o plano de segurança.
- **Todos os trabalhadores:** devem seguir os procedimentos, utilizar os EPIs e reportar qualquer anomalia ou incidente.

5 | Notas finais

A Unidade de Hidráulica Metrológica (UHM) do LNEC desenvolveu, ao longo do tempo, um conjunto estruturado de práticas e procedimentos nas áreas da manutenção e da segurança, com o objetivo de garantir a operacionalidade, fiabilidade e rastreabilidade das medições realizadas nos seus sistemas e equipamentos. A abordagem adotada reconhece a manutenção e a segurança não como atividades acessórias, mas como dois pilares centrais da qualidade, entendidos dessa forma pela UHM no âmbito do seu contributo para o cumprimento das responsabilidades assumidas enquanto Instituto Designado no Sistema Nacional de Metrologia.

A estruturação dos planos de manutenção abrange tanto os componentes da infraestrutura hidráulica interna — com sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrónicos complexos — como os equipamentos de medição utilizados em ensaios realizados em campo. A formalização dos procedimentos, a definição de intervalos de intervenção e a documentação das ações realizadas são elementos fundamentais do sistema, permitindo assegurar o controlo sistemático das atividades e a rastreabilidade necessária para efeito de auditoria e conformidade normativa.

No que respeita à segurança, foram identificados diversos cenários de risco com impacto significativo sobre a integridade física dos profissionais e a proteção das instalações e equipamentos. Os planos de segurança desenvolvidos contemplam medidas preventivas e de resposta, critérios de seleção e utilização de Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva, ações de capacitação técnica e procedimentos de emergência, de modo a garantir um enquadramento coerente e atualizado face às exigências legais e regulamentares em vigor.

Importa destacar que parte dos processos descritos se encontra ainda em desenvolvimento. Estão em curso trabalhos de revisão e atualização dos procedimentos operacionais, de consolidação dos registos documentais e de reforço dos mecanismos de monitorização e auditoria interna. Esta fase de desenvolvimento contínuo é assumida como necessária para responder à complexidade crescente das atividades técnicas da UHM e para adaptar os sistemas às exigências de um ambiente regulatório e técnico em permanente evolução.

A gestão da UHM tem procurado inculcar uma cultura de segurança nos profissionais que se integram nesta Unidade Orgânica do LNEC, promovendo a adoção de boas práticas, a responsabilização individual e a sensibilização contínua para os riscos inerentes às atividades exercidas. Esta cultura não se constrói apenas com normas e equipamentos, mas exige o envolvimento ativo dos técnicos, a realização de ações de formação periódicas, a análise crítica dos incidentes ocorridos e a melhoria sistemática dos procedimentos.

A articulação e cooperação com os serviços administrativos e técnicos do LNEC, com responsabilidade direta ou indireta na garantia das condições de segurança da atividade profissional, é essencial à prossecução dos objetivos definidos nos planos de manutenção e segurança. A existência de canais eficazes de comunicação, a partilha de informação técnica relevante e a definição clara de

responsabilidades são fatores determinantes para a implementação plena dos procedimentos estabelecidos.

Adicionalmente, a crescente atividade fora das instalações do LNEC, associada à realização de ensaios em campo, traduz-se num aumento significativo dos desafios colocados à segurança das pessoas e à integridade dos equipamentos. As condições de trabalho em ambientes externos são, por natureza, mais instáveis e difíceis de controlar, exigindo um grau mais elevado de planeamento, preparação e controlo operacional. Neste contexto, a formalização e aplicação rigorosa dos processos descritos neste relatório assumem particular importância, uma vez que contribuem para a mitigação dos riscos associados à mobilização de recursos técnicos e humanos em ambientes não controlados.

Em síntese, a consolidação dos planos de manutenção e segurança da UHM representa uma base essencial para a sustentabilidade das suas atividades técnicas e para o cumprimento das exigências normativas, regulamentares e contratuais a que está sujeita. A continuidade do seu desenvolvimento deverá ser assegurada através da avaliação crítica dos resultados, da atualização permanente dos referenciais técnicos aplicáveis e do reforço da articulação entre as diferentes unidades orgânicas do LNEC envolvidas no processo.

Lisboa, LNEC, dezembro de 2025

VISTO

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica
e Tecnologias de Informação

Assinado por: **João Carlos Godinho Viegas**
Num. de Identificação: 06402904
Data: 2026.03.05 18:57:47+00'00'

João Carlos Viegas

AUTORIA

Assinado por: **Álvaro Silva Ribeiro**
Num. de Identificação: 07981823
Data: 2026.02.18 10:39:49+00'00'

Álvaro Silva Ribeiro
Investigador Principal

Assinado por: **CATARINA ISABEL FERREIRA
SIMÕES**
Num. de Identificação: 13969469
Data: 2026.02.18 11:06:20 +0000

Catarina Isabel Ferreira Simões
Bolseira de Investigação

Assinado por: **Gustavo Fernandes Esteves Soares
Coelho**
Num. de Identificação: 11557659
Data: 2026.02.24 10:46:16+00'00'

Gustavo Fernandes Esteves Soares Coelho
Investigador Auxiliar

Assinado por: **Ana Catarina Vaz Soares de Freitas
Martins**
Num. de Identificação: 10293708
Data: 2026.02.24 10:51:38+00'00'

Ana Catarina Vaz Soares de Freitas Martins
Técnica Superior

Assinado por: **Ricardo André Cardoso Mendes**
Num. de Identificação: 12347166
Data: 2026.03.02 13:20:02+00'00'

Ricardo André Cardoso Mendes
Técnico Superior

Assinado por: **Hélia Dimas Garcia**
Num. de Identificação: 06290370
Data: 2026.03.04 11:45:37+00'00'

Hélia Dimas Garcia
Técnica Superior

Referências bibliográficas

ACT (Autoridade para as Condições do Trabalho) – **Guias técnicos e normativos sobre segurança no trabalho em altura e espaços confinados.**

APMI, 2020 – **Manual de Manutenção Industrial - Parte I.**

BS EN 12492, 2012 – **Mountaineering equipment - Helmets for mountaineers - Safety requirements and test methods.**

Decreto-Lei n.º 162/90, de 22 de maio – **Requisitos de ventilação e acesso a espaços confinados.**

Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro – **Regulamento das condições de segurança e saúde no trabalho.**

DGS (Direção-Geral da Saúde) – **Orientações sobre acesso a espaços confinados e segurança respiratória.**

EN 355, 2002 – **Equipamento de proteção individual para prevenção de quedas em altura - Absorvedores de energia.**

EN 361, 2002 – **Equipamento de proteção individual para prevenção de quedas em altura - Arneses anti-queda.**

EN 529, 2005 – **Exposure to chemical agents at the workplace - Guidance.**

EN 60079-10-1, 2020 – **Explosive atmospheres - Classification of areas.**

EN 689, 2018 – **Measuring Exposure by Inhalation to Chemical Agents.**

EURAMET, 2011 – **Calibration Guide No. 18 - Guidelines on the Calibration of Flow Meters, Version 4.0.**

ISO 20345, 2021 – **Personal protective equipment - Safety footwear.**

ISO 374-1, 2024 – **Protective gloves against dangerous chemicals and micro-organisms. Part 1: Terminology and performance requirements for chemical risks.**

ISO 45001, 2018 – **Occupational health and safety management systems.**

ISO/IEC 17025, 2017 – **General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.**

João Palma, 2013 – **Sistemas de automação, instrumentação e acionamento do laboratório de ensaios hidráulicos do LNEC – LEHid, LNEC - Proc. 0903/112/17805. Relatório 444/2013 – CIC/NSEM, 2013.**

Manuais Técnicos do LNEC – **Unidade de Hidráulica Metrológica (documentos internos não publicados).**

NP EN 13306, 2021 – **Manutenção - Terminologia de manutenção.**



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt