

**Sistema de Apoio à Investigação  
Científica e Tecnológica (SAICT)**

# **ECOMODZHC**

Economia circular de Água e Materiais  
Através de Zonas Húmidas Construídas Modulares

## Projetos de Provas de Conceito

Nível de Disseminação:  
Restrito, Membros do consórcio e Autoridades Gestora do Programa

## Índice

1	Identificação: .....	1
2	Sumário do projeto e seus objetivos globais .....	2
3	Diagrama de Gantt e constituição da equipa do projeto .....	3
4	Indicadores de Resultado para o Projeto .....	5
5	Apresentação das Milestones .....	6
6	Apresentação dos trabalhos realizados e resultados alcançados por atividade justificando, se aplicável, os desvios face ao previsto em candidatura e correções realizadas .....	7
6.1	Atividade 1 - Procedimentos iniciais .....	7
6.1.1	Proposto em candidatura.....	7
6.1.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	7
6.1.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	7
6.2	Atividade 2 - Implementação da ZHC modular .....	8
6.2.1	Proposto em candidatura.....	8
6.2.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	8
6.2.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	8
6.3	Atividade 3 - Implementação dos sistemas de monitorização.....	18
6.3.1	Proposto em candidatura.....	18
6.3.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	18
6.3.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	19
6.4	Atividade 4 - Monitorização do desempenho da instalação .....	27
6.4.1	Proposto em candidatura.....	27
6.4.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	27
6.4.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	27
6.5	Atividade 5 - Promoção e divulgação dos resultados.....	35
6.5.1	Proposto em candidatura.....	35
6.5.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	35
6.5.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	35
6.6	Atividade 6 - Gestão do projeto .....	46
6.6.1	Proposto em candidatura.....	46
6.6.2	Desvios face ao previsto em candidatura.....	46
6.6.3	Descrição dos trabalhos desenvolvidos .....	46
7	Execução Financeira do projeto EcoModZHC.....	48

Cofinanciado por:

8	Outros impactes do projeto .....	49
9	Anexos.....	51
9.1	Anexo – Contrato de licenciamento da tecnologia EcoModZHC.....	52
9.2	Anexo – Apresentação do projeto EcoModZHC aos parceiros.....	53
9.3	Anexo – Relatório do Bolseiro de Engenharia Eletrotécnica .....	54
9.4	Anexo – Relatório da Bolsa de Engenharia Química .....	55
9.5	Anexo – Relatório do Bolseiro de Engenharia Informática.....	56
9.6	Anexo – Apresentação do Workshop do projeto – Aplicações Urbanas .....	57
9.7	Anexo – Apresentação do Workshop do projeto – Aplicações Industriais.....	58
9.8	Anexo – Apresentação na Conferência Internacional ESRE2023 .....	59
9.9	Anexo – Artigo aceite para publicação em série da Springer .....	60
9.10	Anexo – Reunião intercalar da equipa do projeto.....	61
9.11	Anexo – Publicitação de financiamento, e outro material de divulgação do projeto .....	62

**1 Identificação:**

<b>N.º de Projeto:</b>	CENTRO-01-0145-FEDER-179932
<b>Acrónimo do projeto:</b>	EcoModZHC
<b>Título do projeto:</b>	Economia circular de Água e Materiais Através de Zonas Húmidas Construídas Modulares
<b>Data de início de projeto:</b>	01/07/2022
<b>Duração do projeto:</b>	12 meses
<b>Data de finalização do projeto:</b>	30/06/2023
<b>“Web site” ou “microsite” do projeto (se aplicável):</b>	<a href="http://www.ecomodzhc.ipt.pt/pt/">http://www.ecomodzhc.ipt.pt/pt/</a>
<b>Composição do consórcio (se aplicável):</b>	

Cofinanciado por:

## 2 Sumário do projeto e seus objetivos globais

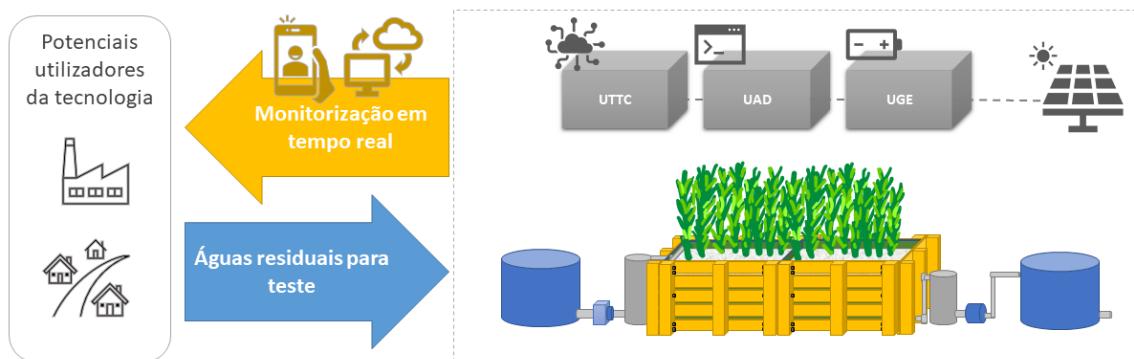
O projeto EcoModZHC consiste numa Prova de Conceito, em que se implementou um protótipo de Zona Húmida Construída para demonstrar a efetividade de recuperação de águas residuais urbanas e industriais através de sistemas modulares, fomentar a economia circular da água e de resíduos e subprodutos sólidos industriais, e proceder à divulgação desta tecnologia mais verde e sustentável de tratamento de águas residuais no tecido industrial da região.

O protótipo inclui duas vertentes inovadoras neste tipo de instalação de tratamento de águas residuais:

- (i) A monitorização remota, constante e em tempo real, do funcionamento da instalação e dos parâmetros de desempenho e de qualidade da água tratada;
- (ii) A autonomia energética da instalação, através de sistemas de energia renovável.

O esquema geral do projeto está representado na Fig. 2.1.

O referido projeto foi desenvolvido no campus de Tomar do Instituto Politécnico de Tomar (IPT), nos espaços laboratoriais do Laboratório de Bioenergia e Biotecnologia Aplicada (BIOTEC) e dos Laboratórios Centrais Lab.IPT, e na já existente instalação piloto de zonas húmidas construídas, com apoio do Centro de Investigação em Cidades Inteligentes (Ci2), UID financiada pela FCT (Projeto UID/05567/2020).



**Fig. 2.1 – Esquema geral do projeto EcoModZHC.**

### 3 Diagrama de Gantt e constituição da equipa do projeto

A Figura 3.1 representa o cronograma submetido em candidatura, considerando a previsão de início do projeto a 1 de fevereiro de 2022. A equipa de investigadores do projeto está identificada na Figura 3.2. Os investigadores intervenientes em cada atividade estão indicados pelas abreviaturas dos nomes na Figura 3.1, em que a negrito se identificam os respetivos responsáveis.

A Figura 3.3 contém o cronograma revisto, atendendo à data real de início do projeto a 1 de julho de 2022.

As “Milestones” do projeto estão representadas na Figura 3.4.

Atividades	Milestones *	Data	2022											2023
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	
1	Procedimentos iniciais		<b>HP</b> DM MB PM PN											
2	Implementação da ZHC modular		<b>HP</b> DM											
3	Implementação dos sistemas de monitorização			<b>MB</b> CF PM PN B1, B2										
4	Monitorização do desempenho da instalação					<b>DM</b> HP MS MB B2, B3								
5	Gestão do projeto, Promoção e divulgação dos resultados			Toda a equipa <b>(HP)</b>										

**Fig. 3.1 – Cronograma do projeto conforme submetido em candidatura.**

<b>Equipa</b>	Carlos Ferreira	CF	Investigador, Engenharia Eletrotécnica
	Dina Mateus	DM	Investigadora, Engenharia Química e Biotecnologia
	Henrique Pinho	HP	Investigador, Engenharia Química e Gestão
	Maria Silva	MS	Técnica, Engenharia Química e do Ambiente
	Manuel Barros	MB	Investigador, Engenharia Eletrotécnica
	Pedro Matos	PM	Investigador, Engenharia Eletrotécnica
	Pedro Neves	PN	Investigador, Engenharia Eletrotécnica
	Bolseiro(a) 1	B1	Perfil Engenharia Eletrotécnica e área afim
	Bolseiro(a) 2	B2	Perfil Engenharia Química ou do Ambiente, ou áreas afins
	Bolseiro(a) 3	B3	Perfil Engenharia Informática e área afim

**Fig. 3.2 – Investigadores da equipa do projeto.**

Atividades	Milestones *	Data	2022						2023					
			7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
1	Procedimentos iniciais													
2	Implementação da ZHC modular													
3	Implementação dos sistemas de monitorização													
4	Monitorização do desempenho da instalação													
5	Gestão do projeto, Promoção e divulgação dos resultados													

**Fig. 3.3 – Cronograma revisto tendo em conta a data real de início a 1 de julho de 2022.**

*Milestones	2022-07-31 Atividade 1	Compras: Devem ter sido lançadas as encomendas de componentes
	2022-08-31 Atividade 1	Bolsa 1: Deve estar concluído o concurso para o Bolseiro(a) 1
	2022-08-31 Atividade 2	Módulo: Deve estar construído o módulo da ZHC
	2022-10-31 Atividade 5	Bolsa 2: Deve estar concluído o concurso para o Bolseiro(a) 2
	2022-11-30 Atividade 3	Sensores: Deve estar concluída a montagem dos sensores
	2022-12-31 Atividade 5	Bolsa 3: Deve estar concluído o concurso para o Bolseiro(a) 3
	2022-12-31 Atividade 5	Relatório: Deve estar redigido um relatório intercalar.
	2023-04-30 Atividade 4	Monitorização: O sistema de monitorização deve estar operacional

**Fig. 3.4 – “Milestones” previstas em candidatura, com datas ajustadas ao cronograma real.**

A atividade 1 incluiu o lançamento dos processos de aquisição dos materiais, tendo-se identificado os fornecedores dos componentes mais relevantes a adquirir. Devido aos efeitos ainda sentidos da pandemia no mercado de componentes de eletrónica, e, principalmente, devido aos efeitos do conflito bélico na Ucrânia, também com forte impacte no mercado de componentes, tornou-se mais difícil a aquisição dos componentes necessários à execução do projeto, o que implicou o lançamento de diversas encomendas ao longo da duração de todo o projeto.

As restantes atividades decorreram conforme o previsto.

#### 4 Indicadores de Resultado para o Projeto

N.º	Descrição	2021		2022		2023	
1	Contratos ou acordos (venda, licenciamento, outro) visando a exploração dos resultados do projeto (n.º)	Previsto	Realizado	Previsto	Realizado	Previsto	Realizado
		0	0	0	0	1	1
2	Pedidos de patentes europeias (n.º)	Previsto	Realizado	Previsto	Realizado	Previsto	Realizado
		0	0	0	0	0	0

O contrato de licenciamento da tecnologia EcoModZHC está incluído no Anexo 9.1.

## 5 Apresentação das Milestones

Data prevista no formulário	Data de entrega efetiva	Designação	Descrição	Alcançado?	Se não alcançado, qual a razão?	Comentários
2022-07-31	2022-08-01	Compras	Lançamento de encomendas de componentes	S		Data de lançamento da primeira encomenda
2022-08-31	2022-11-04	Bolsa 1	Concurso para atribuição de bolsa 1 (EE)	S		O primeiro concurso não teve candidatos(as)
2022-08-31	2022-11-20	Módulo	Construção do módulo da ZHC	S		Atraso devido a efeitos do período de férias.
2022-10-31	2022-11-16	Bolsa 2	Concurso para atribuição de bolsa 2 (EQ)	S		Foi necessário aguardar prazos legais de reclamação
2022-11-30	2023-01-26	Sensores	Montagem dos sensores	S		Atraso devido a demora na entrega dos sensores de nutrientes
2022-12-31	2022-12-27	Bolsa 2	Concurso para atribuição de bolsa 3 (EI)	S		
2022-12-31	2023-01-17	Relatório	Relatório intercalar	S		Substituído por artigo submetido a conferência internacional e reunião de trabalho
2023-04-30	2023-03-07	Monitorização	Operacionalidade do sistema de monitorização	S		

As datas das “Milestones” foram ajustadas, considerando a data efetiva de início do projeto que ocorreu a 1 de julho de 2022 quando em candidatura se estimava a 1 de fevereiro de 2022.

## 6 Apresentação dos trabalhos realizados e resultados alcançados por atividade, justificando, se aplicável, os desvios face ao previsto em candidatura e correções realizadas

### 6.1 Atividade 1 - Procedimentos iniciais

#### 6.1.1 *Proposto em candidatura*

Atendendo à curta duração do projeto, esta atividade pretende iniciar de forma ágil os procedimentos de aquisição dos diversos componentes, principalmente os sensores e as infraestruturas de aquisição, comunicação e tratamento de dados, e os procedimentos necessários à contratação dos bolseiros. Durante esta atividade serão implementados os procedimentos de gestão técnica e financeira do projeto com o apoio dos serviços do IPT. Serão organizadas pastas de partilha de informação entre a equipa, e iniciar-se-á a estrutura do relatório de progresso. Para o efeito serão usadas as várias ferramentas disponíveis para trabalho em grupo.

Esta atividade faz parte da gestão do projeto e é coordenada por Henrique Pinho.

No final desta atividade devem ficar preparados os pedidos de aquisição para os componentes a usar nas atividades 2 e 3, e programadas as aquisições de bens e serviços necessários às atividades 4 e 5.

#### 6.1.2 *Desvios face ao previsto em candidatura*

Não ocorreram desvios significativos. Devido ao aumento de preços e a dificuldades em aquisição de componentes de eletrónica, em resultado do adiamento do início do projeto em consequência da data de aprovação do mesmo, e do conflito vivido na Europa, foi necessário rever as características de quase todos os componentes de eletrónica a adquirir.

#### 6.1.3 *Descrição dos trabalhos desenvolvidos*

Conforme referido no ponto anterior, a equipa de investigadores do projeto procedeu à revisão dos componentes a adquirir face à disponibilidade do mercado. A primeira encomenda foi lançada a 19 de julho de 2022, tendo a ordem de encomenda sido comunicada ao fornecedor a 1 de agosto de 2022. Ao longo das restantes atividades do projeto foram sendo identificadas necessidades de componentes a adquirir, tendo sido efetivadas as respetivas compras.

Nesta atividade procedeu-se à definição dos perfis dos três bolseiros a contratar, cujos processos de contratação estão descritos de forma resumida na seção 6.6.

A ferramenta “Teams” do Office 365 da Microsoft® foi escolhida como base de comunicação entre os elementos da equipa de investigação.

A 27 de julho de 2022 realizou-se uma reunião online para apresentação das atividades a desenvolver às entidades que manifestaram o seu interesse no projeto (Anexo 2).

Aproveita-se para agradecer esse apoio, demonstrado pelas empresas seguintes, e por ordem alfabética:

- Ambidustri – Consultoria e Estudos de Engenharia – Unipessoal, Lda.;
- CIMT – Comunidade Intermunicipal do Médio Tejo;
- NERSANT – Associação Empresarial da Região de Santarém;
- PALSER – Bioenergia e Paletes, Lda.;
- PEGOP – Centro de Produção de Eletricidade do Pego;
- PETMAXI, S.A., do Grupo Rações Zêzere;
- SLD – Sociedade Lusitana de Destilação, S.A.

## 6.2 Atividade 2 - Implementação da ZHC modular

### 6.2.1 Proposto em candidatura

Nesta atividade, que tem logo início no arranque do projeto, proceder-se-á à construção de um módulo de zona húmida construída. Os serviços de manutenção do IPT darão todo o apoio à montagem e instalação. O módulo será constituído por seis elementos individuais, construídos em madeira. Serão instalados depósitos de água, já disponíveis, uma tela de impermeabilização no módulo e as tubagens e ligações de circulação da água. O enchimento do tanque será efetuado com uma mistura de fragmentos de calcário da atividade extractiva de pedras ornamentais, de escórias de carvão da Central do Pego, e de resíduos do processamento da cortiça. Por fim serão plantadas as macrófitas e proceder-se-á à sua aclimatização ao enchimento.

Esta atividade é coordenada por Henrique Pinho.

No final desta atividade, a zona húmida construída deve estar pronta a funcionar, tendo-se já procedido a ensaios de estanquicidade do módulo e de circulação da água a tratar.

### 6.2.2 Desvios face ao previsto em candidatura

A montagem do módulo de zona húmida construída (ZHC) demorou mais tempo que o previsto, devido a dificuldades na garantia de estanquicidade do sistema. Porém, a situação foi mitigada com recurso ao módulo implementado durante o projeto precursor da prova de conceito (Valorbio), que serviu para os testes com a rede de sensores.

### 6.2.3 Descrição dos trabalhos desenvolvidos

Procedeu-se, como previsto, à montagem de uma ZHC modular com cerca de 1 m de largura e 2,4 m de comprimento, correspondendo assim a uma área de tratamento de 2,4 m<sup>2</sup>.

Para efeitos de instalação da ZHC, e de modo a submeter a mesma a condições de ambiente real, a instalação foi efetuada num espaço exterior do IPT (Figuras 6.1 e 6.2), tendo sido necessário proceder à sua limpeza e recuperação (Figura 6.3).



Fig. 6.1 – Zona de implementação da ZHC modular num espaço exterior do IPT.

Cofinanciado por:



**Fig. 6.2 – Zona de implementação da ZHC modular num espaço exterior do IPT.**



**Fig. 6.3 – Zona de implementação da ZHC modular num espaço exterior do IPT, depois de recuperado, durante a substituição da rede de proteção.**

Os serviços de manutenção do IPT procederam à montagem da estrutura da ZHC, em madeira, segundo o modelo patenteado com os resultados do projeto Valorbio (Figura 6.4).

Durante esta atividade, e como previsto, procedeu-se à preparação e adaptação de quatro depósitos de armazenamento de água, para armazenagem da água residual a tratar e da água tratada (Figuras 6.5 e 6.6).

Cofinanciado por:

Nas figuras 6.7 a 6.11 apresentam-se um conjunto de etapas desenvolvidas dentro desta atividade, que incluíram a montagem da ZHC modular no espaço de operação do projeto, os testes de estanquicidade da tela de impermeabilização, e a instalação das tubagens de circulação da água a tratar.



**Fig. 6.4 – Estrutura modular da ZHC, com elementos de madeira, em preparação no Laboratório Tecnológico do IPT.**



**Fig. 6.5 – Preparação dos depósitos para armazenagem da água a tratar e tratada, no Laboratório Tecnológico do IPT.**



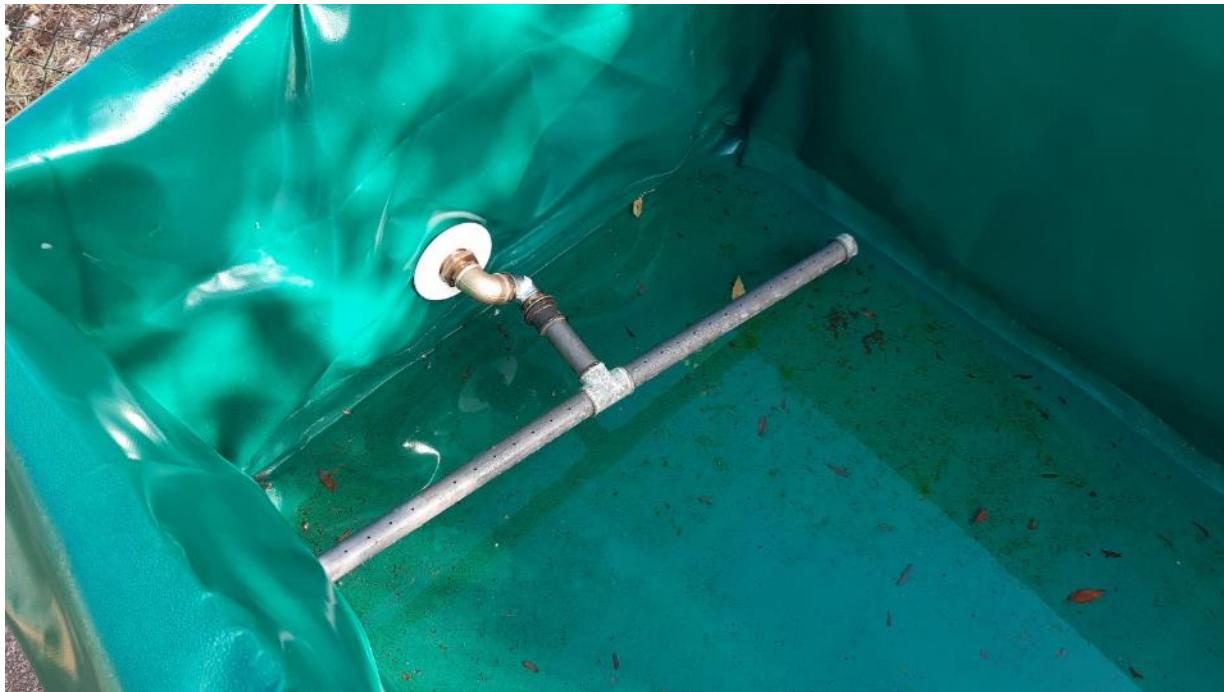
**Fig. 6.6 – Instalação dos depósitos para armazenagem da água a tratar e tratada, na zona de operação do projeto.**



Fig. 6.7 – Instalação da ZHC modular na zona de operação do projeto.



Fig. 6.8 – Realização de testes de estanquicidade da tela de impermeabilização.



**Fig. 6.9 – Realização de testes de estanquicidade da tela de impermeabilização e de circulação da água.**



**Fig. 6.10 – Realização de testes de estanquicidade da tela de impermeabilização e de circulação da água.**



**Fig. 6.11 – Realização de testes de estanquicidade da tela de impermeabilização e de circulação da água, assim como identificação de pontos de fuga para reparação.**

Após colmatadas as fugas na tela de contenção, procedeu-se ao enchimento da estrutura modular com uma camada inferior de fragmentos de pedra calcária (Figuras 6.12 e 6.13). Além de permitir um bom escoamento hidráulico, estudos anteriores demonstraram que a pedra calcária intervém ativamente na remoção de compostos de fósforo, quando presentes nas águas residuais, e assegura uma área superficial favorável ao desenvolvimento de biofilmes, além de cumprir a principal função, que consiste no suporte para desenvolvimento das raízes das plantas macrófitas. Utilizou-se fragmentos de resíduos de pedra calcária das atividades de construção civil, procedendo-se assim à valorização de materiais residuais.

Durante a execução do projeto ficou disponível um lote de fragmentos de tijolo, resultantes de desperdícios da produção de tijolos de argila para a construção civil (Figuras 6.14 e 6.15). Optou-se, assim, por aproveitar esses materiais, também validados por estudos anteriores. Tal como os fragmentos de pedra calcária, os fragmentos de tijolo asseguram o desenvolvimento da comunidade microbiana e das plantas, tendo, também, alguma intervenção direta nos processos físico-químicos de tratamento das águas residuais.

Para concluir esta atividade, e como previsto, procedeu-se à plantação das macrófitas (Figuras 6.16 e 6.17). Utilizou-se a mesma espécie já usada no projeto Valorbio, e em estudos anteriores: *Phragmites australis*, usualmente designada por caniço comum (*Common reed*).

O caniço é uma espécie muito resiliente a adversidades climatéricas, muito resistente a poluentes que possam existir nas águas residuais, com boa capacidade de assimilação de nutrientes e poluentes, e com boa produtividade, podendo a biomassa ter várias aplicações a montante do processo.



**Fig. 6.12** – Enchimento da ZHC com pedra de “moleanos” (fragmentos de pedra calcária usada na construção civil), e validação da estanquicidade da tela face à carga do material.



**Fig. 6.13** – Pormenor do enchimento da ZHC com pedra de “moleanos”.



**Fig. 6.14 – Enchimento da ZHC com fragmentos de tijolo de construção civil.**



**Fig. 6.15 – Preparação da ZHC para plantação das macrófitas.**



Fig. 6.16 – Transplante das macrófitas dos viveiros existentes no IPT.



Fig. 6.17 – Plantação das macrófitas na ZHC modular.