

14. as JTIR

JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS



Gestão de Resíduos e Águas em Situações Extremas: O Desafio da Insularidade

Ebook | Comunicações

19-22
NOVEMBRO
Ponta Delgada
AÇORES

Organização:





Editores

Nídia Caetano

Sílvia Quadros

João Dias

Isabel Brás

Pedro Álvaro

Grafismo

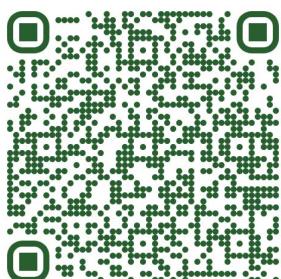
Rui Sousa

ISBN

978-989-54301-6-1

DOI

10.22181/14JTIR.2025

**QR Code****Sugestão de Citação:**

“Gestão de Resíduos e Águas em Situações Extremas: O Desafio da Insularidade. 14.ª Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos. Nídia Caetano, Sílvia Quadros, João Dias, Isabel Brás, Pedro Álvaro (Editores). ISBN 978-989-54301-6-1. DOI: 10.22181/14JTIR.2025. Ponta Delgada, 2025”

Boas-vindas

Caros Colegas,

É com muito prazer que vos damos as boas-vindas às 14^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, numa coorganização entre a APESB e a Universidade dos Açores.

A Circularidade e a Sustentabilidade nos setores das águas e resíduos parecem, por vezes, já palavras banais. Os conceitos a que correspondem parece terem-se perdido ao longo do tempo, e as ações que lhes dariam substância foram-se dissipando. Circularidade e Sustentabilidade nos setores dos resíduos e das águas, em particular nas águas residuais, implica fechar ciclos, implica criar simbioses entre atividades, implica ser eficiente na gestão interna e responsável na gestão externa de recursos, materiais e pessoas.

Ao setor dos resíduos em Portugal, muito por fruto de diretivas europeias, tem sido solicitada a implementação da recolha seletiva de um número crescente de fluxos. Aos tradicionais Papel/cartão, Vidro e Embalagens, juntou-se em 2024 o fluxo dos biorresíduos e em 2025 o dos têxteis. Nesta dimensão é importante analisar os fatores explicativos dos sucessos e insucessos na implementação dos sistemas de recolha e nos sistemas de valorização dos resíduos recolhidos seletivamente. A estes fluxos acrescem os resíduos elétricos e eletrónicos, as pilhas e acumuladores, os volumosos, os resíduos verdes, entre outros. Para todos é importante identificar e sistematizar as boas práticas. Intimamente associado ao setor dos resíduos está o tratamento e valorização das lamas resultantes da operação das estações de tratamento de águas residuais. A sua valorização e a extração de nutrientes está muito aquém do possível. Urge, também aqui, identificar as boas práticas e os fatores bloqueadores da circularidade. De notar que as lamas de ETAR têm em si um dos mais raros nutrientes do mundo: o fósforo, classificado pela UE, como uma matéria-prima crítica.

A atividade dos setores das águas e resíduos tem uma profunda relação com o meio natural e com o meio construído. Em ambos, a probabilidade de ocorrência de situações extremas é cada vez maior, quer as associadas às alterações climáticas, quer as associadas a, por exemplo, fenómenos extremos não relacionados com as primeiras.

O tema das 14^{as} JTIR, Gestão de Resíduos e Águas em Situações Extremas: o Desafio da Insularidade, visa analisar as grandes questões identificadas, não só no contexto da normal operação das entidades gestoras, mas também, e em particular, no contexto de situações extremas, nas quais a insularidade se insere.

Tendo como caso de estudo de destaque a gestão de águas e resíduos no arquipélago dos Açores, os desafios da insularidade não são específicos deste arquipélago. Um dos resultados esperados destas jornadas é a identificação de problemas e soluções decorrentes do isolamento de sistemas e da pequena dimensão das mesmas. E se a pequena dimensão pode ser específica ao território (que não apenas insular) o isolamento dos sistemas pode não o ser, e resultar, por exemplo, de uma disruptão do sistema.

Em particular, as 14^{as} JTIR propõem-se analisar a gestão de resíduos em áreas turísticas caracterizadas por uma significativa variação de população servida ao longo do ano, a prevenção e reutilização, a valorização material e o *urban mining*, o papel da digitalização, automação e inteligência artificial na gestão de resíduos e água.

Certos de que o sucesso das 14^{as} JTIR depende dos oradores que integrar e da participação ativa nas sessões de debate, convidamos toda a comunidade do setor à participação no papel de expositores, palestrantes ou participantes. Estamos certos de que esta 14^a edição das JTIR, será uma edição para mais tarde recordar pela troca de conhecimentos e pela construção de gratas memórias.

Sílvia Quadros |Nídia Caetano

Presidentes da Comissão Organizadora da 14.^{as} JTIR

Editorial

As Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos (JTIR) constituem um evento privilegiado para a partilha de experiências e conhecimento, com particular enfoque no setor dos resíduos, mas inevitavelmente também nos setores das águas residuais e das águas, com os quais existem interligações.

Sob o tema *Gestão de Resíduos e Águas em Situações Extremas: O Desafio da Insularidade*, estas 14^{as} JTIR iniciam-se com duas *Master Classes* dedicadas à 1) *Digitalização, Automação e IA e Recursos Humanos* e 2) *Círculo para a sustentabilidade: sensibilização e prevenção em contexto insular*. Ambos os temas são transversais, mas apresentam especificidades e limitações significativas não só no contexto continental mas também no contexto insular. Por um lado os investimentos necessários à automação inteligente e à digitalização são significativos, mas podem traduzir-se em ganhos de eficiência, qualidade do produto e do serviço. Por outro, emerge a necessidade de dotar as pessoas dos sistemas das ferramentas (leia-se, competências) necessárias a interagir, controlar e analisar os novos sistemas. Acresce ainda que a Sustentabilidade, que atualmente parece constituir uma preocupação universal, ainda carece de fortes investimentos em sensibilização, formal e informal, de novas formas de intervenção capazes de modelar as atitudes individuais numa comunidade mais ou menos alargada.

Após estas duas sessões, que apelam a uma participação ativa e interação entre formadores e formandos, segue-se a Visita Técnica ao “Ecoparque da Ilha de São Miguel”, onde os participantes terão a oportunidade de visitar todo o circuito dos vários sistemas existentes e assim perceber o funcionamento do sistema de gestão de resíduos da Ilha de São Miguel – Centro de Tratamento Biológico (CTB); Centro de Tratamento Mecânico (CTM); Central de Valorização Energética (CVE) e Centro de Triagem.

Num ambiente informal, em que os oradores convidados das Sessões Plenárias apresentam a sua visão sobre os temas em análise, os demais participantes têm a oportunidade de intervir, questionar e apresentar também as suas dúvidas e propostas. Assim, elegeram-se como temas prioritários a debater nas Sessões Plenárias destas 14^{as} JTIR:

- (1) *Impactos do Turismo na Gestão de Resíduos* – em contexto continental e em contexto insular, serão assim tão grandes as diferenças? E que impactos são esses?
- (2) *Ambiente 4.0* – a transformação do setor, impulsionada pela digitalização, pelas novas tecnologias, pela Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data* e robótica avançada.
- (3) *Prevenção e Reutilização de Resíduos* – se a sustentabilidade parece constituir uma preocupação universal, por que motivos não se observa redução da produção de resíduos? E por que motivos também não se avançou na reutilização como forma de compensação?
- (4) *A mineração urbana (urban mining) e a valorização material* – Os diversos fluxos de resíduos constituem um manancial de recursos que continuamos a desperdiçar. O que falta para, finalmente, começarmos a recuperar esses recursos? Há entidades gestoras? Há tecnologia disponível?
- (5) *Da Terra ao Mar: Dos Desafios da Gestão de Resíduos Urbanos à Prevenção do Lixo Marinho e dos Plásticos no Oceano* – As enormes quantidades de plásticos e outros lixos encontrados

nos mares resultam não só das ações diretas de cada indivíduo, mas também de ações indiretas. O que fazer para limpar os oceanos dos resíduos que lá se acumularam? E como podemos prevenir que os oceanos continuem a receber resíduos?

Finalmente, as comunicações livres, submetidas por autores de diversos setores de atividade nos temas propostos para as [14^{as} JTIR](#) permitem uma partilha de conhecimentos, experiências e casos de estudo. Assim, neste *e-book* encontram-se os textos dos trabalhos a apresentar em cada um desses temas, a saber:

- 1) *Políticas para a gestão sustentável de recursos* – Serão apresentados sete trabalhos, dedicados à gestão de resíduos urbanos, fluxos específicos de resíduos (REEE, têxteis) e ainda à gestão de água e suas perdas;
- 2) *Tecnologias de suporte à gestão sustentável de resíduos, águas e águas residuais* – serão apresentados quatro trabalhos dedicados às tecnologias usadas para a valorização de resíduos específicos, numa ótica de economia circular;
- 3) *Desenvolvimento sustentável e economia* – serão apresentados seis trabalhos, demonstrativos de contributos para o desenvolvimento sustentável, dinamizadores da economia e promotores da circularidade.

Nídia Caetano

Sílvia Quadros

João Dias

Isabel Brás

Pedro Álvaro

ÍNDICE

Sessão Temática 1 - Desenvolvimento sustentável e economia

| | |
|--|----|
| Carina Boaventura and Lígia Costa Pinto . O COMPORTAMENTO DOS CONSUMIDORES E A CIRCULARIDADE DA INDÚSTRIA TÉXTIL E DO VESTUÁRIO (004) | 1 |
| Bruna Ramos, Carla Ferreira and Lígia Costa Pinto . PREFERÊNCIAS DOS CONSUMIDORES SOBRE CIRCULARIDADE DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS (REEE) (011) | 9 |
| Maria Ferreira , Catarina Delgado and Miguel Brás da Cunha. SUSTENTABILIDADE NAS COMPRAS PÚBLICAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA COM VISTA PARA A ECO360 (012) | 15 |
| Ana Cunha and Raquel Bulhões . A MUSAMI E A JORNADA ESG - O CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE (016) | 25 |
| Florinda Martins and Nidia Caetano . TRATAMENTO E DESTINO FINAL DE LAMAS DE ETAR – UMA ABORDAGEM DE ACV (009) | 35 |
| Rui Sousa . NÃO DEITE TUDO POR ÁGUA ABAIXO: EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENVOLVIMENTO COMUNITÁRIO NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DO SANEAMENTO (017) . | 43 |

Sessão Temática 2 - Tecnologias de suporte à gestão sustentável de resíduos, águas e águas residuais

| | |
|---|----|
| Paula Pinto, Rui Fonseca , Andreia Maia and Joana Ferreira. PLANO DE AÇÃO REGIONAL PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS (NORTE 2030) (007) | 45 |
| José Silva, Óscar Rocha and Hugo Pacheco . GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS EM CONTEXTO ARQUIPELÁGICO: O CASO DE SUCESSO DA ILHA DO CORVO, AÇORES (010) | 53 |
| José Silva, Óscar Rocha and Hugo Pacheco . GESTÃO DA ÁGUA EM CONTEXTO ARQUIPELÁGICO: O CASO DE SUCESSO DA ILHA DO CORVO, AÇORES (014) | 59 |
| Hernâni Oliveira , Sílvia Quadros and Graça Martinho. MEDIDAS PARA REDUÇÃO E RECICLAGEM DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS EM HÓTEIS: CASO DE ESTUDO DE UMA UNIDADE HOTELEIRA NOS AÇORES (018) | 67 |
| Maria do Céu Silva and Filipe Carneiro. POTENCIAMENTO DA REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS: CASO LIPOR (005) | 69 |
| Álvaro Teodoro, Sílvia Quadros and Dália Loureiro. PROPOSTA DE METODOLOGIA E SUA APLICAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO E ATUAÇÃO NAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE PEQUENA ESCALA EM CONTEXTO INSULAR (019) | 77 |
| Helena Ferreira, Isabel Brás and M. Elisabete Silva. REDUÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS – PROMOÇÃO DE UMA VISÃO CIRCULAR EM CONTEXTO ESCOLAR (006) | 79 |

Sessão Temática 3 - Desenvolvimento sustentável e economia

| | |
|--|-----|
| Isadora Pires Caldeira, Hellem Victoria Ribeiro dos Santos, José Marçal da Silva, Beatriz Carolina Alvez Tovar and Paulo Sérgio Scalize . APLICAÇÃO DE FILTRO VEGETAL DE <i>Luffa cylindrica</i> NA REMOÇÃO DE MICROPLÁSTICOS (002) | 87 |
| Luis Samuel Huayanay Conde, Bernardo João Francisco Companhia, Beatriz Carolina Alvez Tovar and Paulo Sérgio Scalize . PRODUÇÃO DE ADSORVENTE A PARTIR DO LODO DE ELETROCOAGULAÇÃO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS (003) | 95 |
| Ramiro Martins . RUMO À CONSTRUÇÃO CIRCULAR: ARGAMASSA COM LAMAS DE ETAR SECAS E INCINERADAS (008) | 103 |

| | |
|---|------------|
| Maria Elisabete Silva, Sofia Marques, Sandra Santos and Isabel Brás APLICAÇÃO DE COMPOSTO COMO ABORDAGEM SUSTENTÁVEL PARA A REABILITAÇÃO DE SOLOS QUEIMADOS (015)..... | 111 |
|---|------------|

Sessões Paralelas

Desenvolvimento sustentável e economia

O comportamento dos consumidores e a circularidade da Indústria Têxtil e do Vestuário

Carina Boaventura ^a, Lígia Costa Pinto ^{b**}

^a Escola de Economia, Gestão e Ciência Política, Universidade do Minho, Campus Gaultar, Braga, Portugal

^b iBMS, Escola de Economia, Gestão e Ciência Política, Universidade do Minho, Campus Gaultar, Braga, Portugal

RESUMO

A indústria têxtil é uma das indústrias mais poluentes a nível mundial, sendo essencial a implementação de soluções que minimizem os seus impactos ambientais. A adoção de práticas de economia circular (EC), nomeadamente a compra de roupa em segunda mão, surge como estratégia para enfrentar este problema. No entanto, a eficácia desta estratégia depende diretamente do comportamento do consumidor, que tem um papel importante no prolongamento do ciclo de vida dos produtos e na redução do desperdício. O objetivo deste artigo é analisar a intenção do consumidor relativamente à aquisição de roupa em segunda mão. Especificamente, procura-se identificar se a principal motivação para participar neste mercado está relacionada com a preocupação ambiental ou com outros fatores, examinar a relação entre barreiras e a intenção de compra do consumidor e por fim, correlacionar os fatores com dados sociodemográficos. Resultados preliminares revelam a importância da integração da heterogeneidade dos consumidores na formulação de políticas.

Palavras-Chave – Comportamento do consumidor, Economia Circular, Indústria têxtil e do Vestuário, Roupa em segunda mão.

DESTAQUES

- A reutilização de têxtil e vestuário requer o conhecimento dos hábitos dos consumidores.
- A principal determinante da compra em 2^a mão é o preço.
- A compra com intenção de revenda foi observada, mas é residual.

* Autor para correspondência.

E-mail: pintol@eeg.uminho.pt (Prof. L. Pinto)

Consumers' behaviour and the circularity in the textile and clothing industry

*Carina Boaventura ^a, Lígia Costa Pinto ^{b**}*

^a Escola de Economia, Gestão e Ciência Política, Universidade do Minho, Campus Gaultar, Braga, Portugal

^b iBMS, Escola de Economia, Gestão e Ciência Política, Universidade do Minho, Campus Gaultar, Braga, Portugal

ABSTRACT

The textile industry is one of the most polluting industries in the world, making it essential to implement solutions that reduce its environmental impact. One emerging strategy to address this issue is the adoption of circular economy (CE) practices, particularly the purchase of second-hand clothing. However, the effectiveness of this approach is heavily influenced by consumer behavior, which plays a crucial role in extending the life cycle of products and minimizing waste. This article aims to analyze consumers' intentions regarding the purchase of second-hand clothing. Specifically, it seeks to determine whether the main motivation for participating in this market is related to environmental concerns or other factors. Additionally, it examines the relationship between barriers to purchase and consumers' intentions, correlating these factors with sociodemographic data. Preliminary results highlight the importance of considering consumer diversity in policymaking.

Keywords – Consumer behaviour, Circular economy, Textile and Clothing industry, Second-hand clothing market.

HIGHLIGHTS

- The textile and clothing industry is among the most polluting in the world.
- The main factor determining participation in the second hand market is price.
- While purchasing items for resale exists in the sample, it remains relatively small.

* Autor para correspondência.
E-mail: pintol@eeg.uminho.pt (Prof. L. Pinto)

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento do consumo têm desafiado significativamente o uso sustentável dos recursos (Upadhyay et al., 2021). De entre as indústrias com maiores impactos ambientais, a indústria têxtil e de vestuário (ITV) assume particular relevância sendo a segunda indústria mais poluente do mundo (Woensel & Lipp, 2020). Simultaneamente, estima-se que a indústria da moda tenha um valor de 3 triliões de dólares, o que representa mais de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial (Shirvanimoghaddam et al., 2020). Nas últimas duas décadas, o consumo médio global anual, aumentou de 7 para 13 kg por pessoa. Além disso, mais de dois terços dos têxteis são enviados para aterros no final da sua utilização e apenas cerca de 15% são reciclados (Shirvanimoghaddam et al., 2020). A nível da economia portuguesa, a ITV é uma das indústrias mais importantes, representando cerca de 10% das exportações nacionais, 20% do emprego e 8% do volume de negócios da indústria transformadora. É um dos poucos setores de atividade com um saldo positivo na balança comercial de bens, registando, frequentemente, um saldo superior a mil milhões de euros (ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, 2019).

Nos últimos anos, os modelos alternativos de consumo de bens tornaram-se tema de destaque. Especificamente, o mercado de segunda mão tem um valor global de cerca de mil milhões de dólares por ano (Farrant et al., 2010). No entanto, o conhecimento sobre as atitudes dos consumidores face a modelos de consumo alternativos é escasso (Gullstrand et al., 2016) e a decisão de participação neste mercado é influenciada por múltiplos fatores.

Ao nível da UE, desde 2020 foram aprovados vários documentos no sentido de fomentar a circularidade na indústria têxtil (aumentando a durabilidade dos têxteis colocados no mercado da UE fomentando o uso de fibras recicladas e livres de substâncias perigosas (Parlamento Europeu, 2021); Responsabilidade alargada do produtor; acelerar o desenvolvimento de um setor consagrado à recolha seletiva, triagem, reutilização e reciclagem dos produtos têxteis.

O mercado de roupa em segunda mão gera vantagens ambientais e financeiras, ao reduzir a necessidade de produção de novas peças e minimizar o desperdício de recursos naturais (Hur, 2020).

A reutilização de vestuário de luxo, nesse sentido, assegura a utilização contínua de produtos em boas condições (Gasulla Tortajada et al., 2024), uma vez que estes artigos, devido à sua elevada qualidade e durabilidade, mantêm frequentemente a sua funcionalidade ao longo do tempo (Sun et al., 2021). Além disso, o preço mais elevado característico de produtos de luxo torna a revenda uma prática recorrente, tanto para consumidores que procuram recuperar parte do investimento, dado que o luxo é facilmente revendido, como para aqueles que desejam adquirir peças exclusivas a preços mais acessíveis (Silva et al., 2022). No contexto do luxo, está a emergir um grupo específico de consumidores, que procuram utilizar aquisições de luxo em segunda mão para se evidenciarem como conscientes (Turunen et al., 2020). Este tipo de consumidor torna-se essencial para prolongar a vida útil destes produtos, assumindo um duplo papel dentro da economia circular, uma vez que consome, mas também revende ativamente (Sun et al., 2021), sendo, portanto, motivado não só pelo compromisso com a sustentabilidade, mas também pelos investimentos inerentes à compra e revenda de moda de luxo (Turunen et al., 2020). Contudo, é importante analisar se a criação da oportunidade de revenda de têxteis em segunda mão representa uma diminuição do consumo, ou se, a possibilidade de revenda aumenta o consumo (Shashi et al., 2021).

De acordo com a literatura, o consumidor de roupa em segunda mão é movido por motivos económicos (Hur 2020, Guiot & Roux, 2010, Gullstrand et al, 2016; Cervellon et al, 2012, Ferraro et al, 2016), ambientais (Hur 2020, Guiot & Roux, 2010, Ferraro et al, 2016), de imagem/estilo (Guiot & Roux, 2010, Gullstrand et al, 2016; Ferraro et al, 2016), ou

recreativo (Hur 2020, Wang et al, 2022). As barreiras que este mercado enfrenta podem ser a percepção de qualidade (Hur 2020), utilizadores anteriores (Calvo-Porral et al, 2024), higiene (Gullstrand et al, 2016; Calvo-Porral et al, 2024; Hur 2020). Contudo, a literatura não é unânime relativamente à preponderância de cada fator.

Dada a relevância económica e ambiental da ITV e a importância das decisões individuais na efetividade da regulação, torna-se importante investigar continuamente o comportamento dos consumidores neste setor.

2 MÉTODO E DADOS

Como instrumento de recolha de dados, desenvolveu-se um questionário estruturado na plataforma GoogleForms. O questionário foi distribuído online, utilizando o endereço eletrónico institucional dos alunos da Universidade do Minho, bem como as redes sociais Facebook, Instagram e LinkedIn. Foi garantida a confidencialidade e o anonimato dos respondentes e, além disso, privilegiou-se a utilização de perguntas fechadas, com o intuito de tornar o questionário mais breve e acessível.

A amostragem adotada foi não probabilística por conveniência, uma abordagem adequada a esta investigação, pois possibilita o acesso a um número alargado de respondentes num curto espaço de tempo, permitindo a recolha de uma amostra de grande dimensão com recursos financeiros limitados. Contudo, esta metodologia apresenta algumas limitações, designadamente no que respeita à representatividade da amostra e ao risco de enviesamento das respostas decorrente do autorrelato (Malhotra, 2010).

O questionário está estruturado em cinco partes distintas. A primeira parte inclui uma questão sobre a frequência de compra de vestuário em segunda mão, permitindo segmentar os inquiridos que já adotaram este comportamento. A segunda parte, caracteriza esse comportamento, analisando, em particular, as motivações e preocupações associadas à compra de vestuário em segunda mão. Nesta secção, também as preocupações ambientais são avaliadas através de escalas de Likert de sete pontos, onde o valor um corresponde a "não importante" e o valor sete a "importância extrema". A terceira parte dirige-se exclusivamente aos inquiridos que, na primeira secção, indicaram não consumir vestuário em segunda mão. O objetivo desta secção é identificar as barreiras que dificultam ou impedem a adoção deste comportamento. A parte seguinte investiga se a possibilidade de revenda futura de uma peça de vestuário influencia a intenção de compra de artigos novos e/ou de luxo. Por fim, o questionário inclui questões de caracterização sociodemográfica, nomeadamente género, idade, habilitações académicas, situação profissional e rendimento mensal líquido.

3 RESULTADOS

A análise sociodemográfica da amostra permite identificar o perfil dos inquiridos e contextualizar os resultados obtidos. A idade média dos participantes é de 34 anos (DP=13.41; Mdn=30 anos), sendo a maioria do género feminino, que representa 84.25% da amostra. No que respeita ao nível de escolaridade, verifica-se um claro predomínio da formação superior, destacando-se a licenciatura (40.55%) e o mestrado (28.74%).

Relativamente à situação profissional, a amostra revela uma distribuição relativamente equilibrada entre trabalhadores e estudantes. No que concerne ao rendimento líquido mensal, duas categorias assumem particular relevância: a ausência de rendimentos, mencionada por 31.89% dos inquiridos, e o intervalo entre 1001€ e 2000€, identificado por 31.10%. Neste contexto, cerca de metade dos inquiridos (50%) considera ter um nível de conforto financeiro moderado.

A distribuição geográfica da amostra indica um predomínio de residentes em áreas urbanas. No que diz respeito a atitudes face ao risco, observa-se uma tendência generalizada para a aversão ao risco. Por fim, as preocupações ambientais entre os

inquiridos refletem uma maior sensibilidade para os impactos na saúde e no futuro, e menor preocupação com as plantas e o estilo de vida.

A análise do comportamento de compra em segunda mão, permite compreender a frequência, motivações, barreiras e alguns outros fatores associados a esta prática. Entre as 254 respostas válidas recolhidas, verifica-se que 40.9% dos inquiridos nunca compram roupa em segunda mão, enquanto 23.6% o fazem raramente, 20% ocasionalmente, 12% frequentemente e apenas 4% adquirem sempre este tipo de vestuário.

No que concerne às razões que impulsionam esta escolha, os fatores de natureza económica surgem como a principal motivação, destacando-se, em particular, a procura por preços mais acessíveis e a oportunidade de adquirir peças de marcas de gama alta a preços reduzidos. Seguem-se as preocupações ambientais, o que indica que, embora acrescentem valor à decisão de compra, não constituem, ainda, um fator determinante.

No âmbito do presente questionário, os inquiridos, quando questionados sobre critérios mais relevantes no momento da compra, a grande maioria dos consumidores ($M=0.8$) deu primazia ao preço, seguido do estado do produto ($M=0.7986$), o que sugere que, além do custo, a condição das peças desempenha um papel fundamental na decisão de compra. Este padrão é reforçado quando se analisa a principal preocupação dos consumidores: mais de metade dos inquiridos (52%) considera o preço um fator determinante, associando-o diretamente à qualidade do produto (78 respostas). A higiene surge como a segunda preocupação mais mencionada (34.67%), o que corrobora a relevância atribuída ao estado das peças no processo de decisão.

No entanto, quando confrontados com a hipótese de adquirirem uma peça nova ao mesmo preço de uma peça em segunda mão, a maioria dos consumidores revela uma preferência que contraria os princípios da economia circular. Em contrapartida, 70% dos participantes afirmam que comprariam artigos em segunda mão que, de outro modo, não adquiririam em lojas convencionais, evidenciando uma crescente aceitação deste mercado. Contudo, metade dos consumidores (50.67%) não se sente particularmente atraído pelo fator económico.

No que respeita aos consumidores que não adquirem roupa em segunda mão, as barreiras mais apontadas incluem a preferência por vestuário novo (104 respostas), a falta de disponibilidade de determinados produtos (54 respostas) e preocupações com a higiene (19 respostas).

Uma dimensão igualmente relevante no contexto do mercado de vestuário em segunda mão é o comportamento de revenda. Efetivamente, 24% da amostra já adquiriu um artigo novo com a intenção de o vender posteriormente como peça em segunda mão. No entanto, 49% dos participantes indicam que, caso existisse a possibilidade de revenda de itens de valor mais elevado, estariam mais inclinados a comprá-los, o que sugere uma oportunidade para fomentar a circularidade no setor da moda.

Considerando a questão formulada no questionário “Já comprou um item novo a pensar na possibilidade de vendê-lo mais tarde como segunda mão?”, foi realizada uma regressão logística, onde se identifica que o ato de comprar um item novo a pensar na possibilidade de o vender mais tarde (em segunda mão), apresenta uma associação positiva e estatisticamente significativa com a probabilidade de comprar roupa em segunda mão, sugerindo que os indivíduos que compram roupa nova com o intuito de revenda têm maior propensão para adquirir também roupa em segunda mão. De forma semelhante, a questão “Se houvesse a possibilidade de revender uma peça de preço mais elevado, como um vestido de cerimónia, um acessório ou uma carteira de luxo, acha que estaria mais inclinado(a) a comprá-la?” permitiu perceber que o facto de o indivíduo indicar estar mais inclinado a comprar uma peça de preço mais elevado se existisse a possibilidade de revenda, também se mostra positivamente associado à compra de roupa em segunda mão, o que indica que o valor percebido de revenda pode tornar a compra mais atrativa, mesmo quando se trata de peças mais dispendiosas.

No modelo combinado, onde ambas as variáveis foram incluídas, verifica-se que a compra de algo a pensar na revenda se mantém significativa, enquanto o da compra de um bem de luxo a pensar na revenda perde significância estatística. Este resultado pode indicar que o comportamento de planejar a revenda de um bem normal é um fator mais determinante para a adoção do consumo em segunda mão do que a atratividade de revender produtos de valor elevado.

Quadro 1. Regressão logística entre compra de segunda mão e revenda

| Variáveis | Compra de roupa em segunda mão | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | Coeficiente | Desvio Padrão | Coeficiente | Desvio Padrão |
| CompraNova_Revenda | 1.162*** (0.352) | | | 1.011*** (0.363) |
| InclinaçãoPeçaLuxo_Revenda | | 0.689** (0.283) | | 0.479 (0.297) |
| Idade | 0.000 (0.012) | | -0.005 (0.011) | 0.000 (0.012) |
| Masculino | -1.100*** (0.423) | | -1.023** (0.421) | -1.045** (0.432) |
| Outro | 0.216 (1.473) | | -0.022 (1.295) | 0.205 (1.338) |
| ConfortoFinanceiro | -0.172 (0.166) | | -0.228 (0.163) | -0.191 (0.170) |
| 3º Ciclo do Ensino Básico (9º ano) | 1.313 (1.403) | | 1.197 (1.398) | 1.149 (1.387) |
| Ensino Secundário | 2.711** (1.218) | | 2.665** (1.211) | 2.577** (1.215) |
| Licenciatura | 1.430 (1.194) | | 1.204 (1.193) | 1.198 (1.198) |
| Mestrado | 1.302 (1.214) | | 1.058 (1.216) | 1.050 (1.223) |
| Doutoramento | 3.343** (1.626) | | 3.219** (1.608) | 3.261** (1.616) |
| Zona | 0.016 (0.119) | | 0.035 (0.117) | 0.011 (0.122) |
| AtitudeFaceRisco | -0.201 (0.175) | | -0.185 (0.175) | -0.171 (0.176) |
| Constant | -0.150 (1.516) | | 0.169 (1.498) | -0.175 (1.517) |
| Observations | 254 | | 254 | 254 |

4 CONCLUSÕES

A literatura aponta para uma lacuna significativa no que diz respeito ao estudo das atitudes dos consumidores face a modelos de consumo alternativos (Gullstrand Edbring et al., 2016), sobretudo no contexto português. Esta investigação procura contribuir, ao analisar motivações e barreiras associadas à compra e venda de roupa em segunda mão com base em dados recolhidos através de um questionário.

A amostra deste estudo, permitiu identificar que os consumidores procuram sobretudo preços acessíveis e a possibilidade de adquirir peças de marcas de gama alta a um valor reduzido. As preocupações ambientais também influenciam, mas continuam a não ser o fator decisivo. Embora a ideia da caça ao tesouro referida (Hur, 2020; Wang et al., 2022) pareça ter menos peso no contexto português, esta realidade está em linha com a restante literatura (Cervellon et al., 2012; Gullstrand Edbring et al., 2016). As principais barreiras identificadas foram a preferência por vestuário novo, a falta de disponibilidade de produtos e as preocupações com a higiene, fatores amplamente referidos na literatura (Gullstrand Edbring et al., 2016; Calvo-Porral et al., 2024; Hur, 2020; Wang et al., 2022). Já a percepção de qualidade inferior, embora citada na literatura, teve pouca relevância entre os inquiridos portugueses.

Apesar dos contributos desta investigação, importa sublinhar algumas limitações e destacar sugestões para estudos futuros. Desde logo, a amostra, maioritariamente composta por mulheres jovens, condiciona a generalização dos resultados à população portuguesa.

A metodologia quantitativa adotada revelou-se útil para testar hipóteses específicas, mas não capta toda a complexidade associada às motivações e barreiras dos consumidores. Neste sentido, seria pertinente combinar métodos quantitativos com qualitativos, como entrevistas. Adicionalmente, o caráter transversal da análise impede a observação de variações comportamentais ao longo do tempo. Assim, recomenda-se o recurso a estudos

longitudinais, que permitam acompanhar a evolução da intenção de compra de roupa em segunda mão em diferentes contextos.

Adicionalmente, não foi analisada em detalhe a responsabilidade ambiental das empresas, incluindo a utilização de materiais sustentáveis ou a adoção de processos de produção com menor impacto ambiental. Seria importante compreender como estas ações influenciam a percepção dos consumidores e se são, efetivamente, valorizadas no momento de compra. Outra limitação prende-se com a ausência de uma análise sobre a valorização da sustentabilidade através do preço. Produtos mais sustentáveis tendem a apresentar custos de produção mais elevados, o que levanta a questão de até que ponto os consumidores estão dispostos a pagar mais por bens que respeitam padrões ambientais.

REFERÊNCIAS

- ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal. (2019). A-fileira-têxtil-e-vestuário-no-horizonte-2025. <https://atp.pt/wp-content/uploads/2020/04/A-fileira-t%C3%A3oC3%AAtil-e-vestu%C3%A1rio-no-horizonte-2025-1.pdf>
- Calvo-Porral, C., Orosa-González, J., & Viejo-Fernández, N. (2024). Barriers to online second-hand purchase behavior. *Marketing Intelligence and Planning*, 42(2), 213–233. <https://doi.org/10.1108/MIP-03-2023-0093>
- Cervellon, M. C., Carey, L., & Harms, T. (2012). Something old, something used: Determinants of women's purchase of vintage fashion vs second-hand fashion. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 40(12), 956–974. <https://doi.org/10.1108/09590551211274946>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>
- Farrant, L., Olsen, S. I., & Wangel, A. (2010). Environmental benefits from reusing clothes. In *International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 15, Issue 7, pp. 726–736). <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0197-y>
- Ferraro, C., Sands, S., & Brace-Govan, J. (2016). The role of fashionability in second-hand shopping motivations. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 32, 262–268. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.07.006>
- Gasulla Tortajada, E., Moreira, A. C., Duarte, P., & Silva, S. C. (2024). Circular Economy and Sustainability in Luxury Fashion Consumer Behavior: A Review and Research Agenda. In *International Journal of Consumer Studies* (Vol. 48, Issue 5). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ijcs.13089>
- Guiot, D., & Roux, D. (2010). A second-hand shoppers' motivation scale: Antecedents, consequences, and implications for retailers. *Journal of Retailing*, 86(4), 355–371. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2010.08.002>
- Gullstrand Edbring, E., Lehner, M., & Mont, O. (2016). Exploring consumer attitudes to alternative models of consumption: Motivations and barriers. *Journal of Cleaner Production*, 123, 5–15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.107>
- Hur, E. (2020). Rebirth fashion: Secondhand clothing consumption values and perceived risks. *Journal of Cleaner Production*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122951>
- Malhotra, N. K. . (2010). MARKETING RESEARCH: An Applied Orientation.
- Mohr, I., Fuxman, L., & Mahmoud, A. B. (2022). A triple-trickle theory for sustainable fashion adoption: the rise of a luxury trend. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 26(4), 640–660. <https://doi.org/10.1108/JFMM-03-2021-0060>
- Parlamento Europeu. (2021). Como alcançar a economia circular na UE até 2050? <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20210128STO96607/como-alcancar-a-economia-circular-na-ue-ate-2050>

- Shashi, Centobelli, P., Cerchione, R., & Mittal, A. (2021). Managing sustainability in luxury industry to pursue circular economy strategies. *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 432–462. <https://doi.org/10.1002/bse.2630>
- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S., & Naebe, M. (2020). Death by waste: Fashion and textile circular economy case. *Science of the Total Environment*, 718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- Silva, S. C., Duarte, P., Sandes, F. S., & Almeida, C. A. (2022). The hunt for treasures, bargains and individuality in pre-loved luxury. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 50(11), 1321–1336. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-10-2021-0466>
- Sun, J. J., Bellezza, S., & Paharia, N. (2021). Buy Less, Buy Luxury: Understanding and Overcoming Product Durability Neglect for Sustainable Consumption. *Journal of Marketing*, 85(3), 28–43. <https://doi.org/10.1177/0022242921993172>
- Turunen, L. L. M., Cervellon, M. C., & Carey, L. D. (2020). Selling second-hand luxury: Empowerment and enactment of social roles. *Journal of Business Research*, 116, 474–481. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.11.059>
- Upadhyay, A., Laing, T., Kumar, V., & Dora, M. (2021). Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy practices in the mining industry. *Resources Policy*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102037>
- Virgens, N. das, Silva, S., & Laranjeira, E. (2023). Applications of the circular economy to the second-hand textile and clothing market: the case of Humana in Portugal. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 16(2), 214–223. <https://doi.org/10.1080/17543266.2022.2150447>
- Wang, B., Fu, Y., & Li, Y. (2022). Young consumers' motivations and barriers to the purchase of second-hand clothes: An empirical study of China. *Waste Management*, 143, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.019>
- Woensel, L. V. , & L. S. S. (2020). What if fashion were good for the planet? European Parliamentary Research Service. <http://www.europarl.europa.eu/thinktank>

Preferências dos consumidores sobre circularidade dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE)

Bruna Ramos^a, Carla Ferreira, Lígia Costa Pinto^{b}*

^a Universidade do Minho, Braga, Portugal

^b iBMS, Universidade do Minho, Braga, Portugal

RESUMO

O crescimento dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE) representa um desafio ambiental significativo. A economia circular surge como uma alternativa ao modelo linear, promovendo reutilização, reciclagem e extensão da vida útil dos produtos. Este estudo analisa as preferências dos consumidores face à circularidade dos REEE, com base em 163 respostas a um questionário online. Os resultados demonstram que indivíduos com maior conhecimento e preocupação ambiental adotam práticas mais circulares. Contudo, verifica-se uma lacuna entre a consciência e a ação, destacando-se a falta de informação sobre pontos de reciclagem como um dos principais entraves. O incentivo económico destacou-se como o fator mais valorizado para estimular a devolução de equipamentos, sobretudo entre jovens e consumidores com rendimentos mais baixos. Paralelamente, a credibilidade de políticas públicas revelou impacto positivo na aceitação de produtos com design circular. Estes resultados sublinham a necessidade de políticas consistentes, campanhas de sensibilização e mecanismos de incentivo que promovam a participação ativa dos consumidores em práticas mais sustentáveis de descarte e reutilização de equipamentos eletrónicos.

Palavras-Chave – Consumidores; Economia Circular; Reciclagem; Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos; Sustentabilidade

DESTAQUES

- Entrega de equipamentos usados fomentada pelos incentivos.
- Falta de informação sobre pontos de recolha limita práticas de circularidade.
- Credibilidade das políticas públicas influência adesão a produtos com design circular.

* Corresponding author.

E-mail: pintol@eeg.uminho.pt (Prof. L. Pinto)

Consumer preferences regarding the circularity of waste electrical and electronic equipment (WEEE)

Bruna Ramos^a, Carla Ferreira, Lígia Costa Pinto^{b}*

^a Universidade do Minho, Braga, Portugal

^b iBMS, Universidade do Minho, Braga, Portugal

ABSTRACT

The growth of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) represents a significant environmental challenge. The circular economy emerges as an alternative to the linear model, promoting reuse, recycling and the extension of products lifecycles. This study examines consumer preferences regarding the circularity of WEEE, based on 163 responses to an online survey. The results show that individuals with greater knowledge and environmental concern are more likely to adopt circular practices. However, a gap between awareness and action persists, with a lack of information on recycling points standing out as a significant barrier. Economic incentives were identified as the most valued factor in encouraging the return of equipment, particularly among younger consumers and those with lower incomes. At the same time, the credibility of public policies had a positive impact on the acceptance of products with circular design. These findings underscore the importance of implementing consistent policies, targeted awareness campaigns, and incentive mechanisms that encourage active consumer participation in more sustainable practices for the disposal and reuse of electronic equipment.

Keywords – Consumers; Circular Economy; Recycling; Waste Electrical and Electronic Equipment; Sustainability

HIGHLIGHTS

- Economic incentives are the most valued factor in the return of used equipment.
- Lack of information on collection points limits circularity practices.
- The credibility of public policies influences the adoption of circular design products.

* Corresponding author.
E-mail: pintol@eeg.uminho.pt (Prof. L. Pinto)

1 INTRODUÇÃO

A produção crescente de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE) constitui, hoje, um dos principais desafios ambientais a nível global. O ritmo de geração destes resíduos tem ultrapassado o crescimento populacional, refletindo não só a intensificação do consumo, mas também a rápida obsolescência tecnológica. Em 2022, estima-se que tenham sido produzidas cerca de 62 milhões de toneladas de resíduos eletrónicos, das quais apenas 22,3% foram devidamente recolhidas e recicladas (Bel, 2024; Global E-Waste Monitor, 2024).

Face a este cenário, a Economia Circular surge como uma alternativa ao modelo linear de “extrair, produzir e descartar”, ao promover a reutilização, a reparação e a reciclagem. Estas práticas prolongam a vida útil dos produtos e reduzem a dependência de recursos primários (Franz & da Silva, 2022). No caso dos equipamentos eletrónicos, a relevância da aplicação de estratégias circulares é ainda maior, tendo em conta a complexidade tecnológica e o elevado valor dos materiais envolvidos (Anuardo et al., 2023).

Apesar da sua pertinência, a adoção de práticas circulares permanece limitada, sobretudo devido à escassez de pontos de recolha acessíveis, à insuficiência de incentivos e à falta de informação junto dos consumidores (Anuardo et al., 2023). Compreender de que forma estes consumidores condicionam os comportamentos torna-se, por isso, essencial para o desenho de políticas públicas eficazes e para a criação de mecanismos que promovam a participação ativa da sociedade na reciclagem e reutilização de equipamentos.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar as preferências dos consumidores relativamente à circularidade dos REEE, abordando: (i) práticas de separação, reciclagem e reutilização de equipamentos; (ii) o nível de conhecimento e conscientização sobre os impactos ambientais; (iii) os fatores que influenciam as decisões de compra e de entrega de equipamentos no fim de vida; (iv) as barreiras e incentivos que afetam a adoção de práticas circulares; e (v) a influência de variáveis sociodemográficas na participação em práticas de reciclagem.

Os resultados alcançados permitem sustentar a criação de políticas públicas mais consistentes, o desenvolvimento de campanhas de sensibilização e definição de mecanismos de incentivo capazes de aumentar as taxas de recolha e promover uma economia mais circular no setor dos equipamentos eletrónicos.

2 METODOLOGIA

Este estudo utilizou um questionário online para recolher dados sobre as preferências e comportamentos dos consumidores relativamente à gestão de REEE. O questionário foi elaborado com base na revisão de estudos anteriores sumariados no Quadro 1. A administração do questionário foi online, através de redes sociais e e-mail, tendo sido obtidas 163 respostas.

O inquérito incluiu questões sobre hábitos de consumo de equipamentos eletrónicos, práticas de reciclagem e reutilização, nível de conhecimento, percepção de barreiras e incentivos, bem como variáveis sociodemográficas (idade, género, rendimento, nível de educação e área de residência).

Foram testadas 6 hipóteses de investigação, e a análise de dados foi realizada através do software STATA, utilizando diferentes testes estatísticos, adequados à natureza das variáveis em análise.

Apresentam-se em seguida as 6 Hipóteses testadas:

H1: Os fatores sociodemográficos influenciam as preferências dos consumidores no que toca à reciclagem de REEE.

H2: Os fatores sociodemográficos têm um impacto no tipo de incentivos que convencem os consumidores a entregarem os seus REEE.

H3: Consumidores com maior conhecimento sobre reciclagem participam mais ativamente em práticas sustentáveis.

H4: A sustentabilidade é um fator importante na decisão de compra de equipamentos eletrónicos.

H5: Barreiras como a falta de informação, ausência de locais de reciclagem, falta de incentivos ou preocupação com a privacidade de dados dificultam a adoção de práticas sustentáveis.

H6: Os consumidores estão dispostos a pagar mais por equipamentos com design circular.

Quadro 1. Resumo de estudos analisados sobre o comportamento dos consumidores face aos REEE.

3 RESULTADOS

A análise das 163 respostas ao questionário aplicado permitiu traçar um perfil detalhado do comportamento dos consumidores face à gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos. As estatísticas descritivas evidenciam que 86% dos inquiridos reconhecem a importância da reciclagem, mas apenas cerca de metade afirma entregar regularmente os seus equipamentos para tratamento adequado, revelando uma discrepância entre a consciência ambiental e a prática efetiva.

As principais barreiras identificadas pelos participantes foram a falta de informação sobre pontos de recolha (mencionada por 43% dos participantes), a ausência de incentivos e a preocupação com a privacidade de dados armazenada nos equipamentos. No que respeita aos fatores que poderiam estimular a participação, o incentivo económico foi o

mais valorizado (60%), sobretudo entre indivíduos mais jovens e com rendimentos mais baixos. Incentivos de natureza ambiental ou social tiveram um efeito menos expressivo.

A análise estatística, com recurso a modelos de regressão logística e probit, confirmou que variáveis sociodemográficas – como idade, rendimento e nível de escolaridade – influenciam de forma estatisticamente significativa a probabilidade de participação em práticas de reciclagem e reutilização. Verificou-se ainda que 71% dos inquiridos consideram a sustentabilidade um critério relevante na decisão de compra, e que 58% estariam dispostos a pagar um preço superior por equipamentos com design circular.

Por fim, a percepção de credibilidade de políticas públicas e dos sistemas de recolha revelou-se um fator determinante, aumentando a probabilidade de adesão a práticas de reciclagem e a aceitação de produtos concebidos segundo princípios de economia circular. Estes resultados reforçam a necessidade de políticas consistentes, campanhas de sensibilização bem estruturadas e mecanismos de incentivo que promovam a participação ativa dos consumidores na economia circular.

4 CONCLUSÕES

A implementação de práticas de circularidade nos REEE depende crucialmente do comportamento dos agentes individuais. Neste artigo exploramos as preferências dos consumidores portugueses relativamente a programas alternativos de entrega de REEE para reciclagem. Analisamos ainda os seus hábitos de compra relativamente a estes equipamentos.

Os resultados permitem concluir que existe diversidade nas preferências dos indivíduos, contudo, a preferência mais forte respeita os incentivos económicos. Contudo, os consumidores revelaram considerar a sustentabilidade do equipamento um importante critério de compra, estando dispostos a pagar um preço mais elevado.

Adicionalmente, a idade, o rendimento e o nível de escolaridade parecem segmentar os consumidores no que diz respeito às práticas de circularidade.

Os resultados obtidos permitem concluir que políticas de alteração de comportamentos que privilegiam a dimensão económica esperam-se mais eficazes, contudo, as políticas devem ter em atenção a heterogeneidade das preferências dos consumidores nomeadamente no que diz respeito à idade, rendimento e escolaridade.

REFERÊNCIAS

- Anuardo, R. G., Espuny, M., Costa, A. C. F., Espuny, A. L. G., Kazançoğlu, Y., Kandsamy, J., & de Oliveira, O. J. (2023). Transforming E-Waste into Opportunities: Driving Organizational Actions to Achieve Sustainable Development Goals. In *Sustainability* (Switzerland) (Vol. 15, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su151914150>
- Bel. (2024, March 22). Produção de lixo eletrônico pela humanidade chegou a 62 milhões de toneladas | ONU News. <https://news.un.org/pt/story/2024/03/1829466>
- Botelho, A., Ferreira Dias, M., Ferreira, C., & Pinto, L. M. C. (2016). The market of electrical and electronic equipment waste in Portugal: Analysis of take-back consumers' decisions. *Waste Management and Research*, 34(10), 1074–1080. <https://doi.org/10.1177/0734242X16658546>
- de Oliveira Neto, J. F., Monteiro, M., Silva, M. M., Miranda, R., & Santos, S. M. (2022). Household practices regarding e-waste management: A case study from Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102723. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102723>

- Ferrão. (2020). 66,2% dos portugueses dizem reciclar equipamentos elétricos e eletrónicos - Expresso. <https://expresso.pt/economia/2020-10-09-662-dos-portugueses-dizem-reciclar-equipamentos-eletricos-e-eletronicos>
- Franz, N. M., & da Silva, C. L. (2022). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): global and contemporary challenge to production chains and the urban environment. *Gestao e Producao*, 29. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e6621>
- Global E-waste Monitor. (2024). https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/12/GEM_2024_EN_11_NOV-web.pdf
- Islam, M. T., Abdullah, A. B., Shahir, S. A., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Shumon, R., & Rashid, M. H. (2016). A public survey on knowledge, awareness, attitude and willingness to pay for WEEE management: Case study in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 137, 728–740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.111>
- Kummer, S., Löhle, S., & Schmiedel, U. (2022). Consumer survey on the final consumer behavior concerning the disposal of WEEE in Germany. [Https://Doi.Org/10.1177/0734242X211025198](https://doi.org/10.1177/0734242X211025198), 40(5), 538–544. <https://doi.org/10.1177/0734242X211025198>
- Lee, J. chun, Song, H. T., & Yoo, J. M. (2007). Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 50, Issue 4, pp. 380–397). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.01.010>
- Pérez-Belis, V., Bovea, M. D., & Ibáñez-Forés, V. (2015). An in-depth literature review of the waste electrical and electronic equipment context: trends and evolution. *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 33(1), 3–29. <https://doi.org/10.1177/0734242X14557382>

Sustentabilidade nas compras públicas: uma revisão da literatura com vista para a ECO360

Maria João Ferreira^{a,}, Catarina Delgado^b, Miguel Brás da Cunha^c*

^a Olimec Lda., Joaquim Silva Vicente, 4470-434 Maia, Portugal

^b Faculdade de Economia, CEF. UP e LIAAD - INESC TEC, Universidade do Porto, Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto, Portugal

^c Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto, Portugal

RESUMO

Compras públicas corresponde à aquisição, pelo Estado e restantes entidades públicas, de bens e serviços necessários ao desempenho das suas funções. Representando uma importante fatia da economia, as Compras Públicas merecem especial atenção como instrumento de promoção da sustentabilidade. Diversos diplomas estabelecem enquadramento legal para que as entidades públicas possam incorporar critérios ecológicos nas suas aquisições. No entanto, apesar do suporte legal e de uma crise ambiental sem precedentes, permanece um desconhecimento generalizado de como implementar com sucesso a transição necessária associada às Compras Públicas, nomeadamente nos municípios. Este trabalho reúne os principais estudos que procuram os fatores inibidores das entidades públicas optarem pela aquisição de produtos e serviços mais ecológicos. O seu conhecimento pode ajudar a ultrapassar as barreiras e alavancar a mudança de paradigma da indústria e da economia. Fatores organizacionais, de capacitação, ferramentas operacionais e critérios de avaliação nos concursos públicos, legislação e fatores relacionados com políticas públicas foram identificadas como as principais barreiras ou fatores de sucesso para a implementação das compras públicas ecológicas.

Palavras-Chave – Sustentabilidade; compras públicas ecológicas; ECO360; governança local;

DESTAQUES

- Compras Públicas são um importante instrumento de promoção da sustentabilidade.
- A ECO360 estabelece metas para adoção de critérios ecológicos nas Compras Públicas.
- A inclusão de critérios ambientais tem ainda pouca expressão nas Compras Públicas.

** Autor para correspondência.*

E-mail: mferreira@olimec.pt (Dr. M. Ferreira)

Sustainability in public procurement: a literature review with a view to ECO360

Maria João Ferreira^{a, t}, Catarina Delgado^b, Miguel Brás da Cunha^c

^a Olimec Lda., Joaquim Silva Vicente, 4470-434 Maia, Portugal

^b Faculdade de Economia, CEF, UP e LIAAD - INESC TEC, Universidade do Porto, Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto, Portugal

^c Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto, Portugal

ABSTRACT

Public procurement refers to the acquisition, by the State and other public entities, of goods and services necessary for the performance of their functions. Representing an important share of the economy, Public Procurement deserves special attention as an instrument to promote sustainability. Several regulations establish the legal framework for public entities to incorporate ecological criteria in their acquisitions. However, despite the legal support and an unprecedented environmental crisis, there remains widespread uncertainty on how to successfully implement the necessary transition associated with Public Procurement, particularly in municipalities. This work brings together the main studies that investigate the inhibiting factors preventing public entities from opting for more ecological products and services. Understanding these factors can help overcome barriers and leverage the paradigm shift in industry and the economy. Organizational factors, capacity-building, operational tools and evaluation criteria in public tenders, legislation, and factors related to public policies were identified as the main barriers or success factors for the implementation of green public procurement.

Keywords – Sustainability; green public procurement; ECO360; local governance

HIGHLIGHTS

- Public Procurement is an important instrument for promoting sustainability.
- ECO360 sets targets for the adoption of ecological criteria in Public Procurement.
- The inclusion of environmental criteria in Public Procurement is still limited.

^t Autor para correspondência.
E-mail: mferreira@olimec.pt (Dr. M. Ferreira)

1 INTRODUÇÃO

As entidades governamentais têm um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, tendo à sua disposição uma série de instrumentos, entre eles a contratação pública.

No sítio eletrónico oficial da União Europeia, é feita referência de que mais de 250.000 organismos públicos na UE gastam cerca de 14% do PIB (aproximadamente dois biliões de euros por ano) na compra de serviços, obras e fornecimentos (Public procurement - European Commission 2024). No contexto português, esta percentagem correspondeu a 5,73% do PIB em 2023 (Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, I.P. 2024).

Em 2023 foram registados, na plataforma oficial das compras públicas de Portugal – Base.gov.pt - 177.139 procedimentos de aquisição pública, dos quais apenas 3,47% incluíram critérios ambientais na escolha do fornecedor (Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, I.P. 2024).

A plataforma indica ainda que, numa amostra reduzida de procedimentos concursais (com base no anúncio) e cujos contratos foram celebrados em 2022, constatou-se que 98,8% usaram o monofator preço como modalidade de adjudicação. A estes contratos corresponderam 78,4% de montantes contratuais.

Sendo os municípios parte integrante e ativa desta dinâmica das compras públicas, estes organismos de governança local têm oportunidade de, por um lado promover um consumo sustentável no suprimento das suas necessidades de aquisição de bens e serviços, e por outro ser um exemplo, inclusive pela proximidade com o tecido empresarial local, que se revele capaz de influenciar os comportamentos de empresas e cidadãos. Mais ainda, ao adquirir produtos e serviços sustentáveis, as entidades públicas estão também a alavancar a inovação para uma economia mais verde, obrigando os seus fornecedores a investir nesta dimensão.

2 METODOLOGIA

Pretendendo-se obter um panorama do estado da arte das compras públicas ecológicas com o objetivo de compreender a aplicação do diploma legal ECO360, em particular nos Municípios, este estudo foi elaborado em 3 principais etapas:

A primeira parte da pesquisa consistiu em compilar os diplomas que enquadram legalmente as compras públicas ecológicas.

Na segunda parte da pesquisa foram compilados os artigos, utilizando a seguinte metodologia e critérios:

- Scopus e Google Scholar foram as principais bases de dados académicas utilizadas na pesquisa bibliográfica;

- Termos como "green public procurement", "sustainable public procurement" "circular public procurement", "circular economy" e "Low carbon procurement" foram usados para encontrar os artigos relevantes;

- Foram selecionados os artigos publicados entre 2009 e 2024, em inglês, com métodos quantitativos, qualitativos ou mistos, e que mostrassem conexão com compras públicas verdes, sustentáveis ou circulares, e sua visão jurídica.

Na terceira fase, os artigos e documentos compilados foram organizados e identificados os padrões encontrados sobre o tema.

3 LEGISLAÇÃO EUROPEIA E NACIONAL PARA AS COMPRAS PÚBLICAS ECOLÓGICAS

A legislação europeia e nacional estabelece enquadramento para que as entidades públicas possam incorporar critérios ecológicos nas suas aquisições, contribuindo assim para as metas de desenvolvimento sustentável.

A Diretiva 2014/24/EU, transposta para o ordenamento jurídico nacional pelo Decreto-Lei n.º 111-B/2017, de 31 de agosto, que revoga a Diretiva 2004/18/CE, é um dos principais instrumentos legislativos da União Europeia no que diz respeito às compras públicas (Diretiva 2014/24/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de fevereiro). Esta diretiva enfatiza a importância da contratação pública ecológica (Green Public Procurement - GPP) permitindo que os Estados-Membros incorporem critérios ambientais e de sustentabilidade nos processos de contratação pública

A nível nacional, o Código dos Contratos Públicos (CCP), aprovado pelo decreto-lei 18/2008 de janeiro (Assembleia da República de 29 de janeiro), foi o primeiro instrumento abrangente de regulamentação das compras públicas em Portugal. Na sua redação mais recente, o CCP inclui disposições que promovem a sustentabilidade ambiental.

A Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2008-2010 (Assembleia da República de 7 de Maio) foi o primeiro diploma a definir objetivos claros para a integração de critérios ambientais nas aquisições públicas. Posteriormente, a ENCPE 2020 (Assembleia da República de 29 de julho) veio reforçar esses princípios, estabelecendo metas mais ambiciosas e abrangendo um maior número de categorias de produtos e serviços.

Em 2023 dois novos diplomas nacionais reforçam a importância do tema:

- A Resolução do Conselho de Ministros n.º 13/2023, de 10 de fevereiro, que Aprova a Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2030 — ECO360, estabelecendo metas específicas para a adoção de critérios ecológicos nas compras públicas, promovendo a utilização de produtos e serviços que minimizem o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida (Assembleia da República de 10 de fevereiro).

- A Resolução do Conselho de Ministros n.º 132/2023, de 25 de outubro, que complementa as diretrizes da ECO360, reforçando a implementação de práticas de compra pública ecológica e estipulando a monitorização e avaliação regular da eficácia dessas medidas (Assembleia da República de 25 de outubro).

A Lei n.º 98/2021 de 31 de dezembro - Lei de bases do Clima - introduz também medidas complementares que visam reforçar a adoção de critérios de sustentabilidade nas contratações públicas (Assembleia da República de 31 de dezembro). Esta lei reflete um esforço legislativo para alinhar ainda mais o quadro nacional com as prioridades ambientais da União Europeia e para fomentar uma economia verde e circular.

4 COMPRAS PÚBLICAS ECOLÓGICAS: EFICIÊNCIA E PRINCIPAIS BARREIRAS

Diversos estudos têm analisado as práticas de Compras Públicas Ecológicas (CPE), a sua eficiência e as principais barreiras à sua implementação em diversos contextos. São também relevantes os estudos sobre as GPP, elaborados de um ponto de vista jurídico, com análise documental de diplomas, da jurisprudência e/ou de concursos públicos

Os estudos analisados revelam várias tendências, padrões, desafios e oportunidades no domínio das CPE.

4.1 Fatores organizacionais

A implementação eficaz de CPE está fortemente relacionada com fatores organizacionais, nomeadamente a disponibilidade de recursos humanos, o apoio da gestão de topo, a integração de estratégias claras e a conscientização organizacional, elementos essenciais para o sucesso destas práticas (Sönnichsen e Clement 2020) (Brammer e Walker 2011) (Al Hazza et al. 2023) (Ćwiklicki, Pawełek, e Pilch 2021). A existência de planos concretos e estratégias bem definidas reforça a eficácia das CPE (Brammer e Walker 2011).

Por outro lado, barreiras organizacionais, como a dificuldade em mudar processos enraizados, revelam-se grandes inibidores da implementação das CPE (Correia et al. 2013).

A pressão das restrições financeiras pode ser também uma das principais barreiras à adoção destas práticas (Brammer e Walker 2011) (Sönnichsen e Clement 2020).

A dimensão governamental tem impacto na adoção das CPE: países mais desenvolvidos e governos com maior receita em termos de percentagem do PIB tendem a adotar estas práticas de forma mais consistente (Rosell 2021).

A escala de implementação - nacional, regional ou local - pode ser um fator influenciador da implementação das CPE, contudo, os autores não são unâimes quanto ao sentido dessa influência: Fuentes-Bargues et al. (2017) considera que critérios ambientais são mais utilizados por administrações nacionais do que regionais e locais, e que as autoridades regionais utilizam critérios ambientais com mais frequência do que autoridades locais e provinciais (Fuentes-Bargues et al. 2019), enquanto Rosell (2021) conclui que as autoridades regionais e locais demonstram uma maior propensão para implementar as CPE do que os governos.

verifica-se a tendência de que organizações de maior dimensão demonstram maior facilidade na implementação das CPE, o que pode ser justificada pela disposição de recursos mais robustos e especializados. Municípios maiores, por exemplo, têm a capacidade de estabelecer departamentos de compras especializados, que geram conhecimento e desenvolvem estratégias de compras, fatores considerados necessários, embora não suficientes, para uma contratação verde eficaz (Michelsen e de Boer 2009).

Em termos de colaboração organizacional, a necessidade de uma maior cooperação interdepartamental e de uma abordagem coordenada dentro das instituições surge como uma solução importante para superar os desafios relacionados com a implementação das CPE (Ortega Carrasco et al. 2024) (Alhola et al. 2019). As relações verticais e horizontais entre as agências envolvidas também afetam significativamente a eficácia das CPE, sendo a presença de mecanismos de controle e equilíbrio essencial para uma implementação harmoniosa (Wang, Qiao, e Li 2020).

4.2 Comportamento e formação

Fatores como a conscientização sobre os benefícios das compras verdes e a orientação individual para a sustentabilidade são considerados decisivos para a implementação eficaz destas práticas (Sönnichsen e Clement 2020).

Persiste uma percepção generalizada de que os produtos relacionados com as CPE são caros, o que representa um obstáculo significativo à sua adoção (Mutenda e Kholopane 2018) (Al Hazza et al. 2023) (Sönnichsen e Clement 2020).

Além dos recursos económicos e de informação, os recursos sociais e culturais, como a valorização da proteção ambiental, desempenham um papel crucial na implementação das CPE. A ética, o profissionalismo, a capacidade de trabalho e o conhecimento da equipa de compras são considerados fundamentais para garantir o sucesso das CPE. Também a motivação dos agentes e a sua capacidade de aprendizagem têm um efeito positivo na implementação destas práticas (Wang et al. 2020).

A formação e o desenvolvimento de competências especializadas em compras verdes desempenha um papel essencial para que os funcionários possam adotar melhores

práticas, identificar fornecedores adequados e incorporar critérios ambientais nos processos de contratação pública (Alhola et al. 2019). A falta de conhecimento e de capacitação é um dos fatores críticos que impede a implementação eficaz das CPE (Mutenda e Khlopone 2018) (Al Hazza et al. 2023) (Grandia e Voncken 2019) (Mendoza Jimenez, Hernandez Lopez, e Franco Escobar 2019) (Correia et al. 2013). Esta lacuna de conhecimento reflete-se em situações onde são incorporados critérios ambientais nos documentos dos concursos públicos para cumprir a lei de contratação pública, mas as informações recolhidas não são efetivamente utilizadas na seleção final dos fornecedores. torna-se evidente a necessidade de maior formação, conscientização ambiental e de modelos padronizados de CPE (Michelsen e de Boer 2009).

4.3 Ferramentas operacionais e critérios de avaliação

Ferramentas operacionais como a análise de ciclo de vida (Orfanidou et al. 2023) (Testa et al. 2016) (Sönnichsen e Clement 2020) e a avaliação de desempenho ambiental (Han, Blaauwbroek, e Lee 2024) permitem avaliar o impacto, a longo prazo, das aquisições, garantindo que as soluções mais sustentáveis são escolhidas. A utilização dessas ferramentas permite considerar o impacto ambiental completo dos produtos e serviços, bem como fornecer uma visão completa dos custos gerados por um produto durante sua vida útil, promovendo-se assim uma tomada de decisão mais informada e eficaz.

Embora o custo inicial de investimento em produtos verdes seja geralmente mais elevado, o seu CCV tende a ser inferior, o que os torna opções economicamente eficientes a longo prazo. Por outro lado, produtos com preços mais baixos frequentemente não possuem as certificações ambientais necessárias e apresentam um desempenho operacional inferior (Orfanidou et al. 2023).

A inclusão de critérios como emissões de carbono nos concursos públicos, juntamente com o aumento do peso atribuído aos fatores ambientais em comparação com critérios como o preço, pode ser uma forma de estimular a ecoinovação e promover práticas mais sustentáveis (Sönnichsen e Clement 2020). No entanto, na prática, o peso dado aos critérios ambientais permanece baixo (Kozuch, von Deimling, e Eßig 2022).

As fases em que os critérios ambientais são mais frequentemente utilizados incluem as especificações técnicas, seguidas pelos critérios de adjudicação para a proposta economicamente mais vantajosa; os critérios de seleção raramente são aplicados (Testa et al. 2016).

É recomendada uma maior padronização dos métodos utilizados e a integração de abordagens quantitativas e qualitativas mais robustas na avaliação das propostas (Braulio-Gonzalo e Bovea 2020).

4.4 Concursos públicos

Concursos de maior dimensão e para contratos de maior valor tendem a incluir mais critérios ecológicos (Orset 2024) (Fuentes-Bargues et al. 2017).

Contratos de obras tendem a ter maior probabilidade de incluir CPE do que contratos de fornecimento e serviços (Rosell 2023).

O processo da contratação pública, por si só, constitui também uma barreira ou fator de sucesso para as CPE; se por um lado a complexidade dos processos de contratação pública é um obstáculo à implementação de CPE (Mendoza Jimenez et al. 2019), por outro lado a clareza e organização das peças concursais é um fator de sucesso (Han et al. 2024).

4.5 Stakeholders

De forma geral, a colaboração e o envolvimento dos stakeholders desempenham um papel essencial na implementação eficaz das práticas de CPE. A interação mais estreita entre as autoridades de contratação e os mercados, bem como a necessidade de melhorar a competência e as práticas de gestão nas organizações de compras públicas, são

normalmente áreas-chave para o desenvolvimento das CPE (Sönnichsen e Clement 2020).

As autoridades públicas têm a capacidade de influenciar diretamente o mercado, estabelecendo requisitos que promovam a extensão da vida útil dos produtos, a sua reutilização, reciclagem, e a eficiência no uso de materiais. Isso incentiva a transição para modelos de negócios circulares, criando um impacto positivo na sustentabilidade das aquisições (Alhola et al. 2019).

Embora os critérios de sustentabilidade já estejam presentes em muitos procedimentos de contratação pública, é necessário reforçar o foco em ciclos de vida circulares e em inovações nos processos de contratação para maximizar o impacto das CPE. É recomendado que as autoridades públicas invistam em novos modelos de negócios que envolvam o leasing, o uso partilhado e a compra por uso, de forma a criar um ecossistema circular e ecológico mais robusto (Alhola et al. 2019).

Além disso, a mentalidade e responsabilidade dos stakeholders, assim como a cooperação entre eles, emergem como fatores críticos para o sucesso das CPE. A colaboração eficaz entre os diferentes intervenientes facilita a implementação de práticas sustentáveis e promove um alinhamento mais claro com os objetivos ambientais e económicos (Han et al. 2024) (Wang et al. 2020).

4.6 Legislação e políticas públicas

A transposição de diretrizes europeias, como a Diretiva 2014/24/UE, impulsionou a adoção de critérios ambientais em diversos países, especialmente em instituições mais burocráticas e menos flexíveis (Rosell 2023).

O estudo de Telles e Olvkke (2017) traz uma perspetiva fundamental para compreender como a conformidade legal – compliance - impacta a contratação pública sustentável da UE. Em termos gerais, “compliance” refere-se ao ato de estar em conformidade com leis, regulamentos, normas e padrões, garantindo que as ações estejam alinhadas com requisitos legais, em três principais vertentes: corporativa, estatal e regulatória. No contexto da contratação pública sustentável, a Diretiva 2014/24/UE contém elementos dessas três vertentes, com predominância da compliance estatal e regulatória. Muitos dos requisitos de compliance na legislação europeia são utilizados para verificar e aplicar obrigações legais, garantindo que a contratação pública não seja apenas um mecanismo de aquisição de bens e serviços, mas também um instrumento para impulsionar políticas públicas sustentáveis.

A legislação europeia não impede os compradores públicos de priorizarem produtos com elevados padrões ambientais, mesmo quando estes ultrapassam os critérios harmonizados. Pelo contrário, as GPP devem ser interpretada como uma ferramenta essencial para fomentar a inovação ecológica e apoiar o desenvolvimento sustentável, sendo necessária uma autonomia significativa por parte dos compradores públicos para selecionar critérios ambientais consistentes com esses objetivos (Kunzlik 2013).

Um exemplo notável da influência da legislação é o caso do setor têxtil suíço, no qual mudanças legislativas naquele setor resultaram num aumento tangível na adoção de critérios ambientais obrigatórios em licitações públicas (Orset 2024). A rigidez legal pode, quando bem orientada, promover uma implementação mais robusta da GPP.

Nos casos em que as diretrizes são voluntárias, as prioridades de preço frequentemente dominam, relegando aspectos de qualidade e sustentabilidade para segundo plano. Um exemplo claro disso é a hierarquia de critérios observada nos processos de contratação pública, onde o preço ocupa o primeiro lugar, seguido da memória descritiva, do prazo de execução, e só então dos critérios ecológicos (Fuentes-Bargues et al. 2017).

A complexidade da regulamentação, por outro lado, pode funcionar como um entrave, em que a rigidez excessiva da legislação, aliada à ausência de disposições ambientais explícitas, pode levar as instituições a priorizarem a conformidade legal formal, em detrimento de objetivos sustentáveis. Este cenário revela que a intenção política por si só

é insuficiente; é necessário que o enquadramento legal seja coerente, prático e promova segurança jurídica para as entidades adjudicantes (Shadrina, Vinogradov, e Kashin 2022).

A necessidade de uma orientação clara e consistente por parte das autoridades nacionais é critica para a implementação de compras mais verdes (Al Hazza et al. 2023). Quando as políticas de CPE são claras e específicas, a sua implementação tende a ser mais consistente e eficaz (Wang et al. 2020).

Outro obstáculo significativo identificado é a falta de vontade política para priorizar as compras públicas sustentáveis, o que prejudica a adoção e implementação eficaz das CPE. A integração de requisitos políticos diretamente na estrutura formal de governança de facto emerge como um facilitador importante para a implementação bem-sucedida das CPE (Sparrevik et al. 2018) (Mendoza Jimenez et al. 2019).

5 CONCLUSÃO

Representando uma importante fatia da economia, as Compras Públicas são um relevante instrumento para a promoção da sustentabilidade.

Para além do CCP conter suporte jurídico para uma contratação pública ambientalmente responsável, outros diplomas nacionais refletem esta preocupação do Estado Português, nomeadamente a ECO360 – Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2030.

No entanto, apesar do enquadramento legal suportado por diversos diplomas, a inclusão de critérios ambientais nas compras públicas tem ainda pouca expressão na contratação pública em Portugal.

Compreender os fatores que condicionam as compras públicas ecológicas pode ajudar a ultrapassar as barreiras e alavancar a sustentabilidade.

Os estudos analisados revelam várias tendências, padrões, desafios e oportunidades no domínio das CPE, dos quais se destacam fatores organizacionais, de capacitação, ferramentas operacionais e critérios de avaliação nos concursos públicos, legislação e fatores relacionados com políticas públicas.

REFERÊNCIAS

- Al Hazza, Muataz Hazza, Maktoom Muqtadar, Khaled El Salamony, Islam F. Bourini, Ahmad Sakhrieh, e Mohammed Alnahhal. 2023. «Investigation study of the challenges in green procurement implementation in construction projects in UAE». Civil Engineering Journal 9(4):849–59. doi:10.28991/CEJ-2023-09-04-06.
- Alhola, Katriina, Sven-Olof Ryding, Hanna Salmenperä, e Niels Juul Busch. 2019. «Exploiting the potential of public procurement: Opportunities for circular economy». Journal of Industrial Ecology, Wiley Online Library 23(1):96–109. doi:10.1111/jiec.12770.
- Assembleia da República. de 29 de janeiro. Decreto-Lei n.o 18/2008.
- Assembleia da República. de 31 de dezembro. Lei de bases do Clima.
- Assembleia da República. de 10 de fevereiro. Resolução do Conselho de Ministros n.o 13/2023.
- Assembleia da República. de 29 de julho. Resolução do Conselho de Ministros n.o 38/2016.
- Assembleia da República. de 7 de Maio. Resolução do Conselho de Ministros n.o 65/2007.
- Assembleia da República. de 25 de outubro. Resolução do Conselho de Ministros n.o 132/2023.
- Brammer, Stephen, e HL Walker. 2011. «Sustainable procurement in the public sector: an international comparative study». International journal of operations & production management, Emerald Group Publishing Limited 31(4):452–76. doi:10.1108/01443571111121087.

- Braulio-Gonzalo, Marta, e María D. Bovea. 2020. «Relationship between green public procurement criteria and sustainability assessment tools applied to office buildings». *Environmental Impact Assessment Review*, Elsevier 81:106310. doi:10.1016/j.eiar.2019.106310.
- Correia, Fernando, Mickey Howard, Beverley Hawkins, Annie Pye, e Richard Lamming. 2013. «Low carbon procurement: An emerging agenda». *Journal of Purchasing and Supply Management*, Elsevier 19(1):58–64. doi:https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.11.004.
- Ćwiklicki, Marek, Barbara Pawełek, e Kamila Pilch. 2021. «Organisational resource capacity and ISO 9001 QMS Implementation in the Local Government. Evidence from Poland». *Public Organization Review*, Springer 21(2):205–19. doi:10.1007/s11115-020-00481-8.
- Diretiva 2014/24/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. de 26 de fevereiro.
- Fuentes-Bargues, Jose Luis, Pablo Sebastian Ferrer-Gisbert, Ma Carmen González-Cruz, e María Jose Bastante-Ceca. 2019. «Green public procurement at a regional level. Case study: The Valencia region of Spain». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI 16(16):2936. doi:10.3390/ijerph16162936.
- Fuentes-Bargues, José Luis, Ma Carmen González-Cruz, e Cristina González-Gaya. 2017. «Environmental criteria in the Spanish public works procurement process». *International journal of environmental research and public health*, MDPI 204. doi:10.3390/ijerph14020204.
- Grandia, Jolien, e Dylan Voncken. 2019. «Sustainable public procurement: The impact of ability, motivation, and opportunity on the implementation of different types of sustainable public procurement». *Sustainability*, MDPI 11(19):5215. doi:10.3390/su11195215.
- Han, Qi, Sytske Blaauwbroek, e Pei-Hsuan Lee. 2024. «Environment Performance Criteria as Means for Green Public Procurement». Pp. 11–22 em *Sustainability in Energy and Buildings* 2023. Springer.
- Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, I.P. 2024. *Contratação Pública em Portugal 2023. Relatório Anual*. Direção Financeira, de Estudos e de Estratégia Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, I.P. <https://www.base.gov.pt/Base4/pt/noticias/2024/relatorio-anual-de-contratacao-publica-em-portugal-2023/>.
- Kozuch, Alessa Carina, Christian von Deimling, e Michael Eßig. 2022. «Implementing green public procurement: A replication study». *Journal of Cleaner Production*, Elsevier 377:134424. doi:10.1016/j.jclepro.2022.134424.
- Kunzlik, Peter. 2013. «Green public procurement—European law, environmental standards and ‘what to buy’ decisions». *Journal of Environmental Law*, Oxford University Press 25(2):173–202. doi:10.1093/jel/cct034.
- Mendoza Jimenez, Javier, Montserrat Hernandez Lopez, e Susana Eva Franco Escobar. 2019. «Sustainable public procurement: From law to practice». *Sustainability*, MDPI 11(22):6388. doi:10.3390/su11226388.
- Michelsen, Ottar, e Luitzen de Boer. 2009. «Green procurement in Norway; a survey of practices at the municipal and county level». *Journal of environmental management*, Elsevier 91(1):160–67. doi:10.1016/j.jenvman.2008.06.012.
- Mutenda, Ernest, e Pule Kholopane. 2018. «Factors that affect implementation of green public procurement in local government: A case study in the city of Johannesburg Municipality». Pp. 2018–25 em *Proceedings of the 1st IEOM African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* in Pretoria/Johannesburg, South Africa. October 29–November. Vol. 1.
- Orfanidou, Varvara S., Nikolaos P. Rachaniotis, Giannis T. Tsoulfas, e Gregory P. Chondrokoukis. 2023. «Life Cycle Costing Implementation in Green Public Procurement: A Case Study from the Greek Public Sector». *Sustainability*, MDPI 15(3):2817. doi:10.3390/su15032817.
- Orset, Héloïse. 2024. «Green public procurement of clothing: Evidence from Swiss tendering during a major legal change». *Journal of Cleaner Production* 449:141685. doi:10.1016/j.jclepro.2024.141685.
- Ortega Carrasco, Pablo, Fabio Iannone, Vera Ferrón Vilchez, e Francesco Testa. 2024. «Green public procurement as an effective way for sustainable development: A systematic literature

- review and bibliometric analysis». *Sustainable Development*, Wiley Online Library. doi:10.1002/sd.2740.
- Public procurement - European Commission. 2024. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/public-procurement_en.
- Rosell, Jordi. 2021. «Getting the green light on green public procurement: Macro and meso determinants». *Journal of Cleaner Production*, Elsevier 279:123710. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123710.
- Rosell, Jordi. 2023. «Green public procurement in Spain». *Hacienda Publica Espanola*, Instituto de Estudios Fiscales, Ministerio de Hacienda y Administraciones (245):95–117. doi:10.7866/HPE-RPEF.245.2023.2.
- Shadrina, Elena V., Dmitri V. Vinogradov, e Dmitry V. Kashin. 2022. «Implicit incentives in green public procurement: Good intentions versus rigid regulations». *Ecological Economics*, Elsevier 198:107458. doi:10.1016/j.ecolecon.2022.107458.
- Sönnichsen, Sönnich Dahl, e Jesper Clement. 2020. «Review of green and sustainable public procurement: Towards circular public procurement». *Journal of cleaner production*, Elsevier 245:118901. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118901.
- Sparrevik, Magnus, Helene Førsund Wangen, Annik Magerholm Fet, e Luitzen De Boer. 2018. «Green public procurement—A case study of an innovative building project in Norway». *Journal of Cleaner Production*, Elsevier 188:879–87. doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.043.
- Telles, Pedro, e Grith Skovgaard Olykke. 2017. «Sustainable procurement: A compliance perspective of EU public procurement law». *European Procurement & Public Private Partnership Law Review* 12:239–50. doi:10.21552/epppl/2017/2/11.
- Testa, Francesco, Paolo Grappio, Natalia M. Gusmerotti, Fabio Iraldo, e Marco Frey. 2016. «Examining green public procurement using content analysis: existing difficulties for procurers and useful recommendations». *Environment, development and sustainability*, Springer 18:197–219. doi:10.1007/s10668-015-9686-2.
- Wang, Conghu, Yuhua Qiao, e Xiaoming Li. 2020. «A systems approach for green public procurement implementation». *Journal of Public Procurement*, Emerald Group Publishing Limited 20(3):287–311. doi:10.1108/JOPP-02-2020-0010.

A MUSAMI e a jornada ESG - O caminho para a sustentabilidade

Ana Cunha^{a,}, Raquel Bulhões^a*

^a MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente EIM, SA, Rua Eng.^o Arantes e Oliveira, 15B, 9600-228 Ribeira Grande, Portugal

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a integração dos princípios ESG (Ambiente, Social e Governança) na estratégia organizacional da MUSAMI, com especial ênfase na aplicação da matriz de dupla materialidade como instrumento de avaliação e priorização de temas. A metodologia adotada compreendeu a identificação e análise de tópicos e subtópicos materiais com base em referenciais internacionais, nomeadamente as *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS), complementadas pela matriz de gestão de riscos de negócio e cálculo da pegada de carbono. Essa abordagem permitiu uma análise integrada do desempenho sustentável da organização, suportada por indicadores quantitativos e qualitativos de ESG. Os resultados demonstram o comprometimento estratégico da MUSAMI na transição para um modelo de economia circular, sustentável e resiliente.

Palavras-Chave – ESG, Dupla materialidade, Indicadores, Gestão de risco, Pegada de carbono

DESTAQUES

- Integração dos princípios ESG na estratégia organizacional da MUSAMI.
- Aplicação da matriz de dupla materialidade para avaliar e priorizar temas ESG.
- Análise combinada de riscos, ESRS e pegada de carbono para gestão sustentável.
- Resiliência num mercado onde a sustentabilidade desempenha um papel central.

* Autor para correspondência.
E-mail: ana.p.cunha@musami.pt (Dr^a Ana Cunha)

MUSAMI and the ESG journey - The path to sustainability

Ana Cunha ^{a,}, Raquel Bulhões ^a*

^a MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente EIM, SA, Rua Eng.^o Arantes e Oliveira, 15B, 9600-228 Ribeira Grande, Portugal

ABSTRACT

This paper aims the integration of ESG (Environmental, Social, and Governance) principles into MUSAMI's organizational strategy, with particular emphasis on the application of a double materiality matrix as an instrument for assessing and prioritizing themes. The methodology comprised the identification and analysis of material topics and sub-topics based on international references, namely the European Sustainability Reporting Standards (ESRS), and was complemented by the business risk management matrix and carbon footprint accounting. This approach enabled an integrated assessment of the organization's sustainability performance, supported by quantitative and qualitative ESG indicators. This demonstrate MUSAMI's strategic commitment to the transition toward a circular, sustainable, and resilient model.

Keywords – ESG, Double materiality, Indicators, Risk management, Carbon footprint.

HIGHLIGHTS

- Integration of ESG principles into MUSAMI's organizational strategy.
- Application of a double materiality matrix to assess and prioritize ESG topics.
- Combined analysis of risks, ESRS, and carbon footprint to support sustainable management.
- Organizational resilience in a market where sustainability plays a central role.

^{*} Autor para correspondência.
E-mail: ana.p.cunha@musami.pt (Dr^a Ana Cunha)

1 INTRODUÇÃO

A transição para modelos de gestão sustentáveis tem vindo a ganhar relevo em todo o setor dos resíduos, impulsionada pelas políticas europeias de descarbonização, economia circular e reporte de sustentabilidade. No quadro do Pacto Ecológico Europeu, da Agenda 2030 e do novo enquadramento regulatório de reporte (CSRD/ESRS), as empresas são chamadas a demonstrar, de forma transparente e comparável, o seu desempenho ambiental, social e de governança (ESG), bem como a incorporar a análise de riscos e oportunidades na tomada de decisão. Para as entidades gestoras de resíduos em particular, este movimento traduz-se em metas mais exigentes de prevenção, reutilização e reciclagem, na valorização energética responsável e na redução progressiva de deposição em aterro, exigindo investimentos, inovação tecnológica e novas competências de gestão.

A MUSAMI, enquanto empresa intermunicipal que atua na recolha, tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos na ilha de São Miguel, reconhece o seu papel estratégico na concretização destes objetivos e tem desenvolvido, nos últimos anos, um conjunto de iniciativas integradas que visam fortalecer o seu desempenho nas dimensões ESG. A especificidade insular, marcada por condicionantes logísticas, dispersão territorial e sensibilidade dos ecossistemas, reforça a necessidade de soluções eficientes e circulares: otimização da triagem e da recolha seletiva (incluindo porta-a-porta), valorização orgânica, aproveitamento energético do biogás e redução de emissões, a par de programas de educação ambiental e de envolvimento da comunidade.

Em 2024, a empresa avançou para uma abordagem mais estruturada, com a criação de uma equipa ESG para a elaboração da sua matriz de dupla materialidade, instrumento essencial para identificar, avaliar e priorizar temas relevantes sob duas perspetivas complementares: (i) o impacto da atividade da MUSAMI no ambiente e na sociedade (materialidade de impacto) e (ii) os efeitos dos fatores ESG na própria organização, na sua estratégia e no seu desempenho económico-financeiro (materialidade financeira). Este processo teve por base referenciais internacionais (ESRS), análise de *benchmark* do setor e ferramentas internas de gestão, designadamente a matriz de gestão de riscos, análise SWOT e cálculo da pegada de carbono, assegurando coerência entre estratégia, operações e reporte.

Em 2025, o processo foi aprofundado com mecanismos de auscultação interna, designadamente entrevistas a 140 trabalhadores e disponibilização de folheto informativo sobre ESG, permitindo testar conhecimentos sobre a matéria, recolher percepções sobre pontos fortes e áreas de melhoria e ajustar a materialidade às especificidades do contexto operacional. Este ciclo de escuta e revisão contínua reforça o alinhamento entre prioridades estratégicas, capacidades internas e expectativas das partes interessadas, preparando a MUSAMI para um reporte mais robusto e para a integração progressiva de indicadores e metas ESG na gestão corrente.

Este artigo descreve a metodologia adotada e os principais resultados obtidos, rumo à consolidação da sustentabilidade. Em particular, apresenta a construção e atualização da matriz de dupla materialidade, a articulação com a gestão de riscos e com a pegada de carbono, e o modo como estes instrumentos informam a tomada de decisão, a melhoria contínua e a criação de valor num contexto de transição para uma economia circular, sustentável e resiliente.

2 METODOLOGIA

2.1 Estruturação do processo ESG

A integração da sustentabilidade na MUSAMI não é recente nem circunstancial, resulta de um processo contínuo de institucionalização de práticas ambientais, sociais e de governança, suportado por sistemas de gestão certificados em áreas como a Qualidade, o Ambiente, a Saúde e Segurança e a Energia, e, portanto, sujeitos a auditorias internas e externas. Estes referenciais exigem a definição de procedimentos, a monitorização sistemática de desempenho e a evidência documental de conformidade, criando uma base sólida para o reporte e para a melhoria contínua.

Nesta sequência, a MUSAMI publica relatórios de sustentabilidade desde 2014, tendo evoluído em 2020 para um modelo de Relatório Integrado que articula as dimensões financeira, ambiental e social. Também, efetua o cálculo da sua pegada de carbono de forma regular, desde 2019. Nos últimos anos, esta maturidade organizacional foi reforçada com a criação de estruturas internas dedicadas: em 2023 foi formalizada uma equipa de gestão de riscos, que mantém uma matriz de riscos atualizada anualmente, e em 2024 foi constituída uma equipa ESG, envolvendo várias direções operacionais e de suporte. Esta equipa tem vindo a trabalhar na harmonização dos métodos de reporte com os referenciais europeus, nomeadamente as ESRS, na consolidação da informação interna e na condução do processo de dupla materialidade (2024-2025).

Operacionalmente, a sustentabilidade é intrínseca, como se pode ver pela cadeia de valor representada na Figura 1. A recolha seletiva, com modelos porta-a-porta, e a triagem elevam a qualidade das frações e reduzem refugo, assegurando o encaminhamento eficiente para os retomadores. A componente orgânica é convertida em substrato, valorizando resíduos verdes e de cozinha. O biogás proveniente dos aterros e do tratamento biológico é captado e convertido em energia, mitigando emissões de metano. Em paralelo, as águas lixiviantes são tratadas por osmose inversa, controlando riscos ambientais. Deste modo, assegura-se o fecho dos ciclos de matéria e energia, em consonância com as metas de economia circular e neutralidade carbónica.

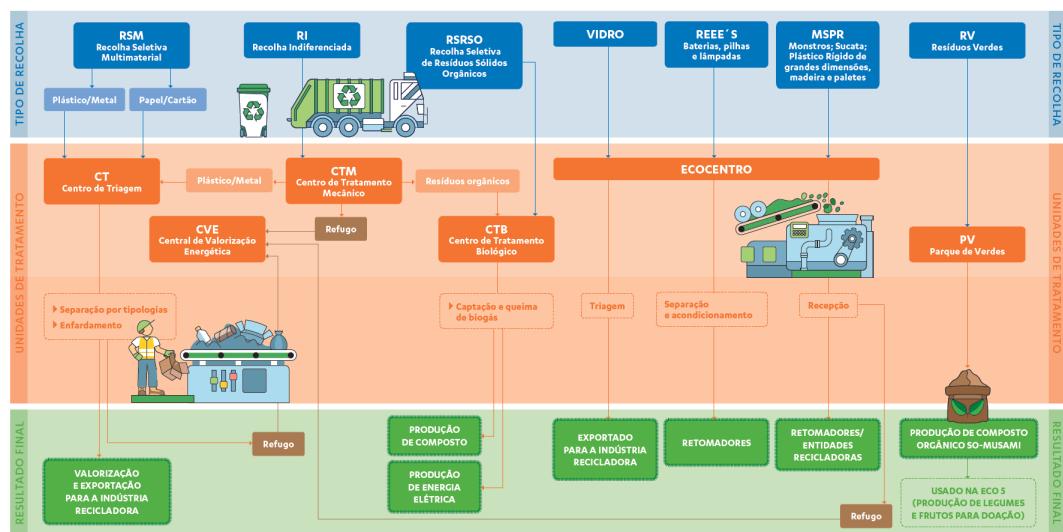


Figura 1. Cadeia de valor da MUSAMI.

2.2 Fontes e instrumentos de análise

A análise metodológica combinou referenciais externos com instrumentos internos.

Externamente, as *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS) forneceram a estrutura para a definição de tópicos e requisitos de divulgação. Considerou-se ainda o contexto setorial na Região Autónoma dos Açores, utilizando para o efeito o Programa

Estratégico de Prevenção e Gestão de Resíduos dos Açores 20+ (PEPGRA 20+), permitindo aferir tendências de valorização e deposição.

Internamente, recorreu-se aos relatórios de pegada de carbono (2019-2024), à matriz de gestão de riscos e aos procedimentos associados aos sistemas de gestão.

A avaliação foi conduzida sob a ótica de dupla materialidade (de impacto e financeira), com definição de impactos, riscos e oportunidades para cada subtópico relevante e respetivos indicadores e ações, estabelecendo correspondência com os tópicos ESRS e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2.2.1 Pegada de carbono

A MUSAMI quantifica anualmente as suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) segundo a ISO 14064-1, assegurando limites organizacionais que abrangem os Ecoparques I, II e III e a sede, e limites operacionais que incluem as emissões diretas (Âmbito 1), a eletricidade adquirida (Âmbito 2) e outras emissões indiretas (Âmbito 3). O inventário de GEE tem por base todas as fontes de emissão e remoção indiretas para as quais a empresa detém informações com um nível de precisão razoável, e que permitam o cálculo das mesmas. Eventuais exclusões de fontes de emissão ou remoção são devidamente justificadas em relatório.

No horizonte temporal 2019-2024, as emissões totais evoluíram de 46 152,4 para 50 935,05 Ton CO₂e, ou seja, mais 9,4%, em linha com o aumento do volume de resíduos geridos (Figura 2). Apesar disso, em termos de emissões relativas, o indicador mantém-se estável num intervalo de 0,47-0,50 Ton CO₂e/Ton resíduo tratado, demonstrando que a eficiência operacional tem reduzido o impacto do crescimento da atividade.

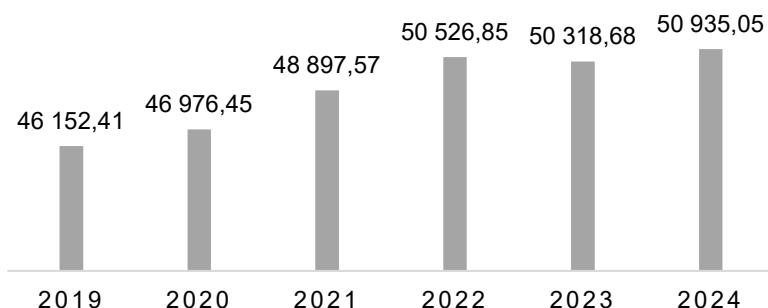


Figura 2. Emissões totais de GEE (Ton CO₂e), de 2019 a 2024.

A estrutura do inventário é marcada por um peso muito elevado do Âmbito 1 que, em 2024, representa 95,7% do total, com destaque para as emissões difusas de aterro dos Ecoparques I, II e III, equivalentes a 93,9% das emissões totais, refletindo o potencial de metanização dos resíduos indiferenciados e a diferença entre biogás produzido e efetivamente captado. As emissões indiretas têm expressão residual, com o Âmbito 3 a totalizar aproximadamente 3,6% do inventário (transportes, atividades relacionadas com energia e outras fontes indiretas) e o Âmbito 2, 0,7% (eletricidade importada), embora sejam úteis para a gestão interna de consumos e políticas de eficiência. Esta informação encontra-se em detalhe, por categoria e Âmbito, no Quadro 1.

Quadro 1. Emissões de GEE (Ton CO₂e), por Âmbito e categoria, em 2024.

| Âmbito (GHG Protocol) | Categoria (ISO 14064) | Total (Ton CO ₂ e) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Âmbito 1 | Categoria 1 | 48 772,6 |
| Âmbito 2 | Categoria 2 | 372,84 |
| Âmbito 3 | Categoria 3 | 1 225,88 |
| Âmbito 3 | Categoria 4 | 577,41 |
| Âmbito 3 | Categoria 6 | 4,76 |

Para efeitos informativos (fora dos âmbitos), a MUSAMI estima emissões evitadas pela escolha de opções de tratamento de resíduos em detrimento de outras. Em 2024, a valorização de biogás correspondeu a cerca de 216,5 Ton de CH₄, traduzindo-se em aproximadamente 6 040 Ton CO₂e evitadas (Figura 3). A compostagem de orgânicos apresenta, face ao aterro, um benefício estimado de 6 585 Ton CO₂e em 2024. Como resultado da revisão dos fatores DEFRA, a comparação compostagem vs. combustão tornou-se ligeiramente desfavorável (-25,5 Ton CO₂e), ilustrando a sensibilidade do balanço às atualizações metodológicas. A recuperação de valorizáveis no Centro de Tratamento Mecânico (CTM) resultou em 22,99 Ton CO₂e evitadas, valor inferior ao de 2023 devido ao redirecionamento de frações biológicas para o Centro de Tratamento Biológico (CTB). Neste último centro, cujo cálculo de emissões evitadas teve início em setembro de 2024, estimaram-se 1 888,4 Ton CO₂e de emissões evitadas. Estes resultados reforçam que o desvio de fluxos do aterro para valorização material e biológica é determinante no balanço global.

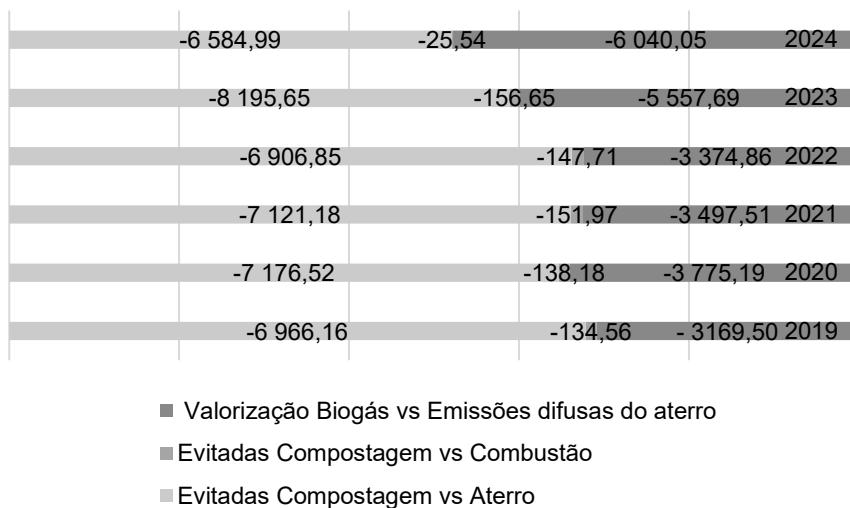


Figura 3. Estimativa de emissões evitadas de GEE (Ton CO₂e) de 2019 a 2024.

Em síntese, o período 2019-2024 revela um crescimento moderado das emissões absolutas, compatível com o acréscimo de resíduos tratados, e uma intensidade carbónica estabilizada por via de melhorias operacionais. A preponderância estrutural das emissões difusas de aterro confirma-se como a principal fonte, o que orienta as prioridades técnicas para a selagem e manutenção de taludes, otimização da rede de captação, redução de perdas e valorização energética do biogás. Em paralelo, os centros de valorização e a gestão eficiente de consumos elétricos permanecem essenciais para sustentar ganhos adicionais.

2.2.2 Gestão de riscos e oportunidades

A abordagem à gestão de riscos e oportunidades constituiu uma ferramenta de suporte ao presente trabalho, ao proporcionar uma compreensão sistemática das variáveis que influenciam a atuação empresarial e ao reforçar o compromisso com a sustentabilidade. A constituição da equipa multidisciplinar teve como propósito identificar, analisar e controlar os fatores suscetíveis de afetar a concretização dos objetivos estratégicos. Desta forma é possível adotar uma visão integrada do risco, contemplando não só as dimensões económicas e operacionais, como também as suas implicações ambientais, sociais e de governança.

A metodologia de avaliação de riscos foi aplicada de forma abrangente a todas as atividades da empresa, tendo como finalidade identificar os processos de negócio considerados críticos, permitindo propor medidas adequadas para garantir que o nível de risco se mantenha dentro dos limites de tolerância definidos. Este trabalho culminou numa

matriz de probabilidade e impacto que, associada à análise SWOT, revelou-se particularmente útil, ao permitir uma leitura rápida e objetiva dos riscos e oportunidades, correlacionando fatores internos e externos relevantes para a sustentabilidade.

Ao identificar, analisar e tratar os riscos de forma proativa, a empresa reforça a sua resiliência, melhora o seu desempenho e assegura que as decisões estratégicas são sustentadas por uma compreensão aprofundada dos desafios e oportunidades do seu contexto operacional. Esta prática integra-se plenamente nos princípios do ESG, promovendo uma cultura de gestão responsável, transparente e orientada para o futuro.

2.2.3 Iniciativas ESG

Nos últimos anos, a empresa tem desenvolvido um conjunto consistente de iniciativas, igualmente relevantes para a identificação de tópicos materiais e respetivo reporte de sustentabilidade.

No domínio ambiental, destaca-se a selagem do Aterro do Ecoparque I que contribuiu para o reforço da captação de biogás. Através da sua valorização energética, a MUSAMI produziu 1 409 315 kWh de energia, em 2024. A empresa tem vindo a reforçar igualmente a triagem de resíduos em três instalações, aumentando a sua taxa de reciclagem e reduzindo o volume de resíduos enviados para aterro. Entre as medidas de eficiência energética, a introdução de veículos elétricos contribuiu para a otimização do consumo e para a redução das emissões. Por fim, o substrato orgânico 100% produzido com resíduos verdes, promove a economia circular e a valorização de materiais biodegradáveis.

Na vertente social, a empresa dispõe de um sistema de progressão na carreira baseado numa tabela remuneratória única. O bem-estar dos trabalhadores é assegurado por um serviço de medicina interna, com acesso regular a exames e consultas, complementado por um seguro de saúde que garante cuidados abrangentes. A promoção da igualdade e da não discriminação é garantida por um plano específico que inclui a integração de pessoas com deficiência. Entre as ações de responsabilidade social, destacam-se doações de leite, produtos hortofrutícolas e substrato orgânico, que reforçam o compromisso da empresa com a comunidade.

Na dimensão da governança, a empresa adota um Código de Conduta e Ética que estabelece padrões de comportamento baseados na integridade e no respeito mútuo. O Plano de Prevenção de Riscos de Corrupção e Infrações Conexas identifica e monitoriza potenciais riscos, sendo acompanhado anualmente através de análises e ações corretivas. Complementarmente, existe um Canal de Denúncias para trabalhadores e terceiros, assegurando a transparência e o tratamento adequado de irregularidades. A empresa participa ainda em parcerias estratégicas com entidades como a GRACE, A.E.S.A. e ISWA, sendo subscritora da Cartilha de Sustentabilidade dos Açores, o que permite alinhar as suas práticas com as melhores referências do setor.

2.3 Apuramento da materialidade

Em 2024, a construção da materialidade ocorreu em quatro momentos encadeados:

1. Reanálise das partes interessadas e das expectativas: procedeu-se ao mapeamento e reclassificação das partes interessadas numa matriz de influência e interesse. Apesar da hierarquização inicial, foi deliberada a consulta a todas as categorias, por razões de robustez e transparência. No caso dos fornecedores, limitou-se o universo às entidades com transações iguais ou superiores a 5.000,00 €, por materialidade económica e relevância do vínculo contratual;
2. Identificação de tópicos e subtópicos potencialmente materiais: a partir das ESRS, construiu-se a lista de tópicos/subtópicos potenciais, com adaptação ao contexto insular e setorial;
3. Consulta por inquérito: em 2024, realizou-se um inquérito, com obtenção de 186 respostas. Foi utilizada uma escala de 1 a 5 para identificar a relevância dos temas;

4. Identificação de impactos, riscos e oportunidades (IRO): a priorização final considerou a dupla materialidade, com critérios explícitos em cada dimensão.

No caso da materialidade de impacto – que reflete o efeito que a MUSAMI tem ou pode vir a ter no ambiente e nas pessoas – a avaliação combinou quatro critérios, pontuados de 1 (baixo) a 5 (elevado):

- a. Escala (severidade): intensidade do impacto nos ecossistemas e/ou comunidades;
- b. Âmbito: extensão do impacto (cobertura geográfica, número de pessoas ou unidades afetadas);
- c. Irremediabilidade: grau de reversibilidade;
- d. Probabilidade (para impactos potenciais): verosimilhança de ocorrência.

Para a materialidade financeira – que traduz os riscos e oportunidades que afetam, ou podem vir a afetar a MUSAMI – a avaliação considerou:

- a. Probabilidade: verosimilhança de ocorrência;
- b. Magnitude financeira: perda/ganho de receita, variação de custos, investimento necessário e efeitos regulatórios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Matriz de dupla materialidade

Na sequência da metodologia descrita, a aplicação da dupla materialidade resultou em uma matriz que posiciona, numa grelha comum, os subtópicos com materialidade de impacto e financeira $\geq 4,0$. O exercício confirmou a relevância simultânea das dimensões ambiental, social e de governança, destacando, entre outros, saúde e segurança no trabalho, formação e desenvolvimento, conformidade e práticas de controlo, controlo de radioatividade e riscos para espécies e ecossistemas.

O inquérito de 2024 reuniu 186 respostas válidas. Todos os subtópicos registaram pontuação $\geq 3,0$ em pelo menos uma dimensão, o que justifica monitorização e reporte. Por razões de foco e por se tratar do primeiro exercício, a análise aprofundada incidiu nos subtópicos com pontuação $\geq 4,0$, assegurando priorização objetiva sem perder o contexto alargado. O quadro 2 apresenta os tópicos e subtópicos selecionados para análise.

Quadro 1. Tópicos e subtópicos de análise.

| ESG | ESRS | Tópico | Subtópicos |
|-----|------------------|---|---|
| E | ESRS E2 | Substâncias que suscitam preocupação | Controlo de radioatividade |
| | ESRS E4 | Impacto no estado das espécies e ecossistemas | Risco de extinção de espécies |
| | ESRS E5 | Gestão de Resíduos | Procedimentos para manuseio e disposição segura de resíduos perigosos estáveis (amianto) |
| S | ESRS S1 e S2 | Condições de trabalho | Segurança do emprego e salários adequados |
| | ESRS S1 e S2 | Condições de trabalho | Horário de trabalho (Existência de turnos rotativos) |
| | ESRS S1 e S2 | Condições de trabalho | Equilíbrio entre a vida profissional e a vida privada |
| | ESRS S1, S2 e S4 | Condições de trabalho | Saúde e segurança no trabalho |
| | ESRS S1 e S2 | Igualdade de tratamento e de oportunidades para todos | Formação e desenvolvimento de competências |
| | ESRS S4 | Inclusão social dos consumidores e/ou utilizadores finais | Acesso a produtos e serviços |
| G | ESRS G1 | Práticas de controlo e gestão | Conformidade com a legislação local e internacional e minimização do seu impacte nos custos |
| | ESRS G1 | Práticas de controlo e gestão | Equilíbrio entre o desempenho financeiro e práticas sustentáveis |

A análise do inquérito resultou na matriz de dupla materialidade disposta no gráfico da Figura 4.

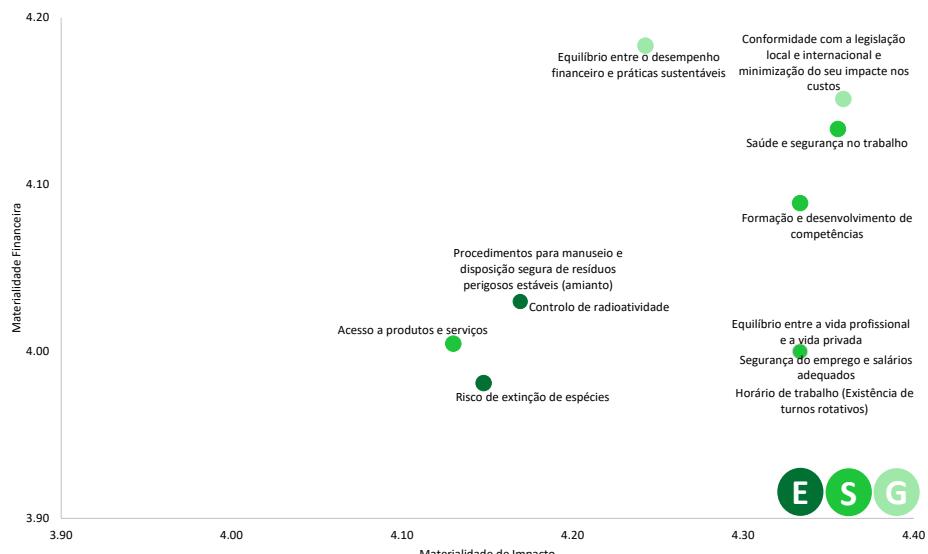


Figura 4. Matriz de dupla materialidade – subtópicos materialmente relevantes.

Para cada subtópico material, foram avaliados IRO atuais e potenciais, distinguindo efeitos positivos e negativos, e atribuindo níveis de materialidade coerentes com a análise setorial e o diagnóstico interno, que inclui a pegada de carbono e a matriz de gestão de riscos. Da mesma forma, foram definidos indicadores e ações específicas com correspondência ESRS/ODS, garantindo a rastreabilidade entre avaliação e execução.

Em 2025, a auscultação interna foi aprofundada através de entrevistas a 140 trabalhadores, visando aferir a maturidade do conhecimento nesta matéria, identificar necessidades de formação e validar melhorias no processo. As evidências recolhidas sustentaram ajustes à matriz e revisão de indicadores e ações, mantendo as escalas e definições de 2024. Em paralelo, foram encaminhadas sugestões de melhoria para decisão superior.

Operacionalmente, sempre que a prioridade de um subtópico se altera, os IRO adjacentes são reavaliados e os indicadores são revistos, reforçando a realidade operacional e o suporte à decisão.

Em síntese, a abordagem aplicada valida a materialidade dos temas críticos, refina prioridades com base em evidência interna adicional e acelera a execução por via de indicadores e ações alinhados. Este movimento preserva a comparabilidade do reporte e reforça a utilidade da matriz como instrumento de gestão, orientando recursos para onde o potencial de criação de valor sustentável é mais elevado.

4 CONCLUSÕES

A leitura integrada da dupla materialidade, da matriz de riscos e da pegada de carbono evidencia uma maturidade crescente da MUSAMI na gestão da sustentabilidade. O percurso iniciado com o reporte desde 2014, consolidado pela medição de emissões de GEE, criou condições para uma fase de integração em que os temas materiais orientam investimento e planeamento, os riscos delimitam decisões e os indicadores sustentam metas e monitorização em alinhamento com as ESRS.

O exercício de dupla materialidade demonstrou que impactos ESG, como efeitos em ecossistemas e espécies, saúde e segurança no trabalho, igualdade e inclusão,

conformidade e controlo, têm expressão financeira no médio e longo prazo, tanto pela exposição regulatória como pela pressão de partes interessadas.

Contudo, esta análise contém limitações, que importa registar:

1. Dos vinte e cinco subtópicos identificados como materiais na análise do inquérito, ou seja, com níveis de importância acima de 3, a análise aprofundada incidiu apenas sobre aqueles com pontuação igual ou superior a 4;
2. A leitura foi efetuada à escala global da empresa, sem segmentação por áreas de negócio ou processos, o que poderá ser desenvolvido em iterações futuras para melhorar a alocação de recursos e a gestão do risco.

Em síntese, a análise de dupla materialidade realizada para a MUSAMI evidenciou a importância de considerar, de forma integrada, os impactos financeiros e não financeiros nas suas operações. Tais práticas contribuirão para o fortalecimento da resiliência da empresa em um mercado cada vez mais exigente. Destaca-se que esta análise deve ser contínua, uma vez que as circunstâncias e o contexto estão em constante evolução.

AGRADECIMENTOS

Expressa-se uma palavra de agradecimento a todos os trabalhadores pela disponibilidade para a realização de entrevistas. Agradece-se, igualmente, aos membros da equipa interna ESG pelo envolvimento e pelo trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- European Financial Reporting Advisory Group. (2023). European Sustainability Reporting Standards (ESRS) – Set 1. Bruxelas: EFRAG.
- Governo dos Açores – Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas. (2020). PEPGRA 20+ – Programa Estratégico de Prevenção e Gestão de Resíduos dos Açores. Ponta Delgada: GRA.
- MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente, EIM, S.A. (2019-2024). Relatórios de Pegada de Carbono. Ribeira Grande: MUSAMI.
- MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente, EIM, S.A. (2024). Relatório Integrado. Ribeira Grande: MUSAMI.
- ONU (2015). Sustainable development goals. 17 goals to transform our world. Organização das Nações Unidas. www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals.

Tratamento e destino final de lamas de ETAR – uma abordagem de ACV

Florinda F. Martins ^{a,**}, Nídia Caetano ^{a,b}

^aInstituto Superior de Engenharia do Porto, R. Dr. António Bernardino Almeida, 4249-015 Porto, Portugal

^bLEPABE – Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, ALiCE – Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

RESUMO

A existência de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) permite manter os recursos hídricos preservados e ter água potável. Permite também o seu uso para outros fins, incluindo o recreativo. No entanto, nas ETAR são geradas lamas que como resíduo sólido que são devem ser tratadas e/ou encaminhadas para destino adequado. Em Portugal os dois destinos mais importantes são a utilização na agricultura e a deposição em aterro. Contudo outras opções podem revelar-se mais vantajosas sob o ponto de vista económico e ambiental, como por exemplo a digestão anaeróbia. Neste estudo foram consideradas estas três opções. A aplicação direta de lamas no solo tem impactos mais elevados em algumas categorias assim como o aterro. A digestão anaeróbia apresenta, no entanto, um impacto elevado na depleção abiótica, tendo-se revelado bastante interessante porque apresenta menor impacto ambiental em algumas categorias de impacto.

Palavras-Chave – ACV, lamas, digestão anaeróbia, aterro, agricultura

DESTAQUES

- As opções mais usadas para o destino final das lamas foram consideradas.
- A digestão anaeróbia foi considerada como opção de tratamento das lamas.
- A digestão anaeróbia tem menor impacto em algumas categorias de impacto.

*** Autor para correspondência.*
E-mail: ffm@isep.ipp.pt (Prof. F. Martins)

Treatment and final disposal of sewage sludge – a LCA approach

Florinda F. Martins ^{a,††}, *Nídia Caetano* ^{a,b}

^a*Instituto Superior de Engenharia do Porto, R. Dr. António Bernardino Almeida, 4249-015 Porto, Portugal*

^b*LEPABE – Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, ALICE – Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal*

ABSTRACT

The existence of wastewater treatment plant (WWTP) allows to keep water resources well preserved and access to drinking water and the use of water to other purposes such as recreational. However, in WWTP are generated solid wastes, the sludge, that should be treated or adequately disposed. In Portugal landfarming and landfilling are important options to sludge. However, other options can present more economic and environmental advantages such as anaerobic digestion. In this study these three options were considered. Landfarming has higher impacts in some categories as well as landfill. Anaerobic digestion has a high impact in abiotic depletion, but it reveals interesting because presents lower environmental impact in some categories.

Keywords – LCA, sludge, anaerobic digestion, landfill, agriculture

HIGHLIGHTS

- The most used options to final disposal of sludge were considered.
- Anaerobic digestion was considered to the treatment of sludge.
- Anaerobic digestion has lower impacts in some categories.

^{††}*Autor para correspondência.*
E-mail: ffm@isep.ipp.pt (Prof. F. Martins)

1 INTRODUÇÃO

De forma a preservar o meio ambiente e em particular os recursos hídricos é preciso tratar as águas residuais em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Nas ETAR podem-se distinguir duas linhas de tratamento, a de líquido e a de sólidos. Nas ETAR as lamas são geradas no decantador primário (lamas primárias) e no decantador secundário (lamas secundárias). As lamas primárias são misturadas com as lamas secundárias e sofrem alguns tratamentos tais como espessamento (gravítico, etc.), digestão anaeróbia, e desidratação (por exemplo por centrifugação), etc. Outros tratamentos existentes são a compostagem, e a estabilização química, entre outros. Alguns autores estudaram vários processos para tratar as lamas o que reflete a importância do assunto (Houdkova et al., 2008; Yu et al., 2023).

2 METODOLOGIA

2.1 Opções para o tratamento/destino final das lamas

Neste trabalho foram consideradas 3 opções, tendo início após o espessamento das lamas (não incluído por se considerar igual em todos os cenários). A primeira opção foi a aplicação direta (APD) no solo da lama com 97% de água, depois a segunda opção consiste na centrifugação (C) e deposição em aterro (A) das lamas desidratadas. Por fim, a terceira opção consiste na digestão anaeróbia (DA) das lamas, centrifugação e aplicação no solo (AT) (Figura 1). A unidade funcional é 1 m³ de lama espessada.

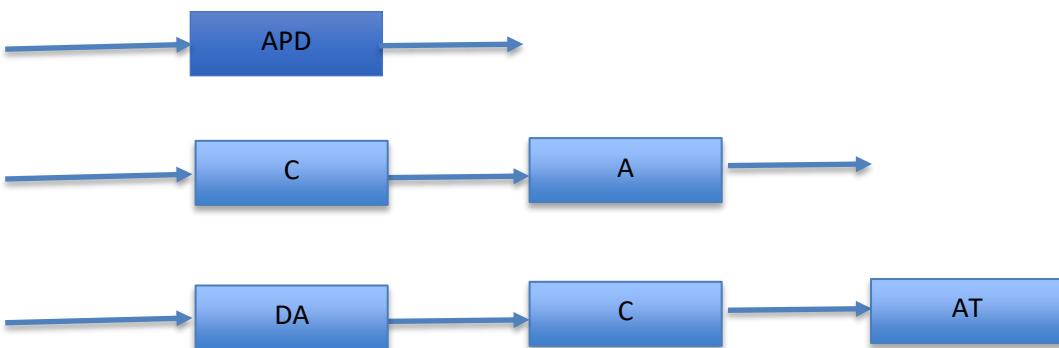


Figura 1. Opções consideradas

Para a primeira opção usou-se o conjunto de dados *Treatment of sewage sludge, 97% water, WWT, WW, average, landfarming, CH*. Para a segunda opção considerou-se o consumo de electricidade e de poliacrilamida (relativo à etapa de centrifugação) de respetivamente de 65,8 kWh/tDM (dry matter) e 5,78 kg poliacrilamida/tDM (Pardel et al., 2014) e os seguintes conjuntos de dados da base Ecoinvent 3.9 (Ecoinvent, 2025): *market for electricity, medium voltage, PT, market for polyacrylamide, GLO and treatment of sewage sludge, 75% water, WWT, WW, average, sanitary landfill, RoW*. Para além disso considerou-se a emissão de óxido nitroso de 0,77 kg/tDM (Pardel et al., 2014). Para a terceira opção considerou-se o consumo de electricidade e de poliacrilamida (centrifugação) de respetivamente 50,33 kWh/tDM e 6,55 kg poliacrilamida/tDM (Pardel et al., 2014) e os seguintes conjuntos de dados da base Ecoinvent 3.9: *treatment of sewage sludge by anaerobic digestion, CH, market for electricity, medium voltage, PT, market for polyacrylamide, GLO and liquid manure spreading, by vacuum tanker, CH* (processo mais próximo do que se pretende). Para além disso considerou-se a emissão de óxido nitroso de 0,77 kg/tDM (Pardel et al., 2014). Considerando a terceira opção foram ainda determinados os fertilizantes evitados considerando dados da bibliografia (Richard, M., 2013) e os seguintes conjuntos de dados da base Ecoinvent : *ammonium nitrate*

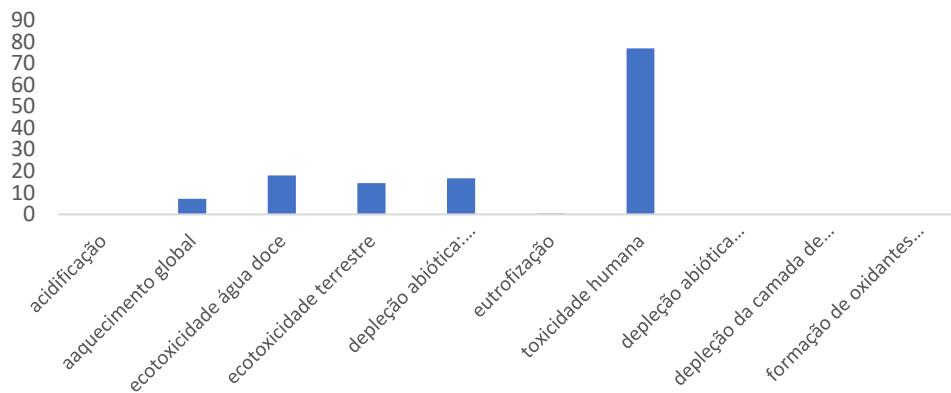
production, RER, potassium chloride production RER e triple superphosphate production, RER.

2.2 Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), permite determinar os impactos ambientais de um produto ou serviço, tendo em conta o seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até ao destino final. No entanto outras abordagens menos abrangentes podem ser aplicadas. Neste estudo considera-se uma abordagem do portão à cova ou ao berço mediante as opções consideradas. Vários métodos de caracterização podem ser usados incluindo o CML, o Recipe, etc. Neste caso usou-se o CML 4.8 por ser um método bastante utilizado. Os dados foram retirados da bibliografia ou da base de dados Ecoinvent (Ecoinvent, 2025). As seguintes categorias de impacto foram, portanto, consideradas: acidificação, aquecimento global, ecotoxicidade água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, depleção abiótica: combustíveis fósseis, eutrofização, toxicidade humana, depleção abiótica elementos, depleção da camada de ozono e formação de oxidantes fotoquímicos.

3 RESULTADOS

Na Figura 2 são apresentados os resultados para a primeira opção, aplicação direta na terra para todas as categorias, exceto ecotoxicidade marinha porque o valor é bastante mais elevado que os valores das restantes categorias.



kg SO₂-Eq, kg CO₂-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, MJ, kg PO₄-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg Sb-Eq, kg CFC-11-Eq, kg ethylene-Eq

Figura 2. Resultados para a aplicação direta das lamas na terra

Na Figura 2 destacam-se os impactos no aquecimento global, ecotoxicidade água doce, ecotoxicidade terrestre, depleção abiótica: combustíveis fósseis e toxicidade humana. A acidificação, eutrofização, depleção abiótica elementos, depleção da camada de ozono e formação de oxidantes fotoquímicos apresentam valores baixos.

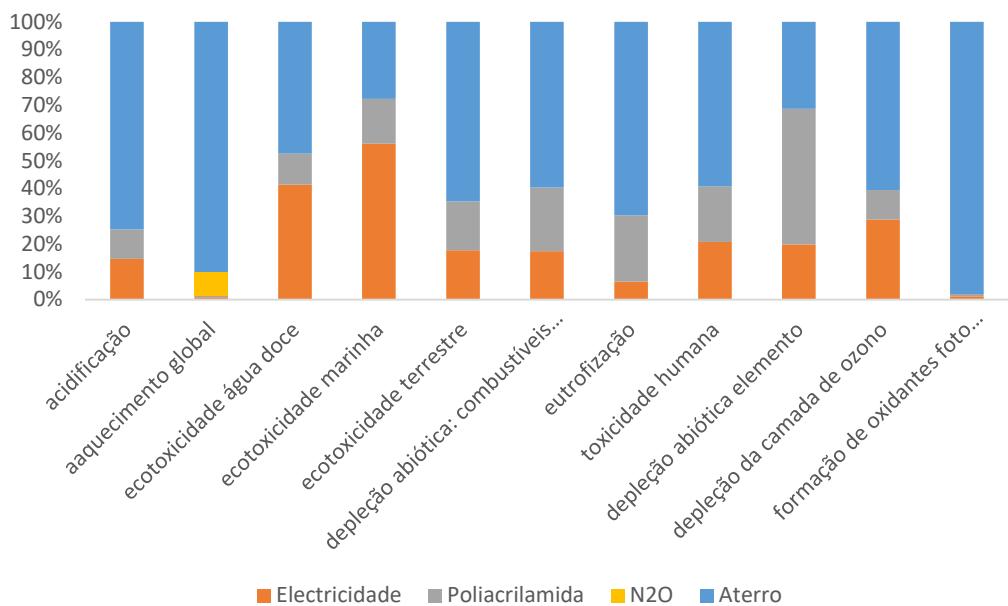
Na Figura 3 são apresentados os resultados para a segunda opção, evidenciando o peso de cada processo. Como se pode concluir da análise da Figura 3, o processo aterro contribui mais em praticamente todas as categorias.

Na Figura 4 são apresentados os resultados para a terceira opção, evidenciando o peso de cada processo. Como se pode concluir da análise da Figura 4, a digestão anaeróbia contribui mais em praticamente todas as categorias.

Na Figura 5 são apresentados os resultados para a terceira opção, considerando os fertilizantes evitados. Regista-se uma melhoria significativa em muitas categorias.

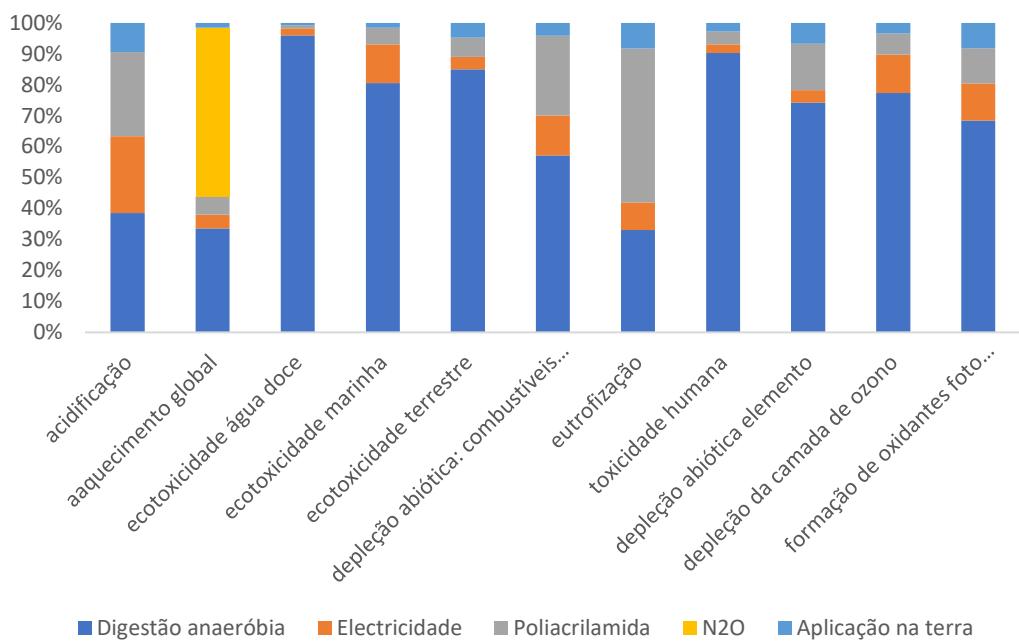
Na Figura 6 são apresentados os resultados de todas as opções. Neste gráfico a ecotoxicidade marinha não foi incluída por apresentar valores bastante mais elevados que

os restantes. Deste gráfico é possível concluir que a aplicação direta tem impactos mais elevados em algumas categorias (toxicidade humana, ecotoxicidade água doce, ecotoxicidade terrestre, depleção abiótica combustíveis fósseis) assim como o aterro (aquecimento global, depleção abiótica combustíveis fósseis). A DA apresenta, no entanto, um impacto elevado na depleção abiótica combustíveis fósseis.



kg SO₂-Eq, kg CO₂-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, MJ, kg PO₄-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg Sb-Eq, kg CFC-11-Eq, kg ethylene-Eq

Figura 3. Resultados dos impactos para o envio das lamas para aterro após centrifugação



kg SO₂-Eq, kg CO₂-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, MJ, kg PO₄-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg Sb-Eq, kg CFC-11-Eq, kg ethylene-Eq

Figura 4. Resultados dos impactos para o tratamento de lamas por digestão anaeróbia

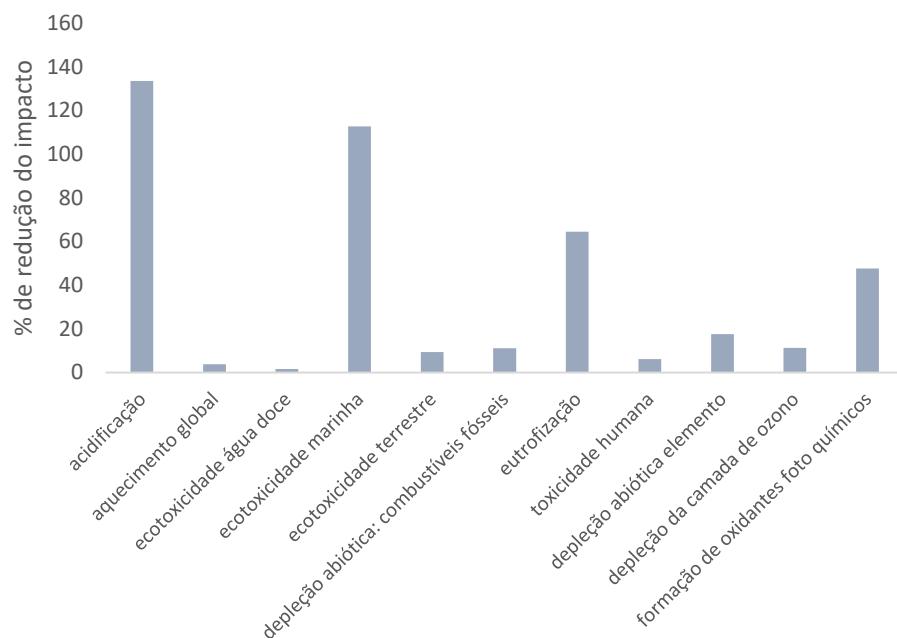
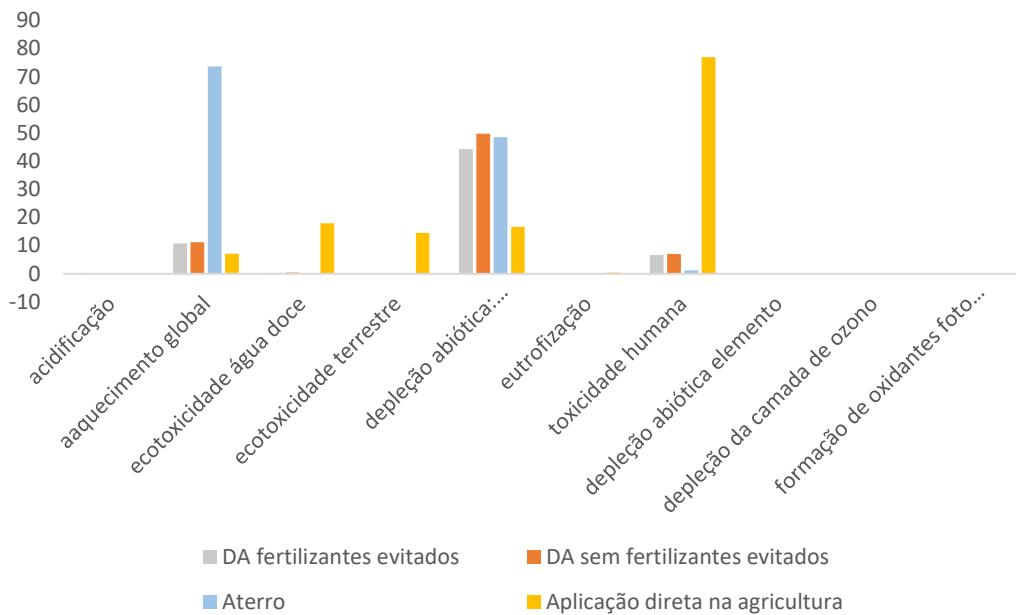


Figura 5. Resultados para o tratamento de lamas por digestão anaeróbia (fertilizantes evitados)



kg SO₂-Eq, kg CO₂-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, MJ, kg PO₄-Eq, kg 1,4-DCB-Eq, kg Sb-Eq, kg CFC-11-Eq, kg ethylene-Eq

Figura 6. Resultados para todas as opções

4 CONCLUSÕES

A aplicação direta das lamas no solo apresenta um impacto elevado na toxicidade humana. Relativamente ao envio para aterro, o processo a ele referente é o que apresenta um peso mais significativo em quase todas as categorias. No caso de tratamento por digestão anaeróbia este também é o processo que contribui mais em praticamente todas as categorias, mas a consideração dos fertilizantes evitados levou a uma redução significativa em muitas categorias. Esta situação pode melhorar ainda mais se for considerado o aproveitamento do biogás. É possível concluir que a aplicação direta tem impactos mais elevados em algumas categorias assim como a deposição em aterro. A DA apresenta, no

entanto, um impacto elevado na depleção abiótica, impacto esse que poderá ser compensado pelos fertilizantes evitados e pela utilização do biogás em substituição de gás natural.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT/MECI: LEPABE, UID/00511/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/00511/2025>) e UID/PRR/00511/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/PRR/00511/2025>) e ALiCE, LA/P/0045/2020 (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0045/2020>).

REFERÊNCIAS

- Ecoinvent, version 3, <https://ecoinvent.org>, acedido em setembro 2025
- Houdkova L., Boran J., Ucekaj V., Elsaser T., Stehlík P. (2008). Thermal processing of sewage sludge - II Applied Thermal Engineering 28 (2008) 2083–2088
- Pradel M., Reverdy A.L., Richard M., Chabat L. (2014). Environmental impacts of sewage sludge treatment and disposal routes: A Life Cycle Assessment perspective
- Richard M. (2013). Analyse du Cycle de Vie des filières de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées
- Yu S., Deng S., Zhou A., Wang X. and Tan H. (2023). Life cycle assessment of energy consumption and GHG emission for sewage sludge treatment and disposal: a review Frontiers in Energy research

Não deite tudo por água abaixo: Educação ambiental e envolvimento comunitário na gestão sustentável do saneamento

Rui Sousa ^{a,##}, Paulo Queirós ^a; Francisco Tinoco ^a; Cristina Rocha ^a

^a Águas do Norte, S.A.

RESUMO

A educação ambiental desempenha um papel essencial na sensibilização das comunidades para a correta utilização das infraestruturas de saneamento. A campanha 'Não Deite Tudo Por Água Abaixo' integra o Plano Estratégico de Comunicação da Águas do Norte e enquadrada na estratégia nacional 'Água que Une', assumindo-se como uma ação de educação para o desenvolvimento sustentável. Através do teatro ambiental, esta iniciativa promove o envolvimento comunitário e sensibiliza para a correta utilização das redes de saneamento que afetam coletores, bombas e estações elevatórias. O presente artigo analisa o contributo desta campanha como ferramenta de educação ambiental e destaca a importância do envolvimento comunitário na eficácia das ações de comunicação e educação ambiental. Além de indicadores educativos, comportamentais e de alcance, evidencia-se também indicadores operacionais desta abordagem, ao reduzir custos e reforçar a sustentabilidade das infraestruturas de saneamento. A campanha contribui ainda para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular os ODS 4, 6, 11, 12 e 13, consolidando a comunicação e educação ambiental como um instrumento estratégico para a gestão sustentável do ciclo urbano da água.

Palavras-Chave – Educação ambiental; ODS; envolvimento comunitário; saneamento; sustentabilidade

DESTAQUES

- A educação ambiental constitui uma ferramenta essencial para a sensibilização.
- O teatro ambiental promove o envolvimento comunitário.
- Os indicadores evidenciam o impacto desta campanha ao nível educativo e operacional.

^{##} Autor para correspondência.
E-mail: rui.sousa@adp.pt (Eng. R. Sousa)

Don't Throw It All Down: Environmental Education and Community Engagement in Sustainable Sanitation Management

Rui Sousa ^{a,ss}, Paulo Queirós ^a; Francisco Tinoco ^a; Cristina Rocha ^a

^a Águas do Norte, S.A.

ABSTRACT

Environmental education plays an essential role in raising awareness among communities about the correct use of sanitation infrastructure. The 'Don't Throw Everything Down the Drain' campaign is part of Águas do Norte's Strategic Communication Plan and is part of the national strategy 'Water that Unites' (*Água que Une*), assuming itself as an education action for sustainable development. Through environmental theatre, this initiative promotes community involvement and raises awareness about the correct use of sanitation networks that affect collectors, pumps and pumping stations. This article analyzes the contribution of this campaign as an environmental education tool and highlights the importance of community involvement in the effectiveness of communication and environmental education actions. In addition to educational, behavioural and outreach indicators, operational indicators of this approach are also evidenced, by reducing costs and reinforcing the sustainability of sanitation infrastructures. The campaign also contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs), in particular SDGs 4, 6, 11, 12 and 13, consolidating environmental communication and education as a strategic instrument for the sustainable management of the urban water cycle.

Keywords – Environmental education; SDGs; community engagement; sanitation; sustainability

HIGHLIGHTS

- Environmental education is an essential tool for raising awareness.
- Environmental theatre promotes community engagement.
- The indicators show the impact of this campaign at the educational and operational level.

^{ss} Autor para correspondência.
E-mail: rui.sousa@adp.pt (Eng. R. Sousa)

Tecnologias de suporte à gestão sustentável de resíduos, águas e águas residuais

Plano de Ação Regional para a Gestão de Resíduos Urbanos (NORTE 2030)

Paula Pinto^a, Rui Fonseca^{a,b,}, Andreia Maia^a, Joana Ferreira^a*

^a CCDR NORTE, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, I.P., Rua Rainha D. Estefânia, 251, 4150-304 Porto, Portugal

^b E2S, Escola Superior de Saúde, Instituto Politécnico do Porto, Rua Dr. Bernardino de Almeida, 400, 4200-072, Porto, Portugal

RESUMO

O Plano de Ação Regional para a Gestão de Resíduos Urbanos (NORTE 2030) visa transformar o sistema de gestão de resíduos urbanos da Região Norte de Portugal, alinhando-o com os objetivos nacionais e europeus de transição ecológica e da economia circular. Este Plano, regularizando os desafios específicos da região — como as elevadas taxas de recolha de resíduos indiferenciados (cerca de 80%) e de deposição em aterro (55%), propõe uma resposta estratégica baseada em inovação, investimento e formação técnica. Para a sua elaboração foram tidos em consideração vários documentos estratégicos, tais como o PROT NORTE, o PERSU 2030 e o Plano Nacional de Gestão de Resíduos. É de destacar a importância da recolha seletiva e da valorização dos biorresíduos, especialmente face às metas de reciclagem que serão revistas a partir de 2027. Promove uma abordagem integrada e colaborativa entre municípios, entidades gestoras, academia e cidadãos. O Plano é, assim, um instrumento de transformação regional, que é apoiado pelo Programa Regional NORTE 2030, tendo como objetivo final a consolidação de uma gestão de resíduos mais eficiente, circular e próxima das necessidades locais, contribuindo para um Norte mais sustentável, competitivo e coeso.

Palavras-chave – Resíduos Urbanos, Região Norte, Valorização Orgânica, Recolha Seletiva, PERSU 2030.

DESTAQUES

- Plano propõe uma estratégia integrada para gestão sustentável dos resíduos urbanos
- Recolha seletiva de biorresíduos constitui eixo central para atingir metas de reciclagem
- Plano prevê reforço da valorização orgânica/multimaterial, a redução da fração residual, diminuindo a deposição em aterro.
- Investimento, inovação e cooperação aumentam a eficiência da gestão regional de RSU

* Autor para correspondência.

E-mail: rui.fonseca@ccdr-n.pt; rmf@ess.ipp.pt (Dr. Rui Fonseca)

Regional Action Plan for Municipal Waste Management (NORTH 2030)

Paula Pinto^a, Rui Fonseca^{a,b,}, Andreia Maia^a, Joana Ferreira^a*

^a CCDR NORTE, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, I.P., Rua Rainha D. Estefânia, 251, 4150-304 Porto, Portugal

^b E2S, Escola Superior de Saúde, Instituto Politécnico do Porto, Rua Dr. Bernardino de Almeida, 400, 4200-072, Porto, Portugal

ABSTRACT

The Regional Action Plan for Municipal Waste Management (NORTE 2030) aims to transform the urban waste management system in Northern Portugal, aligning it with national and European goals for ecological transition and the circular economy. This Plan addresses the region's specific challenges — such as high rates of unsorted waste collection (around 80%) and landfill disposal (55%) — by proposing a strategic response based on innovation, investment, and technical training. Its development took into account several strategic documents, including the PROT NORTE, PERSU 2030, and the National Waste Management Plan. The importance of selective collection and the recovery of biowaste is particularly emphasized, especially in light of recycling targets that will be revised from 2027 onwards. The Plan promotes an integrated and collaborative approach among municipalities, managing entities, academia, and citizens. It is, therefore, a regional transformation tool supported by the NORTE 2030 Regional Programme, with the ultimate goal of consolidating a more efficient, circular, and locally responsive waste management system, contributing to a more sustainable, competitive, and cohesive North.

Keywords – Municipal Waste, Northern Region, Organic Recovery, Selective Collection, PERSU 2030

HIGHLIGHTS

- The Plan proposes an integrated strategy for sustainable urban waste management
- Selective collection of biowaste is a central pillar for achieving recycling targets
- The plan provides for reinforcement of organic/multi-material recovery, the reduction of the residual fraction, reducing landfill disposal.
- Investment, innovation and cooperation increase the efficiency of regional management of MSW

* Autor para correspondência.

E-mail: rui.fonseca@ccdr-n.pt; rmf@ess.ipp.pt (Dr. Rui Fonseca)

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2022 a produção de resíduos urbanos (RU) em Portugal foi de 5 323 mil toneladas (t), mantendo-se o valor praticamente constante face ao valor apurado em 2021 (crescimento de 0,24 p.p.). Em termos de destino final, 57% dos resíduos produzidos em Portugal continental foram depositados em aterro, enquanto 15% dos RU foram encaminhados para valorização energética.

O encaminhamento de RU para aterro, ano após ano, continua a representar uma percentagem muito significativa face à sua produção, tendo-se verificado um aumento de 1 p.p. relativamente ao ano anterior. No que se refere ao encaminhamento para valorização energética, houve uma diminuição de 4 p.p. face ao registado no ano de 2021. Tal como consta da Figura 1, verificou-se uma evolução de 2 p.p. no indicador de preparação de resíduos para reutilização ou reciclagem e um aumento de 1 p.p. relativamente ao ano anterior no que se refere à deposição em aterro.

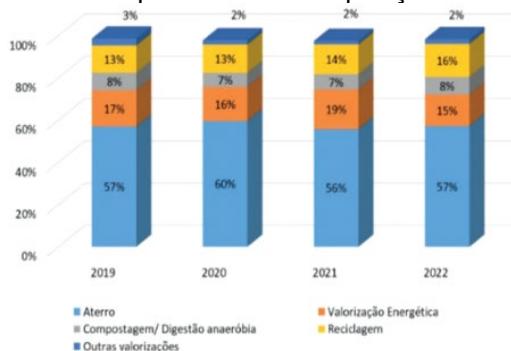


Figura 1. Evolução da produção de RU em Portugal (Fonte: RARU 2022).

Em Portugal, as orientações fundamentais da política de resíduos são dadas pelos seguintes instrumentos: Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR); Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU); Plano Estratégico para os Resíduos Não Urbanos (PERNU), que vem substituir os anteriores planos setoriais (Resíduos Hospitalares e Resíduos Industriais); Estratégia para os Biorresíduos. Os planos definem orientações, objetivos, ações e metas para a prevenção e gestão de resíduos, a nível nacional, que se traduzem em planos de ação a nível municipal.

Na Tabela 1 apresenta-se o resumo com o ponto de situação dos indicadores em função das metas nacionais a alcançar.

Tabela 1. Indicadores Nacionais em função das metas a alcançar (Fonte: RARU 2022).

| Indicador Nacional | Unidade | Referência (2019) | Situação em 2022 | Meta a alcançar | | |
|---|-------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|------|
| | | | | 2025 | 2030 | 2035 |
| Prevenção [Quantidade de resíduos produzidos] | kg/hab.ano | 513 kg/hab.ano | 510 kg/hab.ano | -5% Face a 2019 | -15% Face a 2019 | - |
| Preparação para reutilização e reciclagem | % de RU recicláveis | - | 33% | 55% | 60% | 65% |
| Deposição em aterro | % de RU depositados em aterro | - | 55% | - | - | 10% |

2 SITUAÇÃO NA REGIÃO NORTE

No ano de 2022 a produção de resíduos urbanos (RU) na Região Norte foi de cerca de 1600 mil toneladas (t), mantendo-se o valor praticamente constante face aos anos anteriores. As infraestruturas de tratamento e valorização existentes na região Norte são as seguintes, distribuídas geograficamente conforme a Figura 2:

- Catorze (14) aterros sanitários para Resíduos Urbanos (RU), correspondendo a 42% do número de aterros existentes em Portugal Continental.
- Uma unidade de valorização energética (incineração), da LIPOR, que representa 34% da capacidade instalada em Portugal Continental.
- Seis (6) instalações de tratamento biológico; das quais cinco (5) são TMB recebendo resíduos urbanos com origem na recolha indiferenciada e, 1 de Valorização Orgânica que recebe apenas resíduos provenientes de recolha seletiva de resíduos biodegradáveis.
- No que se refere às centrais de Triagem, encontram-se nesta região treze (13) instalações.
- A Região Norte não dispõe de infraestruturas de preparação de Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) de origem urbana, mas tem instaladas quatro (4) unidades de preparação de CDR de origem não urbana.



Figura 2. Distribuição das instalações de tratamento de resíduos urbanos existentes na Região Norte.

A Figura 3 apresenta o resultado desagregado, por SGRU, no que respeita ao encaminhamento de resíduos na Região Norte.

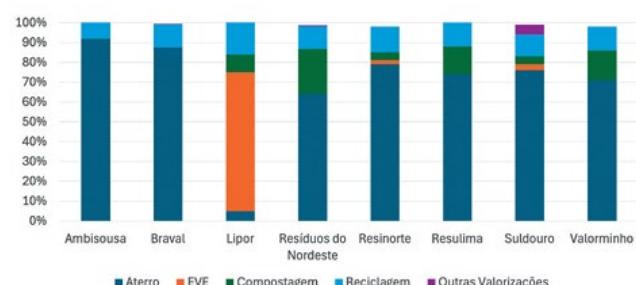


Figura 3. Destinos dos RU (%), por SGRU na Região Norte, em 2022 (Fonte: RARU 2022)

A Figura 4 permite uma análise, por SGRU, no que concerne ao encaminhamento final dos resíduos produzidos na Região Norte.

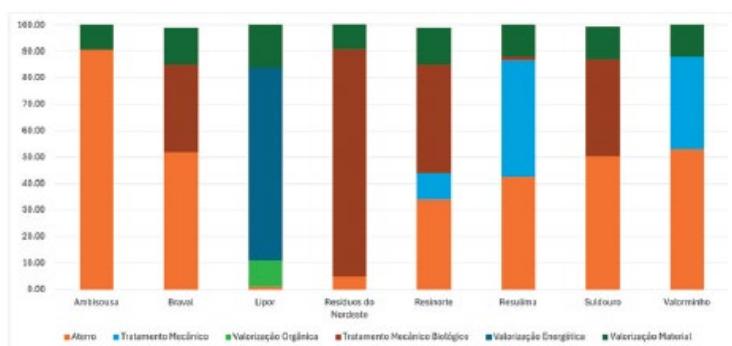


Figura 4. Destinos finais dos RU produzidos (%) na Região Norte/SGRU (Fonte: RARU 2022)

Seguindo a tendência nacional, também a nível da Região Norte, a principal solução de tratamento, continua a ser a deposição em aterro, com a exceção da LIPOR (único SGRU que detém uma Central de Valorização Energética, destino dos RU indiferenciados).

A Região Norte representa uma taxa de recolha indiferenciada de cerca de 80% e de deposição direta em aterro de cerca de 55% e uma preocupante falta de capacidade útil dos aterros na Região.

A Diretiva Aterros e respetiva transposição para o direito nacional, estabelece que apenas podem ser depositados em aterro os resíduos que tenham sido objeto de tratamento prévio. Estabelece, ainda, que até 2035, a quantidade de RU depositados em aterro deve ser reduzida para um máximo de 10% da quantidade total de RU produzidos, em peso.

Tendo em consideração a capacidade de aterro remanescente no final de 2021, foram estimadas no PERSU 2030, as quantidades a depositar ao longo dos anos, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Evolução da quantidade remanescente em aterro considerando o cenário de cumprimento de metas, na Região Norte (Fonte: PERSU 2030)

| Capacidade remanescente em 2021 (t) | Estimativa capacidade remanescente em 2024 (t) | Estimativa capacidade remanescente em 2025 (t) | Estimativa capacidade remanescente em 2027 (t) | Estimativa capacidade remanescente em 2030 (t) |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
| 4 092 005 | 1 384 563 | 1 081 971 | 606 959 | - 457 260 |

A análise desta Tabela 2 permite identificar que a Região Norte se encontra em situação crítica, sendo necessário criar alternativas, de modo a garantir a redundância do sistema.

Quer a valorização energética, quer a deposição em aterro, fazem parte de um sistema de gestão de resíduos que se quer resiliente, não se descurando, contudo, a necessidade de redução da utilização do aterro como opção de tratamento.

Existe uma unidade de incineração com valorização energética na região Norte dedicada à queima de RU indiferenciados, representando uma capacidade efetiva de cerca de 380 mil toneladas/ano. Esta capacidade deve ser considerada como um complemento à política de reciclagem, contribuindo para a economia circular ao valorizar resíduos da fração residual, devendo assegurar-se, no entanto, que esta solução não compromete o cumprimento de metas de prevenção e de preparação para reutilização e reciclagem.

Com o aumento da exigência em matéria de recolha seletiva, é admissível que estas unidades sejam um destino adicional para a fração residual, aproveitando assim o seu conteúdo energético, desde que observados, como referido, os pressupostos de redução e de recolha seletiva de fluxos valorizáveis a montante.

Para uma análise feita a uma escala regional, e num cenário de cumprimento de metas, estima-se em 2030 uma redução muito significativa dos quantitativos de fração residual, atingindo-se um valor de cerca de 1.7 milhões de toneladas, cerca de 56% inferior ao valor da fração residual de 2019 (3,9 milhões de toneladas).

Na Tabela 3 encontra-se a origem, evolução e encaminhamento da fração residual, na Região Norte, no cenário cumprimento de metas, de acordo com a informação constante do PERSU 2030.

Tabela 3. Origem, evolução e encaminhamento da fração residual, no cenário cumprimento de metas 2030 (Fonte: PERSU 2030)

| | Recolha indiferenciada (t) | Resultantes de tratamento (t) | Potencial de materiais recuperados (t) | Capacidade de processamento de M0 (t) | Potencial de produção de CDR (t) | Remanescente (t) | Capacidade de incineração dedicada com VE (t) | 10% escórias (t)* | Total possível de aterro | |
|------|----------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|---|------------------|---|-------------------|--------------------------|---------|
| 2030 | 610 345 | 32 799 | 10 707 | 16 111 | (inexistência de instalações de produção de CDR de RSU) | | 616 327 | 380 000 | 38 000 | 274 327 |

(*) Percentagem de escórias encaminhadas para aterro face às quantidades encaminhadas para VE

O contributo dos biorresíduos para a meta de preparação para reutilização e reciclagem é determinado de forma distinta em 2025 e em 2030, por via das disposições comunitárias em matéria de cálculo de metas. Em 2025 é ainda possível contabilizar na meta de preparação para reutilização e reciclagem os biorresíduos provenientes da recolha indiferenciada recuperados no tratamento mecânico, que sejam sujeitos a valorização orgânica. Após 2027, apenas podem ser incluídos para efeito de contabilização na meta biorresíduos provenientes de recolha seletiva.

Face ao exposto, a Tabela 4 apresenta as previsões de recolha de biorresíduos para o ano 2030, em alinhamento com o cenário de cumprimento de metas.

Tabela 4. Estimativa de recolha de Resíduos Urbanos na Região Norte (Fonte: PERSU 2030)

| Recolha de biorresíduos (t) | |
|-----------------------------|------------------|
| Ano | Recolha seletiva |
| 2030 | 391 978 |

Importa, assim, avaliar, eventuais necessidades de aumento de capacidade quer para recolha, quer para tratamento dos biorresíduos recolhidos seletivamente. Assim, a Tabela 5 mostra que para o quantitativo previsto de recolha seletiva de biorresíduos, de cerca de 391 978 toneladas em 2030 para a Região Norte, a capacidade instalada para tratamento de biorresíduos provenientes exclusivamente da recolha seletiva é manifestamente insuficiente. Para este exercício importa igualmente considerar a capacidade instalada de tratamento biológico acoplada a unidades de TMB existentes, que pode ser reconvertida para colmatar as capacidades em défice para tratamento de biorresíduos recolhidos seletivamente.

Tabela 5. Capacidades existentes e necessárias na Região Norte (Fonte: PERSU 2030)

| Tratamento de biorresíduos recolhidos seletivamente (t) | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Ano | Capacidade existente (1) | Capacidade adicional 2023 (2) | Capacidade necessário (3) | Diferencial (4) |
| 2030 | 54 000 | 58 337 | 391 978 | 279 649 |
| | | | | 181 753 |

O cumprimento de metas é alcançado através de um cenário em que se verifica um aumento significativo ao nível dos materiais retomados, quer na qualidade quer na eficiência dos processos de recuperação de recicláveis, em alinhamento com o aumento da recolha seletiva de biorresíduos e da reciclagem na origem (por exemplo compostagem doméstica e/ou comunitária), a par de uma efetiva prevenção na produção de resíduos.

Assume-se, desde logo, uma forte aposta na recolha dos biorresíduos e respetivo tratamento, com especial contributo para a meta no final do presente período de planeamento, altura em que se perspetiva que a recolha seletiva e a reciclagem na origem estarão plenamente implementadas. O reflexo que esta separação terá na qualidade do material retomado é, obviamente, considerado, nomeadamente no fluxo multimaterial, prevendo-se taxas de retoma muito elevadas.

Por outro lado, e tendo presente os valores previstos de recolha do fluxo multimaterial, importa avaliar a capacidade de tratamento disponível na Região Norte, com o intuito de identificar eventual necessidade da criação de capacidade adicional, por forma a acomodar os quantitativos que se preveem recolher. Assim, a Tabela 6 apresenta uma estimativa regional das necessidades futuras, em 2030.

Tabela 6. Capacidades existentes e necessárias, na Região Norte (Fonte: PERSU 2030)

| Ano | Linha de plástico/metal/ECAL (t) | | | | | Linha de papel/cortão (t) | | | | |
|------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | Capacidade disponível | Capacidade adicional 2023 | Capacidade necessária | Contributo de ERE para o total | Capacidade deficitária 2030 | Capacidade disponível | Capacidade adicional 2023 | Capacidade necessária | Contributo de ERE para o total | Capacidade deficitária 2030 |
| 2030 | 60 243 | 50 510 | 244 609 | 165 819 | 133 856 | 97 578 | 1100 | 141 777 | 91 869 | 43 099 |

Uma análise das capacidades disponíveis e necessárias, mostra de forma evidente, um défice substancial de capacidade a nível da linha de plástico, metal e ECAL, e um défice menos significativo relativamente à linha de papel e cartão.

3 ESTRATÉGIA PARA A REGIÃO NORTE

Importa considerar a forma como a valorização orgânica contribui para as metas de preparação para reutilização e reciclagem (PRR) de resíduos urbanos. A partir de 2027, apenas os biorresíduos recolhidos seletivamente serão contabilizados para a meta de PRR na quantidade efetivamente sujeita ao processo de valorização orgânica, ou seja, após quaisquer processos de limpeza ou triagem que sejam necessários para uma valorização de elevada qualidade. Além disso, é importante destacar que existe uma preocupação com a eficiência dos processos de triagem multimaterial: sendo apenas a fração recuperada a que será contabilizada para as metas. A combinação destes dois aspetos aumenta de forma substancial a ambição destas metas. A redução da deposição em aterro é também um desafio por si, mas que depende em grande medida da infraestruturação do setor.

Desta forma, considera-se como objetivos estratégicos para a Região Norte:

- Reduzir a produção de resíduos;
- Promover a recolha seletiva de biorresíduos;
- Triplicar a capacidade das instalações de valorização orgânica, e melhorar a eficiência das atuais;
- Aumentar a recolha seletiva multimaterial (papel, plástico, embalagens, vidro, ...);
- Duplicar a capacidade das instalações de preparação para reutilização e de reciclagem, e melhorar a eficiência das atuais;
- Aumentar a eficiência das instalações de triagem e a capacidade de triagem de resíduos urbanos;
- Melhorar a qualidade dos resíduos que saem da triagem;
- Diminuir a deposição de resíduos urbanos em aterro;
- Diminuir a produção da fração resto.

Para o cumprimento das metas, será necessário focar na recolha seletiva, aproximando-a do produtor e especializando de forma a oferecer soluções para todos os tipos de resíduos e não apenas aqueles que são produzidos em maiores quantidades. O fluxo com maior potencial de crescimento são os biorresíduos. Para além da recolha seletiva, será necessário também reformular as atividades de triagem para aproximar dos níveis de eficiência assumidos no PERSU 2030.

Face ao exposto e de forma resumida, considera-se prioritário para a Região Norte:

- **Valorização Orgânica em Alta:** Em territórios de alta densidade populacional, serão necessários cerca de 390 mil t de valorização orgânica, através de unidades dedicadas de compostagem/digestão anaeróbia, que deverão estar concentradas na zona litoral, complementados com aumento da capacidade da área Mirandela- Vila Real para servir o Interior Norte.
- **Valorização orgânica em Baixa:** Será necessário que os Municípios/Sistemas reforcem a capacidade de recolha seletiva dos biorresíduos ou, em alternativa, apostem no tratamento na origem dos mesmos, através de compostagem doméstica e comunitária, com ênfase nos territórios de baixa densidade populacional.
- **Triagem:** Três a quatro novos centros de triagem de grande escala, desejavelmente concentrados na zona litoral, e o reforço na área Mirandela — Vila Real.

- **Valorização Energética:** Avaliar a necessidade de aumentar a capacidade de valorização energética existente, de modo a promover o desvio de resíduos para aterro, em particular da fração resto.
- **Aterro:** Dever-se-á privilegiar a concentração da deposição de resíduos nos aterros existentes e em novas células de dimensão que permitam servir, numa abordagem territorial, o Interior Norte e o Litoral Norte.

REFERÊNCIAS

- “PERSU2020+ Reflexão Estratégica e Ajustamentos às Medidas do PERSU 2020”, elaborado pela Agência Portuguesa do Ambiente, julho 2019.
- Relatório final do “Estudo Prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incindindo em especial sobre o fluxo dos biorresíduos” (Ernst&Young, 2019), Agência Portuguesa do Ambiente, julho 2019.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 98/2020, de 13 de novembro, que aprova a “Estratégia Portugal 2030”.
- “PERSU 2020 Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2014 - 2020 - Relatório de Monitorização 2019”, elaborado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos”, dezembro 2020.
- Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro (na sua redação atual), que aprova o Regime Geral da Gestão de Resíduos, o Regime Jurídico da Deposição de Resíduos em Aterro e altera o Regime da Gestão de Fluxos Específicos de Resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852.
- “Relatório Anual — Resíduos Urbanos 2022” (RARU 2022), elaborado pela Agência Portuguesa do Ambiente.
- “Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) - Recuperar Portugal, Construindo o Futuro”, Ministério do Planeamento, 22 de abril de 2021.
- “Estudo sobre a caracterização da recolha e tratamento no âmbito dos resíduos urbanos em Portugal Continental”, elaborado pela Ambirumo, junho 2021.
- “Relatório Síntese do Workshop “VALORIZAÇÃO AMBIENTAL E GESTÃO DE RESÍDUOS”, elaborado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, julho 2021.
- “Um País mais verde - Objetivo Estratégico 2 (OP2)”, MAAC, setembro 2021.
- “Proposta do Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2030”, elaborada pela Agência Portuguesa do Ambiente.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023, de 24 de março, que aprova o “Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2030” (PNGR 2030).
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2023, de 24 de março, que aprova o “Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2030” (PERSU 2030).
- Programa Regional do Norte 2021-2027.
- <https://poseur.portugal2020.pt/>

Gestão de resíduos urbanos em contexto arquipelágico: o caso de sucesso da ilha do Corvo, Açores

José Silva ^a, Óscar Rocha ^b, Hugo Pacheco ^{c,***}

^a Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^b Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^c Desafios Sustentáveis, Largo do Bispo 9900-102, Portugal

RESUMO

Este estudo avalia os resultados da gestão de resíduos urbanos (RU) no concelho do Corvo, o mais pequeno de Portugal, destacando-o como referência em contexto insular sujeito a fortes restrições logísticas, como as causadas pela descontinuidade territorial, agravadas pela inoperacionalidade frequente do aeroporto e do porto comercial. Enquanto a produção de RU na Região Autónoma dos Açores (RAA) tem vindo a aumentar aos longo dos anos, tendo atingido em 2024 um total de 153.404 toneladas de RU, o Corvo registou 268 toneladas e mantém tendência decrescente desde 2022. Tal resultado reflete a eficácia de uma estratégia municipal inovadora, baseada na recolha seletiva Porta-a-Porta (PAP) integral, situação única na RAA, com a disponibilização de ecopontos em todas as habitações e com ações de sensibilização cívica. Desde 2021, a ilha alcançou a meta de "Aterro Zero", assegurando a valorização de 100% dos resíduos. Em 2024, a reciclagem superou 75%, ultrapassando em larga escala a média regional de 31%. Este modelo, apoiado no uso de viaturas elétricas de recolha de RU, afirma-se como exemplo de sustentabilidade e resiliência para pequenas comunidades insulares.

Palavras-Chave – Resíduos Urbanos, Ilha do Corvo, Recolha Porta-a-Porta, Valorização Material (reciclagem), Aterro Zero

DESTAQUES

- Modelo suportado na recolha seletiva porta-a-porta universal.
- A Valorização Material (reciclagem) no Corvo excede 75% dos resíduos tratados.
- Sistema de gestão de RU com 100% de valorização e "Aterro Zero".

*** Autor para correspondência.

E-mail: hugopac@gmail.com (Eng. H. Pacheco)

Urban waste management in an archipelagic context: the case study of Corvo island, Azores

José Silva ^a, Óscar Rocha ^b, Hugo Pacheco ^{c,†††}

^a Municipality of Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^b Municipality of Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^c Desafios Sustentáveis, Largo do Bispo 9900-102, Portugal

ABSTRACT

This study evaluates the results of urban waste (UW) management in the municipality of Corvo, the smallest in Portugal, highlighting it as a benchmark in an insular context subject to severe logistical constraints, such as those caused by territorial discontinuity, which are aggravated by the frequent inoperability of the airport and commercial port. While the production of UW in the Regional Autonomous of the Azores (RAA) has been increasing over the years, reaching a total of 153,404 tonnes in 2024, Corvo registered 268 tonnes and has maintained a decreasing trend since 2022. This result reflects the effectiveness of an innovative municipal strategy, based on full door-to-door selective collection (DDC), a unique situation in the RAA, with the provision of recycling bins in all homes and civic awareness campaigns. Since 2021, the island has achieved the "Zero Landfill" goal, ensuring the valorisation of 100% of its waste. In 2024, recycling exceeded 75%, greatly surpassing the regional average of 31%. This model, supported by the use of electric UW collection vehicles, affirms itself as an example of sustainability and resilience for small insular communities.

Keywords – Urban Waste, Corvo Island, Door-to-Door Collection, Material Recovery (recycling), Zero Landfill.

HIGHLIGHTS

- Model supported by universal door-to-door selective collection.
- Material Recovery (Recycling) on Corvo Island exceeds 75% of the waste treated.
- UW (Urban Waste) management system with 100% valorisation and "Zero Landfill".

^{†††} Autor para correspondência.
E-mail: hugopac@gmail.com (Eng. H. Pacheco)

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos Resíduos Urbanos (RU), configura um desafio multifacetado que se intensifica significativamente em contextos insulares e arquipelágicos, com acontece nos Açores. Nesses pequenos territórios, as intrincadas questões de escala populacional, os impositivos da logística de transporte e a descontinuidade territorial não apenas impõem constrangimentos operacionais e económicos notáveis, mas também elevam a necessidade de resiliência. A dependência de rotas marítimas, a capacidade limitada das infraestruturas locais de tratamento e a vulnerabilidade intrínseca a interrupções de índole climática exigem, de facto, a adoção de estratégias de gestão altamente eficientes e robustas.

No cenário específico da Região Autónoma dos Açores (RAA), o panorama recente, espelhado no Relatório SRIR (Sistema Regional de Informação sobre Resíduos) de 2024, sinaliza uma tendência preocupante. O documento demonstra um aumento na produção de RU, que alcançou um volume agregado de 153.404 toneladas, representando um acréscimo de 2,7% face ao ano precedente. Este crescimento regional sublinha, com inegável urgência, a premente necessidade de se implementar políticas públicas que priorizem a prevenção e a valorização dos materiais, em estrita consonância com os princípios estruturantes da economia circular.

É precisamente neste quadro de desafios regionais que a performance singular do concelho do Corvo, o município com menor dimensão territorial e populacional do país, ascende a uma relevância ímpar para a investigação aplicada e a gestão ambiental. Esta ilha, caracterizada por profundas condicionantes arquipelágicas – como o isolamento geográfico extremo e a frequente inoperacionalidade das suas vias de acesso por motivos meteorológicos – possui, simultaneamente, o estatuto de Reserva da Biosfera da UNESCO. Ademais, consolidou-se como o primeiro município nas Regiões Autónomas de Portugal a formalizar um compromisso inequívoco com a exigente certificação “Zero Resíduos”.

O presente estudo analítico dedica-se, portanto, a dissecar o modelo de gestão de resíduos implementado no Corvo, cujos resultados alcançados em 2024 se distinguem de forma marcada do panorama regional. A produção de RU na ilha foi de 268 toneladas, mantendo uma trajetória de decréscimo consistente desde 2022. Os dados relativos ao tratamento revelam uma taxa de valorização material de 100%, com a eliminação total da deposição em aterro, e uma reciclagem que ultrapassa os 75%, superando significativamente a média regional de 31%. Tais conquistas resultam de uma estratégia municipal coerente, centrada na recolha seletiva porta-a-porta (PAP) universal – um caso paradigmático e único no contexto açoriano. Esta abordagem é robustamente apoiada por um investimento camarário na dotação de ecopontos em toda a extensão do concelho, e é complementada por ações intensivas de educação e sensibilização voltadas para a prevenção. De realçar, ainda, a recente substituição da frota de veículos de recolha a combustão por viaturas elétricas, um passo que reforça a sustentabilidade intrínseca da operação logística.

A análise técnica aprofundada destes resultados notáveis e das estratégias subjacentes não oferece apenas um vislumbre de sucesso; ela configura um *benchmark* crucial e de valor inestimável. Demonstra, assim, a viabilidade de conceber e implementar sistemas de gestão de resíduos altamente adaptados a pequenos territórios insulares e a outras comunidades que enfrentam constrangimentos semelhantes de elevada descontinuidade territorial.

O caso do Corvo, por conseguinte, transcende o seu limite geográfico e instiga uma reflexão metodológica fundamental para o setor.

2 A ESTRUTURA CENTRAL DA GESTÃO MUNICIPAL: O MODELO PORTA-A-PORTA

A estratégia municipal de gestão de Resíduos Urbanos (RU) na ilha do Corvo materializa-se inequivocamente no seu projeto de recolha seletiva Porta-a-Porta (PAP). Este projeto, que constitui o cerne de toda a política ambiental da autarquia, foi concebido com a ambição de superar as metas regionais, nacionais e europeias, concentrando os seus esforços na minimização da deposição em aterro e, correspondentemente, na maximização da valorização material. A iniciativa foi integralmente assumida pelo Município do Corvo, o qual realizou o investimento necessário para a aquisição e instalação de ecopontos dedicados em cada habitação e em todos os espaços públicos do concelho, demonstrando um compromisso financeiro e logístico notável.

2.1 Carácter inovador e o rigor operacional

O principal diferencial do projeto, o seu vetor de inovação, reside indubbiamente na sua abrangência territorial total e no modelo operacional implementado. O facto de a recolha seletiva PAP cobrir 100% de todo o concelho configura uma situação singular e inédita no arquipélago dos Açores, confrontando e superando as complexidades inerentes à gestão em um território insular isolado e de reduzida dimensão.

Este modelo operacional não é apenas uma escolha logística; é um imperativo de qualidade. Permite uma rastreabilidade e um controlo de qualidade dos fluxos de resíduos que seriam inatingíveis através dos métodos tradicionais de recolha coletiva por contentores de proximidade. Todo o sistema é eficazmente suportado pela operação do Centro de Processamento de Resíduos (CPR) do Corvo, que integra uma Estação de Triagem e uma Estação de Transferência, cuja gestão está concessionada a uma entidade privada, garantindo a correta separação e o encaminhamento especializado dos materiais para as respectivas fileiras de valorização.

2.2 Contributo tangível: aterro zero e a maximização da valorização

O sistema PAP revela-se a principal alavancas para a excelência dos resultados de tratamento alcançados no Corvo, especialmente para dar cumprimento à meta ambiciosa de "Aterro Zero" e a obtenção de uma taxa de valorização material elevadíssima.

- Aterro Zero: Em 2024, verificou-se que 100% dos RU produzidos na Ilha do Corvo foram valorizados, não se registando, por conseguinte, qualquer deposição em aterro. Este resultado paradigmático é alcançado através do encaminhamento meticoloso dos refugos remanescentes do CPR para valorização energética (incineração) na Ilha Terceira, fechando o ciclo de tratamento de forma eficaz.
- Maximização da Valorização Material: A proximidade e a monitorização da qualidade inerentes ao modelo PAP, com o seu contacto direto, impulsionaram notavelmente a separação na origem por parte dos cidadãos. Em 2024, a valorização material (reciclagem) atingiu uns expressivos 75,28% dos resíduos tratados no CPR, ultrapassando substancialmente a média de valorização material da RAA (que se situa nos 31%), o que sublinha a eficácia do método.

2.3 O impacto multifacetado na sustentabilidade

A performance do projeto do Corvo irradia para além dos indicadores técnicos, consolidando-se em pilares de sustentabilidade social e ambiental.

2.3.1 Sustentabilidade social: reforço cívico e educacional

O projeto assenta numa forte componente de sustentabilidade social e responsabilidade cívica. O Município do Corvo investe ativamente na prevenção da produção de resíduos através de diversas e contínuas ações de educação e sensibilização dirigidas a toda a população. Este esforço pedagógico, acoplado à conveniência da recolha PAP, facilita uma profunda mudança de comportamento e estimula um elevado envolvimento dos cidadãos

no processo. A distinção da ilha como Reserva da Biosfera da UNESCO e o compromisso “Zero Resíduos” amplificam o sentido de pertença e a importância do papel ativo da comunidade na preservação do seu ambiente.

2.3.2 Sustentabilidade ambiental: proteção e descarbonização

O impacto ambiental do projeto é discernível em diversos vetores cruciais para um ecossistema insular:

- Redução da Produção de RU: A combinação estratégica da prevenção com o modelo de recolha implementado permitiu que a Ilha do Corvo registasse uma redução consistente na produção de RU desde 2022, contrariando uma tendência de aumento observada no restante contexto regional.
- Descarbonização da Logística: A substituição das viaturas de recolha a combustão por viaturas elétricas em todo o concelho é um passo determinante.

3 RESULTADOS

Os resultados de 2024, extraídos do Sistema Regional de Informação sobre Resíduos (SRIR), consolidam a eficácia da estratégia de gestão de RU na Ilha do Corvo, especialmente quando contrastados com a RAA.

- Produção de Resíduos Urbanos (RU): De acordo com a Figura 1, a RAA produziu um total de 153.404 toneladas de RU em 2024, representando um aumento de 2,7% face ao ano anterior (149.427 toneladas). Em contraponto, a ilha do Corvo produziu 268 toneladas de RU, sendo que a sua produção tem vindo a registrar uma redução desde 2022.

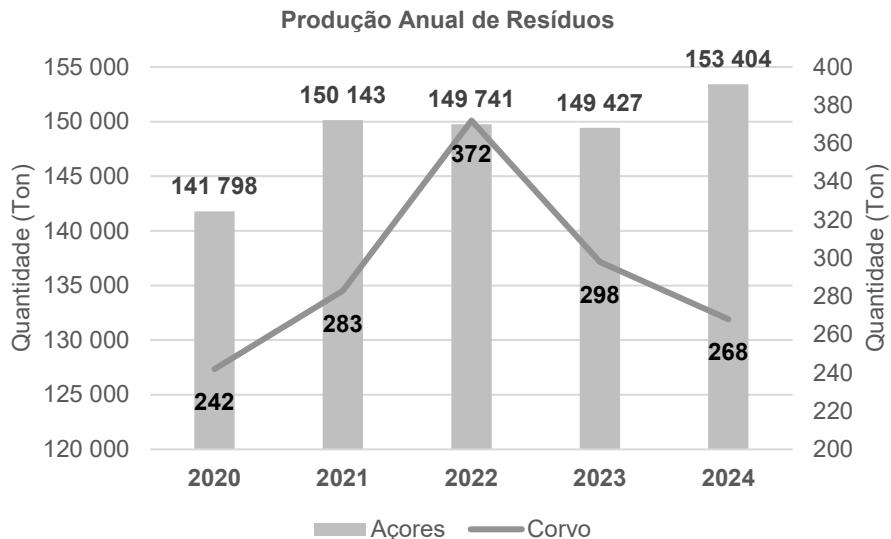


Figura 1 - Produção anual de resíduos nos Açores e ilha do Corvo, em toneladas (fonte: SRIR 2024)

- Valorização Total e Eliminação: De acordo com a Figura 2, em 2024, 77% dos RU produzidos na RAA foram valorizados (31% material, 30% orgânica e 16% energética), com a deposição em aterro a situar-se nos 23%. A Ilha do Corvo alcançou a valorização total (100%) dos seus RU, com zero toneladas depositadas em aterro, encaminhando os refugos para a valorização energética na Ilha Terceira.
- Valorização Material (Reciclagem): A valorização material (Figura 2) na RAA fixou-se nos 31% dos resíduos produzidos. Na Ilha do Corvo, a valorização material

atingiu 75% dos RU produzidos, demonstrando a excelência do sistema PAP na separação e recuperação de fluxos.

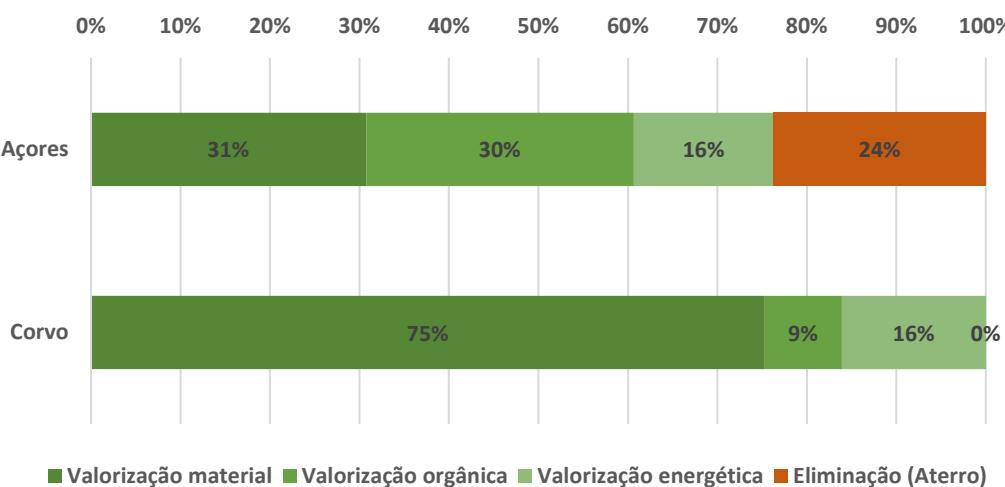


Figura 2 - Operações de tratamento de RU nos Açores e ilha do Corvo, em % (fonte: SRIR, 2024)

4 CONCLUSÕES

O caso de gestão de resíduos urbanos na ilha do Corvo, alicerçado no projeto de recolha seletiva Porta-a-Porta (PAP) e no forte investimento em educação ambiental e infraestruturas descarbonizadas, demonstra a viabilidade de alcançar patamares de excelência na gestão de RU mesmo em contextos de elevada vulnerabilidade arquipelágica e isolamento logístico.

A estratégia municipal produziu resultados notáveis, como a obtenção de 100% de valorização dos resíduos e o estatuto de "Aterro Zero" em 2024, um objetivo estratégico para a RAA. A taxa de valorização material de 75 % atesta a eficácia da recolha PAP na otimização da separação na origem, provando ser um modelo superior em termos de qualidade e recuperação de materiais face à média regional.

A sustentabilidade do projeto é ainda reforçada pela sua vertente social, que se traduz numa contenção da produção de resíduos em contraste com a tendência regional, e pela adoção de viaturas elétricas na recolha.

Embora a Meta PRR da ilha tenha registado uma taxa de 40%, a alteração na metodologia de cálculo e a dependência do encaminhamento para a valorização energética na Ilha Terceira – uma solução de gestão em alta que confere resiliência – não diminuem a importância do sucesso da gestão em baixa (municipal).

O modelo da ilha do Corvo, enquanto Reserva da Biosfera, deve ser considerado um referencial (*benchmark*) para a implementação de sistemas de gestão de resíduos em pequenas comunidades insulares e remotas, demonstrando que a descentralização da responsabilidade e a proximidade da recolha, quando conjugadas com um forte investimento cívico e tecnológico, superam os desafios logísticos inerentes ao ambiente arquipelágico.

REFERÊNCIAS

Secretaria Regional do Ambiente e Ação Climática (2025). *Relatório Anual SRIR de Informação sobre Resíduos (2017-2024)*. Região Autónoma dos Açores.

Gestão da água em contexto arquipelágico: o caso de sucesso da ilha do Corvo, Açores

José Silva ^a, Óscar Rocha ^b, Hugo Pacheco ^{c.###}

^a Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^b Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^c Desafios Sustentáveis, Largo do Bispo 9900-102, Portugal

RESUMO

A presente investigação debruça-se sobre a análise da gestão do abastecimento de água no concelho do Corvo, o município insular mais diminuto e geograficamente mais isolado da Região Autónoma dos Açores (RAA). Recorrendo à interpretação dos Relatórios Anuais publicados pela ERSARA entre 2021 e 2024, esta abordagem permitiu descortinar a elevada performance operacional da entidade gestora (EG). O conjunto de dados coligidos demonstram o desempenho exemplar da EG, que alcançou, de forma consecutiva, a marca de 100 de conformidade no indicador “Água Segura” ao longo do triénio mais recente (2022–2024), sendo por isso distinguida com o Selo de Qualidade da Água ERSARA. É também descrito o sistema de abastecimento da ilha do Corvo, assente exclusivamente na captação de águas superficiais e pluviais, situação única na RAA. Conclui-se que estes resultados de excelência decorrem de uma estratégia municipal integrada, que combina o investimento em gestão preditiva de infraestruturas (cadastro de redes e controlo operacional). São ainda discutidos os desafios operacionais decorrentes da ultraperiferia, nomeadamente as interrupções nas ligações aéreas que dificultam o cumprimento dos prazos de monitorização laboratorial da qualidade da água.

Palavras-Chave –Gestão de Água em Ilhas, Qualidade da Água, Qualidade Serviços, Resiliência de Sistemas, Corvo

DESTAQUES

- Corvo alcançou 100% de água segura nos Açores 2022 a 2024.
- Reconhecimento consecutivo pela ERSARA com o Selo de Qualidade.
- Logística de amostragem limitada pela descontinuidade territorial.

Autor para correspondência.
E-mail: hugopac@gmail.com (Eng. H. Pacheco)

Water management in an archipelagic context: the case study of Corvo island, Azores

José Silva^a, Óscar Rocha^b, Hugo Pacheco^{c,sss}

^a Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^b Câmara Municipal do Corvo, Jogo da Bola 9980-024, Portugal

^c Desafios Sustentáveis, Largo do Bispo 9900-102, Portugal

ABSTRACT

This investigation focuses on the analysis of water supply management in Corvo, the smallest and most geographically isolated island municipality in the Autonomous Region of the Azores (RAA). By interpreting the Annual Reports published by ERSARA between 2021 and 2024, this approach allowed for the identification of the managing entity's (ME) high operational performance. The collected data demonstrates the exemplary performance of the ME, which consecutively achieved a 100% compliance score in the "Safe Water" indicator over the most recent three-year period (2022–2024), thus being honored with the ERSARA Water Quality Seal. The Corvo island supply system is also described, relying exclusively on the catchment of surface and rainwater, a unique situation within the RAA. It is concluded that these excellent results stem from an integrated municipal strategy, which combines investment in predictive infrastructure management (network inventory and operational control). Operational challenges resulting from ultra-peripherality are also discussed, notably interruptions in air connections that complicate compliance with deadlines for laboratory monitoring of water quality

Keywords – Island Water Management, Water Quality, Service Quality, System Resilience, Corvo.

HIGHLIGHTS

- Corvo achieved 100% safe water in the Azores from 2022 to 2024..
- Consecutive recognition from ERSARA with the Water Quality Seal.
- Sampling logistics constrained by territorial discontinuity".

^{sss} Autor para correspondência.
E-mail: hugopac@gmail.com (Eng. H. Pacheco)

1 INTRODUÇÃO

O setor da gestão de sistemas de abastecimento de água em territórios insulares – especialmente em arquipélagos que vivem com uma acentuada descontinuidade territorial – está constantemente a bater-se contra desafios operacionais, logísticos e de sustentabilidade. Isto, claro, exige que se pensem soluções técnicas e estratégicas profundamente diferenciadas.

É um verdadeiro quebra-cabeças manter padrões elevados de qualidade do serviço, em estrita observância das exigentes diretrizes europeias e nacionais. A tarefa é particularmente complexa nestes territórios onde a pequena escala demográfica se combina inevitavelmente com o isolamento geográfico. Aqui, o sucesso não se mede apenas pela conformidade; mede-se, sobretudo, pela capacidade de resiliência perante estes constrangimentos.

É neste quadro de pressões que este trabalho científico se propõe a analisar o caso tão singular do concelho do Corvo, o município com a menor dimensão populacional de Portugal. O Corvo emerge, de facto, como um exemplo notório de sucesso na gestão do abastecimento de água para consumo humano no contexto da Região Autónoma dos Açores (RAA).

Focámo-nos no período mais recente (2022–2024), recorrendo à análise minuciosa dos Relatórios Anuais de Controlo de Qualidade da Água para Consumo Humano (RACQACH) e aos dados da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA). A investigação cruza estes indicadores de performance com uma avaliação das particularidades logísticas e operacionais intrínsecas ao sistema local.

A proposta de trabalho alinha-se com a urgência de documentar e partilhar boas práticas de gestão que sejam replicáveis em contextos de ultraperiferia. O objetivo é demonstrar, com todo o rigor, como uma gestão proativa e profundamente empenhada – sustentada por um investimento estratégico tanto em infraestruturas como em conhecimento aprofundado do sistema – pode não só mitigar as vulnerabilidades inerentes ao contexto arquipelágico, mas também alcançar e manter a excelência regulatória e operacional.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O sistema de abastecimento de água da Ilha do Corvo atende o único concelho e respetivo aglomerado populacional, a Vila do Corvo, caracterizando-se pela sua tipologia predominantemente rural. O sistema serve uma população residente de 384 habitantes, valor que se verifica ser significativamente mais elevado em períodos de ponta, designadamente na época de verão, devido ao aumento do turismo na ilha, que é classificada como Reserva da Biosfera da UNESCO. A gestão do serviço é efetuada em regime direto pela Câmara Municipal do Corvo, operando num modelo verticalizado que abrange as componentes em alta e em baixa.

A captação da água destina-se, em exclusivo, ao consumo humano e é realizada a partir de duas lagoas artificiais que armazenam águas superficiais e pluviais, designadas Lagoa Artificial – Lagoa II e Lagoa Artificial – Lagoa. Este modo de captação é singular na RAA, pois o Corvo é o único concelho nos Açores cujo abastecimento é assegurado exclusivamente por esta tipologia de origem de água. A capacidade total de armazenamento superficial destas lagoas atinge os 33.000 m³, garantindo a reserva estratégica para a totalidade do abastecimento destinado ao consumo humano e restantes tipologias de uso.

O regime de captação superficial exige um rigoroso e complexo processo de tratamento antes da distribuição. A água bruta é sujeita a tratamento físico-químico na Estação de Tratamento de Água (ETA) do Portão, que inclui fases de gradagem da água bruta, decantação, filtração (com recurso a filtro de areia) e desinfeção por injeção de hipoclorito

de sódio. Adicionalmente, de forma a manter uma barreira sanitária eficaz em toda a rede de distribuição, o sistema do Corvo diferencia-se por ser a única entidade gestora na RAA a submeter toda a água a um processo de re-cloragem no Reservatório do Caminho Velho do Maranhão previamente à sua distribuição.

A resiliência do sistema é, contudo, desafiada por fatores de isolamento geográfico extremo e descontinuidade territorial, característicos da ilha. Estes fatores, acentuados por interrupções nas ligações marítimas e aéreas devido a condições climatéricas adversas (especialmente no inverno), resultando em constrangimentos logísticos significativos. A imprevisibilidade de voos regulares e o seu cancelamento dificultam, em muitos períodos, o envio atempado das amostras de água para laboratório acreditado, pondo em causa o cumprimento dos prazos regulamentares para a recolha e processamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade da água para consumo humano

Quando olhamos para os indicadores de performance regulatória no Corvo, em especial no que toca à qualidade da água para consumo humano, o que salta à vista é uma trajetória de excelência sustentada. É um resultado que contraria todas as vulnerabilidades que associamos à sua localização ultraperiférica.

Observando o Quadro 1, relativo ao indicador de avaliação de segurança hídrica – percentagem de Água Segura, que representa a percentagem de análises realizadas na rede de distribuição que cumpriram a totalidade dos valores paramétricos legais –, atingiu um patamar de 100% de conformidade no último triénio avaliado, isto é, de 2022 a 2024 (ERSARA, 2023; ERSARA, 2024a; ERSARA, 2025).

Estes resultados, que confere ao Município do Corvo o estatuto de melhor desempenho na Região Autónoma dos Açores no que tange à qualidade da água nos últimos três anos, constitui uma evidência robusta da eficácia das medidas de controlo operacional implementadas. O facto de o sistema operar exclusivamente com águas superficiais/pluviais, exigindo um processo de tratamento mais complexo do que o usual em captações subterrâneas, realça o rigor e a resiliência do tratamento físico-químico adotado, que inclui filtração desinfecção e re-cloragem prévia à distribuição, estratégias preventivas vitais no contexto insular.

A confirmação desta excelência é corroborada pela distinção atribuída pela ERSARA através do Selo de Qualidade da Água para Consumo Humano, galardão que o Município do Corvo tem recebido de forma consecutiva nos anos mais recentes (2022 a 2024). Este reconhecimento não é meramente descritivo, mas sim o reflexo da conjugação de fatores como o cumprimento integral (100%) da frequência de amostragem e a inexistência de incumprimentos dos valores paramétricos. Estes dados demonstram, inequivocamente, a capacidade da entidade gestora em manter uma barreira sanitária eficaz e uma monitorização rigorosa em toda a rede.

Contudo, esta performance de alta qualidade é obtida em face de um constrangimento operacional de natureza logística que merece ser destacado: a imprevisibilidade das ligações aéreas regulares. As interrupções e cancelamentos dos voos, particularmente durante os meses de inverno devido às severas condições climatéricas, introduzem uma dificuldade persistente no envio de amostras de água para o laboratório acreditado no prazo regulamentar exigido para a sua análise. Tal dificuldade impõe uma gestão de risco e um planeamento de amostragem mais rigorosos por parte da entidade gestora, de modo a mitigar o impacto da ultraperiferia na fiabilidade e rapidez da avaliação laboratorial.

3.2 Evolução dos indicadores de qualidade do serviço

Para além dos resultados na qualidade da água, a análise da evolução dos indicadores de qualidade do serviço da água para consumo humano, conforme avaliado pela ERSARA

(consultando o documento RAAQSARA_2024), atesta um esforço sistemático e um investimento estratégico na melhoria da gestão do sistema.

Esta melhoria provém, primariamente, de um investimento proativo na recolha e compilação de informação essencial para uma gestão preditiva e informada. Os esforços culminaram, por exemplo, na conclusão do cadastro predial das redes de abastecimento e das edificações e consumidores, cuja finalização ocorreu no verão de 2025. A disponibilização deste conhecimento infraestrutural, que dota a entidade gestora de uma base de dados precisa sobre a rede física e os utilizadores, é fundamental para o planeamento de intervenções e para a modelação da rede.

A par da vertente infraestrutural, foram implementadas novas rotinas de registo de informação e de procedimentos de controlo operacional da rede de abastecimento, visando uma abordagem mais preditiva do que reativa. Esta transição metodológica tem-se traduzido em resultados positivos em diversos indicadores de performance regulatória (IP), observando-se um desempenho de qualidade boa em áreas cruciais, como:

- Capacidade de Reserva de Água (dias): Este indicador, essencial para aferir a resiliência do sistema perante contingências (e.g., inoperacionalidade de captações), demonstrou um valor de reserva robusto, situando-se acima do intervalo de referência regulamentar de 1,0 a 2,0 dias, o que é um fator de segurança para a população residente e flutuante.
- Reabilitação de Condutas (%/ano): O investimento na manutenção e reabilitação das infraestruturas reflete-se na taxa anual de reabilitação, um esforço crucial para a redução de perdas de água.
- Implementação dos Perímetros de Proteção de Captações (%): Atingindo 100% de implementação, este indicador demonstra o empenho na proteção das captações superficiais Lagoa Artificial – Lagoa II e Lagoa Artificial – Lagoa, salvaguardando a qualidade da água bruta na fonte e reduzindo os riscos de contaminação.

Em suma, a melhoria contínua dos indicadores de serviço demonstra que o sucesso na qualidade da água distribuída não é um evento isolado, mas sim o corolário de um ciclo virtuoso de investimento em conhecimento e otimização de processos.

Quadro 1 – Resultados do indicador Água Segura 2018 – 2024, para os concelhos dos Açores
(Fonte : ERSARA, 2024)

| Concelho | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Angra do Heroísmo | 99,30 | 100 | 99,75 | 99,76 | 99,92 | 100 | 100 |
| Calheta de S. Jorge | 96,54 | 96,09 | 98,60 | 99,12 | 99,36 | 98,68 | 99,51 |
| Corvo | 93,14 | 97,83 | 97,78 | 97,78 | 100 | 100 | 100 |
| Horta | 99,14 | 99,43 | 99,43 | 99,84 | 99,50 | 99,33 | 99,39 |
| Lagoa | 99,01 | 99,85 | 99,85 | 99,74 | 99,55 | 100 | 100 |
| Lajes das Flores | 99,57 | 99,72 | 99,88 | 99,65 | 100 | 99,89 | 100 |
| Lajes do Pico | 98,10 | 99,01 | 97,65 | 98,76 | 95,76 | 99,05 | 98,48 |
| Madalena | 97,59 | 98,55 | 96,10 | 94,50 | 95,70 | 96,56 | 96,97 |
| Nordeste | 99,37 | 99,73 | 99,52 | 99,90 | 99,81 | 100 | 100 |
| Ponta Delgada | 99,69 | 99,87 | 99,87 | 99,86 | 99,95 | 99,77 | 100 |
| Povoação | 98,43 | 99,29 | 99,76 | 100 | 100 | 100 | 99,78 |
| Praia da Vitória | 98,49 | 99,57 | 97,86 | 98,17 | 97,99 | 97,22 | 98,20 |
| Ribeira Grande | 98,59 | 99,44 | 99,20 | 99,00 | 99,54 | 99,24 | 99,39 |
| Santa Cruz da Graciosa | 91,99 | 94,75 | 90,34 | 90,16 | 90,64 | 89,54 | 91,92 |
| Santa Cruz das Flores | 100 | 98,76 | 98,76 | 100 | 100 | 99,48 | 100 |
| São Roque do Pico | 97,59 | 99,28 | 98,19 | 99,37 | 99,63 | 98,17 | 99,32 |
| Velas | 99,80 | 99,21 | 99,50 | 99,60 | 100 | 99,90 | 100 |
| Vila do Porto | 98,57 | 98,14 | 98,29 | 99,43 | 99,22 | 98,59 | 99,31 |
| Vila Franca do Campo | 99,52 | 99,74 | 100 | 99,21 | 97,99 | 97,74 | 99,30 |

4 CONCLUSÕES

O caso da ilha do Corvo evidencia a possibilidade de alcançar a excelência na gestão da água mesmo em contextos de ultra-periferia e sob pressão de constrangimentos logísticos e operacionais complexos. O desempenho do Município do Corvo nas ações de controlo da qualidade da água para consumo humano demonstrou ser altamente eficaz e em linha com as diretrizes regulamentares e as metas estabelecidas.

Um dos resultados mais significativos e dignos de destaque reside na elevada qualidade da água distribuída aos consumidores, nomeadamente no indicador de performance Água Segura. A análise dos Relatórios Anuais de Controlo de Qualidade da Água para Consumo Humano (RACQACH) da ERSARA, revelou que o Corvo, no triénio 2022–2024, alcançou um resultado de 100% de água segura. Este feito posiciona o município do Corvo com o melhor resultado no arquipélago dos Açores neste indicador, de forma consistente nos últimos três anos analisados, refletindo um padrão de excelência regulatória e operacional.

Em reconhecimento desta performance, o Município do Corvo foi consecutivamente galardoado com o Selo de Qualidade da Água para Consumo Humano da ERSARA nos anos de referência 2022, 2023 e 2024. Este reconhecimento atesta o cumprimento integral dos rigorosos critérios regulatórios, incluindo 100% de cumprimento da frequência de amostragem e do valor paramétrico no Controlo de Rotina 1.

O sucesso alcançado é o resultado direto de um forte investimento na melhoria da recolha e compilação de informação, que culminou na conclusão do cadastro predial das redes de abastecimento, edificações e consumidores, em sintonia com a implementação de novas rotinas de registo e de procedimentos de controlo operacional preditivo. Evidenciam-se, por exemplo, os resultados obtidos na implementação de medidas de controlo nos sistemas (dados de 2022):

- A capacidade de reserva de água do sistema atingiu os 3,71 dias, o que confere ao sistema uma robustez acima do valor alvo regulatório estabelecido (1,0 a 2,0 dias), contribuindo para a sua resiliência operacional em situações de contingência.
- 70% dos indicadores avaliados pela ERSARA apresentaram uma avaliação boa ou mediana, destacando-se a implementação dos perímetros de proteção (100%) com um desempenho de qualidade boa.

Apesar desta trajetória de excelência, é crucial sublinhar as vulnerabilidades logísticas permanentes. O caráter arquipelágico do Corvo, em particular a descontinuidade territorial e o isolamento por longos períodos devido à inoperacionalidade do aeroporto ou porto por razões climatéricas, constitui um constrangimento crítico no cumprimento dos prazos para o envio de amostras de água a laboratório acreditado. Este fator, externo à gestão direta da entidade, reitera a necessidade de desenvolver soluções inovadoras e localizadas que minimizem o risco de falhas no controlo analítico em tempo útil, salvaguardando a confiança pública na água distribuída.

REFERÊNCIAS

- ERSARA (2021). *Relatório Anual do Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2021*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.
- ERSARA (2022). *Relatório Anual do Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2022*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.
- ERSARA (2023). *Relatório Anual do Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2023*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.
- ERSARA (2024a). *Relatório Anual do Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2024*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.

ERSARA (2024b). Relatório Anual de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores, 2024. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.

ERSARA (2025). Relatório Anual do Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2025 (Ano de Referência 2024). Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores.

Medidas para redução e reciclagem dos resíduos produzidos em hóteis: caso de estudo de uma unidade hoteleira nos Açores

*Hernâni Oliveira^a, Sílvia Quadros^{b,c,***}, Graça Martinho^d*

^a Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^b CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBio Associate Laboratory, BIOPOLIS Program in Genomics, Biodiversity and Land Planning; UNESCO Chair – Land Within Sea: Biodiversity & Sustainability in Atlantic Islands, University of the Azores, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^c Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^d MARE - Centro de Ciências do Mar e Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

RESUMO

O presente trabalho procura analisar a produção de resíduos numa unidade hoteleira da ilha de São Miguel, nos Açores, através da caracterização física dos resíduos produzidos e posterior cálculo de seis indicadores, abrangendo o total de resíduos produzidos, os fluxos da recolha separativa e da recolha indiferenciada. A unidade hoteleira, de 4 estrelas e com 193 quartos, produz diariamente, em média, cerca de 377 kg de resíduos, sendo a sua maioria (cerca de 50%) produzidos na cozinha. Do total de resíduos, apenas 87% são recicláveis, sendo a sua grande maioria (66%) biorresíduos produzidos nas áreas de cozinha, cafeteria e restaurante. Com os dados da caracterização física concluiu-se que são produzidos diariamente 1,28 kg/dormida. No entanto, tendo em conta que os dados resultam apenas de uma campanha de amostragem a algumas secções, e num determinado espaço temporal, estes valores não deverão ser interpretados como produção total de resíduos, uma vez que também não foram contabilizados outros resíduos, tais como os óleos alimentares usados e os resíduos inerentes à área da manutenção. Com base na informação obtida nos indicadores, apresentam-se medidas de redução e de reciclagem para os resíduos produzidos, como por exemplo a aquisição de mais contentores de reciclagem, e a sensibilização e auscultação dos recursos humanos de modo que se altere os comportamentos dos mesmos nesta temática.

Palavras-Chave – Plano de amostragem, Reciclagem, Redução, Resíduos, Unidade Hoteleira.

**** Autor para correspondência.

E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt (Professora S. Quadros)

Measures for reducing and recycling waste produced in hotels: case study of a hotel in the Azores

Hernâni Oliveira^a, Sílvia Quadros^{b,c,tttt}, Graça Martinho^d

^a Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^b CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBio Associate Laboratory, BIOPOLIS Program in Genomics, Biodiversity and Land Planning; UNESCO Chair – Land Within Sea: Biodiversity & Sustainability in Atlantic Islands, University of the Azores, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^c Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^d MARE - Centro de Ciências do Mar e Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

ABSTRACT

This study analyses the waste production at a hotel on the island of São Miguel, in the Azores, through the physical characterisation of the waste produced and the subsequent calculation of six indicators, covering the total waste produced, separate collection flows and unsorted waste. The 4-star hotel, with 193 rooms, produces an average of around 377 kg of waste per day, most of which (around 50%) is produced in the kitchen. Of the total waste, only 87% is recyclable, with the vast majority (66%) being bio-waste produced in the kitchen, cafeteria and restaurant areas. Based on the physical characterisation data, it was concluded that 1.28 kg/night is produced daily. However, given that the data is only the result of a sampling campaign in some sections and over a specific period, these figures should not be interpreted as total waste production, since other waste, such as used cooking oil and maintenance waste, was not considered. Based on the information obtained from the indicators, reduction and recycling measures for the waste produced are presented, such as the acquisition of more recycling containers, and the awareness and consultation of human resources to change their behaviour in this area.

Keywords – Sampling plan, Recycling, Reduction, Waste, Hotel Unit.

^{tttt} Autor para correspondência.
E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt (Professora S. Quadros)

Potenciação da reutilização dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos: Caso LIPOR

Maria do Céu Silva^{a}, Filipe Carneiro^{a###}*

^a LIPOR – Associação de Municípios para a Gestão Sustentável de Resíduos do Grande Porto, Rua Morena, Baguim do Monte, 4435-746 Baguim do Monte – Gondomar, Portugal

RESUMO

O fluxo dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE) é um dos que mais cresce a nível global, devido à rápida obsolescência dos equipamentos e aos atuais padrões de produção e consumo. A sua composição heterogénea, que integra matérias valiosas e substâncias perigosas, representa uma oportunidade e um desafio ambiental. O Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU) 2030 estabelece metas ambiciosas para este fluxo, tornando fundamental a apostila na prevenção, reutilização e reciclagem. Neste contexto, a LIPOR desenvolveu uma Estratégia de Valorização de REEE, assente na recolha seletiva, reparação, reutilização e reciclagem, suportada pela conceção de contentores inovadores e a criação de um novo Centro de Recuperação e Reutilização. O presente estudo avalia as práticas de gestão de REEE nos Municípios Associados da LIPOR, identificando barreiras, oportunidades e novas soluções de melhoria. Permite aferir que 288.000 kg de REEE possam ser reparados e doados a parceiros sociais, evidenciando o papel central da reutilização para o cumprimento das metas do PERSU 2030, desde que sejam superadas barreiras legais, organizacionais e operacionais e reforçada a participação do cidadão.

Palavras-Chave – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE), Economia Circular, Reutilização, Reciclagem.

DESTAQUES

- Avaliação da maturidade da recolha seletiva e das práticas de reutilização de REEE.
- Identificação de barreiras e oportunidades para uma gestão sustentável de REEE.
- O potencial de reutilização de REEE no Sistema LIPOR é de 288.000 kg.
- A reutilização é crucial para atingir a meta PERSU 2030 a circularidade dos REEE.

^{****} Autor para correspondência.
E-mail: maria.ceu@lipor.pt (Eng. M. Silva)

Enhancing reuse of waste electrical and electronic equipment: LIPOR case

Maria do Céu Silva ^{a}, Filipe Carneiro ^{a\$\$\$\$}*

^a LIPOR – Associação de Municípios para a Gestão Sustentável de Resíduos do Grande Porto, Rua Morena, Baguim do Monte, 4435-746 Baguim do Monte – Gondomar, Portugal

ABSTRACT

The Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) stream is one of the fastest growing globally, due to the rapid obsolescence of equipment and current production and consumption patterns. Its heterogeneous composition, which includes valuable materials and hazardous substances, represents both an opportunity and an environmental challenge. The national Strategic Plan for Urban Waste (PERSU) 2030, sets ambitious targets for this waste stream, making essential to focus on prevention, reuse and recycling. In this context, LIPOR has developed a WEEE Recovery Strategy based on separate collection, repair, reuse and recycling, supported by the design of innovative recycling containers and the creation of a new Recovery and Reuse Centre. This study assesses the WEEE management practices at LIPOR's Associated Municipalities, identifying barriers, opportunities and new solutions. It quantifies a reuse potential of 288,000 kg of WEEE suitable for repair and donation to social partners, highlighting the central role of reuse to meet the PERSU 2030 targets, since that legal, organisational and operational barriers are overcome, and citizens participation is strengthened.

Keywords – Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Circular Economy, Reuse, Recycling.

HIGHLIGHTS

- Assessment of the maturity of separate collection and WEEE reuse practices.
- Identification of barriers, opportunities for a sustainable WEEE management.
- The potential for WEEE reuse at LIPOR System is 288,000 kg.
- Reuse is essential to achieve PERSU 2030 target and to enhance WEEE circularity.

^{\$\$\$\$} Autor para correspondência.
E-mail: maria.ceu@lipor.pt (Eng. M. Silva)

1 INTRODUÇÃO

Os atuais padrões de produção, consumo e a rápida obsolescência dos Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (EEE), contribuem para que o fluxo dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE) seja um dos que mais cresce a nível global. Com uma composição heterogénea, integram matérias valiosas, raras e substâncias perigosas, representando uma oportunidade para a reintrodução de recursos nas cadeias de valor e um desafio ambiental e de saúde pública, caso não sejam devidamente geridos.

Torna-se, assim, essencial a transição para uma economia circular em que a prevenção, a reutilização e a reciclagem sejam priorizadas, abordagem refletida nas metas ambiciosas do Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2030 (PERSU 2030), que define uma taxa de retoma, a nível nacional, para os REEE de 80%, em 2030.

A LIPOR – Associação de Municípios para a Gestão Sustentável de Resíduos do Grande Porto, é responsável pela gestão e valorização dos resíduos urbanos produzidos por 8 Municípios Associados (Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde). Comprometida com a promoção da Economia Circular na região, iniciou, em 2018, uma mudança de paradigma com o desenvolvimento de uma Estratégia de Valorização de REEE (Figura 1) que potencia, além da reciclagem, a reutilização.

Desde a implementação do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos da LIPOR no início do milénio, foi implementada, pelos Municípios Associados, a recolha seletiva de REEE, através de sistemas de recolha porta-a-porta a pedido e nos ecocentros. Promovendo a proximidade ao cidadão, e face ao aumento da produção de REEE, no ano de 2022, os Municípios reforçaram a sua rede de recolha com a adoção de ecocentros móveis para a deposição seletiva de pequenos elétricos e eletrónicos, a par com outros fluxos de resíduos.

No âmbito da Estratégia de Valorização de REEE previamente mencionada, para promover a reutilização, 9 ecocentros integrados na rede existente na área LIPOR, foram requalificados, melhorando-se as condições de receção de REEE. Destaca-se a uniformização da sinalética com as regras de separação de resíduos e a conceção e produção de 18 unidades de um modelo inovador de contentor bicompartmentado destinado a estes ecocentros. Este contentor, permite acomodar de forma separada os REEE com potencial de reutilização (através de um sistema de prateleiras amovíveis e ajustáveis para evitar danos durante a deposição e transporte), daqueles cuja reutilização já não é possível devido ao mau estado de conservação.

A segregação do material com potencial de reutilização, exige que os Colaboradores dos ecocentros, sejam capacitados para avaliar, através de inspeção visual, o estado geral dos equipamentos entregues e identificar as tipologias mais frequentes de avarias e danos.

Todos os REEE provenientes da recolha municipal são encaminhados para a Plataforma de Receção da LIPOR. Tendo sido classificados com potencial de reutilização, são entregues num espaço dedicado, onde são avaliados de forma detalhada e confirmando-se a viabilidade de reparação, são pesados e etiquetados, sendo de seguida enviados para o Centro de Recuperação e Reutilização da LIPOR (CRR), onde se procede à sua reparação. Complementarmente, é efetuado um stock de peças remanescentes que integram uma bolsa interna de recursos. O CRR integra-se na Rede CREW, promovida pela LIPOR e a ERP Portugal, sendo os equipamentos reparados, doados a parceiros sociais. Os equipamentos sem potencial de reutilização, são triados por categorias legais de EEE, de acordo com o Decreto-Lei n.º 152-D/2017, de 11 de dezembro, e encaminhados para reciclagem, através de uma Entidade Gestora autorizada e licenciada para o efeito.

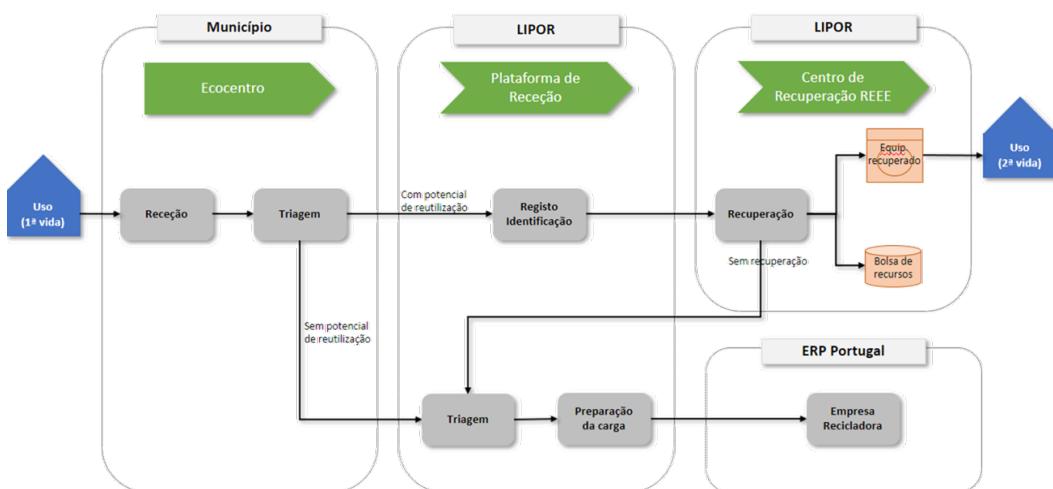


Figura 1. Estratégia de Valorização de REEE da LIPOR

A estratégia desenvolvida permitiu evoluir significativamente na circularidade deste fluxo. Contudo, para o atingimento dos objetivos do PERSU 2030, é imperativo dar-lhe um novo impulso e dimensão. Neste sentido, foi realizado o presente estudo, com enfoque na potenciação da reutilização de REEE.

2 MÉTODO

Com o objetivo de alavancar a reutilização de REEE, foi definido um método que contemplou a realização de uma avaliação das práticas de gestão de REEE no universo dos Municípios Associados da LIPOR. Esta, incluiu uma análise dos sistemas de recolha seletiva implementados, a realização de visitas técnicas aos ecocentros, a auscultação dos principais *stakeholders*, a análise de documentação relevante e de dados estatísticos. Com base na informação e evidências recolhidas, foi realizada uma análise SWOT.

Procedeu-se a uma revisão da literatura, para a identificação das melhores práticas e projetos, passíveis de replicação, implementados a nível nacional e internacional.

Para estimar o potencial de REEE passíveis de reparação existente, desenvolveu-se um modelo de cálculo, assente em 5 etapas:

Etapa 1 - Estimativa do potencial de recolha na área de influência da LIPOR: Determinação da massa total de REEE disponíveis para recolha, a qual corresponde à massa recolhida na fração seletiva e indiferenciada, usando 2023 como ano de referência (Observatório LIPOR, 2023) e distribuição do valor obtido por Município e por categoria legal de EEE, tendo em conta a população (PERSU 2030), o respetivo poder de compra (Pordata, 2011) e as proporções de EEE colocados no mercado em 2023 (Eletrão e ERP Portugal, 2024).

Etapa 2 - Cálculo da massa a recolher para cumprir a meta de 80% de retoma de REEE (PERSU 2030): Para cumprir a meta é necessário recolher 80% do valor de REEE potencialmente disponíveis para recolha (aferido na etapa 1).

Etapa 3 - Determinação da massa de REEE com potencial de reutilização: Com base nas taxas reais de equipamentos (por categoria de EEE) classificados com potencial de reutilização entregues na LIPOR e estimando um crescimento dos quantitativos através da implementação de medidas de melhoria preconizadas no presente estudo, definiu-se um novo cenário com base nas taxas reais e estimativa pericial, de incremento das taxas de equipamentos com potencial de reutilização, por categoria de EEE. Estas, permitiram calcular a massa total de equipamentos com potencial de reutilização.

Etapa 4 - Determinação da massa de REEE com potencial de reparação: Com base nas taxas reais de reparação da rede CREW, aplicadas às quantidades do potencial de

reutilização determinadas na etapa 3, procedeu-se à determinação da massa total de equipamentos com potencial de reparação (disponíveis para doação).

Etapa 5: Quantificação da massa de REEE com potencial de reparação por Município e Categorias de EEE: Distribuição de quantitativos obtidos na etapa 4, por Município e por categoria legal.

3 RESULTADOS

Através da análise SWOT realizada aos sistemas de gestão de REEE implementados na área LIPOR, identificaram-se aspectos críticos para melhoria dos atuais resultados. Esta análise evidencia como principais forças a liderança e proatividade das equipas técnicas, a diversidade de soluções de recolha seletiva na origem, a existência de equipamentos inovadores para a deposição seletiva e de um projeto dedicado à reparação (CREW). As fraquezas incluem a inexistência de um registo sistemático das quantidades de equipamentos com potencial de reutilização recolhidos por categorias de EEE, as limitações na segregação de equipamentos com potencial de reutilização e a falta de capacitação, assim como de recursos humanos qualificados nas equipas operacionais. Como oportunidades, destacam-se a existência de uma meta nacional que inclui a componente da reutilização, o facto dos Planos de Ação Municipais para o PERSU 2030 preverem a criação de bancos de reutilização, a oportunidade de negócio associada a esta área e a possibilidade de alargar parcerias com entidades locais (ex. setor social, escolas profissionais) para potenciar a reutilização e a capacitação. Como ameaças, salienta-se a indefinição legal ainda existente relativamente ao material com potencial de reutilização, o desvio substancial de REEE a montante e dentro dos próprios sistemas municipais, a percepção de concorrência pelos produtores de EEE relativamente à reutilização, e a reduzida adesão dos cidadãos à deposição seletiva.

A análise de benchmarking realizada, permite-nos destacar as seguintes iniciativas, pelos resultados alcançados e potencial de replicabilidade e/ou escalabilidade. No âmbito dos sistemas de incentivo, o Cartão Eco-shop (LIPOR) e o Projeto CIRC4Life (País Basco, Espanha). A promoção da reutilização na origem junto de particulares e empresas, através da Plataforma OndeDoar.pt (Eletrão). A Rede de Centros de Reutilização da Asociación Española de Recuperadores de Economía Social e Solidaria (AERESSION) e o Projeto: Cooperação Recupel – Electro SOFIE (Bélgica), como exemplos de modelos de negócio circulares, focados na reutilização e alicerçados em parcerias. Por fim, no mesmo âmbito, destaca-se o Projeto Life ReWeee (Grécia), com um contributo substancial na vertente técnica das operações de triagem de REEE e de preparação para reutilização.

De acordo com a análise SWOT realizada, considerando o âmbito de atividade da LIPOR e dos Municípios Associados, existem diversas barreiras e oportunidades de melhoria. Estas abrangem, concretamente, as operações de recolha, deposição, triagem, mas também a otimização e escalabilidade da reparação, a capacitação das equipas operacionais e a sensibilização e incentivo à participação do cidadão. O benchmarking realizado permite identificar iniciativas replicáveis, com a capacidade de dar uma maior expressão à vertente da reutilização na estratégia implementada.

Neste sentido e face à relevância da reutilização para o atingimento dos objetivos ambiciosos delineados pelo PERSU 2030, importa conhecer o potencial de REEE passíveis de reparação (reutilizáveis) existente na área LIPOR. Tal foi aferido de acordo com o modelo de cálculo, explanado na seção 2, tendo-se obtido como resultados globais apresentados na Figura 2, para as etapas de 1 a 4.

Para a etapa 5, relativa à determinação de quantidades de REEE passíveis de reparação por Município e Categorias, os resultados apresentam-se no Quadro 1.

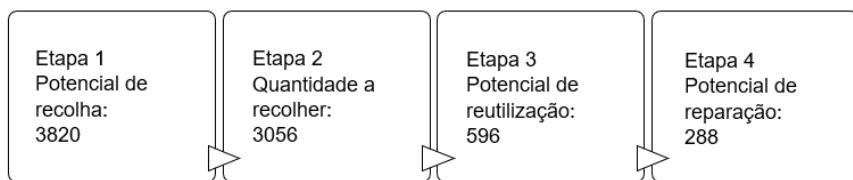


Figura 2. Resultados globais obtidos nas etapas de 1 a 4 ($\times 10^3$), em quilogramas (kg).

Quadro 1. Resultados obtidos na etapa 5 ($\times 10^3$), em quilogramas (kg).

| | Espinho | Gondomar | Maia | Matosinhos | Porto | Póvoa de Varzim | Valongo | Vila do Conde | Total |
|--|---------|----------|------|------------|-------|-----------------|---------|---------------|-------|
| Categoria 1 (Equipamentos de regulação da temperatura) | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Categoria 2 (Ecrãs, monitores) | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 7 |
| Categoria 3 (Lâmpadas) | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| Categoria 4 (Equipamentos de grandes dimensões) | 7 | 39 | 34 | 41 | 56 | 15 | 23 | 19 | 234 |
| Categoria 5 (Equipamentos de pequenas dimensões) | 1 | 8 | 6 | 8 | 11 | 3 | 4 | 4 | 45 |
| Categoria 6 (Equipamentos informáticos e de telecomunicações) | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Total | 8 | 48 | 41 | 51 | 70 | 18 | 28 | 24 | 288 |

2.4 3.1 Oportunidades de melhoria

Em síntese, as oportunidades identificadas neste estudo foram agrupadas e apresentam-se no Quadro 2:

Quadro 2. Síntese de propostas de melhoria

| Aumentar a recolha de REEE | Aumentar a reparação de REEE | Aumentar a identificação de REEE com potencial de reutilização | Aumentar a entrega aos utilizadores de REEE reparados |
|---|--|--|--|
| P1. Qualificação dos Ecocentros P2. Dinamização dos Ecocentros móveis P3. Recolha porta a porta de REEE P4. Incentivos à entrega de REEE | P5. Criação de centros de reparação e capacitação dos cidadãos | P6. Capacitação do pessoal nos Ecocentros para a identificação de REEE com potencial de reutilização | P7. Parcerias com entidades do setor público e privado |
| Propostas transversais | | | |
| P8. Recolha de informação e registo digital sobre REEE P9. Campanhas de sensibilização e educação à população P10. Definição de metas e indicadores para a reutilização | | | |

Estas medidas são passíveis de replicação noutros territórios urbanos, contribuindo para um maior envolvimento das comunidades locais e da sociedade na circularidade dos REEE, sendo essencial que todos os atores da cadeia de valor colaborem para ultrapassar barreiras atualmente existentes e promover a reutilização. A definição de políticas públicas que apoiem a reutilização constitui igualmente um elemento-chave para alavancar esta componente.

Numa perspetiva de futuro, recomenda-se a continuidade da investigação no âmbito da reutilização de REEE, promovendo o conhecimento, o desenvolvimento e a consolidação de práticas de circularidade. Sugerem-se como linhas de investigação: o potencial de urban mining associado aos equipamentos informáticos e de telecomunicações armazenados pelo cidadão; a rastreabilidade na cadeia de valor dos REEE como forma de combater a recolha paralela; as práticas de ecodesign na produção de EEE; a definição e criação de uma rede de partilha de peças e de um banco de materiais, com escala.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam a existência de um elevado potencial de reutilização e de reparabilidade de REEE, na área da LIPOR, embora se identifiquem constrangimentos, que limitam a sua escalabilidade. Estes, abrangem a esfera legal, organizacional e operacional. A indefinição legal relativamente ao fim do estatuto de resíduo e a inexistência de especificações técnicas, condiciona a viabilidade do desenvolvimento de modelos de negócio circulares, centrados na reutilização e reparação. Igualmente fundamental é reforçar a fiscalização e aplicação da regulamentação para combater eficazmente a problemática da recolha paralela de REEE.

Identificam-se ainda obstáculos organizacionais e operacionais que impactam negativamente na taxa de reutilização. O incremento da taxa de reutilização, depende do aumento do nível de participação do cidadão na entrega seletiva dos REEE e do respetivo processamento nas instalações de receção. Para fomentar a entrega seletiva de equipamentos, identifica-se a necessidade de criar mecanismos integrados de comunicação, sensibilização e incentivo adaptados a diferentes nichos de público, como, por exemplo, o cartão Eco-shop (LIPOR) ou o Projeto CIRC4Life (Espanha), sendo esta questão particularmente relevante no caso da categoria 6, dos equipamentos informáticos e de telecomunicações de pequena dimensão, cuja entrega é residual.

Ao nível do processamento dos REEE, destaca-se a necessidade de uma forte aposta na capacitação dos recursos humanos e na criação de procedimentos de apoio à avaliação do potencial de reutilização dos equipamentos, de forma a maximizar o seu reaproveitamento. Nesta matéria, o Projeto Life ReWeee (Grécia) ao implementar centros de triagem de REEE, proporciona conhecimento técnico ao nível da triagem, inspeção visual e funcional e da reparação de equipamentos.

Para que a área da reparação seja potenciada, será fundamental a expansão da rede de Centros e Clubes de reparação à escala regional, fomentando parcerias com o setor público e privado e dotando estes espaços de recursos humanos capacitados, particularmente para a reparação de equipamentos de frio (categoria 1), uma lacuna atualmente existente no Sistema LIPOR. Neste âmbito, será imperativo não só para a região, mas para o país, analisar exemplos de modelos de negócio circulares, como o da AERESS, uma associação espanhola sem fins lucrativos que reúne entidades de diferentes regiões, promovendo a integração social através de uma rede de centros de reutilização. Outro exemplo, é o caso da Electro SOFIE, uma empresa parceira da Recupel (entidade gestora de REEE belga), que recondiciona eletrodomésticos recolhidos em ecocentros ou distribuidores. Em ambos os casos, os REEE reparados são vendidos em lojas de produtos em segunda-mão, com garantia e serviço pós-venda.

AUTORIZAÇÕES E DIREITOS DE AUTOR

Os autores autorizam a divulgação deste trabalho no âmbito da 14.^a JTIR.

REFERÊNCIAS

- APA (2023). *Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2030 – De Resíduo a Recurso*. Agência Portuguesa do Ambiente. <https://participa.pt/pt/consulta/persu-2030>, acedido a 31 de dezembro de 2015.
- APA (2025). Resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos. <https://apambiente.pt/residuos/residuos-de-equipamentos-eletricos-e-eletronicos>, acedido a 18 de abril de 2023.
- LIPOR (2023). *ECO SHOP. O que é?*. LIPOR. <https://www.lipor.pt/pt/sensibilizar/cartao-eco-shop-parque-adventura/o-que-e/>, acedido a 31 de dezembro de 2015.

- ELECTRÃO (2023). *Ondedoar*. Eletrão. <https://ondedoar.pt/doar/>, acedido a 31 de dezembro de 2015.
- AERESS (n.d.). *Presentación Aeress – AERESS*. AERESS. <https://aeress.org/aeress/>, acedido a 18 de abril de 2023.
- AERESS (n.d.). *RAEE*. AERESS. <https://aeress.org/raee/>, acedido a 18 de abril de 2023.
- AERESS (n.d.). *Un Año En Cifras*. AERESS. https://aeress.org/central-balances-src/web/aec#idx_ambiental_trabajos, acedido a 18 de abril de 2023.
- CIRC4Life. (n.d.). *Project Overview* | CIRC4Life. <https://www.circ4life.eu/project-overview>, acedido a 18 de abril de 2023.
- CIRC4Life. (n.d.). *Electronic Tablets* | CIRC4Life. <https://www.circ4life.eu/demo2>, acedido a 18 de abril de 2023.
- Recupel.(n.d.). *New Purpose for Discarded Electrical and Electronic Equipment - Blog - Recupel*. <https://www.recupel.be/en/blog/new-purpose-for-discarded-electrical-and-electronic-equipment/>, acedido a 18 de abril de 2023.
- ReWeee. (n.d.). *ReWeee - Home*. <https://www.reweee.gr/en>, acedido a 18 de abril de 2023
- LIPOR. (2024). Observatório LIPOR. em <https://portal.lipor.pt/pls/apex/f?p=2020:1:0>, acedido a 21 de junho de 2024
- APA (2023) *Ficheiro de Dados PAPERSU*. Agência Portuguesa do Ambiente. (2023). em <https://apambiente.pt/residuos/planos-multimunicipais-intermunicipais-e-municipais-de-acao-papersu>, acedido a 17 de maio de 2024
- PORDATA. (n.d.). *Poder de compra per capita em 2019* | Pordata. <https://www.pordata.pt/municipios/poder+de+compra+per+capita-118>, acedido a 20 de setembro de 2023
- Electrão (2024). *Relatório de Atividade Equipamentos Eléctricos 2023*, Eletrão <https://www.electrao.pt/relatorios-de-actividade/>, acedido a 21 de junho de 2024
- ERP Portugal. (2024). *Relatório Anual de Atividades de REEE 2023*. European Recycling Platform, <https://erp-recycling.org/pt-pt/quem-somos/relatorios/>, acedido a 21 de junho de 2024
- Eurostat (2023). *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations - open scope, 6 product categories (from 2018 onwards) – Products put on market*. [\[env_waseleeos\] Waste electrical and electronic equipment \(WEEE\) by waste management operations - open scope, 6 product categories \(from 2018 onwards\)](https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste-statistics/-/waste_electrical_and_electronic_equipment_(WEEE)_by_waste_management_operations) acedido a 25 de setembro de 2023

Proposta de metodologia e sua aplicação para diagnóstico e atuação nas perdas de água em sistemas de pequena escala em contexto insular

Álvaro Teodoro^a, Sílvia Quadros^{b,c,*****}, Dália Loureiro^d

^a Município de Vila do Porto, Largo N. S. da Conceição, 9580-522 Vila do Porto, Portugal

^b CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBio Associate Laboratory, BIOPOLIS Program in Genomics, Biodiversity and Land Planning; UNESCO Chair – Land Within Sea: Biodiversity & Sustainability in Atlantic Islands, University of the Azores, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^c Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^d Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente /Núcleo de Engenharia Sanitária, Avenida do Brasil 101, 1700-066 LISBOA, Portugal

RESUMO

Em geral, as entidades gestoras de menor dimensão não possuem sistemas estruturados para avaliação do desempenho em termos de perdas de água, acrescendo as dificuldades associadas à inexistência de dados e de procedimentos que permitam conhecer o desempenho da infraestrutura. Em contexto insular, em que existe uma forte dependência das reservas locais de água, é crucial melhorar a eficiência dos sistemas de abastecimento de água para reforçar a resiliência, reduzir gastos, proteger o ambiente e assegurar qualidade de vida para as populações locais. Acresce que muitas destas infraestruturas se encontram degradadas ou a operar em condições inadequadas, nomeadamente com excesso de pressão, levando a problemas de perdas reais bastante significativos. Esta circunstância é tanto mais pertinente quando se trata de ilhas com reduzida precipitação anual, e, portanto, com menor disponibilidade hídrica, e onde o mesmo sistema garante as necessidades de água associados à atividade agropecuária e ao turismo.

Palavras-Chave – Perdas de água, eficiência hídrica, avaliação de desempenho, regiões insulares, gestão de recursos hídricos.

***** Autor para correspondência.

E-mail: alvaroteodoro@sapo.pt (Eng. A. Teodoro)

Proposed methodology and its application for diagnose and control water losses in islands small-scale systems

Álvaro Teodoro ^a, Sílvia Quadros ^{b,c,ttttt}, Dália Loureiro ^d

^a Município de Vila do Porto, Largo N. S. da Conceição, 9580-522 Vila do Porto, Portugal

^b CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, InBio Associate Laboratory, BIOPOLIS Program in Genomics, Biodiversity and Land Planning; UNESCO Chair – Land Within Sea: Biodiversity & Sustainability in Atlantic Islands, University of the Azores, Rua da Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^c Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mãe de Deus, 9500-321 Ponta Delgada, Portugal

^d Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente /Núcleo de Engenharia Sanitária, Avenida do Brasil 101, 1700-066 LISBOA, Portugal

ABSTRACT

In general, smaller management entities do not have structured systems for assessing performance in terms of water losses, adding to the difficulties associated with the lack of data and procedures that would allow them to understand the performance of the infrastructure. In remote islands, where there is a strong dependence on local water reserves, it is crucial to improve the efficiency of water supply systems to strengthen resilience, reduce costs, protect the environment and ensure quality of life for local populations. In addition, much of this infrastructure is degraded or operating in inadequate conditions, particularly with excessive pressure, leading to significant real losses. This circumstance is even more relevant in the case of islands with low annual rainfall and, therefore, lower water availability, where the same system meets the water needs of agriculture, livestock and tourism.

Keywords – Water losses, water efficiency, performance assessment, insular regions, water resource management.

ttttt Autor para correspondência.
E-mail: alvaroteodoro@sapo.pt (Eng. A. Teodoro)

Redução e Reutilização de Resíduos Têxteis – Promoção de uma Visão Circular em Contexto Escolar

Helena Ferreira ^a, Isabel Brás ^{a,b}, M. Elisabete Silva ^{a,b,c,#####}

^a Environmental Department, Polytechnic University of Viseu, 3504-510 Viseu, Portugal

^b CISED-Centre for Research in Digital Services, Polytechnic University of Viseu, 3504-510 Viseu, Portugal

^c LEPABE-Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto (FEUP), R. Dr. Roberto Frias S/N, 4200-465 Porto, Portugal

RESUMO

O presente estudo descreve a implementação do laboratório *CircularTEX* numa instituição de ensino secundário com 3.º ciclo público em Portugal continental, sem práticas consolidadas de separação de resíduos. Sendo o setor têxtil, e o da moda em particular, um dos mais poluentes, a gestão dos resíduos que produz é uma preocupação. Sabendo que o desenvolvimento de uma consciência ambiental é mais profícuo junto dos jovens, então o ambiente escolar será o mais adequado para abordar estas temáticas. Com o intuito de promover a reutilização e valorização de resíduos têxteis, estimulando a criatividade, a inovação e o trabalho colaborativo, dinamizou-se um laboratório de *upcycling* têxtil: o *CircularTEX* – Núcleo de Inovação para a Circularidade de Resíduos Têxteis. Através da recolha, junto da comunidade local, da triagem e transformação de resíduos têxteis confeccionaram-se artigos diversos. Esses resíduos foram recuperados e valorizados, originando artefactos que podem ser considerados produtos únicos, originais, significativos e identitários. Simultaneamente, concretizaram-se aprendizagens que fortaleceram a formação de cidadãos mais conscientes e que irão contribuir para a construção de um futuro ambientalmente responsável.

Palavras-Chave – resíduos têxteis, educação ambiental para a sustentabilidade, reutilização, valorização, economia circular.

DESTAQUES

- Sensibilizar para a problemática da gestão de resíduos, em particular os têxteis.
- Promover estratégias de gestão de resíduos com base na economia circular.
- Implementar e dinamizar um laboratório de *upcycling* têxtil.
- Mobilizar recursos e toda a comunidade escolar, estabelecendo parcerias.

Autor para correspondência.

E-mail: beta@estgv.ipv.pt (Prof. Elisabete Silva)

Reduction and Reuse of Textile Waste – Promoting a Circular Vision in School Contexts

Helena Ferreira^a, Isabel Brás^{a,b}, M. Elisabete Silva^{a,b,c,§§§§§}

^a Environmental Department, Polytechnic University of Viseu, 3504-510 Viseu, Portugal

^b CISeD-Centre for Research in Digital Services, Polytechnic University of Viseu, 3504-510 Viseu, Portugal

^c LEPABE-Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculty of Engineering, University of Porto (FEUP), R. Dr. Roberto Frias S/N, 4200-465 Porto, Portugal

ABSTRACT

This study describes the implementation of the CircularTEX laboratory in a public secondary school with a higher education level in Portugal, which lacks established waste separation practices. Since the textile sector, and fashion in particular, is one of the most polluting, waste management is a concern. Knowing that developing environmental awareness is most beneficial among young people, the school environment is the best place to address these issues. To promote the reuse and recovery of textile waste, stimulating creativity, innovation, and collaborative work, a textile upcycling laboratory was established: CircularTEX – Innovation Center for the Circularity of Textile Waste. Through the collection, sorting, and processing of textile waste from the local community, various artifacts were created. These wastes were recovered and repurposed, resulting in artifacts that can be considered unique, original, meaningful, and distinctive. At the same time, learning opportunities were acquired that strengthened the formation of more conscious citizens and that will contribute to building an environmentally responsible future.

Keywords – textile waste, environmental education for sustainability, reuse, recovery, circular economy.

HIGHLIGHTS

- Raise awareness concern with waste management, particularly textiles.
- Promote waste management strategies based on the circular economy.
- Implement and manage a textile upcycling laboratory.
- Mobilize resources and the school community, establishing partnerships.

§§§§§ Autor para correspondência.
E-mail: beta@estgv.ipv.pt (Prof. Elisabete Silva)

1 INTRODUÇÃO

A Economia Circular (EC) surge como alternativa ao modelo tradicional linear de produção e consumo, baseado na lógica de “extrair-produzir-consumir-descartar”. A EC propõe um sistema regenerativo, onde os recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível. Desta forma, extraísse o máximo valor dos materiais e recursos pelo maior tempo possível, reduzindo a produção de resíduos e promovendo a recuperação de produtos e materiais no fim do seu ciclo de vida. Este modelo tem vindo a ganhar destaque nas políticas europeias, nomeadamente através do Plano de Ação para a Economia Circular da Comissão Europeia, que identifica o sector têxtil como um dos sectores prioritários para a transição ecológica, dada a sua elevada pegada ambiental e baixa taxa de reciclagem.

A indústria têxtil é uma das mais poluentes do mundo, contribuindo significativamente para a geração de resíduos sólidos, estando o seu impacte negativo no ambiente amplamente reconhecido. Esses resíduos, considerados resíduos urbanos (RU) ou equiparados, são incluídos no grupo 20 da Lista Europeia de Resíduos (LER), podendo corresponder a roupa (código 20 01 10) ou têxteis (código 20 01 11), mas sempre provenientes de atividades domésticas, comerciais, da indústria e serviços, incluindo as frações recolhidas seletivamente. Em Portugal, a taxa de reciclagem desses RU continua a ser muito reduzida o que evidencia a necessidade de estratégias para a sua valorização (PERSU, 2023). Segundo dados divulgados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em 2023, 76 % dos RU produzidos foram sujeitos a recolha indiferenciada, apesar de se continuar a investir em infraestruturas que permitem a recolha seletiva. Esta última muito mais vantajosa em termos de valorização e diminuição de volume de deposição em aterro. Com o objetivo de promover uma gestão mais adequada desses materiais foram criados os regulamentos: Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR 2030) que integra o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU 2023), assim, como o Plano Estratégico para os Resíduos Não urbanos (PERNU 2030) este vai para além do ambiente do projeto que agora se descreve. Estes documentos normativos têm como objetivo primordial a prevenção de resíduos, ou seja, reduzir a sua produção, e aumentar a sua reutilização, estabelecendo-se no PERSU 2030, metas específicas a atingir até 2030, nesse âmbito. Essas metas passam por apresentar uma quantidade de resíduos produzidos em 2030 igual à de 2025, com um aumento bianual de *per capita* de cerca de 7kg ao ano. O mesmo deve ocorrer em relação à percentagem de preparação de resíduos para reutilização e reciclagem, devendo esse valor aumentar 23 % face aos valores de 2023, em 2025 atingir os 55 % e aumentar para 60 % quando se atingir 2030. Segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023, a estratégia do PNGR 2030, ao ter como pilar fundamental o reconhecimento dos resíduos como recursos, contribui para dar resposta às novas metas europeias, nomeadamente as relacionadas com a deposição de resíduos em aterro, preparação para reutilização e reciclagem de RU, bem como a obrigatoriedade de recolha seletiva de fluxos, como o dos resíduos têxteis produzidos nas habitações. A reutilização e transformação criativa de resíduos têxteis em novos produtos são práticas que se enquadram na lógica da EC, promovendo a extensão do ciclo de vida dos materiais e reduzindo a necessidade de produção de novos recursos (Marmelo, 2019).

A Educação Ambiental para a Sustentabilidade (EAS), é uma ferramenta que permite promover valores, mudanças de comportamento e atitudes que desenvolvem a consciência ecológica dos indivíduos. Em contexto escolar, a promoção de práticas de reutilização e valorização de resíduos têxteis pode desempenhar um papel relevante na EAS e no desenvolvimento de competências subjacentes à EC. A dinamização de projetos de reutilização de resíduos têxteis permite desenvolver competências técnicas (design, costura, reparação), promover a consciência ecológica e estimular o trabalho colaborativo.

Neste artigo pretende-se divulgar o projeto: CircularTex – Núcleo de Inovação para a Circularidade de Resíduos Têxteis, desenvolvido na Escola Secundária com 3.º Ciclo de

Albergaria-a-Velha, durante o ano letivo 2024-2025. Neste espaço, desenvolveram-se projetos de *upcycling* têxtil incentivando a criatividade e inovação individuais, transformando a escola num agente ativo da transição ecológica, tentando reduzir a quantidade de resíduos e alinhando a instituição com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, nomeadamente ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis. Estes processos começam a aparecer sob diferentes formas e em várias escolas, em parte, devido à ação do programa Eco-Escolas no qual a escola se encontrava inscrita. Este programa de abrangência nacional, pretende desenvolver ações relacionadas com a problemática dos resíduos sólidos no geral e com resíduos têxteis em particular. No caso concreto pretende-se sensibilizar para a reutilização de resíduos têxteis, com a sua valorização por *upcycling*, e alargar essa sensibilização aos diversos tipos de resíduos produzidos no quotidiano pelos membros da comunidade escolar, alertando para a necessidade de reduzir e criar valor.

2 O LABORATÓRIO CIRCULARTEX

O laboratório CircularTEX surgiu como resposta à necessidade de sensibilizar a comunidade escolar para a gestão correta dos resíduos produzidos diariamente, nomeadamente, os de natureza têxtil. Desta forma, criou-se um espaço de aprendizagem e experimentação com base na reutilização e valorização de materiais têxteis considerados desperdícios. Foi ainda possível envolver toda a comunidade escolar num projeto de impacto ecológico e social em torno da reutilização criativa.

2.5 2.1 Metodologia: implantação e fases de desenvolvimento

A implementação do laboratório de *upcycling* CircularTEX seguiu as seguintes etapas, Figura 1:



Figura 1. Etapas de implementação do laboratório «CircularTEX»

1. Diagnóstico inicial – identificação da ausência/inexistência de separação de resíduos na escola e levantamento de recursos disponíveis: duas máquinas de costura antigas que foram reparadas em parceria com o município.
2. Definição do espaço físico para funcionamento do laboratório – correspondendo a uma fração da sala SL6, mas com algumas limitações, nomeadamente de horário e de organização.
3. Sensibilização e mobilização da comunidade escolar – com a elaboração de cartaz de divulgação, regimento interno e declaração de autorização dos encarregados de educação, promovendo a envolvência ativa dos alunos.
4. Recolha de resíduos – com a construção de *textilão*, disponibilizado nas instalações escolares, estabelecimento de parceria com atelier de costura – *Fitas*

- e *Linhas*, e com a loja municipal – *ToBeGreen*; novamente com a intervenção direta de alunos.
5. Capacitação técnica – da responsável pelo espaço, com a aprendizagem de técnicas de costura, pesquisando em manuais, visionando vídeos educativos e recorrendo aos conhecimentos de alguns elementos da comunidade educativa.

3 RESULTADOS

A Figura 2 sintetiza as fases seguidas desde a recolha de resíduos até à criação dos produtos finais ou artefactos, e que se passam a descrever:

1. Recolha de resíduos têxteis – os alunos foram sensibilizados para a construção de um *textilão* para colocar na escola. Como não se obtiveram materiais estabeleceram-se parcerias com entidades locais, referidas anteriormente.
2. Triagem – com os resíduos recolhidos procedeu-se a uma separação tendo em conta a classificação indicada na Lista Europeia de Resíduos (LER), ou seja, se eram peças de tecido, 20 01 11 – têxteis, de vestuário ou têxtil-lar, 20 01 10 – roupa.
3. Categorização – nesta fase analisou-se o estado de conservação das peças, nomeadamente o seu potencial de reutilização e a sua consistência, de forma a encaminhar para doação, *upcycling* ou transformar em panos de limpeza (Figura 3).
4. Utilização – os materiais encaminhados para o laboratório foram organizados para facilitar a sua utilização, consoante a peça que se pretendesse criar.
5. Artefacto – o produto final foi construído recorrendo aos recursos (equipamentos e materiais) disponibilizados no espaço.



Figura 2. Etapas do processo de recolha dos resíduos até ao produto final

Como referido anteriormente, os resíduos recolhidos eram provenientes de três fontes, Quadro 1, 18,3% resultaram do depósito no *textilão* escolar, 33,2% provenientes do atelier de costura *Fitas e Linhas* e 48,5% foram doados pela loja municipal *ToBeGreen*.

Os resíduos recolhidos no *textilão* correspondiam a peças de vestuário e têxteis-lar tendo sido encaminhados, na sua totalidade, para o laboratório CircularTEX.

As peças de tecido provenientes do atelier de costura *Fitas e Linhas* foram encaminhadas diretamente para *upcycling*.

Quadro 1. Quantidade de resíduos têxteis recolhidos em kg e por proveniência

| Origem | Textilão | Fitas e Linhas | ToBeGreen | Total |
|-----------------|----------|----------------|-----------|-------|
| Quantidade (kg) | 5,5 | 10 | 14,6 | 30,1 |

Os resíduos provenientes da loja *ToBeGreen* correspondiam a peças de vestuário. Estas foram sujeitas a uma triagem atendendo ao seu estado de conservação, figura 3. Assim, 4,6 kg mantinham a possibilidade de reutilização como vestuário e foram distribuídos a alunos que demonstraram esse interesse. Outra fração, 4,5 kg, foi encaminhada para o laboratório CircularTEX, para valorização por *upcycling*. O restante material, 5,5 kg, foi transformado em panos de limpeza uma vez que apresentava fraco potencial de reutilização na confeção de novos produtos.



Figura 3. Encaminhamento das peças de vestuário provenientes do gestor *ToBeGreen*, em kg.

No laboratório CircularTEX produziram-se diversos artefactos, desde necessaires, malas, roupa de bonecas, entre outros. A Figura 4, apresenta alguns exemplos dessa valorização com os resíduos têxteis iniciais (peças inteiras ou já prontas para serem intervencionadas), e os produtos finais ou artefactos.

Neste processo, os participantes (alunos e outros membros da comunidade escolar) eram convidados a executar um projeto concebido pelos próprios, promovendo o sentimento de pertença e a criatividade.

Além dos produtos apresentados, o laboratório permitiu ainda o desenvolvimento de competências de design, costura e transformação de peças têxteis, o aumento da consciência ambiental, com a promoção do conceito de sustentabilidade, e o fortalecimento do trabalho colaborativo (alunos, professores e outros intervenientes).

O espaço revelou que a implementação de práticas sustentáveis em contexto escolar enfrentou desafios logísticos, como a limitação de espaço. Contudo, a mobilização da comunidade e a adaptação criativa dos recursos disponíveis mostraram-se estratégias eficazes para superar essas barreiras.

O projeto também evidenciou o potencial da Economia Circular aplicada à educação, transformando resíduos em recursos pedagógicos e produtos úteis. Ao mesmo tempo promoveu valores de responsabilidade ambiental, elevando a consciência ecológica da comunidade educativa.

Verificou-se que, com este tipo de projeto, é possível criar um laboratório de ideias sustentáveis dentro de uma escola, mesmo em condições adversas. A reutilização de

resíduos têxteis não só contribuiu para a redução do desperdício, como também proporcionou aprendizagens significativas e fortaleceu laços comunitários. Este modelo pode ser replicado noutras instituições, adaptando-se às especificidades locais, e constitui uma prática relevante para a integração da Educação Ambiental para a Sustentabilidade no quotidiano escolar.

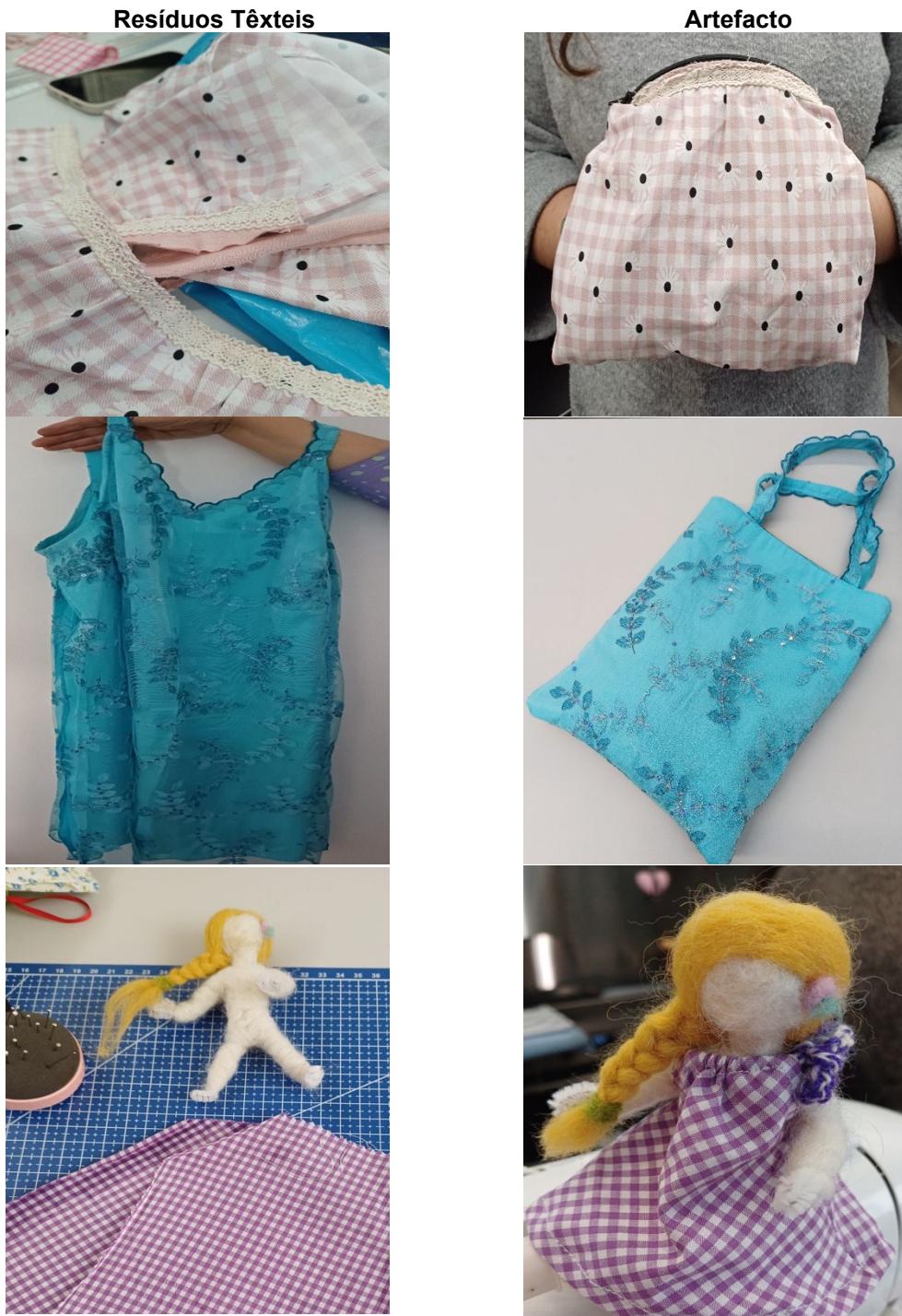


Figura 4. Resíduos têxteis utilizados como material de produção do respetivo artefacto

AGRADECIMENTOS

À Escola Secundária com 3.º Ciclo de Albergaria-a-Velha que disponibilizou o espaço e as máquinas de costura utilizadas no processo de *upcycling* têxtil. De igual forma, agradece-se à Câmara Municipal de Albergaria-a-Velha por financiar a reparação dos equipamentos, ao atelier de costura *Fitas e Linhas* e à entidade *ToBeGreen*, os materiais doados.

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto Ref.^a UIDB/05583/2020. Agradecemos ainda ao Centro de Estudos de Serviços Digitais (CISeD) e ao Instituto Politécnico de Viseu pelo apoio prestado

REFERÊNCIAS

- Abdalla, F. A. e Sampaio, A. C. F.. (2018). Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. *Entorno Geográfico*, 15, páginas 82-102. <https://entornogeografico.univalle.edu.co/index.php/entornogeografico/article/view/6712> acedido a 5 de setembro de 2025.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2024). *RARU 2023- Relatório Anual de Resíduos Urbanos 2023*. <https://apambiente.pt/destaque2/raru-2022-relatorio-anual-de-residuos-urbanos> acedido a 7 de setembro de 2025.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2024). *REA 2024 – Relatório do Estado do Ambiente 2024*. <https://apambiente.pt/destaque2/relatorio-do-estado-do-ambiente-2024> acedido a 7 de setembro de 2025.
- Barata, T. F. A.. (2023). *A economia circular no sector dos têxteis e vestuário em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Economia e Gestão. Universidade de Lisboa. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400/1000000000000000000> acedido a 9 de setembro de 2025.
- Câmara, A. C., Proença, A., Teixeira, F., Freitas, H., Gil, H. I., Vieira, I., Pinto, J. R., Soares, L., Gomes, M., Gomes, M., Amaral, M. L., Castro, S. T. C.. (2018). *Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade para a Educação Pré-Escolar, o Ensino Básico e o Ensino Secundário*. Ministério da Educação. <https://cidadania.dge.mec.pt/documentos-referencia> acedido a 5 de setembro de 2025.
- Marmelo, M. F.. (2019). *A economia circular na indústria têxtil e vestuário em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico do Porto. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400/1000000000000000000> acedido a 9 de setembro de 2025.
- Presidência do Conselho de Ministros. (2023). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 30/2023*. Diário da República n.º 60/2023. Série I de 2023-03-24, páginas 7 – 139. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/30-2023-210923318> acedido a 9 de setembro de 2025.
- Presidência do Conselho de Ministros. (2023). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/2023*. Diário da República n.º 60/2023. Série I de 2023-03-24, páginas 140 – 276. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/31-2023-210923319> acedido a 9 de setembro de 2025.
- A Comissão Europeia. (2014). *Decisão da Comissão de 18 de dezembro de 2014 que altera a Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos em conformidade com a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. Jornal Oficial da União Europeia de 2014-12-30. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=celex:32014D0955> acedido a 15 de setembro de 2015.

Desenvolvimento sustentável e economia

Aplicação de filtro vegetal de *Luffa cylindrica* na remoção de microplásticos

Isadora P. Caldeira ^a, Hellem Victoria R. dos Santos ^b, José Marçal da Silva ^c,
Beatriz Carolina A. Tovar ^d, Paulo S. Scalize ^{c, *****}

^a Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia - Goiás, Brasil

^b Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Laboratório de Análise de Água, Goiânia - Goiás, Brasil

^c Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Análise de Água, Goiânia - Goiás, Brasil

^d Universidad Central de Venezuela – Campus Ciudad Universitaria, Instituto de Biología Experimental, Caracas – Distrito Capital, Venezuela

RESUMO

A presença crescente de microplásticos (MPs) em ambientes aquáticos constitui um perigo para o meio ambiente e para a saúde, exigindo soluções sustentáveis para o tratamento da água. Este estudo analisou a eficácia da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como um material filtrante alternativo para a remoção de MPs. O filtro vegetal foi produzido a partir de buchas que foram lavadas, secas e cortadas em discos, e foram testadas em contato direto com água sintética contendo microesferas de polietileno. A turbidez foi empregada como um parâmetro indireto para acompanhar a retenção de partículas de MP. Os resultados indicaram aumento gradual na eficiência de remoção nas etapas iniciais, atingindo 99,79% na terceira filtração e mantendo-se estável a partir desse momento. Os resultados indicam que a eficiência inicial foi inferior à reportada na literatura, enquanto valores superiores foram observados após a terceira filtração, pelo efeito cumulativo de múltiplas etapas de filtração e ao maior contato promovido pela agitação manual entre a água e a matriz fibrosa.

Palavras-Chave – Filtro vegetal, Biodegradável, Sustentabilidade, Tratamento de água.

DESTAQUES

- A eficiência de remoção atingiu 99,79% na terceira filtração com agitação manual.
- A bucha *in natura* é alternativa sustentável e requer regeneração para uso contínuo.

***** Autor para correspondência.
E-mail: pscalize@ufg.br (Prof. P Scalize)

Application of a *Luffa cylindrica* Vegetable Filter for Microplastic Removal

Isadora P. Caldeira ^a, Hellem Victoria R. dos Santos ^b, José Marçal da Silva ^c,
Beatriz Carolina A. Tovar ^d, Paulo S. Scalize ^{c, tttttt}

^a Federal University of Goiás – Colemar Natal e Silva Campus, Undergraduate Program in Environmental and Sanitary Engineering, School of Civil and Environmental Engineering, Goiânia - Goiás, Brazil

^b Federal University of Goiás – Samambaia Campus, Graduate Program in Environmental Sciences, Water Analysis Laboratory, Goiânia - Goiás, Brazil

^c Federal University of Goiás – Colemar Natal e Silva Campus, Graduate Program in Environmental and Sanitary Engineering, Water Analysis Laboratory, Goiânia - Goiás, Brazil

^d Central University of Venezuela – Ciudad Universitaria Campus, Institute of Experimental Biology, Caracas – Capital District, Venezuela

ABSTRACT

The increasing presence of microplastics (MPs) in aquatic environments poses a significant threat to both ecosystems and human health, necessitating sustainable water treatment solutions. This study investigated the efficacy of the vegetable sponge (*Luffa cylindrica*) as an alternative filtering material for MP removal. Vegetable filters were prepared by washing, drying, and cutting the sponges into disks, which were then tested via direct contact with synthetic water containing polyethylene microspheres. Turbidity was employed as an indirect parameter to monitor MP particle retention. Results demonstrated a gradual increase in removal efficiency during initial filtration stages, reaching 99.79% by the third filtration cycle and stabilizing thereafter. The initial efficiency was lower than values reported in literature, whereas superior performance was observed after the third filtration, attributed to the cumulative effect of multiple filtration stages and enhanced contact between the water and the fibrous matrix facilitated by manual agitation.

Keywords – Vegetable filter, Biodegradable, Sustainability, Water treatment.

HIGHLIGHTS

- Removal efficiency reached 99.79% in the third filtration step under manual agitation.
- *In natura* vegetable sponge is a sustainable alternative but requires regeneration for continuous use.

tttttt Autor para correspondência.
E-mail: pscalize@ufg.br (Dr./Eng./Prof./ P Scalize)

1 INTRODUÇÃO

Os plásticos de origem natural, como âmbar e borracha, são utilizados desde a antiguidade, incluindo materiais de origem animal que se tornaram escassos, gerando implicações ambientais e econômicas. Na busca por alternativas, diversas patentes foram registradas para o desenvolvimento de materiais semissintéticos, como o primeiro plástico manufaturado, patenteado por Alexander Parkes. No século XX, a produção de plásticos passou por uma revolução com o surgimento dos plásticos sintéticos, impulsionada por inventores pioneiros como Leo Baekeland (Science Museum 2019).

Esse avanço resultou na onipresença dos plásticos e, consequentemente, dos microplásticos (MPs), partículas insolúveis com menos de 5 mm, derivadas de polímeros sintéticos amplamente utilizados, como tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), cloreto de polivinila (PVC), poliuretano (PU), poliamida (PA) e poliestireno (PS) (Barrientos-Riosalido et al. 2025, Garfansa et al. 2025). As fontes desses MPs são variadas, indo desde a degradação de plásticos de maior porte até a liberação por roupas sintéticas (Henry et al. 2019) e produtos de higiene pessoal (Napper et al. 2015).

Os MPs causam impactos ecológicos e representam riscos potenciais à saúde humana e à integridade dos ecossistemas. Em ambientes aquáticos, são ingeridos por organismos como peixes e moluscos, perturbando funções fisiológicas e promovendo bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar (Akhbarizadeh et al. 2019, Menéndez-Pedriza e Jaumot 2020). Em animais aquáticos e terrestres, essas partículas podem afetar o trato digestivo e reduzir a eficiência alimentar, resultando em prejuízos à biodiversidade e à saúde do ecossistema (Burns e Boxall 2018). Além disso, os MPs atuam como vetores de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas (PBTs), como bifenilas policloradas (PCBs), dioxinas e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), que adsorvem de água ou sedimentos (Engler 2012, Rochman et al. 2012).

A contaminação por MPs constitui um desafio global, demandando o desenvolvimento de tecnologias para sua remoção. Entre as técnicas convencionais, incluem-se sedimentação (Wang et al. 2012), coagulação e floculação, filtração em areia (Na et al. 2021), filtração por membranas (LaRue et al. 2022). Já as tecnologias avançadas abrangem separação magnética (Shi et al. 2023) e eletroflotação (Wang e Zhou 2024). Alternativas como biorremediação (Tayyeb et al. 2023) e processos oxidativos avançados (Singh et al. 2024) também vêm sendo investigadas.

No entanto, persiste a necessidade de tecnologias de baixo custo e sustentáveis para enfrentar esse problema. Diante disso, investiga-se a eficiência da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) como filtro para remoção de MPs em meio aquoso. A bucha vegetal é uma trepadeira da família das cucurbitáceas, originária de regiões tropicais da Ásia e África (Bisognin 2002), comumente utilizada para lavar louças, automóveis e vidros, bem como para higiene pessoal. Apresenta, ainda, propriedades que a tornam um material filtrante promissor, como estrutura porosa (Saeed e Iqbal 2023) e fibrosa (Ghali et al. 2009), baixa densidade, alto volume de poros e resistência à tração (Souza et al. 2017). No estudo de Ha et al. (2023), dois tipos de esponjas super-hidrofóbicas biodegradáveis, derivadas da bucha vegetal, foram capazes de remover 99% dos microplásticos de poliestireno em suspensões aquosas. No entanto, esses autores focaram em materiais modificados, não avaliando o potencial de remoção da bucha vegetal *in natura*, lacuna investigada no presente estudo.

Partindo disso, este trabalho tem como objetivo determinar a eficiência de remoção de microplásticos por um filtro de bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), utilizando a turbidez como parâmetro analítico, propondo uma alternativa sustentável e economicamente viável para o tratamento de água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Confecção do filtro vegetal

O filtro vegetal foi produzido com a bucha vegetal (Figura 1a), cujo nome científico é *Luffa cylindrica*, tendo sido adquirida em loja de produtos naturais.

O material passou por processo de lavagem com água ultrapura e posterior secagem em estufa a 105 °C por 24 horas; em seguida foi recortado em discos de 4 cm de diâmetro (Figura 1b), denominado filtro vegetal.

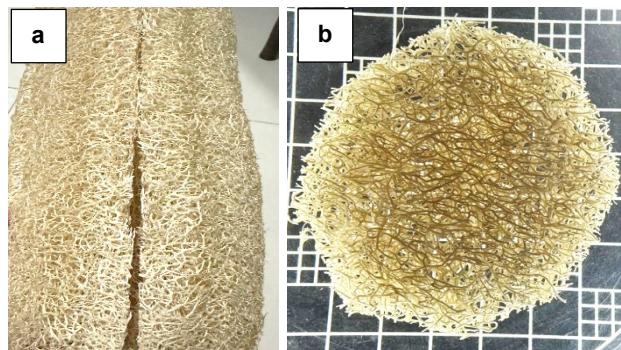


Figura 1. Bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) in natura (a) e disco de filtro vegetal (b)

2.2 Preparo de água sintética contendo microplástico

A água sintética foi preparada com água ultrapura e microesferas de polietileno de 600 µm, nas concentrações de 400 mg/L, conforme método de Oliveira et al. (2023). Preparou-se 250 mL momentos antes dos ensaios de filtração.

2.3 Filtração por contato direto com agitação manual

O desempenho do filtro vegetal na retenção de MPs foi avaliado em um processo de filtração em uma solução contendo MP. Com o auxílio de dois bastões de vidro (Figura 2), o ensaio consistiu na passagem de um filtro vegetal em 250 mL de água sintética (400 mg de MP/L). O procedimento foi repetido por 12 vezes com o mesmo filtro vegetal e mesma solução, com o intuito de obter a estabilização do processo. O experimento foi realizado em duplicata, tendo a média como resultado final.

Adicionalmente, um controle foi executado submetendo o filtro vegetal ao mesmo procedimento, porém utilizando água ultrapura no lugar da água sintética. Os valores obtidos de turbidez remanescente, foram considerados como partículas em suspensão liberadas pelo próprio filtro vegetal. Assim, para cálculo da eficiência de remoção, e turbidez remanescente, foram subtraídos os valores de turbidez do controle.



Figura 2. Aplicação do filtro vegetal na remoção de microplásticos em solução de 400 mg/L

A turbidez foi empregada como parâmetro indireto para monitorar a remoção de partículas, seguindo as diretrizes da APHA-AWWA-WEF (2012). A redução deste parâmetro foi diretamente correlacionada com a eficiência do filtro na remoção de MP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de filtração de contato direto com agitação manual, o filtro vegetal demonstrou uma eficiência de remoção de turbidez crescente ao longo das filtrações sequenciais. Os valores de turbidez do branco, obtidos pela passagem do filtro vegetal em água ultrapura, foram subtraídos da turbidez remanescente. A turbidez inicial na solução foi de 12,1 NTU, reduzindo para 6,36 NTU, atingindo, em relação à turbidez inicial, 47,48% de remoção na primeira filtração, 84,55% na segunda e 99,79% na terceira etapa de filtração (Figura 3). Após a terceira filtração, a turbidez média do filtrado foi reduzida para 0,77 NTU, o que equivale a uma eficiência média de remoção de 93,62% em relação à turbidez inicial. Os resultados indicam que o filtro foi capaz de remover a turbidez de forma progressiva até a terceira filtração, atingindo uma estabilidade a partir da quarta etapa de filtração.

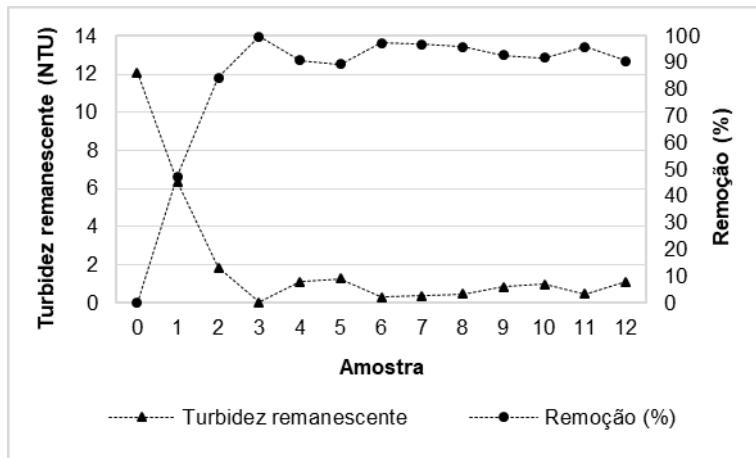


Figura 3. Desempenho do filtro vegetal no processo de filtração: turbidez remanescente e eficiência de remoção

É plausível que a eficiência de remoção tenha estabilizado após a terceira filtração devido à baixa concentração de partículas remanescentes, que pode ter limitado a capacidade de remoção do filtro. Adicionalmente, a eficiência do processo pode ser influenciada pela distribuição granulométrica dos MPs no meio aquoso, uma vez que partículas de tamanhos extremos (muito pequenas ou muito grandes) podem escapar da retenção ou obstruir os poros do filtro vegetal.

A colmatação (obstrução dos poros pelo acúmulo de sólidos) é a principal responsável pelo decaimento na eficiência da filtração em fibras de bucha vegetal, como afirma Obioma et al. (2013) ao observar que o uso de fibras em sistemas de pré-filtragem levou ao aumento da turbidez do efluente tratado a partir do segundo ciclo de filtração.

Em materiais fibrosos ou porosos, o MP pode se acumular até um determinado limite, após o qual a capacidade de retenção é reduzida e as partículas são liberadas de volta ao efluente (Puteri et al. 2025). Isso mostra que a eficiência de filtros vegetais não cresce indefinidamente com o tempo de contato; ao contrário, há um ponto de inflexão após o qual ocorre perda de desempenho; uma vez que, ao contrário de filtros granulares (areia ou carvão ativado), que apresentam maior estabilidade de remoção, os filtros vegetais parecem funcionar mais como barreiras físicas iniciais, mas sem capacidade de retenção permanente, uma vez que materiais fibrosos e naturais apresentam adsorção temporária de MP, com desprendimento subsequente devido à baixa força de ligação (Yang et al. 2019).

Certas partículas plásticas possuem estabilidade coloidal e a baixa densidade, fatores estes que dificultam sua sedimentação ou retenção em meios filtrantes de baixa adsorção (Koelmans et al. 2019). Para filtros vegetais simples, a literatura tende a reportar eficiências em torno de 60-80% em condições ótimas (Obioma et al. 2013), sendo assim, os resultados alcançados na presente pesquisa se mostram inferiores à literatura na primeira filtração e superiores após a terceira, possivelmente devido às múltiplas filtrações associadas à agitação manual que promoveu maior contato entre a água e a matriz filtrante, intensificando a retenção de partículas.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o filtro vegetal de *Luffa cylindrica* é uma opção viável e sustentável para a remoção de microplásticos, principalmente em sistemas que maximizam o contato físico. No entanto, sua aplicação prática em larga escala exige o desenvolvimento de estratégias de regeneração eficientes e a compreensão de que sua capacidade de retenção é limitada e sujeita a condições de fluxo. Estudos futuros devem se concentrar em avaliar a remoção de MPs em concentrações mais elevadas, em protocolos de lavagem, na análise do desempenho em diversas condições hidráulicas e na possível alteração química da superfície da fibra para fortalecer as forças de adsorção, com o objetivo de aumentar a estabilidade e a eficácia na remoção de microplásticos.

REFERÊNCIAS

- Akhbarizadeh R., Moore F., Keshavarzi B. (2019) Investigating microplastics bioaccumulation and biomagnification in seafood from the Persian Gulf: a threat to human health? *Food Additives & Contaminants: Part A* 36 (11) 1696-1708. doi: 10.1080/19440049.2019.1649473
- APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22nd ed.; American Public Health Association: Washington, DC, USA, 2012; ISBN 978-087553-013-0.
- Barrientos-Rosalido A., Exposito N., Torres E. A., Emiliano P., Valero F., Nadal M., Sierra J., Rovira J. (2025). Removal and reincorporation of microplastics at several stages of two seawater reverse osmosis plants that provide drinking water to Barcelona metropolitan area. *Desalination* 615 119329. doi: 10.1016/j.desal.2025.119329
- Bisognin, D. A.. (2002). Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural* 32 (4) 715–723. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>
- Burns, E. E., Boxall, A. B. A. (2018). Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environmental Toxicology and Chemistry* 37 (11) 2776-2796. doi: 10.1002/etc.4268
- Engler, R. E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environ. Sci. Technol.* 46 (22) 12302-12315. doi: 10.1021/es3027105
- Garfansa, M. P., Zalizar, L., Husen, S., Triwanto, J., Iswahyudi, I., Bakhtiar, A., Lasaksi, P., Ekalaturrahmah, Y. A. C. (2025). Addition of biochar based-activated carbon into sand filtration columns to improved removal efficiency microplastic from water. *Bioresource Technology Reports* 30 102099. doi: 10.1016/j.biteb.2025.102099
- Ghali, L., Msahli, S., Zidi, M., Sakli, F. (2009). Effect of pre-treatment of *Luffa* fibres on the structural properties. *Materials Letters* 63 (1) 61-63. doi: 10.1016/j.matlet.2008.09.008
- Ha, T. T. V., Viet, N. M., Thanh, P. T., Quan, V. T. (2023). Loofah plant—Derived biodegradable superhydrophobic sponge for effective removal of oil and microplastic from water. *Environmental Technology & Innovation* 32 103265. doi: 10.1016/j.eti.2023.103265
- Henry, B., Laitala, K., Klepp, I. G. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of The Total Environment* 652 483-494. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.166

- Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., France, J. de. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research* 155, 410-422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054.
- LaRue, R. J., Patterson, B., O'Brien, S., Latulippe, D. R. (2022). Evaluation of membrane fouling by microplastic particles in tertiary wastewater treatment processes. *ACS EST Water* 2 (6), 955-966. doi: 10.1021/acsestwater.1c00430
- Menéndez-Pedriza, A., Jaumot, J. (2020). Interaction of environmental pollutants with microplastics: A critical review of sorption factors, bioaccumulation and ecotoxicological effects. *Toxics* 8 (2) 40. doi: 10.3390/toxics8020040
- Na, S.-H., Kim, M.-J., Kim, J.T., Jeong, S., Lee, S., Chung, J., Kim, E.J. (2021). Microplastic removal in conventional drinking water treatment processes: Performance, mechanism, and potential risk. *Water Research* 202 117417. doi: 10.1016/j.watres.2021.117417
- Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C. (2025). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin* 99, (1-2) 178-185. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.029
- Obioma, I. B., Nnaji, C. C., Onuoha, D. C. (2025). Evaluation of the effectiveness of *Luffa cylindrica* as filter media. *American International Journal of Contemporary Research* 3, (3) 94-98. Disponível em: https://www.ajcrnet.com/journals/Vol_3_No_3_March_2013/11.pdf. Acesso em 02 set. 2025.
- Oliveira, T. L., Teran, F. J. C., Cuba, R. M. F., Freitas, F. F. (2023). Effect of Tween 20 and linear alkylbenzene sulfonate on microplastic coagulation. *Desalination and Water Treatment* 290, 12-25. doi: 10.5004/dwt.2023.29444
- Puteri, M. N., Gew, L. T., Ong, H. C., Ming, L. C. (2025). Technologies to eliminate microplastic from water: Current approaches and future prospects. *Environment International* 199 109397. doi: 10.1016/j.envint.2025.109397
- Rochman, M., Hoh, E., Hentschel, B. T., Kaye, S. (2013). Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.* 47 (3) 1646-165. doi: 10.1021/es303700s
- Saeed, A., Iqbal, M. (2013). Loofa (*Luffa cylindrica*) sponge: review of development of the biomatrix as a tool for biotechnological applications. *Biotechnol. Prog.* 29. doi: 10.1002/btpr.1702
- Science Museum. The age of plastic: From Parkesine to pollution. 2019. Disponível em: <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/chemistry/age-plastic-parkesine-pollution>. Acessado em: 06 set. 2025.
- Shi, C., Wu, H., Wang, W., Zhao, J., Niu, F., Geng, J. (2024). Microplastic removal from water using modified maifanite with rotating magnetic field affected. *Journal of Cleaner Production* 434 140111. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140111
- Singh, V., Park, S. Y., Kim, C. G. (2024). Hybrid Oxidation of Microplastics with Fenton and Hydrothermal Reactions. *ACS EST Water* 4 (4) 1688-1700. doi: 10.1021/acsestwater.3c00742
- Souza, J. D. G. T. de, Motta, L. A de C., Pasquini D., Vieira J. G., Pires C. (2017). Modificação Química Superficial de Fibras de Bucha Vegetal Visando à Compatibilização e Aplicação como Reforço Em Matriz Cimentícia. *Ambiente Construído* 17 (2) 269-283. doi: 10.1590/s1678-86212017000200157
- Tayyeb, S. R., Kazemipour, N., Hassanshahian, M., Rokhbakhsh-Zamin, F., Khoshroo, S. M. R. (2023). Assessment of Biostimulation and Bioaugmentation on Crude Oil-Polluted Sediments Microbial Community of Persian Gulf: A Microcosm Simulation Study. *Geomicrobiology Journal* 41 (1) 98-108. doi: 10.1080/01490451.2023.2285317
- Wang, H., Zhou, Q. (2024). Bioelectrochemical systems – A potentially effective technology for mitigating microplastic contamination in wastewater. *Journal of Cleaner Production* 450 141931. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141931
- Wang, Z., Sedighi, M., Lea-Langton, A. (2012). Filtration of microplastic spheres by biochar: removal efficiency and immobilisation mechanisms. *Water Research* 184 116165. doi: 10.1016/j.watres.2020.116165

Yang, L., Li, K., Cui, S., Kang, Y., An, L., Lei, K. (2019). Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant. *Water research* 155 175-181. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.046

Produção de adsorvente a partir do lodo de eletrocoagulação de água de lavagem de filtros

*Luis Samuel Huayanay Conde^a, Bernardo João Francisco Companhia^a, Beatriz Carolina Alvez Tovar^b, Paulo Sérgio Scalize^{c,*****}*

^a Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Mestrando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia - Goiás, Brasil

^b Universidad Central de Venezuela – Campus Ciudad Universitaria, Instituto de Biología Experimental, Caracas – Distrito Capital, Venezuela

^c Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Análise de Água, Goiânia - Goiás, Brasil

RESUMO

A geração de água de lavagem de filtros (ALF) em Estações de Tratamento de Água (ETAs) representa um desafio ambiental devido às suas características de alta turbidez e concentração de sólidos suspensos. Este estudo propõe uma rota integrada de valorização deste efluente através do seu tratamento por eletrocoagulação (EC) e subsequente transformação do lodo gerado em material carbonáceo de valor agregado. A ALF foi coletada na ETA Meia Ponte (Goiânia-GO) e utilizada para preparar uma solução com concentração de sólidos conhecida. O tratamento por EC com eletrodos de Alumínio, em reator de fluxo vertical contínuo (vazão de $100 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$), resultou na geração de 2,48 L de lodo úmido a partir do tratamento de 48 L de ALF. O lodo foi seco ($35^\circ\text{C}/7$ dias), moído e submetido a pirólise a 600°C sob atmosfera de N_2 , rendendo 65,86% em adsorvente. Parte do adsorvente foi ativado com CO_2 a 600°C , obtendo-se um rendimento de 62,38% em adsorvente ativado. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da proposta, onde a EC atua como tratamento eficiente da ALF e o lodo residual serve como precursor promissor para a produção de adsorventes, alinhando-se com os princípios da economia circular.

Palavras-Chave – Água de lavagem de filtros, eletrocoagulação, valorização de lodo, pirólise, carvão ativado.

DESTAQUES

- A eletrocoagulação tratou 48 L de água de lavagem de filtros, gerando 2,48 L de lodo.
- Conversão do lodo em adsorvente e adsorvente ativado com rendimentos > 62%.
- Desenvolveu-se rota de valorização de um resíduo da etapa de filtração de uma ETA.

***** Autor para correspondência.

E-mail: pscalize@ufg.br (Prof. P. Scalize)

Production of charcoal from electrocoagulation sludge of filter backwash water

Luis Samuel Huayanay Conde^a, Bernardo João Francisco Companhia^a, Beatriz Carolina Alvez Tovar^b, Paulo Sérgio Scalize^{c,§§§§§}

^a Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Mestrando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiânia - Goiás, Brasil

^b Universidad Central de Venezuela – Campus Ciudad Universitaria, Instituto de Biología Experimental, Caracas – Distrito Capital, Venezuela

^c Universidade Federal de Goiás – Campus Colemar Natal e Silva, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Análise de Água, Goiânia - Goiás, Brasil

ABSTRACT

The generation of filter backwash water (FBW) in Water Treatment Plants (WTPs) represents an environmental challenge due to its high turbidity and suspended solids concentration. This study proposes an integrated valorization route for this effluent through its treatment by electrocoagulation (EC) and subsequent transformation of the generated sludge into value-added carbonaceous material. The FBW was collected at the Meia Ponte WTP (Goiânia-GO, Brazil) and used to prepare a solution with a known solid concentration. Treatment by EC with aluminum electrodes in a vertical continuous flow reactor (flow rate of 100 ml·min⁻¹) resulted in the generation of 2.48 L of wet sludge from the treatment of 48 L of FBW. The sludge was dried (35°C/7 days), ground, and subjected to pyrolysis at 600°C under N₂ atmosphere, yielding 65.86% adsorbent. Part of the adsorbent was activated with CO₂ at 600°C, obtaining a yield of 62.38% activated adsorbent. The results demonstrate the technical feasibility of the proposal, where EC acts as an efficient treatment for FBW and the residual sludge serves as a promising precursor for adsorbent production, aligning with the principles of the circular economy.

Keywords – Backwash water, electrocoagulation, sludge valorization, pyrolysis, activated carbon.

HIGHLIGHTS

- Electrocoagulation treated 48 L of filter backwash water, generating only 2.48 L of sludge.
- The sludge was converted into adsorbent and activated adsorbent with yields > 62%.
- A complete valorization route was developed for a problematic residue from the filtration stage.

§§§§§ Autor para correspondência.
E-mail: pscalize@ufg.br (Prof. P. Scalize)

1 INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) geram, água de lavagem dos filtros (ALF), considerado resíduo sólido segundo NBR 1000 (ABNT 2004). Este efluente é caracterizado por sua alta turbidez, sólidos suspensos e, potencialmente, pela presença de coagulantes residuais e matéria orgânica (Bourgeois et al. 2004). O descarte inadequado deste resíduo representa um impacto ambiental em corpos de água, além de constituir um desperdício de recursos hídricos (Di Bernardo et al. 2017). Neste contexto, a busca por tecnologias sustentáveis para a valorização da ALF torna-se imperativa.

Dentre as tecnologias emergentes, a eletrocoagulação (EC) destaca-se como uma solução promissora para o tratamento de efluentes. Na EC, a dissolução eletroquímica de ânodos metálicos gera cátions que hidrolisam formando coagulantes *in situ* (Sadaf et al. 2024). A grande vantagem do processo é a sua capacidade de produzir flocos grandes e densos, facilitando a separação sólido-líquido (Hakizimana et al. 2017). No entanto, a EC gera um lodo residual, cujo gerenciamento e descarte final representam um novo desafio.

Paralelamente, a pirólise surge como uma opção emergente para a valorização de lodos, transformando este resíduo em materiais modificados com propriedades adsorventes (Valério et al. 2020). Lodos provenientes de processos de tratamento de água, ricos em hidróxidos metálicos, mostram-se viáveis para a produção de carvões ativados e com vasta aplicação na remoção de poluentes (Mian et al. 2023). A ativação física é uma técnica amplamente utilizada para desenvolver a porosidade desses materiais carbonáceos (Li et al. 2020).

Nesse contexto, esta pesquisa visa demonstrar o potencial de valorização do lodo gerado pela eletrocoagulação da água de lavagem de filtros de uma ETA.

2 METODOLOGIA

2.1 Preparação da água de lavagem de filtros

A ALF utilizada neste estudo foi coletada na Estação de Tratamento de Água Meia Ponte, localizada em Goiânia-GO. Utilizou-se uma amostra simples, uma vez que o efluente seria preparado e caracterizado no laboratório. A amostra bruta foi utilizada para preparar uma solução com concentração definida de 250 mg.L⁻¹ de sólidos totais e turbidez de 298 NTU, simulando assim as características típicas deste efluente conforme literatura (Lima et al. 2025). A água sintética foi armazenada em um tanque de 200 litros equipado com um agitador mecânico (Figura 1a), garantindo a completa homogeneidade do efluente durante todo o período dos ensaios.

2.2 Tratamento por eletrocoagulação

O bombeamento da ALF sintética para o reator de eletrocoagulação de fluxo contínuo foi feito pela motobomba FAMAC, modelo LKm60-1 (1/2 HP). A vazão de entrada no reator foi controlada por um conjunto de três válvulas, sendo duas de bloqueio em linha e uma de retorno, que permitia a recirculação do efluente para o tanque de armazenamento. Para garantir a continuidade do processo, a saída do reator tem um registro que manteve o nível de água constante. Ao todo foi tratado 48 L de ALF.

O tratamento por eletrocoagulação foi realizado utilizando eletrodos de alumínio (Figura 1b). Foram testadas duas configurações operacionais, variando a altura útil do reator de 20 cm e 40 cm, e a densidade de corrente aplicada entre 0,3 A e 0,5 A.

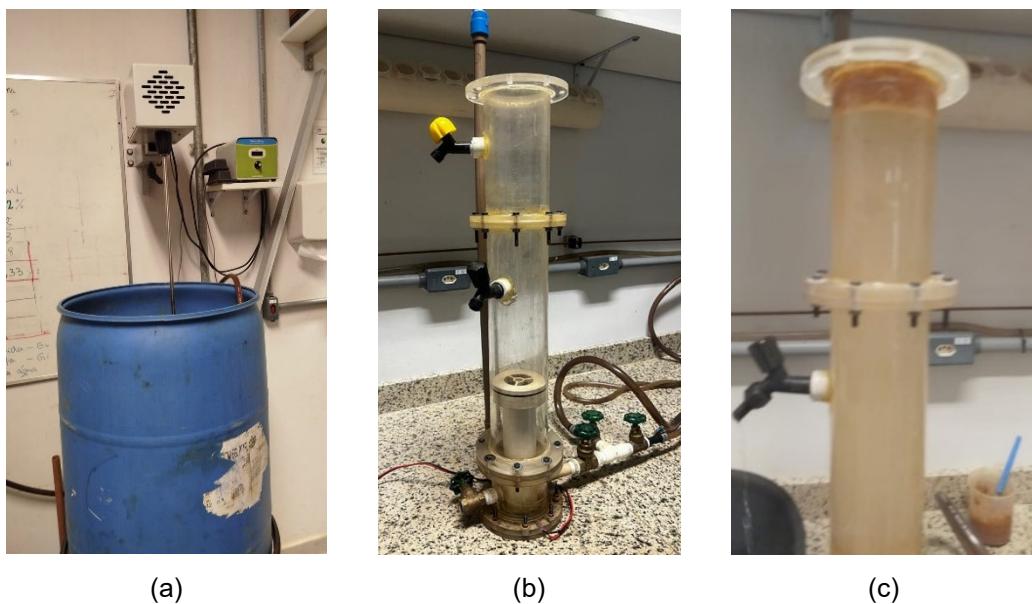


Figura 1. Reservatório de 200 L com agitação mecânica (a), reator de eletrocoagulação com registros de entrada e saída (b), geração e coleta de lodos durante a EC (c).

2.3 Coleta do lodo

Ao longo de 8 horas de operação, distribuídas em diferentes dias e sob as diversas configurações testadas, o lodo flotado acumulou-se na superfície do reator (Figura 1c). Ademais, o tratamento foi conduzido com uma vazão média de 100 ml.min⁻¹.

Devido à sua consistência densa, o lodo pode ser removido fisicamente com uma espátula sem interferir no curso contínuo da eletrocoagulação (Hakizimana et al. 2017). O material coletado foi acondicionado em um béquer de 500 ml. Ao final do período experimental, totalizou-se a coleta de 2,4 L de lodo úmido.

2.4 Preparação de amostra

O lodo úmido coletado foi submetido à secagem em estufa a 35 °C por um período de 7 dias (Han et al. 2012). Posteriormente, o lodo seco foi moído manualmente, de modo a obter partículas de tamanho reduzido e uniforme. Ao final deste processo, obteve-se uma massa total de 143,4 g de lodo seco e moído. O material resultante foi armazenado em um recipiente hermético, mantido em temperatura ambiente.

2.5 Produção de Adsorvente

2.5.1 Pirólise

Foi conduzida em um forno tubular horizontal da marca SANCHIS, sob atmosfera inerte de nitrogênio (N₂), com fluxo controlado de 160 ml.min⁻¹. Para isso, a partir da massa total de lodo seco obtida (143,4 g) foram pesadas alíquotas de 50 g da amostra e submetidas a pirólise lenta, com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹ até atingir a temperatura final de 600 °C, que foi mantida por 2 horas (Chen et al. 2002).

2.5.2 Ativação

Uma porção do adsorvente produzido foi subsequentemente ativado termicamente com dióxido de carbono como agente ativador. O processo de ativação foi realizado a 600 °C, com um fluxo de CO₂ de 250 ml.min⁻¹ (Castro et al., 2023), visando desenvolver a porosidade e aumentar a área superficial do material. Dessa forma, obteve-se duas amostras distintas: lodo carbonizado, e lodo ativado (Figura 2).

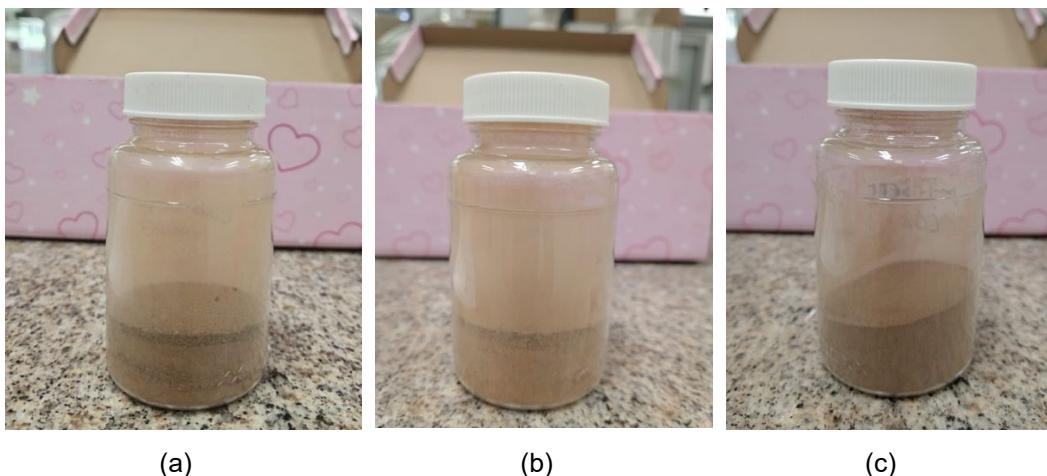


Figura 2. Lodo após secagem (a), material após carbonização (b), Material após ativação com CO_2 (c).

3 RESULTADOS

O tratamento de 48 L de ALF por EC, em um reator vertical de fluxo contínuo, com uma vazão média de $100 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ por 8 horas, resultou na geração de 2,48 L de lodo úmido. Após o processo de secagem em estufa a 35°C por 7 dias, observou-se uma redução volumétrica de 82% em relação ao volume inicial de lodo úmido, resultando em uma massa total de 143,4 gramas de lodo seco (Quadro 1).

Quadro 2. Balanço de massas do lodo após secagem.

| Material | Massa (g) | Volume (L) | Porcentagem de Redução |
|------------|-----------|------------|------------------------|
| Lodo Úmido | - | 2,48 | - |
| Lodo Seco | 143,4 | 0,45 | 82% |

Desse total, uma porção de 100 g foi selecionada para as etapas de conversão térmica: 50 g foram submetidas à carbonização, resultando em uma massa de 32,93 g de adsorvente; e outros 50 g de lodo seco foram submetidos ao processo de carbonização seguido de ativação física com CO_2 , resultando em uma massa final de 31,19 g de adsorvente ativado (Quadro 2).

Quadro 2. Rendimentos dos processos de carbonização e ativação.

| Amostra | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Rendimento (%) |
|--------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Carbonização | 50 | 32,93 | 65,86 |
| Adsorvente ativado | 50 | 31,19 | 62,38 |

O processo de carbonização do lodo seco resultou em um rendimento de 65,86% em biochar. Já o processo de carbonização seguido de ativação com CO_2 resultou em um rendimento de 62,38% em adsorvente ativado (Quadro 2).

4 DISCUSSÕES

O volume de lodo úmido gerado a partir do tratamento de ALF representa um rendimento de aproximadamente 5,2% em volume. Esta baixa geração de lodo está ligada ao processo de eletrocoagulação na aglomeração e remoção dos sólidos suspensos presentes no efluente. Estudos de comparação corroboram a vantagem do processo, demonstrando que a geração de lodo pode ser menor do que a produzida por coagulantes químicos (Mollah et al. 2004, Sadaf et al. 2024). A consistência densa do lodo, que permitiu sua fácil coleta.

A redução volumétrica em 82% após a secagem, resultando num volume final de 0,45 L, evidencia o alto teor de água presente no lodo (Chen et al. 2020). Esta etapa é importante para a redução massiva do volume do resíduo, facilitando seu manejo, transporte e processamento subsequente.

Os rendimentos obtidos nas etapas térmicas, de 65,86% para a carbonização e 62,38% para a carbonização seguida de ativação, são valores esperados para resíduos lignocelulósicos que são volatilizados, além dos componentes e à fixação do carbono fixo na matriz do biochar (Libra et al. 2011).

A perda de massa adicional durante a ativação com CO₂ é um processo desejável, pois corresponde à gasificação do carbono amorfado, que abre a estrutura porosa e desenvolve a área superficial do material (Li et al. 2020). Este processo é indicado na eq. 1.



Os rendimentos obtidos, somados à sua natureza mineral, indicam que a valorização para este lodo pode estar na sua incorporação em processos que utilizem compostos inorgânicos como matéria-prima, fechando o ciclo dos materiais dentro do princípio da economia circular.

Espera-se que seja eficiente na remoção de poluentes diversos, estando sendo testado na remoção de flúor.

5 CONCLUSÕES

O processo de eletrocoagulação gerou um volume de lodo inferior com respeito ao lodo produzido por tecnologias convencionais, como a coagulação físico-química.

A etapa de secagem do lodo úmido a 35 °C mostrou-se uma estratégia eficiente para a redução do volume, facilitando a moagem do lodo seco para os seguintes processos.

As etapas de conversão térmica do lodo seco demonstraram viabilidade técnica. Os rendimentos obtidos são comparáveis aos reportados como lodo de estação de tratamento de esgoto.

A perda de massa ocorrida durante a ativação com CO₂ é um indicativo do sucesso do processo de desenvolvimento de porosidade no material carbonáceo.

O estudo confirmou o potencial do lodo gerado pela eletrocoagulação da ALF como um precursor promissor para a produção de materiais carbonáceos de valor agregado, estabelecendo uma rota de valorização de resíduos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (PPGEAS) da Universidade Federal de Goiás (UFG) pelo suporte infraestrutural e técnico para a realização deste trabalho.

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e CNPq pela concessão de recursos e bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- Angela Di Bernardo Dantas, & Voltan, P. E. N. (2017). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água: 2017 - 3^a Edição*. LDiBe.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004). *NBR 10004: Resíduos sólidos—Classificação* (No. 10004). Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>
- Bourgeois J. C., Walsh M. E., & Gagnon G. A. (2004). Treatment of drinking water residuals: Comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios. *Water Research*, 38(5), 1173-1182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.018>
- Castro P. M. de, Ferrarini S. R., Rimoli M. da S. F., Merlo A. A., Nogueira R. M., & Pires E. M. (2023). Preparation and characterization of steam and CO₂ activated carbon from Brazil nut shell. *Bioscience Journal*, 39, e39054-e39054. <https://doi.org/10.14393/BJ-v39n0a2023-64438>
- Chen X., Jeyaseelan S., & Graham N. (2002). Physical and chemical properties study of the activated carbon made from sewage sludge. *Waste Management*, 22(7), 755-760. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00057-0)
- Chen Y., Wang R., Duan X., Wang S., Ren N., & Ho S.-H. (2020). Production, properties, and catalytic applications of sludge derived biochar for environmental remediation. *Water Research*, 187, 116390. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116390>
- Hakizimana J. N., Gourich B., Chafi M., Stiriba Y., Vial C., Drogui P., & Naja J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- Han R., Liu J., Zhang Y., Fan X., Lu W., & Wang H. (2012). Dewatering and granulation of sewage sludge by biophysical drying and thermo-degradation performance of prepared sludge particles during succedent fast pyrolysis. *Bioresource Technology*, 107, 429-436. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.123>
- Li Y., Chang F., Huang B., Song Y., Zhao H., & Wang K. (2020). Activated carbon preparation from pyrolysis char of sewage sludge and its adsorption performance for organic compounds in sewage. *Fuel*, 266, 117053. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117053>
- Libra J. A., Ro K. S., Kammann C., Funke A., Berge N. D., Neubauer Y., Titirici M.-M., Fühner C., Bens O., Kern J., & Emmerich K.-H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71-106. <https://doi.org/10.4155/bfs.10.81>
- Lima I., Valverde Pereira L., Sa, M., Assunção T., & Pereira R. (2025). CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS DE ETA VISANDO TRATAMENTO E REÚSO.
- Mian M. M., Ao, W., & Deng S. (2023). Sludge-based biochar adsorbent: Pore tuning mechanisms, challenges, and role in carbon sequestration. *Biochar*, 5(1), 83. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00288-w>
- Mollah M., Morkovsky P., Gomes J., Kesmez M., Parga J., & Cocke D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1-3), 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>
- Sadaf S., Roy H., Fariha A., Rahman T. U., Tasnim N., Jahan N., Sakan-Adeaga A. A., Safwat S. M., & Islam M. S. (2024a). Electrocoagulation-based wastewater treatment process and significance of anode materials for the overall improvement of the process: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 62, 105409. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105409>
- Sadaf S., Roy H., Fariha A., Rahman T. U., Tasnim N., Jahan N., Sakan-Adeaga A. A., Safwat S. M., & Islam M. S. (2024b). Electrocoagulation-based wastewater treatment process and significance of anode materials for the overall improvement of the process: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 62, 105409. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105409>

Valério Filho A., Xavaré Kulman R., Vaz Tholozan L., Felkl de Almeida A. R., & Silveira da Rosa G. (2020). Preparation and Characterization of Activated Carbon Obtained from Water Treatment Plant Sludge for Removal of Cationic Dye from Wastewater. *Processes*, 8(12), 1549. <https://doi.org/10.3390/pr8121549>

Towards circular construction: mortar with dried and incinerated WWTP sludge

Ramiro J E Martins ^{a,*}

Technology and Management School, Bragança Polytechnic University, 5300-253, Bragança, Portugal.

Centro de Investigação de Montanha (CIMO) and Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Bragança, 5300-253, Portugal.

ABSTRACT

To create alternatives for the disposal of sludge generated in wastewater treatment plants and contribute to reducing the environmental impacts generated by the construction industry, this study aimed to evaluate the technical feasibility of partially replacing cement in the production of mortars with the sludge produced at the Bragança WWTP. The sludge was characterised in relation to pH, moisture, total solids, and organic matter content and underwent different preparation processes (4) before being incorporated into the mortar. M1: the previously dried sludge was burnt for 0.5 h at 300 °C and for 3 more hours at 900 °C. M2: the sludge was dried for 24 hours at 105 °C. M3: the sludge was dried for 7 days by solar exposure. M4: The sludge was dried for 15 d by solar exposure. After sludge preparation, it was triturated and incorporated into the mortar mixture, with the proportions of sand and water being 54% and 14%, respectively. The slurry was incorporated at concentrations of 0, 3, 5, 7, and 10%. Specimens were molded for flexural and compressive strength tests. The specimen with 7% sludge of the M1 treatment obtained the best resistance, surpassing the standard, and the specimens with sludge of the M2, M3, and M4 treatments showed similar results. The incorporation of sludge resulted in mortars within the specifications of the EN 998-1:2018 norm in terms of compressive strength, and consequently, has technical feasibility.

Keywords – Cement replacement, mechanical resistance, mortar, sustainability, WWTP sludge

HIGHLIGHTS

- Partial cement replacement with WWTP sludge was found to be technically feasible.
- The sludge underwent four preparation methods before mortar incorporation.
- The mortar with 7% M1 sludge achieved a higher strength than the reference.
- All mortars complied with EN 998-1:2018 compressive strength standards

* Corresponding author.

E-mail: rmartins@ipb.pt (Doctor R. Martins)

Rumo à construção circular: argamassa com lamas de ETAR secas e incineradas

Ramiro J E Martins^{a,}*

Technology and Management School, Bragança Polytechnic University, 5300-253, Bragança, Portugal.

Centro de Investigação de Montanha (CIMO) and Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Bragança, 5300-253, Portugal.

RESUMO

De forma a criar alternativas para a disposição das lamas geradas nas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e contribuir para a redução dos impactos ambientais provocados pela indústria da construção, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento na produção de argamassas pelas lamas produzidas na ETAR de Bragança. As lamas foram caracterizadas em termos de pH, humidade, sólidos totais e teor de matéria orgânica, tendo passado por quatro processos de preparação distintos antes de serem incorporadas na argamassa: no tratamento M1 a lama previamente seca foi calcinada durante 0,5 h a 300 °C e mais 3 h a 900 °C, no tratamento M2 a lama foi seca durante 24 h a 105 °C, no tratamento M3 a lama foi seca durante 7 dias por exposição solar e no tratamento M4 a lama foi seca durante 15 dias por exposição solar. Após a preparação, a lama foi triturada e incorporada na mistura da argamassa, sendo as proporções de areia e água de 54% e 14%, respetivamente, e utilizada em concentrações de 0, 3, 5, 7 e 10%. Foram moldados provetes para ensaios de resistência à flexão e compressão, tendo o provete com 7% de lama do tratamento M1 obtido a melhor resistência, superando o padrão, enquanto os provetes com lama dos tratamentos M2, M3 e M4 apresentaram resultados semelhantes entre si. A incorporação da lama resultou em argamassas dentro das especificações da norma EN 998-1:2018 no que respeita à resistência à compressão, revelando assim viabilidade técnica.

Palavras-Chave – Argamassa, lama de ETAR, resistência mecânica, substituição de cimento, sustentabilidade.

DESTAQUES

- Substituição parcial do cimento por lamas de ETAR mostrou-se viável.
- As lamas passaram por quatro métodos de preparação antes da incorporação.
- Argamassa com 7% de lama M1 obteve resistência superior ao padrão.
- Todas as argamassas cumpriram a norma EN 998-1:2018 em resistência

* Corresponding author.

E-mail: rmartins@ipb.pt (Doctor R. Martins)

1 INTRODUCTION

Portugal has 990 wastewater treatment plants (WWTP) (AdP, 2015). Over the years, water consumption has exhibited a steady upward trend, accompanied by a corresponding increase in the generation of sludge at WWTPs, as illustrated in Figure 1 (AdP, 2019). Data from the Águas de Portugal Group indicate that approximately 534 million meter ³ of wastewater was treated nationwide in 2016 (AdP, 2015). By 2019, sludge represented 94% of the 384 thousand tonnes of waste produced in WWTPs, with 99% of this sludge being recovered through agricultural applications (AdP, 2019).

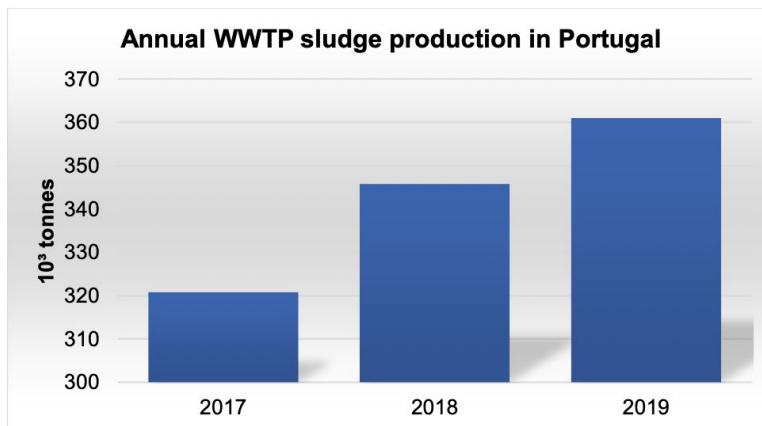


Figure 1. Evolution of annual sludge production in Portugal's WWTPs (AdP, 2019)

A sustainable strategy for managing the large volumes of sludge produced involves taking advantage of its mineralogical composition, which is primarily composed of hydroxides and oxides of silica, aluminium, and iron, and incorporating it into the production of construction materials (Gomes et al., 2019). This approach enables the valorisation of sludge, while simultaneously converting it into a stable and safe product suitable for practical applications (Gomes et al., 2019; Świerczek et al., 2018).

Pozzolanic additives can be incorporated into cement to enhance its mechanical strength. The pozzolanic reaction involves the binding of lime in the presence of water, leading to the formation of water-insoluble Ca silicates. Although the incorporation of sludge may adversely affect the workability of the mixture owing to increased water absorption and may prolong the setting time, it can also contribute to an improvement in compressive strength (Świerczek et al., 2018).

Prior to incorporating sludge into construction materials, it is essential to eliminate volatile compounds and degrade the organic matter present in the sludge. The presence of organic matter can lead to degradation or decomposition, causing structural changes in the final product, and ultimately reducing its durability. In contrast, the mineralogical transformation of sludge is desirable, as the rearrangement of its constituents can enhance the pozzolanic activity of the resulting material (Sampaio, 2017).

Thermal treatment of sewage sludge offers several advantages, including volume and weight reduction, elimination of toxic organics and pathogens, odor minimization, and energy recovery (Samolada and Zabaniotou, 2014). Incineration, the most common process, fully oxidises volatile matter and produces inert ash (Fytilli & Zabaniotou, 2008). In the European Union, approximately 22% of sludge is managed through incineration (Lynn et al., 2015). Although the resulting ash contains high levels of heavy metals, its incorporation into construction materials provides a safe and stable disposal route (Fytilli & Zabaniotou, 2008; Samolada & Zabaniotou, 2014).

The construction industry is the one that most exploits and consumes natural resources and uses energy intensively, thus generating quite considerable environmental impacts (Liebsch, 2019). Impacts are generated in practically all the productive phases of cement,

such as extraction, production, and even final disposal (Stein, 2016). CO₂ emissions from the cement industry represent more than 5% of global emissions and are expected to reach 30% by 2050 (Paris et al., 2016).

One way to sustainably manage the volume of sludge produced is to combine the mineralogical composition of the sludge, which is essentially hydroxides and oxides of silica, aluminium, and ferric, with the production/application in construction materials (Gomes et al., 2019). In this way, there is the valorisation of the sludge and the transformation into a safe and stable product (Świerczek et al., 2018)

2 OBJECTIVES

The purpose of this study was to:

1. To produce an ecological mortar by partially replacing cement with wastewater treatment plant (WWTP) sludge.
2. The effect of different sludge treatments on the mechanical performance of the resulting mortar specimens was evaluated.
3. To characterize the sludge prior to its incorporation into mortar.
4. The technical feasibility of the sludge treatment methods was assessed based on the achieved mechanical resistance.
5. The economic feasibility of sludge treatment was evaluated by comparing its energy consumption with that of conventional cement production.

3 METHODOLOGY

First, the sludge was characterised by pH, humidity (HUM), total solids (TS), and organic matter content (OM). The pH was determined based on Embrapa's (1997) soil pH analysis methodology (Claessen, 1997). The HUM was determined by drying a known mass of sludge in a dry porcelain crucible in an oven at 105 °C for 24 h until a constant weight was achieved (Clescerl et al., 1998). The determination of TS was carried out simultaneously with the determination of HUM; however, the mathematical equation used was different (Clescerl et al., 1998). To determine the OM, the same method used by Sampaio (2017) was applied, with a lower sludge mass of 0.5 g (Sampaio, 2017).

Different methods were used to prepare the sludge for the mortar to study the influence of the processed sludge on the mechanical strength of the specimen. Method 1 (M1): A mass of previously dried sludge was fired for 0.5 h at 300 °C and for a further 3 h at 900 °C in a muffle furnace (Nakic, 2018; Sampaio, 2017). Method 2 (M2): The sludge was dried in an oven at 105 °C for 24 h (Nakic, 2018; Sampaio, 2017). Methods 3 and 4: A sample of sludge was left in the sun to dry naturally, as in the work of Costa (2011), but for a period of 7 and 15 days (M3 and M4, respectively) (Costa, 2011). In this case, the residual unit was determined after the process.

Mortars were produced with 0 (standard), 3, 5, 7, and 10% cement substitution with processed sludge. All the produced specimens had the same concentration of sand and water, 54% and 14%, respectively. The production and storage of the specimens followed the NBR 5738 of the Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2015).

Figure 2 shows the production steps of the specimens. Figure 2a shows the mixer of pastes, and Fig. 2b and c show the horizontal compactor, and Figure 2d shows the prismatic molds.

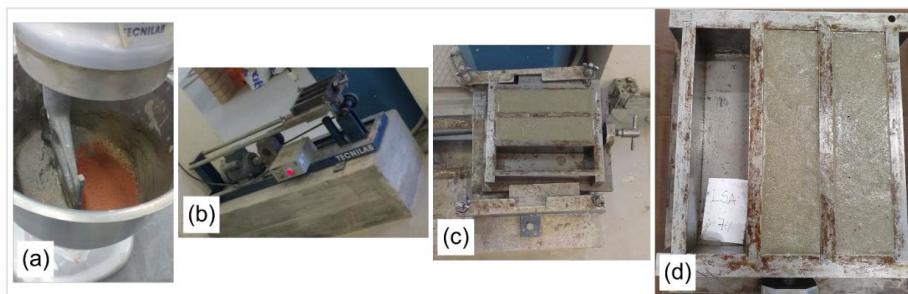


Figure 2. Preparation of the specimens

According to the EN 998-1 standard, the mortar is classified by the compression resistance that the specimen supports on the 28th day of curing, as shown in Table 1 (EN 998-1, 2017).

Table 1. Requirements for compressive strength applied to mortars (EN 998-1, 2017)

| Categories | Values (MPa) |
|------------|--------------|
| CS I | 0.4 – 2.5 |
| CS II | 1.5 – 5.0 |
| CS III | 3.5 – 7.5 |
| CS IV | ≥ 6 |

Statistical analysis of the means obtained in the final compressive strength test was performed using a unilateral analysis of variance (ANOVA) subjected to Tukey's multiple range test.

4 RESULTS AND DISCUSSION

Characterisation of the sludge showed that it had a pH of 7.8, humidity of $83.2 \pm 0.2\%$, total solids of $16.8 \pm 0.2\%$, and organic matter content of $20.7 \pm 4.4\%$. These data show that the sludge was non-chemically stabilised and had a low organic matter content, probably due to the high efficiency of the digestor. The humidity was comparable to the values reported in other studies (Alvarenga et al., 2015; Ferreira, 2010; Sampaio, 2017; Świerczek et al., 2018).

The residual humidity of the sun-dried sludge was determined, to M3 5.5% and for M4 4.0%. For M2, the residual humidity was considered to be 0%.

Figure 3 shows the compressive strength of the specimens on the 28th day of curing, and the homogeneous groups created according to Tukey's test are arranged by lower-case letters.

M1 with a 7% concentration showed higher strength than the standard and other specimens with sludge ash (M1). At the other concentrations, the incorporation of sludge ash did not significantly impact the mechanical strength acquired by the mortar, as they obtained strength very similar to the standard, and all are in the same homogeneous group (hi). All specimens with M1 were classified as CS IV. The chemical and morphological changes that occur during sludge burning result in a final structure with greater resistance (Filho et al., 2017; Lynn et al., 2015).

The specimens with M2, M3, and M4 showed similar mechanical strength values and behavior. In these cases, the strength decreased as the concentration of the processed sludge increased. The results for each concentration were similar, regardless of the drying process. All mortars with dry sludge particles have a compressive strength greater than 6 MPa; therefore, they are all in the category CS IV.

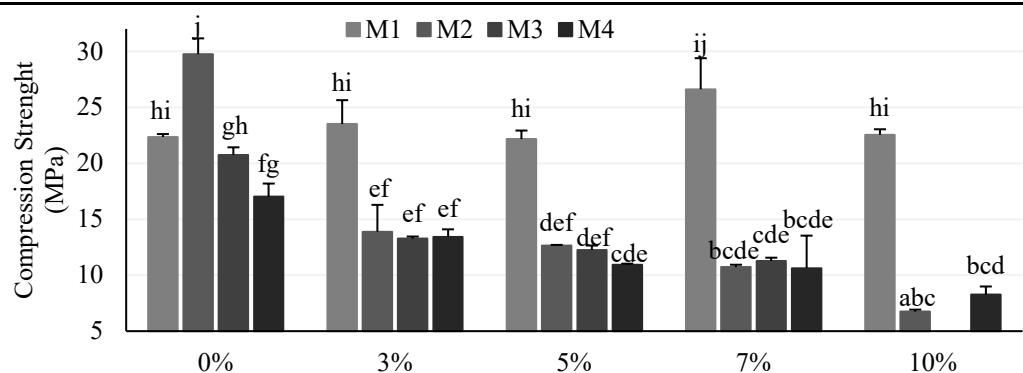


Figure 3. Average compressive strength and homogeneous groups created according to the Tukey's test

The combination of the residual humidity data M3 and M4 (considering 0% HUM for M2), the mechanical strength, and the homogeneous groups obtained show that in the possibility of sludge drying in the sun, there is no variation in the quality of the mortar obtained with the same mortar produced with kiln-dried sludge, provided that the system formed contributes to the efficiency of the drying process and that the climatic conditions are favorable.

The variation in the standard specimens may be due to changes in cement due to the way the bags were stored after being opened, as well as irregularities in the quality of the sand used.

5 CONCLUSIONS

The characteristics of the sludge collected at the Bragança WWTP, combined with the mechanical strength results, indicate that the sludge has significant potential for incorporation into construction material. The use of sludge ash in small proportions did not significantly affect the mechanical strength of mortar.

Replacing 7% of cement with sludge ash improved the mechanical performance of the mortar compared to the standard mortar, showing that the controlled incorporation of sludge can enhance material performance in certain proportions.

When comparing the drying methods, sun drying and kiln drying, no significant differences were found in the quality of the resulting mortar. However, the residual moisture content of the sludge prior to incorporation is an important factor that can influence the final performance of the material.

The incorporation of dried sludge into mortar slightly reduced the mechanical strength compared to that of the standard mortar. Nonetheless, even at concentrations up to 10%, this reduction is not sufficient to classify the mortar as lower strength, keeping it suitable for construction applications.

Therefore, the use of sludge in mortar mixtures represents an effective solution for the stable and safe disposal of WWTP sludge, while simultaneously promoting environmental sustainability and efficiency in the construction industry.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge Águas do Norte – Bragança WWTP for providing the sludge used in this study.

REFERENCES

- AdP, Águas. de Portugal (2019). *Relatórios de Sustentabilidade (Sustainability Reports)*. <https://www.adp.pt/pt/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/?id=214>
- AdP, Águas de Portugal (2015). *O ciclo urbano da água (The urban water cycle)*. <https://www.adp.pt/pt/atividade/o-que-fazemos/o-ciclo-urbano-da-agua/?id=28>
- Águas do Algarve. (n.d.). *Lamas de ETAR*. Retrieved February 2, 2020, from www.aguasdoalgarve.pt/content/lamas-de-atar
- Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Morais, M. C., Cunha-Queda, C. (2015). Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management*, 40(276), 44–52. doi:10.1016/j.wasman.2015.01.027
- Claessen, M. E. C. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. In Embrapa Solos-Dокументos (INFOTECA-E) (2nd ed.). Copyright.
- Clescerl, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (M. A. H. Franson, Ed.; 24th ed.). American Public Health Association.
- EN 998-1. (2017). *Specification for Mortar for Masonry – Part 1: Rendering and Plastering Mortar* 25. doi:10.1016/ICS: 91.100.10
- Costa, Á. J. C. da. (2011). *Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP*. Escola de Engenharia de São Carlos.
- Ferreira, L. dos S. (2010). *Caracterização de lamas de ETA's para aplicação na indústria cerâmica*. Universidade de Aveiro.
- Filho, J. H., Gobbi, A., Pereira, E., Tanaka, R. S., & Medeiros, M. H. F. de. (2017). Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica com cimento portland (IAP), difração de raios-x (DRX) e termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. *Revista Materia*, 22(3). doi:10.1590/S1517-707620170003.0207
- Fytilli, D., Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12, 116–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
- Gomes, S. de C., Zhou, J. L., Li, W., Long, G. (2019). Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 148–159. doi:10.1016/j.resconrec.2019.02.032
- Liebsch, A. (Ambar). (2025, July 31). *Sustentabilidade na construção civil: aplicações em obras populares*. <https://www.ambar.tech/sustentabilidade-na-construcao-civil-aplicacoes-em-obra populares/>
- Lynn, C. J., Dhir, R. K., Ghataora, G. S., West, R. P. (2015). Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete. *Construction and Building Materials*, 98, 767–779. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.08.122
- Nakic, D. (2018). Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA. *Sustainable Production and Consumption*, 16, 193–201. doi:10.1016/j.spc.2018.08.003
- Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., Deford, H. D., & Townsend, T. G. (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. *Journal of Cleaner Production*, 121, 1–18. doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.013
- Samolada, M. C., Zabaniotou, A. A. (2014). Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag*. 34, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.003>
- Sampaio, D. J. R. (2017). *Análise da viabilidade técnica da utilização de lama de ETA para substituição parcial de cimento na produção de betão*. In Dissertação submetida para

obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.

Stein, R. T. (2016). *Características de pastas de cimento portland com adição de cinza de lodo de ETA*. Universidade Federal de Santa Maria.

Świerczek, L., Cieślik, B. M., & Konieczka, P. (2018). The potential of raw sewage sludge in construction industry – A review. *Journal of Cleaner Production*, 200, 342–356. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.188

Aplicação de composto como abordagem sustentável para a reabilitação de solos queimados

Maria Elisabete F. Silva ^{a,*}, S. Marques ^a, S. Santos ^a, Isabel P. L. Brás ^{a,c}

^a Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Ambiente, Viseu, Portugal

^b Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, LEPABE, Porto, Portugal

^c Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Ambiente, CISeD, Viseu, Portugal

RESUMO

Os incêndios florestais alteram significativamente as propriedades do solo, reduzindo a fertilidade, a matéria orgânica e a atividade biológica. A recuperação das florestas é dificultada devido à falta desta biodiversidade. Este estudo apresenta resultados obtidos com práticas de regeneração do solo pós-incêndio rural em regiões mediterrânicas, comparando a regeneração natural com diferentes opções de recuperação do solo através da aplicação de material orgânico. Para tal foi feita a caracterização das áreas não queimadas e queimadas, avaliando os efeitos do fogo sobre as propriedades físico-químicas e biológicas do solo. Posteriormente, estas áreas foram utilizadas para desenvolver diferentes opções de restauração do solo através da aplicação de compostos produzidos a partir de resíduos urbanos e agroflorestais. O fogo tem um impacte negativo nos solos em termos de aspetos químicos e biológicos. A recuperação de solos queimados com aplicação de composto é uma importante metodologia, apresentando resultados muito satisfatórios de índices de germinação e crescimento de plantas, demonstrando que melhora os solos e simultaneamente contribui para a sustentabilidade da gestão de resíduos urbanos e florestais.

Palavras-Chave – Solo Queimado, Cobertura Morta, Pós incêndio, Regeneração.

DESTAQUES

- Os incêndios florestais reduzem a fertilidade do solo, a matéria orgânica e a atividade microbiana.
- O composto restaura as propriedades físico-químicas e biológicas do solo.
- Os índices de germinação e crescimento confirmam a melhoria do solo e da vegetação.
- A utilização de composto ajuda na recuperação do solo e promove a utilização sustentável dos resíduos.

* Autor para correspondência.

E-mail: beta@estgv.ipv.pt (Doutor M.E. Silva)

Compost application as a sustainable approach to the rehabilitation of burnt soils

Maria Elisabete F. Silva ^{a,*}, S. Marques ^a, S. Santos ^a, Isabel P. L. Brás ^{a,c}

^a Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Ambiente, Viseu, Portugal

^b Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, LEPABE, Porto, Portugal

^c Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Departamento de Ambiente, CISeD, Viseu, Portugal

ABSTRACT

Forest fires significantly modify soil properties, reducing fertility, organic matter and biological activity. Forest recovery is hampered due to the lack of this biodiversity. This study presents results obtained with post-rural fire soil regeneration practices in Mediterranean regions, comparing natural regeneration with different soil recovery options through the application of organic material. For this purpose, the characterisation of the unburned and burned areas was conducted, evaluating the effects of fire on the physical and chemical properties of the soil. Subsequently, these areas were used to develop different soil restoration options through the application of composts produced from urban and agroforestry waste. Fire has a negative impact on soils in terms of chemical and biological aspects. The recovery of burnt soils with the application of compost is an important methodology, presenting very satisfactory results of germination and plant growth rates, demonstrating that it improves soils and simultaneously contributes to the sustainability of urban and forest waste management.

Keywords – Burned Soil, Mulching, Post fire, Regeneration.

HIGHLIGHTS

- Wildfires reduce soil fertility, organic matter and microbial activity.
- Compost from residues restores chemical and biological soil properties.
- Germination and growth indices confirm improved soil and vegetation.
- Compost use aids soil recovery and promotes sustainable waste use.

* Corresponding author.

E-mail: beta@estgv.ipv.pt (Doctor M.E. Silva)

1 INTRODUÇÃO

Em 2024 registaram-se 6 255 incêndios rurais em Portugal continental. Estes incêndios resultaram numa área ardida total de 137 651 hectares, onde 82 009 ha ocorreu em povoamentos florestais, 46 089 ha em matos e pastagens naturais e 9 553 ha em áreas agrícolas (APA, 2024). Ao longo dos anos tem havido uma redução significativa no número médio de incêndios, mas por vezes com área ardida média com valores elevados, como 2017, 2022 e 2024. Os incêndios provocam a destruição da matéria orgânica, essencial para a nutrição das plantas. Sem regeneração, o solo torna-se pobre, dificultando o crescimento da vegetação e comprometendo a recuperação dos ecossistemas.

A regeneração de solos queimados centra-se na avaliação da eficácia de várias técnicas de gestão pós-incêndio para restaurar a qualidade do solo e promover a recuperação do ecossistema após incêndios florestais. Existem diversas práticas de regeneração pós-incêndio, que são utilizadas globalmente para restaurar a sua qualidade, sendo a *mulching*, a sementeira, a remediação microbiana, a aplicação de *biochar* e a aplicação de aditivos/composto orgânicos as mais comuns (Pereira et al, 2018). Os principais parâmetros físico-químicos e biológicos do solo que são controlados para avaliar a sua eficácia são o pH, condutividade elétrica, matéria orgânica, humidade e cinzas/compostos inorgânicos, níveis de nutrientes (azoto, fósforo, potássio, magnésio), bases trocáveis, saturação por bases e atividade microbiana. A aplicação de cobertura morta, também designada de *mulching*, que envolve a aplicação de materiais como palha, estilha de madeira ou hidrocobertura na superfície do solo, ajuda a reduzir a erosão, diminuir o escoamento da água e melhorar a sua retenção. Keizer et al. (2019) e De la Rosa et al. (2019) reforça que o *mulching* reduz a erosão do solo em até 80-90%, tornando-se um dos métodos mais eficazes imediatamente após um incêndio. A sementeira e/ou plantação é outro método frequentemente utilizado, onde espécies herbáceas ou gramíneas são plantadas para estabilizar o solo e promover a recuperação da vegetação. Embora eficaz, o seu sucesso depende de fatores como precipitação e estabelecimento de plântulas. Estas técnicas são especialmente úteis em áreas onde a regeneração natural é insuficiente. A aplicação de *biochar* e aditivos orgânicos, como o composto, é utilizada para melhorar a fertilidade do solo e apoiar a recuperação microbiana, embora estes métodos sejam menos utilizados. Em Portugal, as técnicas de regeneração são adaptadas ao clima mediterrânico do país, sendo o *mulching* particularmente importante.

Embora as estratégias pós-incêndio precisem abordar as condições locais do solo e hidrológicas para evitar mais degradação, a integração de práticas sustentáveis como a agrofloresta e o aproveitamento da simbiose microbiana podem facilitar a recuperação e a conservação a longo prazo. As lacunas de investigação nas práticas de regeneração do solo pós-incêndio incluem a eficácia a longo prazo das técnicas, combinações ótimas de métodos e a recuperação das propriedades biológicas do solo. Há uma compreensão limitada de como as condições locais afetam o sucesso da regeneração, e o papel dos aditivos e das alterações orgânicas precisa ser mais explorado. O impacte das alterações climáticas nas estratégias de regeneração exige também uma investigação mais aprofundada, a par de análises exaustivas de custo-benefício. Além disso, novas tecnologias de monitorização, como a sensorização remota, podem melhorar a eficiência. Por último, a integração das comunidades locais nos esforços de regeneração é pouco explorada, salientando a necessidade de soluções mais inclusivas e específicas para cada região. Este trabalho teve como objetivo estudar o efeito concreto de adição de composto preparado na região e quantificar a sua eficácia, facilitar a sua integração em políticas e estratégias para a preservação da floresta.

2 METODOLOGIA

Na região de Viseu, Portugal, onde os incêndios destroem uma área significativa todos os anos, foram selecionadas uma área ardida (Q) de cerca de 0,5 ha e uma área próxima não

ardida (NQ) com as mesmas dimensões (utilizada como controlo), para garantir as mesmas condições climatéricas e agrárias. A área queimada está localizada a 40°43'18"N de latitude e 8°00'23"W de longitude e a área não queimada está localizada a 40°43'49"N de latitude e 7°57'53"W de longitude. As imagens apresentadas foram tratadas com QGIS 3.28 Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Estas paisagens foram utilizadas para desenvolver diferentes opções de recuperação do solo espalhando compostos preparados a partir de resíduos urbanos (CRU) e compostos de resíduos agroflorestais (CRF). Ambos os compostos, foram aplicados com uma taxa média de 5kg/m². As amostras de solos foram coletadas após 6 meses da aplicação e recolhidas em duas profundidades diferentes (0-2 cm e 15-20 cm). Foram determinados o carbono, azoto, pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiónica (CTC) e bases de troca nas amostras coletadas. Com o solo coletado foram também realizados bioensaios avaliando-se o índice de crescimento (GRI) e o índice de germinação (IG) com sementes de tomate - *Lycopersicon esculentum*. A caracterização foi realizada seguindo os métodos padrão. Os compostos utilizados nos ensaios também foram caracterizados para avaliar a sua qualidade, conforme indicado na Portaria nº185/2022 (2022) para correção orgânica, estando reportados em Silva et al. (2024).

3 RESULTADOS

A área não ardida utilizada como controlo no presente estudo tem uma ocupação florestal dominada por espécies mediterrânicas (por exemplo, *Quercus coccifera*, *Cistus spp.*, *Pistacia lentiscus*, *Pinus pinaster*). A alta densidade de plantas mostra baixa perturbação antropogénica, indicando o uso da terra como silvicultura, conservação da biodiversidade ou sistemas silvo pastoris extensivos. A área ardida, apresenta características diferentes, em resultado de anteriores incêndios rurais e de perturbações ecológicas. A área é dominada por terras abertas com cobertura vegetal esparsa e baixa. A superfície do solo está parcialmente exposta, com espécies herbáceas e arbustivas dispersas irregularmente (Figura 1).

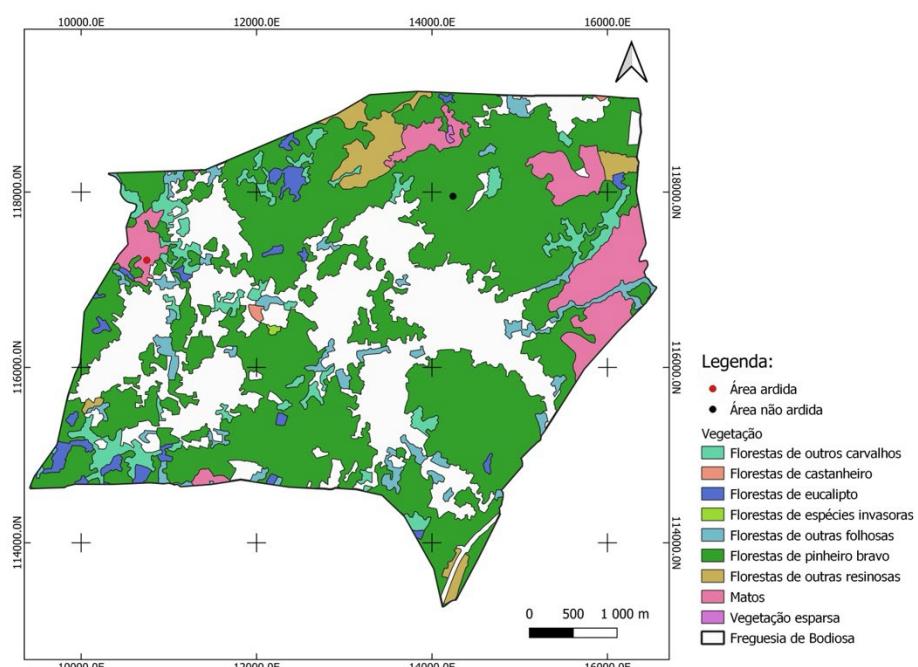


Figura 1. Mapa de ocupação do solo na freguesia de Bodiosa, Viseu, com a identificação das áreas queimada (Q) e não queimada (NQ) onde foi realizado o estudo.

A caracterização dos solos no final do ensaio, solo queimado e não queimado, e com 6 meses de aplicação dos diferentes compostos, está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização dos parâmetros físico-químicos dos solos- NQ – não queimado; NQ_CRU – não queimado com composto de resíduos urbanos; NQ_CRF – não queimado com composto de resíduos agroflorestais; Q – queimado; Q_CRU –queimado com composto de resíduos urbanos; Q_CRF – queimado com composto de resíduos agroflorestais

| Parâmetros | SOLOS | | | | | |
|----------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | NQ | NQ_CRU | NQ_CRF | Q | Q_CRU | Q_CRF |
| pH | 5,4 | 5,5 | 5,2 | 5,8 | 6,7 | 6,3 |
| CE [μ S/cm] | 15,1 | 22,9 | 16,3 | 26,2 | 59,2 | 40,0 |
| COT [%bs] | 6,9 | 9,7 | 5,3 | 8,3 | 7,9 | 8,3 |
| NTK [%bs] | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| P [mg/kg] | 14,6 | 34,9 | 15,9 | 150,9 | 294,8 | 135,6 |
| Mg ²⁺ [cmol/kg] | 0,8 | 1,5 | 0,6 | 1,6 | 8,3 | 3,3 |
| Na ⁺ [cmol/kg] | 1,4 | 1,7 | 1,3 | 1,2 | 1,8 | 0,9 |
| Ca ²⁺ [cmol/kg] | 2,2 | 4,4 | 2,2 | 21,6 | 76,4 | 32,9 |
| K ⁺ [cmol/kg] | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,1 |
| CTC [cmol/kg] | 12,4 | 8,8 | 9,4 | 6,1 | 5,9 | 6,0 |

bs – base seca.

Todos os solos apresentam pH ácido (5,2–6,7). O fogo elevou ligeiramente o pH (Q = 5,8) em relação ao solo não queimado (NQ = 5,4), o mesmo acontecendo com a condutividade elétrica, provavelmente pela presença de cinzas. A aplicação de compostos aumentou o pH, criando condições mais favoráveis para disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana. A aplicação de CRU e CRF intensificaram a salinidade do solo. Este aumento pode ser benéfico a curto prazo, mas níveis elevados de CE podem causar stresse salino em plantas.

A queima da vegetação durante o incêndio promoveu o aumento substancial do P disponível (Q = 150,9 mg/kg vs NQ = 14,6 mg/kg**), pela mineralização da matéria orgânica, tendo a adição de composto promovido ainda mais o seu incremento no solo. Um comportamento similar foi verificado para as bases de troca, especialmente o cálcio (Q = 121,6 cmol/kg vs NQ = 2,2 cmol/kg) devido à presença de cinzas ricas em carbonatos.

A adição de composto CRU reforçou a disponibilidade destes nutrientes em ambos os solos ao contrário do CRF como consequência do maior teor destes iões no composto de origem, como reportado por Silva et al. (2024). Todos estes iões estão também diretamente ligados com a condutividade elétrica determinada. A capacidade de troca catiônica (CTC), por seu lado, não sofreu um comportamento similar às bases de troca, provavelmente porque está também dependente da matéria orgânica do solo e outros elementos como o H⁺ e Al³⁺.

Se por um lado a CTC indica a capacidade do solo reter nutrientes a longo prazo, o teor indica a disponibilidade dos nutrientes efetivamente disponíveis em curto prazo. Após o incêndio as bases têm tendência de aumentar por entrada de cinzas, mas CTC pode cair pela perda de matéria orgânica disponível. No entanto, verificou-se que o solo queimado (Q = 8,3%) manteve valores relativamente altos de carbono, provavelmente devido à incorporação de carvão/pirolisados após o fogo e a aplicação de CRU e CRF nos solos queimados manteve níveis semelhantes, sugerindo que o efeito do fogo se sobrepõe ao efeito da adição. Como esperado o carbono orgânico NQ (6,9%) mostra valores mais baixos que NQ_CRU (9,7%), indicando que a adição de CRU enriquece o solo em matéria orgânica. Relativamente ao teor de azoto total, em todos os solos, os valores são baixos (0,1–0,2%), com pequenas diferenças entre tratamentos. A adição de composto não pareceu aumentar significativamente o NTK, o que pode refletir volatilização de N após o fogo e baixa incorporação de N disponível pelos compostos aplicados.

Os resultados obtidos com os ensaios de biofertilidade estão apresentados no Quadro 2. Interessa referir que o IC relativo ao efeito no crescimento de sementes de tomate em

vaso, com a consequente determinação de sementes germinadas e crescimento da biomassa aérea, o peso seco ou fresco da parte acima do solo, é superior nos solos não queimados onde não foi aplicado composto. A adição de composto mostra-se sempre como uma prática adequada para aumentar o crescimento de plantas, apresentando valores de IC superiores. Analisando os resultados da germinação de sementes, IG, onde se contabiliza o número de sementes germinadas e consequentes radículas, verificam-se maiores índices em solo não queimado.

Quadro 2. Resultados obtidos no índice de germinação (IG) e índice de crescimento (IC) - NQ – não queimado; NQ_CRU – não queimado com composto de resíduos urbanos; NQ_CRF – não queimado com composto de resíduos agroflorestais; Q – queimado; Q_CRU –queimado com composto de resíduos urbanos; Q_CRF – queimado com composto de resíduos agroflorestais

| Solos | | | | | | |
|---------------|-----|--------|--------|-----|-------|-------|
| | NQ | NQ_CRU | NQ_CRF | Q | Q_CRU | Q_CRF |
| IG (%) | 158 | 165 | 144 | 142 | 156 | 143 |
| IC (%) | 59 | 133 | 63 | 29 | 89 | 145 |

Apesar da utilização dos mesmos solos e sementes, os ensaios de germinação e crescimento podem revelar tendências distintas, refletindo as diferenças fisiológicas e ambientais que caracterizam cada fase do desenvolvimento vegetal. A germinação é um processo inicial, altamente dependente das condições imediatas de umidade, temperatura, oxigenação e luz, bem como da qualidade fisiológica da semente. Nesta fase, a planta depende exclusivamente das reservas internas da semente, sendo menos influenciada pela composição nutricional do solo. Por outro lado, o crescimento pós-germinativo envolve processos mais complexos e prolongados, como a formação de raízes, caules e folhas, exigindo uma interação contínua com o ambiente. Fatores como a disponibilidade de nutrientes, a estrutura física do solo, a presença de microrganismos benéficos ou patogénicos, a salinidade, o teor de metais pesados e a capacidade de retenção de água tornam-se determinantes nesta fase. Assim, solos que favorecem a germinação podem não sustentar adequadamente o crescimento, e vice-versa. Além disso, a presença de substâncias alelopáticas ou resíduos químicos pode não interferir na germinação, mas limitar o desenvolvimento vegetativo. A microbiota do solo, por sua vez, pode ter efeitos positivos ou negativos que só se manifestam após a emergência da plântula. Estes resultados evidenciam a importância de considerar ensaios complementares para uma avaliação abrangente da qualidade do solo e do desempenho das sementes, evitando conclusões precipitadas baseadas apenas numa fase do ciclo de vida da planta.

A aplicação de composto nos solos promove a recuperação da matéria orgânica e nutrientes essenciais como o potássio. Desta forma, é possível promover a recuperação da atividade microbiana, essencial para o ciclo de nutrientes e saúde do solo. Paralelamente ajudam a neutralizar o aumento da salinidade causado pelas cinzas, tornando o solo novamente capaz de sustentar o crescimento de plantas, reduzindo o tempo de recuperação.

4 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido em duas áreas distintas, embora na mesma freguesia e com relativa proximidade e exposição ambiental, permitiu estudar as características de solo exposto a incêndios rurais e o efeito da adição de composto na sua regeneração. Verificou-se que o fogo aumentou a disponibilidade imediata de nutrientes (P, Ca²⁺, Mg²⁺), mas reduziu a CTC e alterou o equilíbrio químico do solo. A adição de compostos, mais vincadamente do CRU quando comparado com o CRF aumentou nutrientes, CE e pH, favorecendo condições para crescimento vegetal, mas também pode elevar o risco de salinidade. Isto resulta da composição química do próprio composto produzido a partir de resíduos urbanos.

Os resultados demonstram que os solos não queimados apresentam valores elevados de crescimento de plantas, confirmando a sua maior fertilidade biológica. Nos solos queimados, observa-se uma redução acentuada da germinação e crescimento de plantas, refletindo o impacte negativo do fogo. A aplicação de composto de resíduos urbanos e agroflorestais melhora significativamente a biofertilidade dos solos queimados, com destaque para o tratamento com o composto com origem em resíduos agroflorestais, que apresenta o maior valor de índice de crescimento, evidenciando a capacidade dos compostos em recuperar a funcionalidade biológica e favorecer o restabelecimento da vegetação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto Ref. UIDB/05583/2020. Além disso, agradecemos ao Centro de Investigação em Serviços Digitais (CISeD) e ao Instituto Politécnico de Viseu pelo apoio ao Projecto R_FOREST.

REFERÊNCIAS

- APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2024). *Relatório do Estado do Ambiente 2024*. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/incêndios-rurais>.
- De la Rosa J.M., Jimenez-Morillo N.T., Gonzalez-Perez, J. A., Almendros G., Vieira D., Knicker H. E., Keizer, J. (2019). Mulching-induced preservation of soil organic matter quality in a burnt eucalypt plantation in central Portugal. *Journal of Environmental Management*, 231, 1315-1144. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.114>
- Keizer J.J., Silva F.C., Vieira D.C.S., González-Pelayo O., Campos I., Vieira A.M.D., Valente S., Prats S.A. (2019). The effectiveness of two contrasting mulch application rates to reduce postfire erosion in a Portuguese eucalypt plantation. *Catena*, 169, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.029>
- Pereira P., Francos M., Brevik E. C., Bogunovic I. (2018). Post-fire soil management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.002>
- Silva M.E.F., Saetta R., Raimondo R. et al. (2024) Forest waste composting—operational management, environmental impacts, and application. *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32279-0>

Patrocínios e Apoios

Platina



Associação de Municípios da Ilha de S. Miguel



OPERACOES MUNICIPAIS DO AMBIENTE E.I.M., S.A.



Apoio



GESTÃO INTEGRAL DE RESÍDUOS
INDUSTRIAL PERIGOSOS



ENVIRONMENT
GLOBAL FACILITIES



Resíduos de Embalagens



SECRETARIA RÉGIONAL DA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO
Direção Regional dos Recursos Florestais e Ordenamento Territorial



Secretaria Regional do Ambiente
e Ação Climática



Média Partner

