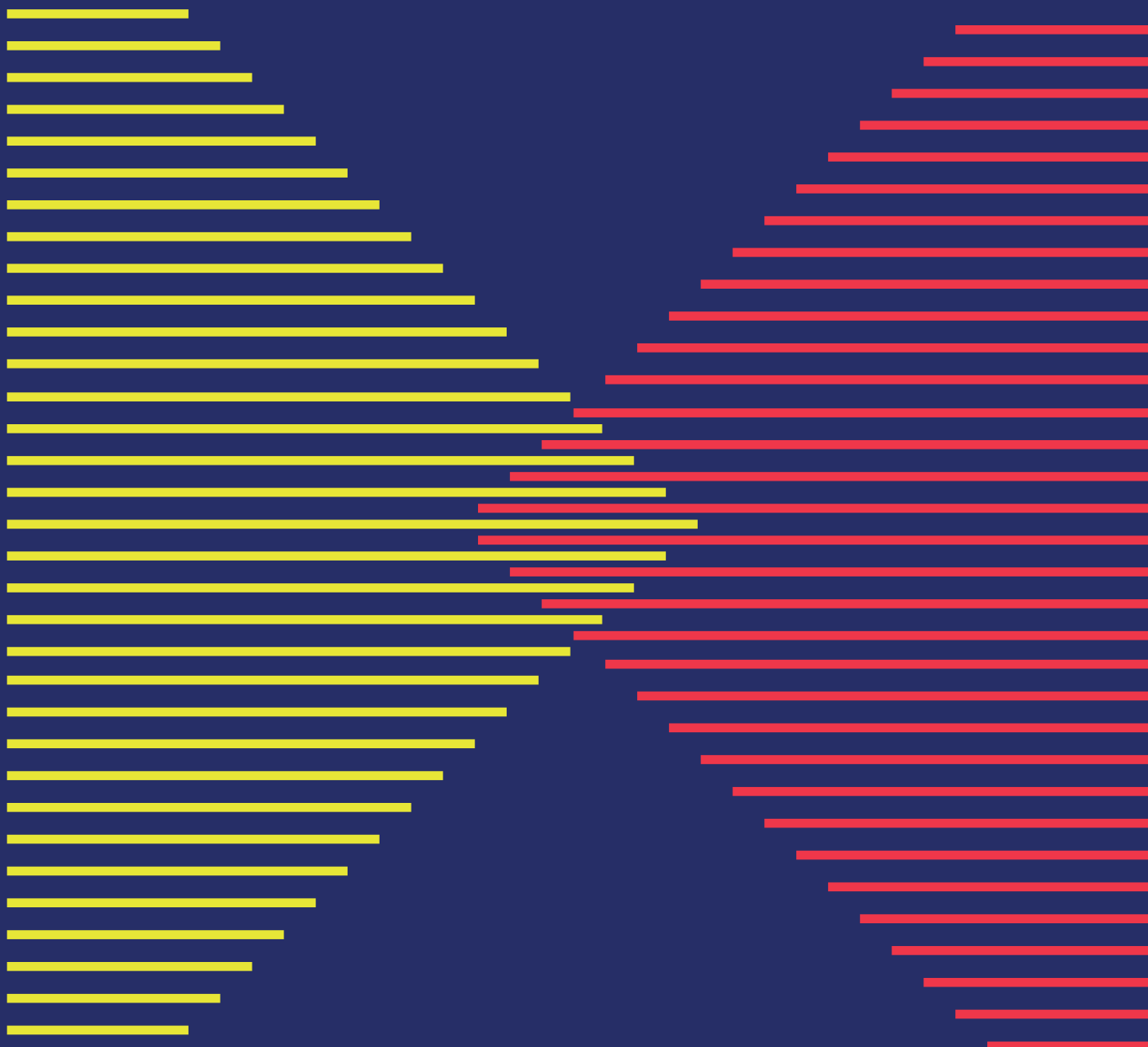




2023

Volume **1** | Número **1**

ISSN (ONLINE):

2975-8289

RAE

REVISTA DE ATIVOS DE
ENGENHARIA



Ficha técnica

Sede Social, Editor e Redação:

Startup Madeira - Campus da Penteada

9020 - 105 Funchal, Madeira

E-mail: geral@ponteditora.org

Telefone: 291 723 010

URL: Ponteditora – Formar uma pátria de língua portuguesa tendo por base a ciência.

URL (revista): [RAE - Revista de Ativos de Engenharia \(ponteditora.org\)](http://RAE - Revista de Ativos de Engenharia (ponteditora.org))

Diretor/Editor-Chefe: Nuno Almeida, PhD

Periodicidade: Semestral

Propriedade: Ponte Editora, Sociedade Unipessoal, Lda.

NIPC: 514 111 054

Composição do Capital da Entidade Proprietária:

10.000€, 100% detido por Ana Leite, Doutoranda.

Gestão/gerência (não remunerada): Eduardo Manuel de Almeida Leite, PhD.

ISSN (online): **2184-3090**

ERC: **127195**



EQUIPA EDITORIAL

EDITOR - CHEFE

Nuno Marques Almeida  - PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Instituto Superior Técnico, Portugal.

CONSELHO CIENTÍFICO

Ana Camanho  - PhD em Estudos Industriais e Empresariais, Professora Associada com Agregação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Ana Luís  - PhD em Gestão Estratégica do Risco em Entidades Gestoras de Infraestruturas de Água, Administradora Executiva AdP Internacional, Portugal.

António Aguiar Costa  - PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Instituto Superior Técnico, Portugal.

António Marques Cardoso  - PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professor Catedrático, Universidade da Beira Interior, Portugal.

Carla Boehl  - PhD em Engenharia e Ciência de Decisão, Assessora de administração em gestão de ativos, Fremantle Ports, Austrália.

Celso de Azevedo  - PhD em Engenharia e Gestão Industrial, CEO, Assetsman, França.

Daniel Gaspar  - PhD em Engenharia Mecânica, Investigador Pós-doutorado, Instituto Superior Técnico, Portugal.

Fernanda Coutinho  - PhD em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.

Filipa Salvado  - PhD em Engenharia Civil, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.

Helena Alegre  - PhD em Engenharia Civil, Investigadora Principal com Habilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.

Hugo David Raposo  - PhD em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.

Hugo Rodrigues  - PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Universidade de Aveiro, Portugal.

Inês Flores Colen  - PhD em Engenharia Civil, Professora Catedrática, Instituto Superior Técnico, Portugal.

João Gomes Morgado  - PhD em Engenharia Civil, Responsável Gestão de Ativos - Unidade de Planeamento e Revisão, Infraestruturas de Portugal, Portugal.

João Poças Martins  - PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

José Campos e Matos  - PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Universidade do Minho, Portugal.

José Sobral  - PhD em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.

José Torres Farinha  - PhD em Engenharia Mecânica, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.

Luis Andrade Ferreira  - PhD em Engenharia Mecânica, Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Marta Cabral  - PhD em Engenharia Civil, Investigadora, Instituto Superior Técnico, Portugal.

Moacyr Eduardo Alves da Graça  - PhD em Engenharia Urbana e Construção Cívica, Professor Coordenador do MBA Facility Management, Universidade de São Paulo, Brasil.

Mateus Mendes  - PhD em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.

Mónica Amaral Ferreira  - PhD em Engenharia Civil, Investigadora, Instituto Superior Técnico, Portugal.

Paulo Vaz Serra  - PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Universidade de Melbourne, Austrália.

Ricardo Prata  - PhD em Engenharia e Políticas Públicas, Diretor de Gestão de Ativos, E-Redes, Portugal.

Rita Brito  - PhD em Engenharia Civil, Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.

Rui Carrilho Gomes  - PhD em Engenharia Civil, Professor Auxiliar, Instituto Superior Técnico, Portugal.

CONSELHO CONSULTIVO

Jaime Gabriel Silva  - Assessor da Administração na Águas do Douro e Paiva SA, Professor Convidado no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal.

Rui Coutinho  - Diretor Gestão de Ativos, Infraestruturas de Portugal, Portugal.

Vítor Correia  - Secretário-Geral do Observatório Internacional dos Recursos Minerais (Intraw), Bélgica.

CONSELHO EDITORIAL

Ana Miguel Ramos Leite  - Doutoranda em Economia Política, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal.

Azucena Marques  - Mestre em Farmácia e Química dos produtos naturais, Universidade de Salamanca, Espanha.

Edmundo de Almeida e Pais  - Doutorando em Engenharia e Gestão Industrial, Professor Auxiliar na Universidade Lusófona, Portugal.

Hugo Patrício  - Responsável Gestão de Ativos - Risco da Infraestrutura, Infraestruturas de Portugal, Portugal.

ESTATUTO EDITORIAL

- I – A Revista de Ativos de Engenharia**, conhecida também pelas formas abreviadas de **RAE**, é uma publicação periódica. Propriedade da Editora: Ponteditora.
- II – A RAE** dedica-se à pluralidade de temas que envolvem a gestão de ativos de engenharia.
- III – A linha editorial da RAE** publica textos inéditos dedicados à investigação científica transdisciplinar abrangendo áreas da Engenharia e da Gestão de Ativos.
- IV – A RAE** tem por missão fomentar a ciência em português e inglês nas suas linhas editoriais, como forma de estimular o conhecimento nas comunidades científicas.
- V – A RAE** é editada semestralmente, online, em língua portuguesa, sendo disseminada em todo o mundo através da Internet.
- VI – A RAE** terá, aproximadamente, 80 a 180 páginas.
- VII – A RAE** é, desde a sua génese até à atualidade, publicada na versão online.
- VIII – A RAE** destina-se a professores, investigadores, estudantes e profissionais, nacionais ou estrangeiros.
- IX – A RAE** apresenta um corpo editorial técnico e científico, aberto a académicos, investigadores e profissionais oriundos de diversas organizações e empresas relacionadas com a investigação, desenvolvimento e inovação da gestão de ativos de engenharia.
- X – A RAE** publica artigos académicos e científicos, originais e de revisão, bem como ensaios e resenhas/recensões críticas.
- XI – A aprovação dos manuscritos para publicação** regula-se por critérios de pertinência, interesse, qualidade científica e no respeito pela pluralidade de perspetivas. A **RAE** assume-se como independente de qualquer poder político, ideológico ou económico, e orienta-se por critérios de rigor, isenção e inclusão.
- XII – A RAE** publica em língua portuguesa, assim como em inglês. Em cada artigo estão incluídos o título, resumo e palavras-chave em duas línguas.
- XIII – A revista RAE** edita números regulares e números especiais, confiados a investigadores credenciados das respetivas áreas de especialidade (normas para revisores), sob a escrutínio e aprovação da Equipa Editorial. Toda a colaboração é submetida a um exigente processo de seleção e revisão baseado em arbitragem científica e dois modos, cega por pares e por pares aberta.
- XIV – Almejando os mais elevados padrões de ética na publicação**, a Equipa Editorial da **RAE** inspira o seu Código de Ética nas orientações estabelecidas pelo Committee on Publication Ethics COPE; Declaration of Helsinki WMA; International Committee of Medical Journal Editors ICMJE; Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments ARRIVE. Nesse código definem-se as responsabilidades de todas as partes envolvidas no ato de publicação da RAE.
- XV – A revista RAE** pretende promover o intercâmbio de ideias, experiências e projetos entre os autores e editores, contribuindo para a reflexão abrangente sobre o valor gerado a partir dos ativos de engenharia e para a importância deste tipo de ativos no funcionamento sustentável e resiliente das sociedades modernas.
- XVI – A revista RAE** disponibiliza as Normas para apresentação e publicação de artigos e uma lista anual dos revisores que colaboram na arbitragem científica dos manuscritos.
- XVII – A Equipa Editorial da revista RAE**, assume o compromisso de assegurar o respeito pelos princípios deontológicos e pela ética profissional dos jornalistas, assim como pela boa-fé dos leitores, nos termos nº 1 do artigo 17º da Lei de Imprensa.

ÍNDICE

PÁGINA	TÍTULO	AUTOR(A)S
01	EDITORIAL <i>EDITORIAL</i>	NUNO ALMEIDA
05	FUNDAMENTOS E PERSPETIVAS DE INOVAÇÃO NA GESTÃO DE ATIVOS DE ENGENHARIA <i>FOUNDATIONS AND PROSPECTS OF INNOVATION IN ENGINEERING ASSET MANAGEMENT</i>	NUNO ALMEIDA
17	RECURSOS HUMANOS NA ERA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE COMPETÊNCIAS PARA A INDÚSTRIA 4.0 <i>HUMAN RESOURCES IN THE INDUSTRIAL REVOLUTION: SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE ON COMPETENCIES FOR INDUSTRY 4.0</i>	PAULO GOMES; JOSÉ MARTINHO
31	MODELO ESTRATÉGICO DO SISTEMA DE GESTÃO DE PÓRTICOS DE SINALIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A. <i>STRATEGIC MODEL OF THE SIGNALING GANTRY MANAGEMENT SYSTEM OF INFRASTRUCTURES OF PORTUGAL, S.A.</i>	JOÃO AMADO; ANA MARTINS; NEUZA RODRIGUES; NUNO MINAS
43	DECISÕES ESTRATÉGICAS NO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS CONSTRUÍDOS BASEADAS EM INFORMAÇÃO TÉCNICO-FUNCIONAL E FINANCEIRA <i>STRATEGIC DECISIONS IN THE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTED ASSETS BASED ON TECHNICAL FUNCTIONAL AND FINANCIAL INFORMATION</i>	FILIPA SALVADO; NUNO ALMEIDA; ÁLVARO AZEVEDO
57	ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO <i>LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF A WATER TREATMENT PLANT FOR GYPSUM BOARDS PRODUCTION</i>	INÊS NUNES, PAULO GOMES; ANA VIEIRA; HUGO RAPOSO; JOSÉ FARINHA
69	IMPACTO DA REABILITAÇÃO NA MELHORIA DA RESILIÊNCIA DE EDIFÍCIOS ESCOLARES PÚBLICOS <i>THE IMPACT OF THE PROGRESS OF THE RESILIENCE OF PUBLIC-SCHOOL ARCHITECTURE</i>	MARIA SILVA; FILIPA SALVADO; NUNO ALMEIDA
81	OTIMIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM GESTÃO DE ATIVOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O ÍNDICE DE VALOR DA INFRAESTRUTURA <i>OPTIMIZATION OF INVESTMENTS IN ASSET MANAGEMENT OF WATER SUPPLY SYSTEMS USING THE INFRASTRUCTURE VALUE INDEX</i>	HERMILIO FERNANDES; FLÁVIA BARBOSA; HENRIQUETA NÓVOA; JAIME SILVA; ANA CAMANHO

EDITORIAL

EDITORIAL

[10.29073/rae.v1i1.709](https://doi.org/10.29073/rae.v1i1.709)

Nuno Marques de Almeida ^a,

^a Instituto Superior Técnico; nunomarkquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt

A abordagem da gestão de ativos é cada vez mais utilizada em organizações de diferentes tipos, podendo assumir diferentes conotações dependendo da região ou do setor onde é empregue. Historicamente, a expressão começou a ser utilizada na área financeira, mas teve raízes e desenvolvimentos próprios importantes em diferentes áreas da engenharia.

Segundo a norma internacional ISO 55000 que estabelece os princípios e a terminologia da gestão de ativos, um ativo pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro. O enfoque da Revista de Ativos de Engenharia (RAE) incide primordialmente na gestão de categorias de ativos de engenharia tangíveis (físicos), tais como infraestruturas, edifícios e instalações ou equipamentos industriais, entre outros.

A gestão de ativos de engenharia (gestão de ativos aplicada a ativos de engenharia) implica uma abordagem transdisciplinar e abrangente para assegurar a conjugação de vários temas intrínsecos à gestão de tecnologias, pessoas e processos, incluindo temas financeiros, tendo em vista responder a desafios de natureza estratégica e aos objetivos mais latos dos investimentos públicos e privados, muitas vezes significativos, absorvidos por estes tipo de ativos. A gestão de ativos de engenharia adota assim uma visão lata que coloca mais enfoque na maximização do valor gerado a partir dos ativos do que nas várias atividades de engenharia que incidem sobre os ativos ao longo do seu ciclo de vida.

O presente número inaugural da RAE inclui uma seleção restrita de 7 artigos, expandidos e revistos por partes, de trabalhos apresentados na 1.^a edição do Congresso Nacional de Engenharia e Gestão de Ativos (CongrEGA 2022). A 1.^o edição do CongrEGA contou com a submissão de um total de 70 trabalhos aceites, registando-se uma presença equilibrada do triângulo de conhecimento constituído por universidades, centros de investigação e empresas. Os trabalhos do CongrEGA abordaram dois grandes grupos de temas do vasto corpo de conhecimento da abordagem transdisciplinar da gestão de ativos de engenharia: temas de gestão e tema de engenharia.

Grupo de temas de gestão:

- Economia e finanças na gestão de ativos de engenharia
- Sustentabilidade e políticas públicas
- Sistemas de gestão e processos
- Normas e regulamentação técnica
- Estratégia e planeamento

Grupo de temas de engenharia:

- Desempenho e condição de ativos físicos
- Ativos de informação e digitalização
- Atividades do ciclo de vida
- Resiliência, risco e fiabilidade

O artigo de abertura da RAE V1N1 sintetiza os **Fundamentos e perspectivas de inovação na gestão de ativos de engenharia** e destaca a gestão de ativos de engenharia como uma das tendências e estratégias emergentes mais promissoras para a indústria da Arquitetura Engenharia e Construção enfrentar, de forma integrada, múltiplos desafios relacionados com as atividades de planejamento estratégico, concepção, construção/reabilitação, operação e manutenção, utilização e desativação das principais categorias de sistemas de ativos físicos (civis) construídos: infraestruturas, edifícios e instalações industriais. O artigo destaca, nomeadamente, a importância da modelação e compreensão dos custos no ciclo de vida associados a diferentes níveis de desempenho e risco de infraestruturas de diferentes tipos, de edifícios públicos e privados, residenciais e não residenciais, e também de instalações industriais de vários tipos. O artigo explora assim, não só os desafios, mas também os princípios e as técnicas que ajudam a promover cidades e sociedades mais sustentáveis e resilientes, em harmonia com o processo de transformação digital que está em curso e atendendo às complexidades subjacentes à priorização e ponderação de valores financeiros, ambientais, intelectuais, humanos, sociais, etc., nos processos de tomadas de decisão que incidem no ciclo de vida deste tipo de ativos.

O segundo artigo intitula-se **Recursos humanos na era da quarta revolução industrial: revisão sistemática da literatura sobre competências para a indústria 4.0**. Neste trabalho, os autores discutem o impacto da introdução de tecnologias digitais disruptivas que se caracterizam por modificações nos limites convencionais entre o físico, o digital e o biológico, fruto de novas ferramentas e modos de trabalho que podem surgir e envolver a substituição de certas profissões por máquinas e software. A discussão é apresentada à luz de uma revisão bibliográfica com incidência nas novas competências técnicas e sociais exigidas à força de trabalho no contexto da Indústria 4.0, bem como na avaliação da capacidade dos recursos humanos para essa adaptação.

Seguidamente, no artigo intitulado **Modelo estratégico do sistema de gestão de pórticos de sinalização da infraestruturas de Portugal, S.A.**, os autores apresentam uma metodologia baseada no risco para monitorizar o desempenho de ativos de infraestruturas rodoviárias, ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os autores destacam as boas práticas adotadas na generalidade das organizações que gerem ativos de infraestruturas, a nível nacional e internacional, nomeadamente as que se baseiam na utilização da norma internacional ISO 31000 sobre gestão do risco para gerir as ameaças e vulnerabilidades, de forma estruturada, integrada, transversal e contínua, contribuindo assim para a preservação e criação de valor. Neste contexto, os autores apresentam os desenvolvimentos específicos na Infraestruturas de Portugal no contexto das atividades de inspeção operacional, inspeção principal e avaliações estruturais e de processamento da informação gerada com base em metodologias de gestão do risco. Destaca-se a relevância destas atividades para estabelecer prioridades de intervenção, com vista à reparação ou substituição dos pórticos de sinalização rodoviária. Os autores assinalam ainda a relevância destes desenvolvimentos aplicados a pórticos, semipórticos e pórticos de telemática, tendo em conta que são equipamentos de sinalização rodoviária com a importante função de transmitir informação aos utilizadores das vias de comunicação que integram.

O quarto artigo, intitulado **Decisões estratégicas no ciclo de vida dos ativos construídos baseadas em informação técnico-funcional e financeira**, incide sobre a importância de alinhar as funções financeiras e as funções (não financeiras) relacionadas com o desempenho técnico e funcional que integram as atividades de gestão do ciclo de vida de qualquer tipo de ativos construídos. Os autores defendem que estas funções devem estar devidamente alinhadas para uma correta definição das estratégias de operação e de manutenção, bem como para o processo de tomada de decisão relacionado com investimentos em reparações, substituições e reabilitações. O artigo inclui uma demonstração da importância desse alinhamento por recurso a dados reais de um portefólio de edifícios escolares públicos, construídos no século passado, e sobre os quais foram realizadas intervenções profundas de reabilitação. O artigo pretende

preencher uma lacuna entre a teoria e a prática no alinhamento de atividades na gestão de ativos e realçar a compreensão do que pode ser alcançado com esse alinhamento, nomeadamente ao nível de decisões informadas com os custos do ciclo de vida dos ativos.

O quinto artigo, com o título **Análise do custo do ciclo de vida da estação de tratamento de água para produção de placas de gesso**, apresenta práticas da gestão de ativos aplicadas à Estação de Tratamento de Água (ETA) de uma linha de produção de placas de gesso, com enfoque numa análise dos custos do ciclo de vida tendo em vista uma otimização previsível de 232.784,29 €/ano para a organização.

O sexto artigo, intitulado **Impacto da reabilitação na melhoria da resiliência de edifícios escolares públicos**, destaca a importância da segurança das pessoas e o elevado valor dos bens construídos e dos seus conteúdos, bem como a sua criticidade na satisfação das necessidades básicas e do bem-estar das comunidades. Designadamente, os autores apresentam uma proposta abrangente e sistemática para avaliar a resiliência de edifícios. Este sistema é constituído por 5 dimensões, 16 indicadores e 75 parâmetros, que ajudam a identificar potenciais investimentos para aumentar a sua resiliência no caso de ocorrência de eventos extremos. Os autores destacam que esta informação pode ser útil para proprietários, gestores de ativos, seguradoras e entidades municipais, entre outras partes interessadas, na promoção de comunidades mais sustentáveis e resilientes.

O sétimo e último artigo deste número da RAE, com o título **Otimização de investimentos em gestão de ativos de sistemas de abastecimento de água utilizando o índice de valor da infraestrutura**, aprofunda metodologias para selecionar projetos de investimento em infraestruturas, expandindo e melhorando práticas correntes na gestão de ativos de organizações do setor da água em diversos países. As metodologias apresentadas pelos autores permitem otimizar a alocação orçamental com vista à maximização da condição dos ativos ou minimizar o capital necessário para manter os ativos em condições pré-estabelecidas. A aplicação dos modelos é ilustrada por um estudo de caso de uma empresa que opera no setor da água em Portugal.

O próximo número da RAE apresentará um outro conjunto de artigos científicos desenvolvidos/expandidos a partir de trabalhos selecionados no 1.^a Congresso Nacional de Engenharia e Gestão de Ativos (CongrEGA 2022), bem como outros artigos submetidos no âmbito da chamada para submissão de artigos científicos, aberta em todas as áreas de conhecimento da gestão de ativos de engenharia.



FUNDAMENTOS E PERSPETIVAS DE INOVAÇÃO NA GESTÃO DE ATIVOS DE ENGENHARIA

FOUNDATIONS AND PROSPECTS OF INNOVATION IN ENGINEERING ASSET MANAGEMENT

[10.29073/rae.v1i1.644](https://doi.org/10.29073/rae.v1i1.644)

Receção: 09/06/2022 Aprovação: 27/09/2022 Publicação: 07/01/2023

Nuno Marques de Almeida ^a,

^a Instituto Superior Técnico; nunomarkquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

O presente artigo combina os aspetos tradicionais da gestão aplicada a realizações da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) com os da área transdisciplinar emergente da gestão de ativos. Aborda também o papel da inovação e do empreendedorismo na afirmação da abordagem da gestão de ativos de engenharia com particular incidência no âmbito específico dos ativos construídos. Esta combinação justifica-se pelos crescentes desafios colocados na gestão de empreendimentos de infraestruturas, edifícios e instalações industriais que servem funções críticas para o funcionamento das sociedades. O envelhecimento e a natural degradação da condição deste tipo de sistemas de ativos físicos críticos implicam necessidades elevadas de investimento de renovação e modernização nas próximas décadas, exigindo a mobilização de recursos limitados que podem não estar imediatamente disponíveis. Isto tem atraído atenções para o potencial dos conceitos e princípios da gestão de ativos no domínio da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e para a necessária adaptação e inovação da abordagem clássica da gestão da construção e dos empreendimentos de construção para integrar esses mesmos conceitos e princípios.

Palavras-Chave: Ativos de Engenharia, Ativos Construídos, Gestão De Ativos, Indústria AEC, Inovação

ABSTRACT

This article combines the traditional aspects of project management as applied to Architecture, Engineering and Construction (AEC) with those of the emerging transdisciplinary discipline of asset management. It also deals with the role of innovation and entrepreneurship in the affirmation of the engineering asset management approach with an emphasis on constructed assets. This combination is relevant to deal with the increasing challenges posed to infrastructure, buildings and industries facilities that serve and are critical for the functioning of cities and societies. The aging and natural decay of these type of critical physical assets implies intensive renewal and modernization investments in the coming decades, but the resources needed are limited and might not be readily available. The applicability of the asset management concepts and principles in the realm of AEC has been attracting attention as these can drive innovation and a much-needed transformation in the traditional approach to project management in the AEC sector.

Keywords: Engineering Assets, Built Assets, Asset Management, AEC Industry, Innovation

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da industrialização das sociedades e da crescente sofisticação e complexidade dos ativos de engenharia criados neste contexto, surgiram abordagens de gestão para assegurar que esses ativos gerem os benefícios previstos ao longo de todo o seu ciclo de vida, de forma otimizada em relação aos recursos consumidos (Figura 1). A gestão de ativos de engenharia é assim uma abordagem transdisciplinar que tem como objetivo principal a realização de valor a partir deste tipo de ativos.

Os ativos de engenharia (físicos ou não físicos) possuem uma dimensão financeira que reflete o seu valor económico (Amadi-Echendu et al., 2010). A gestão de ativos de engenharia abrange, portanto, para além de diversas atividades e funções não financeiras no ciclo de vida deste tipo de ativos, a gestão do valor realizado a partir desses ativos ao longo de todo o seu ciclo de vida (Almeida et al., 2022).

As realizações no domínio da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) também visam promover a realização de valor para todas as partes interessadas nas atividades de planeamento estratégico, conceção, construção/reabilitação, operação e manutenção, utilização e desativação das principais categorias de sistemas de ativos físicos (civis) construídos (Figura 2): infraestruturas, edifícios e instalações industriais.

O envelhecimento e a natural degradação da condição deste tipo de sistemas de ativos físicos críticos implicam necessidades elevadas de investimento de renovação e modernização nas próximas décadas, exigindo a mobilização de recursos limitados que podem não estar imediatamente disponíveis. Isto tem atraído atenções para o potencial dos conceitos e princípios da gestão de ativos no domínio da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e para a necessária adaptação e inovação da abordagem clássica da gestão dos empreendimentos de construção para integrar esses mesmos conceitos e princípios.

Este artigo explora a relevância de se integrar de forma inovadora as abordagens clássicas

da gestão da construção e dos empreendimentos de construção e da gestão de ativos, combinando valências da engenharia, economia e gestão, para maximizar as oportunidades geradas nos principais momentos de tomada decisão que permitem otimizar o custo, risco e desempenho de sistemas de ativos físicos construídos complexos, novos ou existentes, ao longo de todo o seu ciclo de vida (Figura 3).

2. GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

2.1 CRIAÇÃO DOS ATIVOS CONSTRUÍDOS

2.1.1 ASPETOS TRADICIONAIS

Tradicionalmente, no âmbito da criação dos ativos construídos (foco convencional da área de conhecimento da gestão da construção), o principal objetivo a atingir sempre consistiu em projetar e construir com um adequado nível de qualidade e de segurança e saúde no trabalho, em condições ambientalmente corretas, no prazo previsto e minimizando os custos de investimento. A otimização destes elementos-chave (qualidade, segurança e saúde, ambiente, prazo e custos) é complexa, dada a interligação que naturalmente existe entre eles, podendo, no entanto, um ou outro ter um carácter predominante.

Figura 1 – Moldura conceptual do valor derivado dos ativos (adaptado de Almeida et al., 2022)



Figura 2 - Categorização simplificada dos vários tipos de ativos (adaptado de Almeida et al., 2021; Almeida, 2021; Amadi-Echendu et al., 2010; Dieter, 2020)

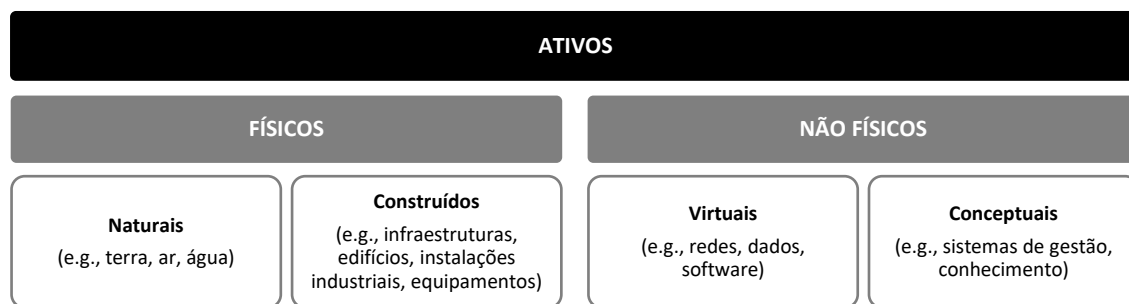
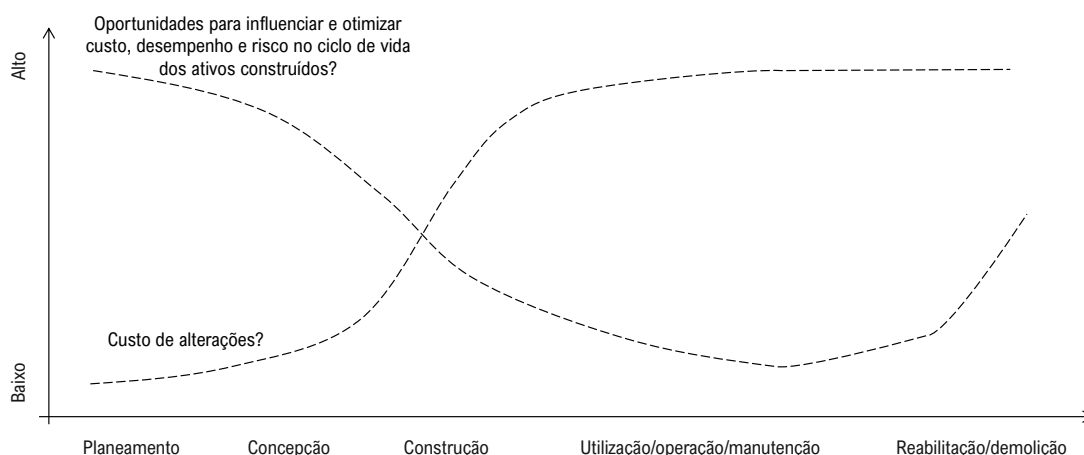


Figura 3 - Fases do ciclo de vida dos ativos construídos (adaptado de Hendrickson, 2008; PMI, 2016)



2.1.2 DESAFIOS PRINCIPAIS

À crescente procura da maior competitividade e produtividade na indústria da AEC alia-se a também crescente atenção dada pelas múltiplas partes interessadas nas realizações deste sector à problemática da sustentabilidade e da resiliência das comunidades (Almeida, 2020). As necessidades e expectativas destas partes interessadas passaram a ser condições a ter em conta por todas as organizações da AEC, envolvidas no financiamento, promoção, conceção, construção/instalação/produção, exploração/utilização e manutenção/reabilitação dos empreendimentos de construção, que pretendam melhorar o seu desempenho económico, social e ambiental num espaço concorrencial cada vez mais alargado. Para tal, é cada vez mais importante gerir de forma eficiente os recursos disponíveis, visando otimizar a globalidade dos aspetos da gestão aplicáveis nos empreendimentos da

construção e que são, atualmente, consensualmente reconhecidos nos meios técnico e científico internacionais (Almeida et al., 2015; ISO, 2012, 2017; PMI, 2016, 2017): Integração, Partes interessadas, Âmbito, Recursos, Tempo, Custo, Risco, Qualidade, Segurança, Ambiente, Aquisições, Comunicação, Financeiros, Reclamações.

A regulamentação europeia sobre comercialização dos produtos da construção e sobre contratação pública destacam a importância de realizar a referida otimização tendo em conta todo o ciclo de vida das construções, que pode atingir várias décadas ou mesmo séculos. Neste contexto, apresenta-se à área temática da gestão da construção (tanto de obras novas como de obras de reabilitação ou renovação) o desafio de integrar na sua abordagem tradicional conceitos emergentes tais como o da gestão de ativos, entre outros conceitos que têm vindo a ganhar cada vez maior expressão com a publicação de normas internacionais de

princípios, diretrizes e requisitos para sistemas de gestão, novas ou revistas, sobre matérias relevantes neste contexto (Almeida et al., 2015): qualidade (ISO 9001), ambiente (ISO 14001), segurança (ISO 45001), qualidade em projetos (ISO 10006), risco (ISO 31000), responsabilidade social corporativa (ISO 26000), projetos (ISO 21500), ativos (ISO 55001), instalações (ISO 41001) e inovação e empreendedorismo (ISO 56002).

Assim, a gestão da construção pode e deve contribuir para a revalorização da AEC e dos importantes investimentos a ele associados, com enfoque no ciclo de vida global dos sistemas de ativos construídos que resultam desses investimentos. É, portanto, necessário adotar uma ótica de médio/longo prazo focada na realização de valor a partir desses ativos, ao longo de todo o seu ciclo de vida, tendo em conta as necessidades e expectativas, atuais e futuras, quer da sociedade em geral quer das diversas partes interessadas nesses ativos,

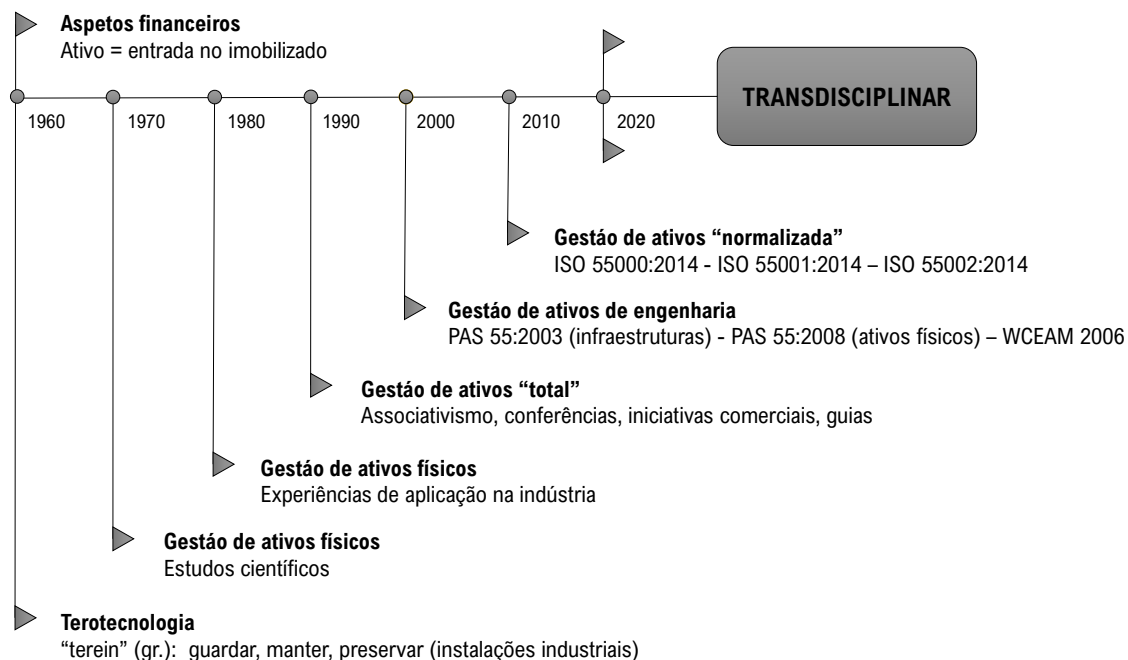
num contexto em que existem sempre incertezas associadas.

2.2 GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

2.2.1 ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DA GESTÃO DE ATIVOS

Conforme se pode observar na Figura 4, os primeiros registros de estudos científicos sobre o conceito e as técnicas da gestão de ativos surgiram na década de 1960 (Luís & Almeida, 2021). Esses primeiros estudos encaravam os ativos como entradas no imobilizado das organizações e focavam-se sobretudo em questões financeiras. Foi também neste período que começaram a surgir estudos científicos no domínio da terotecnologia. Este último conceito combinava práticas de engenharia e gestão aplicadas a ativos físicos, tipicamente no contexto da gestão e manutenção de instalações industriais e integrando aspetos financeiros e não financeiros.

Figura 4 – Desenvolvimento histórico do conceito da gestão de ativos



Os primeiros estudos científicos sobre a gestão de ativos físicos surgiram na década de 1970, como uma extensão e alargamento de âmbito de estudos de engenharia, iniciados na década precedente, centrados na manutenção

de instalações industriais (Wijnia, 2016). Na década de 1970, assistiu-se a um crescente número de publicações científicas sobre gestão de ativos físicos. A partir da década de 1980 este termo prevaleceria em detrimento

da designação de terotecnologia para expressar as atividades coordenadas e o alinhamento das funções financeiras e não financeiras em organizações de capital intensivo, cuja prestação dos serviços e a sustentabilidade do negócio estão fortemente correlacionadas com os ativos físicos da organização.

As experiências de aplicação desta nova abordagem na indústria começaram a ganhar expressão nas décadas seguintes (Maletič et al., 2022). Nos anos 1990, surgiram vários movimentos associativos, conferências regulares, iniciativas comerciais e guias técnicos que ajudaram a consolidar a disciplina da gestão de ativos físicos (Almeida, 2021). A consolidação do corpo de conhecimento científico sobre a gestão de ativos físicos, atingida com as primeiras experiências de aplicação prática na indústria, iniciou-se assim há cerca de 30-40 anos.

Na década de 1990 assistiu-se a um crescente interesse no tema da gestão de ativos “total” (incluindo ativos físicos e não físicos e abarcando todas as fases do ciclo de vida) e o conceito da gestão de ativos na sua dimensão mais abrangente começou a ganhar popularidade.

A publicação da primeira versão da especificação PAS 55-1 sobre gestão otimizada de ativos de infraestruturas, em 2004, foi um importante marco na sistematização da abordagem da gestão de ativos físicos. Na segunda versão daquela especificação, publicada em 2008, o âmbito foi alargado a todo o tipo de ativos físicos. Para além destas especificações, nos últimos 20 anos, a comunidade de gestão de ativos tem produzido documentos técnicos significativas no domínio dos ativos de infraestruturas (NAMS, 2015) e dos ativos físicos em geral (GFAM, 2014; TheIAM, 2015), documentos esses que exerceram uma grande influência nas primeiras versões das normas internacionais da série ISO 55000 sobre gestão de ativos, publicadas pela primeira vez em 2014. Com a publicação desta série de normas, atingiu-se um consenso internacional alargado sobre a gestão de ativos no sentido mais lato do termo, isto é, abrangendo ativos tangíveis e intangíveis, financeiros e não

financeiros. Em 2019, foi publicada uma especificação técnica internacional muito relevante sobre o alinhamento das funções financeiras e não financeiras na gestão de ativos (ISO/TS 55010). Existem outras normas da família ISO 55000 atualmente em desenvolvimento.

2.2.2 CONSOLIDAÇÃO DA ABORDAGEM DA GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

Com a publicação de vários guias técnicos de referência (e.g. NAMS, 2015; TheIAM, 2015) que expandiram visões mais focadas em determinadas fases do ciclo de vida dos ativos construídos (e.g. reabilitação; manutenção), consolidou-se a perceção mais lata do conceito da gestão de ativos construídos, em alinhamento com as normas internacionais da série ISO 55000. Estas normas descrevem a gestão de ativos como uma abordagem transdisciplinar que envolve todas as funções ou departamentos nas organizações, mas sem substituir nem se restringir aos limites específicos dessas funções. Esta abordagem tem em vista a maximização do valor que é gerado a partir dos ativos, através do alinhamento das várias atividades que incidem sobre os ativos.

Entre as organizações cuja atividade depende fortemente de ativos construídos, destacam-se um aumento da procura de certificações de sistemas de gestão de ativos baseados na ISO 55001, nomeadamente nos setores da energia, água, gestão de instalações, transportes, governamentais e da indústria. Tendo em conta as informações oficiais conhecidas, os países onde se verifica o maior número de certificados ISO 55001 emitidos são: Japão, Austrália, Holanda, Reino Unido, Emiratos Árabes Unidos, China, Alemanha, Estados Unidos e Índia. Os principais setores onde operam estas organizações certificadas são: eletricidade, água e saneamento, instalações (edifícios), infraestrutura, engenharia, transportes, portos e aeroportos, petróleo & gás, governo, indústria e mineiro. Importa salientar que para a contabilização oficial destas certificações emitidas não foram consideradas apenas as certificações acreditadas, ou seja, as certificações emitidas por entidades acreditadas segundo os requisitos de competência para auditoria e

certificação de sistemas de gestão de ativos estabelecidos na especificação técnica ISO/IEC TS 17021-5. Estes requisitos estabelecem que a equipa auditora e aqueles que tomam a decisão de certificação devem ter conhecimento e compreensão das práticas, atividades e metodologias relevantes da gestão de ativos, destacando a importância do equilíbrio entre aspetos técnicos, não-financeiros e financeiros e das seguintes temáticas: práticas de registo de ativos; processos de tomada de decisão e priorização; ferramentas e métodos relacionados com a gestão de ativos; abordagem do Custo do Ciclo de Vida (CCV); abordagens da gestão do risco; planeamento e implementação de investimentos, operações e manutenção; e técnicas de amostragem estatística.

2.2.3 URGÊNCIAS DA GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

Conforme referido acima, assiste-se a um número crescente de organizações, principalmente as que desenvolvem atividades intensamente centrada em ativos físicos construídos, a adotar sistemas de gestão de ativos baseados nas normas internacionais da série ISO 55000, algumas delas obtendo a certificação ISO 55001. Isto sucede com particular incidência em muitos países onde a gestão do ciclo global dos ativos físicos construídos se tornou um tema premente. Por exemplo, nos muitos países onde as infraestruturas nacionais ou municipais, de redes de energia (Komljenovic et al., 2016), transportes (Patrício & Almeida, 2017), água (Vieira et al., 2020), entre outras, estão a aproximar-se do final das suas vidas úteis.

Os desafios crescentes para lidar com as infraestruturas envelhecidas é amplamente abordado em diversas publicações técnicas e do meio científico (Trindade et al., 2020). Refira-se a título indicativo que um grande número de investigadores tem dado atenção à situação das infraestruturas municipais instaladas em países norte-americanos entre as décadas de 1950 e 1970 e que estão a atingir o final das suas vidas úteis (Mirza, 2007).

Há ainda vários relatórios técnicos, emitidos tanto na área da engenharia (American Society

of Civil Engineers, 2017) como na área financeira (WCE, 2020), que alertam para o investimento insuficiente em infraestruturas deterioradas que carecem de muito maiores níveis de renovação para repor os níveis de serviço desejados, para otimizar os custos globais no ciclo de vida (CAPEX e OPEX) e para mitigar os riscos de falha associados.

3. PRESENTE E FUTURO DA GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

3.1 PERCEÇÃO ATUAL DA GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS NAS COMUNIDADES TÉCNICA E CIENTÍFICA

A gestão de ativos pode ser definida como a atividade coordenada de uma organização para realizar valor a partir dos ativos (ISO 55000). Segundo a norma internacional ISO 55000, que estabelece os princípios e a terminologia da gestão de ativos, um ativo pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro. Mas é a gestão de três categorias de ativos físicos tangíveis construídos que têm atraído cada vez mais a atenção da comunidade científica, principalmente após a publicação das normas da série ISO 55000 sobre gestão de ativos em 2014: infraestruturas (Vieira et al., 2020), edifícios (Falcão Silva et al., 2020; Salvado et al., 2019) e instalações industriais (Maletić et al., 2019).

A gestão de ativos construídos tem-se afirmado como fundamental para lidar com desafios complexos e multidisciplinares, com resultados significativos na modelação e compreensão dos custos no ciclo de vida associados a diferentes níveis de desempenho e risco de infraestruturas de diferentes tipos, de edifícios públicos e privados, residenciais e não residenciais, e também de instalações industriais de vários tipos. A gestão de ativos construídos tem-se relevado fundamental para informar decisões de investimento, tanto no curto como no longo prazo, e definir as respetivas estratégias de financiamento (Salvado et al., 2018; Salvado, de Almeida, et al., 2019).

A gestão de ativos construídos é uma abordagem holística, sistémica e sistemática que envolve políticas, estratégias, processos,

planos e atividades, interligando-se com questões de regulação e estratégia competitiva. O desenvolvimento da especificação PAS 55, acima referida, promovida em parceria pelo Institute of Asset Management (IAM) e pelo British Standard Institute (BSI), foi um passo importante na estruturação do modo como a gestão de ativos construídos deve contemplar questões relacionadas com o desempenho, o risco e os recursos a mobilizar ao longo do ciclo de vida dos ativos, com o propósito de cumprir um plano organizacional estratégico. A família de normas internacionais ISO 55000, publicada em 2014, manteve os pontos-chave que contribuíram para a popularidade e sucesso global da PAS 55, enfatizando a importância da realização de valor a partir dos ativos (construídos e outros), do alinhamento da estratégia global com os objetivos organizacionais e com os planos e atividades da gestão de ativos, a importância da liderança na definição de um propósito comum nas organizações e a garantia da conformidade dos ativos com esse propósito ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Importa destacar os importantes contributos das comunidades técnicas, dos sectores privado e público australiano, nomeadamente do Asset Management Council (AMC) e do Institute of Public Works Engineering Australasia (IPWEA), que nas últimas duas décadas têm ajudado a consolidar progressivamente o corpo de conhecimento da gestão de ativos físicos construídos (AMC, 2014; NAMS, 2015). Neste contexto, destacam-se ainda duas associações internacionais de carácter global que têm vindo a desenvolver e promover, também nas últimas duas décadas, a gestão de ativos físicos construídos. É este o caso do Global Forum of Maintenance & Asset Management (GFMAM), vocacionado sobretudo para apoiar a incorporação da gestão de ativos nas atividades industriais, e a International Society of Engineering Asset Management (ISEAM), vocacionada para organizar e desenvolver o corpo de conhecimento da gestão de ativos no meio científico e, entre outros, promover a sua incorporação nos programas de ensino superior.

Depois da publicação das normas da série ISO 55000, em 2014, as principais associações internacionais na área da gestão de ativos alinharam as suas publicações e atividades com os princípios e a terminologia expressa naquelas normas com elevado grau de consenso internacional (AMC, 2014; GFMAM, 2014; NAMS, 2015; TheIAM, 2015). Estas publicações têm ajudado a estruturar e consolidar os seguintes grandes grupos de temas abrangidos pela disciplina da gestão de ativos: Estratégia e planeamento; Tomada de decisão; Atividades no ciclo de vida; Conhecimento dos ativos; Organização e pessoas; Risco e revisão.

As normas internacionais da série ISO 55000 têm tido um papel importante na afirmação da gestão de ativos como uma abordagem que combina várias disciplinas num novo nível de integração transdisciplinar. É esta visão mais abrangente da gestão de ativos que permite reformar as várias disciplinas nela combinadas e transformar positivamente a atuação das várias partes interessadas ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos.

A gestão de ativos é, portanto, multidisciplinar, ou transdisciplinar, envolvendo e interrelacionando processos, pessoas e tecnologias. Os tópicos da gestão de ativos, ou as componentes de um sistema de gestão de ativos numa organização cujas atividades são intensamente centradas nos seus ativos, são aplicáveis à organização como um todo e às suas várias áreas e a diferentes níveis (estratégico, tático e operacional). Estas componentes podem, designadamente, aplicar-se em funções, projetos, portefólios de ativos ou atividades específicas de uma organização, e relacionar-se com outras áreas de preocupação da gestão, como seja a gestão da qualidade, do risco ou da inovação, entre outras.

3.2 DESAFIOS E PERSPETIVAS FUTURAS PARA A GESTÃO DE ATIVOS CONSTRUÍDOS

Os contributos das comunidades científica e técnica, ao longo das últimas quatro décadas, refletidos nos trabalhos de normalização internacional que decorrem já há mais de 10 anos, têm ajudado a consolidar o corpo de conhecimento integral da gestão de ativos e o

caráter abrangente e transdisciplinar desta abordagem. Perspetiva-se que a abordagem da gestão de ativos seja cada vez mais reconhecida como essencial para aumentar a competitividade das organizações da indústria da AEC e para ajudar a superar com sucesso um conjunto de desafios incontornáveis que se apresentam à gestão do ciclo de vida dos ativos construídos: i) contribuir para a resiliência e desenvolvimento sustentável das sociedades; ii) promover a transição digital e; iii) incorporar dimensões intangíveis nos processos de tomada de decisão da gestão do ciclo de vida dos ativos.

3.2.1 SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA DOS ATIVOS CONSTRUÍDOS

Importa salientar que a gestão de ativos e os seus quatro princípios nucleares (valor, alinhamento, liderança e garantia) estão identificados como um catalisador do desenvolvimento sustentável. A gestão de ativos está identificada como contribuindo para o cumprimento de 7 (dos 17) Objetivos do Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ISO/TC 251, 2018): água limpa e saneamento, energias renováveis, empregos dignos e crescimento económico, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis, consumo responsável e combate às mudanças climáticas.

No que respeita à resiliência, importa ter presente que a frequência e gravidade de eventos de desastres naturais ou induzidos pelo homem, como inundações, terremotos, furacões, incêndios, pandemias, guerras, derramamentos de materiais perigosos, contaminação de águas subterrâneas, falhas estruturais, explosões, etc., bem como seus impactos, aumentaram muito durante últimas décadas devido ao crescimento populacional e à extensa urbanização, entre outros fatores. O Banco Mundial estima que o custo das vulnerabilidades das cidades e comunidades devido a esses tipos de riscos de desastres pode chegar a mais de US\$ 300 bilhões por ano até 2030 (Rezvani et al., 2022). No entanto, sabe-se também que os investimentos que melhoram a qualidade e a resiliência dos ativos de engenharia que constituem a espinha dorsal das sociedades

modernas, como infraestruturas, instalações industriais e edifícios, podem contribuir significativamente para sociedades mais sustentáveis e prósperas.

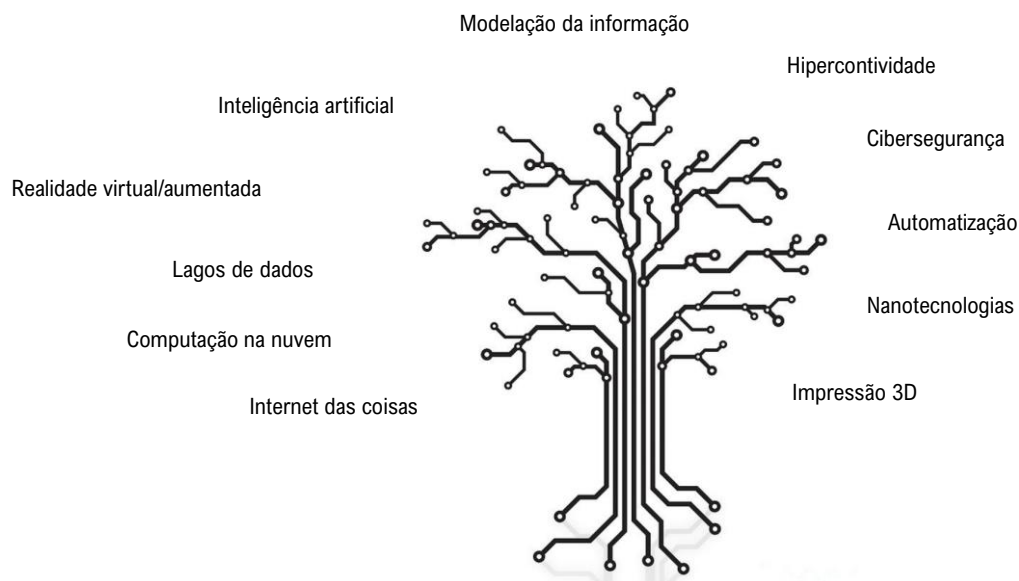
Os ativos de engenharia são fundamentais para a prestação de serviços essenciais, como transporte, alimentação, água, fornecimento de eletricidade, saúde e segurança, etc. Alguns desses ativos estão integrados em sistemas de ativos físicos e redes nacionais ou regionais com ciclos de vida que se estendem por várias décadas ou até séculos. É, portanto, de grande importância que as estratégias e decisões de ciclo de vida, tais como investimentos de curto e longo prazo, estratégias de manutenção, planos operacionais e alienação de ativos, levem à maximização do valor gerado a partir desses ativos. Além disso, é essencial que a consecução desses objetivos seja sustentada no tempo.

As organizações que lidam com ativos de engenharia, tanto públicos quanto privados, devem, portanto, integrar preocupações de sustentabilidade e resiliência nas operações cotidianas. A inovação será uma chave cada vez mais relevante para isso, tendo em conta orçamentos muitas vezes restritos, requisitos de desempenho de múltiplas partes interessadas cada vez mais exigentes e atendendo a ambientes de operações com elevado risco e incerteza.

3.2.2 DIGITALIZAÇÃO DOS ATIVOS CONSTRUÍDOS

Com o advento das tecnologias emergentes da Indústria 4.0, a gestão de ativos tornou-se central para enquadrar de forma apropriada um maior grau de automação e interconetividade dos ativos, em articulação com os recursos humanos e os processos das organizações (Figura 5). A abordagem da gestão de ativos é especialmente adequada para identificar e maximizar os benefícios que podem ser extraídos de ambientes em que predomina a digitalização de dados, informação e processos de gestão, assegurando que os custos do ciclo de vida e os riscos das transformações subjacentes às novas modalidades de trabalho são sustentáveis no tempo.

Figura 5 – A árvore ciberfísica (adaptado de Formica, 2022)



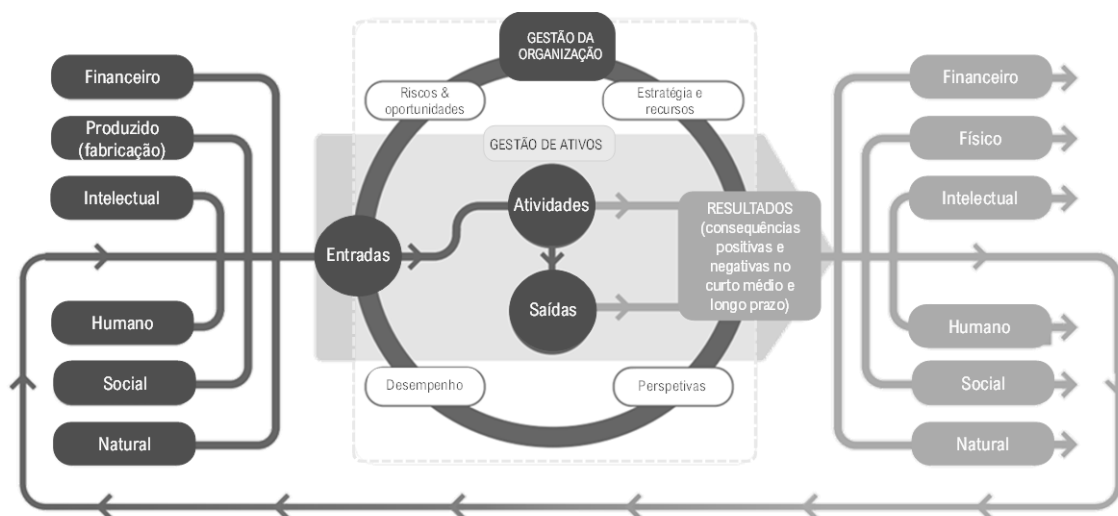
Organizações com uma cultura de gestão de ativos bem consolidada estão em vantagem competitiva perante os desafios de inovação no domínio da digitalização (Luís & Almeida, 2021). Entre estes desafios estão, por exemplo: a recolha automatizada de dados ou informação, rápida ou em tempo real, por recurso a sensores e câmaras (e.g. instalados em drones ou em outro tipo de veículos autónomos); o armazenamento e processamento desses dados ou informação, estruturados, não estruturados ou semi-estruturados, em plataformas partilhadas privadas ou públicas; técnicas analíticas por mímica de funções cognitivas humanas, tais como técnicas de aprendizagem automática que suportam o reconhecimento de defeitos e a modelação da deterioração dos ativos (e.g. para efeitos de otimização das decisões de manutenção, operação e investimento); gémeos digitais e técnicas de visualização assistida por computador que permitem simular o projeto, a construção e a operação de sistemas de ativos (e.g. para melhorar a formação de operadores), e; soluções

robotizadas para automatizar atividades de inspeção, manutenção e operações em ambientes remotos, complexos ou com perigos para a segurança e saúde dos trabalhadores.

3.2.3 PROCESSOS DE TOMADA DE DECISÃO BASEADOS NO VALOR

Na sua essência, a gestão de ativos envolve a melhoria do modo como se tomam decisões nas organizações tendo em vista realizar o máximo de valor a partir dos ativos, físicos e não físicos, que estão sob gestão (Luís & Almeida, 2021). Esta abordagem permite assim incorporar no modelo de tomada de decisões uma perceção alargada do conceito de valor, que não incorpore apenas métricas de desempenho financeiro da organização ou outras relativas a ativos físicos, mas que permita a ponderação de dimensões como o capital natural, intelectual, humano, social, entre outros, a tratar e equacionar à luz de um leque alargado de partes interessadas nos ativos sob gestão (Figura 6).

Figura 6 – Papel da gestão de ativos na geração, preservação e destruição de valor (adaptado de IIRC, 2021)



4. CONCLUSÕES

A abordagem da gestão de ativos é cada vez mais utilizada em organizações de diferentes tipos, podendo assumir diferentes conotações dependendo da região ou do setor onde é empregue. Historicamente, a expressão começou a ser utilizada na área financeira, não sem também ter tido raízes e desenvolvimentos preponderantes próprios em diferentes áreas da engenharia.

A gestão de ativos de engenharia está entre as tendências e estratégias emergentes mais promissoras no domínio da AEC para enfrentar desafios relacionados com as atividades de planeamento estratégico, conceção, construção/reabilitação, operação e manutenção, utilização e desativação das principais categorias de sistemas de ativos físicos (civis) construídos: infraestruturas, edifícios e instalações industriais.

Este artigo explora estes desafios e os princípios e as técnicas que podem ajudar a ultrapassar os limites da sofisticação e inovação para melhorar a gestão de ativos de engenharia, de uma forma geral, e as principais categorias de ativos construídos, em particular. Destaca-se a relevância desta abordagem para promover cidades e sociedades mais sustentáveis e resilientes, em harmonia com o processo de transformação digital que está em curso e atendendo às complexidades subjacentes à priorização e ponderação de valores financeiros,

ambientais, intelectuais, humanos, sociais, etc., nos processos de tomadas de decisão que incidem no ciclo de vida deste tipo de ativos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, N. M. de. (2020). Introdução à Gestão da Construção. In N. M. de Almeida (Ed.), *Organização e Gestão de Obras: Elementos de apoio a aulas das disciplinas da área temática da Gestão da Construção* Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Secção de Folhas da Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico.
- Almeida, N. M. de, Vieira, J., Silva, J. G., & Castro, C. e. (2021). The Impact of Asset Management Development Programs in Infrastructure Organizations. *Advances in Science, Technology and Innovation*, 247–258. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3_29
- Almeida, N. (2021). *Infrastructure and Building Asset Management: Fundamentals and overview of applications for asset-intensive organizations*. In *Course of Advanced Topics in Construction*, PhD Program in Civil Engineering, Instituto Superior Técnico.
- Almeida, N. M., Sousa, V., Dias, L. A., & Branco, F. (2015). Engineering risk management in performance-based building environments. *Journal of Civil Engineering and*

- Management, 21(2), 218–230. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802740>
- Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D., & Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, 75, 101354. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2022.101354>
- Amadi-Echendu, J. E., Willett, R., Brown, K., Hope, T., Lee, J., Mathew, J., Vyas, N., & Yang, B.-S. (2010). What Is Engineering Asset Management? (pp. 3–16). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3_1
- AMC. (2014). *Framework for Asset Management* (A. M. Council, Ed.; Second ed).
- American Society of Civil Engineers. (2017). *America's Infrastructure Report Card 2017*. ASCE. <https://www.infrastructurereportcard.org/>
- De Almeida, N. M., Sousa, V., Dias, L. A., & Branco, F. A. (2015). MANAGING THE TECHNICAL RISK OF PERFORMANCE-BASED BUILDING STRUCTURES. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(3), 384–394. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.893921>
- Dieter, J. (2020). *Asset Taxonomy: ALN proposal for ASTM E53*.
- Falcão Silva, M. J., de Almeida, N. M., Salvado, F., & Rodrigues, H. (2020). Modelling structural performance and risk for enhanced building resilience and reliability. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-0277-1>
- Formica, P. (Editor). (n.d.). *ONE HEALTH: Transformative Enterprises, Well-being and Education in the Knowledge Economy of the Digital Age*. (in press). Retrieved June 9, 2022, from https://ivi.ie/v4/wp-content/uploads/2022/02/IVI-Blue-Papers_Prof-P-Formica_Preview-One-Health.pdf
- GFMAM. (2014). *The Asset Management Landscape Second Edition*. Global Forum of Maintenance and Asset Management. www.gfmam.org
- Hendrickson, C. H. C.; A. T. (2008). *Project Management for Construction - Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*. Prentice-Hall International Series In Civil Engineering and Engineering Mechanics, on-Line Edition. <https://www.cmu.edu/cee/projects/PMbook/>
- IIRC. (2021). *INTERNATIONAL <IR> FRAMEWORK*. <https://www.integratedreporting.org/wp-content/uploads/2021/01/InternationalIntegratedReportingFramework.pdf>
- ISO. (2012). *ISO 21500:2012 - Guidance on project management*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2017). *ISO 10006:2017 - Guidelines for quality management in projects*. International Organization for Standardization.
- ISO/TC 251. (2018). *Achieving the UN Sustainable Development Goals Asset Management First Edition*. <https://committee.iso.org/files/live/sites/tc251/files/guidance/ISO%20TC251%20SDG%20March%202018.pdf>
- Komljenovic, D., Gaha, M., Abdul-Nour, G., Langheit, C., & Bourgeois, M. (2016). Risks of extreme and rare events in Asset Management. *Safety Science*, 88, 129–145. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2016.05.004>
- Luís, A., & Almeida, N. (2021). *APDA - Revista APDA #23*. 23. <https://www.apda.pt/pt/pagina/87>
- Maletič, D., Almeida, N. M. de, Gomišček, B., & Maletič, M. (2022). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2026672>, 1–16. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2026672>
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2019). Examination of the Mediating Effects of Physical Asset Management on the Relationship Between Sustainability and Operational Performance (pp. 33–43). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17269-5_3

- Mirza, Saeed. (2007). Danger Ahead: The coming collapse of Canada's municipal infrastructure, A Report for the Federation of Canadian Municipalities. Federation of Canadian Municipalities.
- NAMS. (2015). International Infrastructure Management Manual (IIMM) (5th ed., i). Institute of Public Works Engineering Australia.; Association of Local Government Engineers of New Zealand. National Asset Management Steering Group.
- Patrício, H., & Almeida, N. (2017). A framework for evaluating the performance of infrastructure assets. Application to the life-cycle of road and railway bridges. Life-Cycle of Engineering Systems: Emphasis on Sustainable Civil Infrastructure - 5th International Symposium on Life-Cycle Engineering, IALCCE 2016.
- PMI. (2016). Construction Extension to the PMBOK® Guide. In Inc. Project Management Institute (Ed.), Project Management Institute. <https://doi.org/10.1002/pmj>
- PMI. (2017). PMBOK Guide | Project Management Institute. In Inc. Project Management Institute (Ed.), PMBOK Guide.
- Rezvani, S. M., de Almeida, N. M., Falcão, M. J., & Duarte, M. (2022). Enhancing urban resilience evaluation systems through automated rational and consistent decision-making simulations. Sustainable Cities and Society, 78. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103612>
- Salvado, F., Almeida, N. M. de, & Vale e Azevedo, A. (2018). Toward improved LCC-informed decisions in building management. Built Environment Project and Asset Management, 8(2), 114–133. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-07-2017-0042>
- Salvado, F., de Almeida, N. M., & Azevedo, Á. V. e. (2019). Historical analysis of the economic life-cycle performance of public school buildings. Building Research & Information, 47(7), 1–20. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1612730>
- TheIAM. (2015). Asset Management – An Anatomy. Asset Management 2011, 3, 1–84. <https://doi.org/978-1-908891-00-6>
- Trindade, M., Almeida, N., Finger, M., Silva, J. G., Ghira, L., & Vieira, J. (2020). Application of a Value-Based Decision-Making Process to an Industrial Water Supply System. In Lecture Notes in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_36
- Vieira, J., Cabral, M., Almeida, N., Silva, J. G., & Covas, D. (2020). Novel methodology for efficiency-based long-term investment planning in water infrastructures. Structure and Infrastructure Engineering, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1722715>
- WCE. (2020). Global Future Council on Infrastructure. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/communities/global-future-council-on-infrastructure>
- Wijnia, Y. (2016). Processing Risk In Asset Management: Exploring The Boundaries Of Risk Based Optimization Under Uncertainty For An Energy Infrastructure Asset Manager | TU Delft Repositories.

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob **Creative Commons**, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

RECURSOS HUMANOS NA ERA DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE COMPETÊNCIAS PARA A INDÚSTRIA 4.0

HUMAN RESOURCES IN THE INDUSTRIAL REVOLUTION: SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE ON COMPETENCIES FOR INDUSTRY 4.0

[10.29073/rae.v1i1.646](https://doi.org/10.29073/rae.v1i1.646)

Receção: 20/06/2022 Aprovação: 08/08/2022 Publicação: 07/01/2023

Paulo J. S. Gomes ^a, José Luís Martinho ^b,

^a Coimbra Polytechnic – ISEC, Coimbra Portugal; paulojsqm@gmail.com; ^b Coimbra Polytechnic – ISEC, Coimbra Portugal; martinho@isec.pt.

RESUMO

Vivemos atualmente na era da digitalização e transformação das tecnologias de apoio à produção, resultantes da introdução de tecnologias digitais disruptivas, impactando a organização industrial e a eficiência dos seus processos. A designada Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, é caracterizada por uma fusão de tecnologias, confundindo os limites entre o físico, o digital e o biológico, mudando a natureza de muitos empregos e criando outros até aqui inexistentes. O papel crescente das tecnologias ligadas à Indústria 4.0 cria oportunidades, com o surgimento de novas ferramentas e modos de trabalho criadoras de um novo conjunto de especializações, bem como ameaças, com a possibilidade de substituição de certas profissões por máquinas e software. Será assim importante especificar quais as competências fundamentais à força de trabalho, mas também como avaliar a capacidade dos recursos humanos para a aquisição dessas novas competências digitais. Este trabalho pretende apresentar uma revisão bibliográfica sobre este tema, com especial incidência sobre quais as competências para a Indústria 4.0 e que processos através dos quais a força de trabalho se pode preparar para esta nova realidade. Dos resultados preliminares aqui apresentados, destaca-se a importância atribuída a capacidades não técnicas, bem como algumas oportunidades de pesquisa futuras.

Palavras-Chave: Indústria 4.0, Competências, Recursos Humanos

ABSTRACT

We currently live in the era of digitization and transformation of production support technologies, resulting from the introduction of disruptive digital technologies, impacting industrial organization with the objective of improving and the efficiency of its processes. The so-called Fourth Industrial Revolution, or Industry 4.0, is characterized by a fusion of technologies, blurring the boundaries between the physical, digital and biological, changing the nature of many jobs and creating some others non-existent ones, until now. The growing role of technologies linked to Industry 4.0 creates opportunities, with the emergence of new tools and working methods, leading to a new set of specializations, as well as threats with the potential substitution of certain jobs by machines and software. It will therefore be important to specify which competencies are fundamental to the workforce, but also how to assess the capacity of human resources to acquire these new digital competencies. This work aims to present a bibliographic review on this topic, focusing on the competences for Industry 4.0 and the processes through which the workforce can prepare for this new reality. From the preliminary results presented here, the importance attributed to non-technical capabilities stands out, as well as some future research opportunities.

Keywords: Industry 4.0, Competencies, Human Resources

1. INTRODUÇÃO

Ainda é difícil compreender completamente a velocidade e amplitude das transformações resultantes da quarta revolução industrial, mas não é possível ignorar as possibilidades quase ilimitadas da existência de milhões de pessoas ligadas por dispositivos móveis, gerando uma

enorme capacidade de processamento ou possibilitando o acesso a recursos de armazenamento virtualmente inesgotáveis. A chamada Indústria 4.0 (Schwab, 2016) assenta numa imensa profusão de novidades tecnológicas recentes que abrangem um vasto espectro de áreas, desde a Inteligência

artificial, passando pela robótica, pela internet das coisas, pela impressão 3D, pela nanotecnologia ou pela computação quântica, entre muitas outras, que prometem revolucionar o modo como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Existe uma crença de que a revolução industrial em curso, se traduzirá num rápido aumento da eficiência das empresas, com o capital humano a assumir um papel fundamental neste processo, já que é através do seu uso adequado que se poderão atingir os objetivos e atender às exigências atuais e futuras do mercado, obtendo assim uma vantagem competitiva (Ejsmont, 2021).

Hoje em dia, os meios de produção de riqueza deixam de ser baseados na produção em massa de artefactos, passando a estar baseados de forma crescente em ativos e inovações intangíveis, com milhões de empregos a desaparecerem a um ritmo nunca antes visto, em simultâneo com o surgimento de outros, em direção à criação de empresas multimilionárias, também chamadas de empresas unicórnio, conduzidas por um número reduzido de profissionais altamente qualificados (Devezas et al., 2017).

Perante esta realidade, torna-se claro que os perfis de emprego e as competências exigidas mudarão em muitos setores e para muitas funções. Isso significa que será importante a noção da necessária transformação e adaptação no campo da educação e desenvolvimento das pessoas (Jerman et al., 2018), com mudanças significativas no processo de formação dos futuros colaboradores e desenvolvimento das competências/habilidades esperadas (Ejsmont, 2021). Torna-se relevante a criação de bases de dados que integrem perfis profissionais e que contenham as necessidades de competências atuais e futuras por posto de trabalho, podendo servir de guia para o posterior desenho dos programas de formação ou recrutamento (Arcelay et al., 2021), uma vez que se apresenta como crucial para as empresas, não apenas que se preparem para a reestruturação de seus processos produtivos, mas também, que analisem os perfis de trabalho predominantes nas organizações da Indústria

4.0, a fim de determinar as competências necessárias dos funcionários para tal tipo de organização (Pejic-Bach et al., 2020).

Com a realização deste trabalho, pretende-se contribuir para a discussão em torno desta problemática com a clarificação de quais poderão ser as competências fundamentais para a Indústria 4.0.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Quarta Revolução Industrial foi adotado por Schwab (2016), no Fórum Económico Mundial de 2016, para se referir à aplicação na indústria de inovações usando diferentes novas tecnologias, como impressão 3D, Internet das coisas, a inteligência artificial, a Big-Data ou a computação em nuvem. Se estas inovações são radicalmente novas para serem chamadas de revolução ou apenas a evolução contínua das tecnologias digitais que surgiram desde a década de 1990 ainda é assunto de discussão. Por exemplo, Nuvolari (2019) argumenta que a quarta revolução industrial não é efetivamente uma nova revolução, mas uma continuação da terceira, enquanto que Schwab (2016) a identifica como uma nova revolução, alegando que as tecnologias digitais que lhe dão suporte não são novas, mas mostram sinais de ruptura com a designada terceira revolução industrial, tornando-se mais sofisticadas e integradas, potenciando a transformação da sociedade e da economia global.

A digitalização e a automação da fabricação não são, efetivamente, um fenómeno novo. Este avanço tecnológico, iniciou-se já no final da década de 1960, com a introdução do primeiro controlador lógico programável, de novos robôs industriais complexos e de computadores nos processos fabris (Thun et al., 2019).

Na Terceira Revolução Industrial, a chamada automação da produção ainda era dependente do homem, enquanto que no caso da Quarta Revolução Industrial essa dependência tende a desaparecer. Aqui, espera-se que computadores e máquinas comuniquem entre si, de forma interativa e autónoma (Park, 2017). As tecnologias em que a Quarta

Revolução Industrial encontra as suas fundações rompem com os limites entre as esferas física, digital e biológica dos sistemas de fabrico. O ritmo atual de progresso tecnológico exerce um impulso determinante em direção a mudanças profundas na forma como as pessoas vivem e trabalham e afeta todas as disciplinas, do planeamento estratégico à economia, da indústria, transformadora aos serviços (Kearney, 2017). Segundo muitos investigadores e especialistas, a Indústria 4.0 e os avanços tecnológicos recentes irão acelerar o ritmo de mudança do trabalho industrial, prevendo-se uma substituição do trabalho repetitivo, pouco qualificado e físico para tarefas mais complexas e cognitivas, conduzindo a uma descentralização mais ampla e um maior grau de autonomia no nível do operador (Thun et al., 2019). Existem alguns argumentos bastante convincentes a favor de um avanço no desenvolvimento tecnológico em curso, cujas consequências estruturais ainda são difíceis de entender completamente, apontando, no entanto, a um estágio de desenvolvimento que abre novas qualidades de aplicação incomparáveis às de décadas anteriores (Hirsch-Kreinsen, 2016).

Estamos à beira de uma revolução tecnológica com potencial para alterar radicalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em termos de amplitude, áreas envolvidas e complexidade, a transformação perante a qual nos encontramos será diferente de tudo o que a humanidade já experimentou. Ainda não sabemos como tudo se vai desenrolar, mas a resposta a esta realidade deverá ser integrada e abrangente, envolvendo todas as partes interessadas da política global, desde os setores público e privado até a sociedade académica e civil (Schwab, 2016). A quarta revolução industrial apresenta-se com potencial para reduzir os obstáculos entre os inventores e os mercados, com novas tecnologias que permitem que empreendedores com novas ideias estabeleçam pequenas empresas com custos iniciais mais baixos, podendo trazer o produto para o mundo real sem as tradicionais restrições de tempo frequentemente encontradas nos métodos tradicionais, agilizando o processo e, desta forma,

contribuindo para a maximização da criação de valor para o cliente (Stelzle et al., 2017).

Esta quarta revolução industrial traz grandes benefícios, mas também grandes desafios, devido à grande velocidade com que a inovação se desenvolve e difunde e à amplitude por ela alcançada, incomensuravelmente superior ao que acontecia no passado (Devezas et al., 2017), pairando a ameaça da distribuição irregular dos seus benefícios, por exemplo, com a substituição contínua de empregos pelas novas tecnologias. A evolução dos softwares e a capacidade de processar grandes volumes de dados reduzem a necessidade de equipamentos convencionais. O desenvolvimento da tecnologia de computação em nuvem reduz a necessidade de computadores e servidores locais de alto desempenho. Além disso, as novas tecnologias podem conduzir a um aumento do investimento em ativos intangíveis em detrimento dos tangíveis, levando a menores taxas de acumulação de capital físico. A combinação das duas tendências, ou seja, o aumento na taxa de crescimento do progresso tecnológico e a redução na taxa de acumulação de capital físico, poderá conduzir a uma desaceleração iminente no número de novos empregos (Devezas et al., 2017).

Os sistemas digitais que resolvem problemas complexos de forma racional, representam uma ameaça para muitos tipos de emprego, mas também oferecem novos caminhos para o crescimento económico. Metade de todas as atividades de trabalho existentes poderão ser automatizadas pelas tecnologias emergentes, permitindo assim que as empresas poupem recursos e criem novos tipos de empregos (Bughin et al., 2017).

A quarta revolução industrial é mais do que apenas uma mudança impulsionada pela tecnologia. Em vez disso, é alimentada com inovação disruptiva de forma a impactar positivamente as nossas principais indústrias e setores (Xu et al., 2018). Segundo Mporu (2019), no futuro, o talento mais do que o capital representará o fator crítico na produção. Pessoas com ideias, serão o recurso mais escasso. A busca por talento poderá dar origem a um mercado de trabalho

cada vez mais segregado. Os empregos pouco qualificados e com baixos salários serão substituídos por computadores e digitalização e os empregos que exigem mais habilitações terão menos probabilidade de serem substituídos. O potencial desta dicotomia poderá levar a um aumento das tensões sociais (Mitrović, 2020).

2.2. COMPETÊNCIAS, CONHECIMENTOS E HABILIDADES

A literatura destaca a significativa transformação do papel do capital humano na Indústria 4.0 e, assim, modelos inovadores de avaliação de competências podem auxiliar o desenvolvimento e avaliação das competências necessárias, existindo uma aparente falta de modelos abrangentes de avaliação de competências que se concentram no papel decisivo da transformação trazida pela Quarta Revolução industrial (W Maisiri et al., 2021).

Para clarificar a temática em estudo, é necessário enquadrar devidamente os principais conceitos aqui explorados, nomeadamente o de competência, merecedor de cuidada atenção desde a década de 1990 (Le Deist & Winterton, 2005). Muitas vezes, é notória alguma confusão entre o conceito de competência e o de habilidade, que se aplicam, ambos, a indivíduos e se referem à capacidade para fazer algo (Rodrigues et al., 2021). O conceito económico de habilidade está amplamente relacionado com o de capital humano, que engloba todos os atributos individuais que possuem valor para o mercado sendo usados como justificação para uma variedade de factos, como as desigualdades salariais, o crescimento económico ou o desempenho organizacional. Para além disto, na economia, o termo habilidade também é usado como elemento definidor das ocupações, por sua vez tipicamente relacionadas com a divisão do trabalho, ou seja, define-se habilidade como a capacidade de realizar as tarefas e deveres de um determinado trabalho (Rodrigues et al., 2021). Em contraste, na psicologia e na educação, o foco é geralmente apontado à forma como são alcançados e podem ser aprimorados os resultados de aprendizagem. O que é visto como entrada (input) em economia e

sociologia é visto como saída (output) em psicologia e educação. Daí a necessidade, nestas áreas, de distinguir as componentes dos resultados de aprendizagem e de chegar a um conceito mais abrangente de competência, que englobe conhecimentos, aptidões e atitudes como elementos que podem ser adquiridos e desenvolvidos em ações de educação e formação. Neste trabalho segue-se a abordagem de Rodrigues et al. (2021), segundo a qual, uma habilidade¹ é a capacidade de realizar uma tarefa específica, enquanto que a um conjunto (domínio) de tarefas pode ser associado a uma competência. Embora uma habilidade seja um atributo do indivíduo, está naturalmente relacionada com uma atividade específica, com cada tarefa a ter uma habilidade associada. Uma habilidade pode ser classificada dependendo de quão bem a tarefa é executada, sendo assim um conceito relativo. Por outro lado, uma habilidade é algo que se adquire e que pode ser melhorado por diferentes meios, principalmente aprendendo e praticando. As habilidades podem ser classificadas, de acordo com as tarefas com que se encontram relacionadas, em habilidades físicas, habilidades tecnológicas, habilidades intelectuais ou cognitivas e habilidades sociais (Santoso et al., 2020).

Referindo-se as habilidades ao nível de desempenho de um indivíduo numa determinada tarefa ou à capacidade de desempenhar bem um trabalho, que pode ser dividido em elementos técnicos e comportamentais, é importante perceber que os elementos técnicos determinam as habilidades técnicas, ou *hard-skills*, enquanto os elementos comportamentais determinam as *soft-skills* que incluem as atitudes e abordagens que os profissionais adotam no seu trabalho (Patacsil & Tablatin, 2017).

Agrupando tarefas em clusters (domínios), chegamos então ao nível das competências, que definimos como uma habilidade geral de realizar um cluster de tarefas específico (Rodrigues et al., 2021). Desempenhar adequadamente determinado domínio de tarefas, requer, não apenas ter uma série de habilidades específicas, mas também ter uma compreensão geral do domínio, bem como

certas atitudes que ajudam a ter um bom desempenho nesse mesmo domínio, existindo assim três elementos da competência, 1) Um conjunto de habilidades-chave para o domínio; 2) Um conhecimento geral do domínio, “(...) resultado cognitivo de uma assimilação de factos, representações, conceitos, ideias e teorias que estão já estabelecidas acerca de determinado domínio”, que permita a compreensão do objeto e dos processos de transformação das tarefas envolvidas; 3) Um conjunto particular de atitudes, “(...) qualquer traço de personalidade que possa ser aprendido e contribua para uma melhor performance no domínio”, que são benéficas para o desempenho no domínio (Rodrigues et al., 2021, p.13).

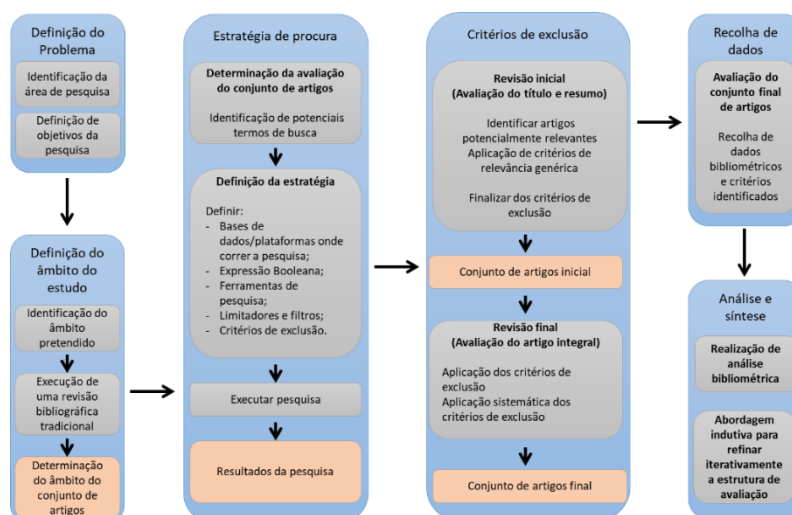
Desta forma, as competências requeridas por determinado domínio de tarefas estão relacionadas, mas não são sinónimo de domínio de habilidades (Jerman et al., 2018; Rodrigues et al., 2021), já que para desempenhar adequadamente um determinado cluster de tarefas é, não só necessário ter um número de habilidades específicas, mas também ter um conhecimento geral do domínio assim como certas atitudes que auxiliem na execução correta no mesmo. Baseando a sua classificação nos estudos de Bartram (2005) e Prifti et al. (2017), o McKinsey Global Institute (2018) apresenta uma classificação em que agrupa as habilidades em 5 clusters:

Habilidades físicas e manuais, habilidades cognitivas básicas, habilidades cognitivas superiores, habilidades emocionais e sociais e habilidades tecnológicas, cuja importância se propõem analisar, por zona geográfica ou setor industrial, discutindo a esperada evolução na procura de cada uma destas habilidades pelo mercado de trabalho. Esta é uma classificação que vem depois a ser usada em estudos como o de Santos et al. (2020), na definição de estratégias para o mapeamento de talentos para a era da Indústria 4.0.

3. METODOLOGIA

Para responder ao objetivo acima formulado e conhecer o estado da arte, recorreu-se a uma revisão sistemática da literatura (RSL) para identificar o conjunto de publicações que abarquem de forma representativa o assunto em análise. Uma RSL passa pela realização de uma pesquisa numa plataforma ou base de dados, sendo os resultados completos avaliados com base num conjunto de critérios, para identificar as publicações especificamente relacionadas com o tema do estudo. Neste trabalho seguiu-se a metodologia proposta por Keathley-Herring et al. (2016) cuja esquematização poderá ser encontrada na figura 1, que poderá ser seguida, como se de um mapa se tratasse, ao longo da descrição a seguir apresentada dos vários passos empreendidos.

Figura 1 - Processo de Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Adaptado de (Keathley-Herring et al., 2016)

Depois de definido o problema, a estratégia de procura iniciou-se com foco na identificação de potenciais termos de busca, recorrendo-se às bases de dados online Web of Science e Scopus de forma a determinar as fontes a serem primeiramente incluídas. A pesquisa foi efetuada em 14 de dezembro de 2021, procurando artigos publicados depois de 2015 em língua inglesa, sem qualquer restrição relativamente à área de pesquisa, de acordo com os critérios a seguir enunciados. A estratégia final consistiu em pesquisar nos campos título, resumo e palavras-chave, garantindo que os termos considerados para pesquisa, eram o foco central do artigo. Pesquisou-se todo o conjunto de expressões ou palavras que poderia indicar que o foco da publicação seria a Indústria 4.0, impondo a existência nos campos do artigo anteriormente referidos das expressões "industry 4.0", "fourth industrial revolution", "4th industrial revolution", "industry digitization", "digital revolution", "industrial internet", "digital factory", "smart manufacturing", "intelligent factory" ou "factory of the future". De forma a que os artigos reportem a relação entre a operacionalização da Indústria 4.0 e a evolução nas competências necessárias ou a sua influência sobre o trabalho e o emprego, impôs-se que a pesquisa se restringisse a artigos que contivessem também, nos campos título, resumo e palavras-chave as expressões "human resources", "work organization", "competency profile", "Skills", "competence", "jobs", "employment" ou "qualification".

Para determinar os critérios de exclusão, analisaram-se os primeiros 50 artigos por ordem de relevância em cada uma das bases de dados consultadas e, procurou-se identificar, através destes, termos e frases que poderiam ser usados na pesquisa para o refinar da expressão booleana. Do conjunto de artigos, ressaltou um subconjunto que se dedica à análise de programas educativos para o desenvolvimento das competências para a Indústria 4.0. Sendo este um assunto de importância inegável, não é, ainda assim, o foco deste trabalho em específico, pelo que de forma a excluir do conjunto de publicações aquelas que tratam este assunto, foi imposta a restrição de não conterem, nos campos título, resumo e palavras-chave as expressões

"education program", "school", "scholarship", "teacher", "graduates", "Educational Methodology", "learning institution", "student" e "Higher Education". Uma vez que foi também verificada a existência de um conjunto significativo de artigos, normalmente do âmbito da medicina, cujo foco são questões ergonômicas relacionadas com a execução das tarefas no âmbito da Indústria 4.0, restringiu-se também o conjunto de artigos a não conterem nos campos selecionados a expressão "ergonomic".

Depois de aplicada a frase booleana daqui resultante a cada uma das bases de dados, obtiveram-se dois conjuntos de publicações, constituídos por 150 artigos da base de dados Scopus e 96 artigos da base de dados Web of Science. Juntando os dois conjuntos e eliminando duplicados, ficamos com um conjunto inicial de 189 publicações. Este conjunto foi então sujeito a uma leitura mais atenta do resumo, para identificar os que se apresentam como potencialmente relevantes, resultando daqui um conjunto de 141 publicações, como conjunto de artigos inicial. Desta leitura, resultou também a finalização da elaboração da lista de critérios de exclusão a aplicar. Após esta análise inicial, procedeu-se a uma leitura mais completa dos artigos, para aplicação sistemática dos critérios de exclusão definidos. A saber: 1) Artigos sobre competências para operação ou interação, com alguma máquina, equipamento ou tecnologia em específico, 9 publicações; 2) Artigos acerca de políticas públicas de favorecimento da aquisição de competências, 11 publicações; 3) Modelos de potenciação de utilização de competências, 9 publicações; 4) Artigos acerca do desenvolvimento de currículos de ensino para a aquisição de competências, 3 publicações; 5) Artigos focados especificamente em vantagens económicas de possuir determinada competência, 5 publicações; 6) Artigos que se debruçam sobre o estado de espírito dos trabalhadores, 1 publicação; 7) Artigos que, apesar de terem um resumo e palavras chave em inglês, se apresentam com o corpo do texto noutra língua, 1 publicação.

Finalizada esta análise, chegou-se a um conjunto final de 102 publicações.

Recolheram-se os dados para efetuar uma avaliação do conjunto final de artigos e, efetuou-se a sua análise bibliométrica, que aqui não se apresenta, por não ser este o objetivo primordial deste trabalho e por razões de espaço.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise dos artigos sugeriu a existência de 7 temas, para classificação e agrupamento das várias publicações, tendo os artigos sido distribuídos entre estas categorias, conforme se mostra na Figura 2 (Figura 2)

Figura 2 - Agrupamento das várias publicações por tema



Sendo o objetivo do trabalho aqui apresentado a identificação das competências fundamentais para a implementação da Indústria 4.0, analisa-se a seguir apenas o conjunto de 26 publicações que se debruçam especificamente sobre o tema. Relativamente ao conjunto de artigos considerados, podem encontrar-se diversas publicações que procuram indicar, sem demais objetivos, as principais competências necessárias à implementação com sucesso da Indústria 4.0 (Chaka, 2020; Chang & Yeh, 2018; Jerman et al., 2018; Kipper et al., 2021; Whisper Maisiri & Van Dyk, 2021; Marnewick & Marnewick, 2020; Poszytek, 2021; Saniuk et al., 2021; Shet & Pereira, 2021). Para além destes artigos mais genéricos, outros se podem encontrar que procuram um estudo mais pormenorizado com objetivos mais específicos, como sejam aqueles que procuram estudar as competências necessárias em algum setor de negócio (I Arcelay et al., 2021; Bruzzi et al., 2021; Kwiotkowska et al., 2021; Lenarčič,

2019; Peña-Jimenez et al., 2021; Santoso et al., 2020; Wang & Ha-Brookshire, 2018), em determinadas funções ou níveis hierárquicos (Mazurchenko & Maršíková, 2019; Spöttl & Windelband, 2021; Uys & Webber-Youngman, 2019), ou mais especificamente em alguma profissão (Liszka et al., 2019; Whisper Maisiri et al., 2019; Santos et al., 2021; Venter et al., 2019). Entre as publicações deste conjunto existem também aquelas que, para além de identificarem as competências para a Indústria 4.0, focam também outros desenvolvimentos, como uma publicação que procura identificar aspetos estratégicos para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 (Saari et al., 2021), uma outra que procura estabelecer relações entre diversos tipos de competências (Kruger & Steyn, 2021), e um estudo de caso que analisa ações de empresas para a identificação de competências relevantes (Cimini et al., 2021).

Verifica-se que uma das discussões mais prementes, de entre o conjunto de publicações em estudo, gira em torno da categoria de competências mais relevante. Chaka (2020) identifica as habilidades e competências mais importantes para a Indústria 4.0 como soft-skills genéricas, abrangendo um amplo espectro de disciplinas acadêmicas e domínios do local de trabalho como a comunicação, inovação, criatividade, resolução de problemas, colaboração, pensamento crítico e tomada de decisão. Uma outra publicação que também aponta na direção da necessidade crescente de soft-skills é a de Lenarčič (2019), que alega que as competências da força de trabalho estão em fase de transformação, de estritamente técnicas para híbridas, ou seja, combinação de técnicas com soft-skills, uma vez que a indústria 4.0 não se baseia apenas na tecnologia, mas na criatividade das pessoas que aplicam a tecnologia, e também no crescente entrelaçamento entre setores, o que resulta em mudanças nas competências da força de trabalho. Assim, as competências transversais ou não técnicas estão a tornar-se cada vez mais importantes.

Num trabalho dedicado a estudar a influência do desenvolvimento da tecnologia de informação no setor financeiro, Santoso et al. (2020) parecem concluir também na direção da preponderância das soft-skills na implementação da Indústria 4.0, apontando as competências comportamentais como as mais importantes dos funcionários nos setores bancário e de FinTech e as habilidades tecnológicas, que incluem competências de aplicação de conhecimento e tecnologia e análise, como tendo um potencial futuro de procura limitado, apesar de estarem aparentemente em crescimento no mercado de trabalho. Segundo as conclusões deste trabalho, para um crescimento económico altamente automatizado e digital, as competências tecnológicas são essenciais e, pessoas com essas habilidades tornar-se-ão escassas no mercado de trabalho. No entanto, também há uma necessidade significativa de que todos desenvolvam habilidades digitais básicas para a nova era da automação, incluindo competência em liderança, supervisão e formulação de estratégias e

conceitos. Um outro estudo que conclui pela preponderância das soft-skills é o apresentado por Poszytek (2021) que aponta à mudança de hard-skills para soft-skills, nomeadamente para competências sociais e cognitivas, como o trabalho em equipa, a flexibilidade, a interdisciplinaridade a resolução de problemas ou a adaptabilidade, como a melhor forma de atender às necessidades e desafios colocados pela 4ª Revolução Industrial, assim como o proposto por Kipper et al. (2021), que identificam entre as principais habilidades para a Indústria 4.0 algumas soft-skills, como sejam as habilidades de liderança, a visão estratégica do conhecimento, a auto-organização, a capacidade de comunicação, a proatividade, a criatividade, o trabalho em equipa, a iniciativa, ou a flexibilidade e autogestão. Mais notória é ainda a indicação de necessidade do potenciar das soft-skills no caso de funcionários com responsabilidades de gestão (Marnewick & Marnewick, 2020; Saniuk et al., 2021; Santos et al., 2021), nomeadamente as habilidades cognitivas, estratégicas e de gestão de pessoas, que são consideradas como alguns dos recursos mais importantes para a indústria 4.0 (Peña-Jimenez et al., 2021). Estas habilidades dos colaboradores constituem o elemento decisivo para o sucesso da empresa, visando a obtenção de vantagem competitiva, uma vez que é necessário ajustá-las à realidade em constante mudança (Liszka et al., 2019).

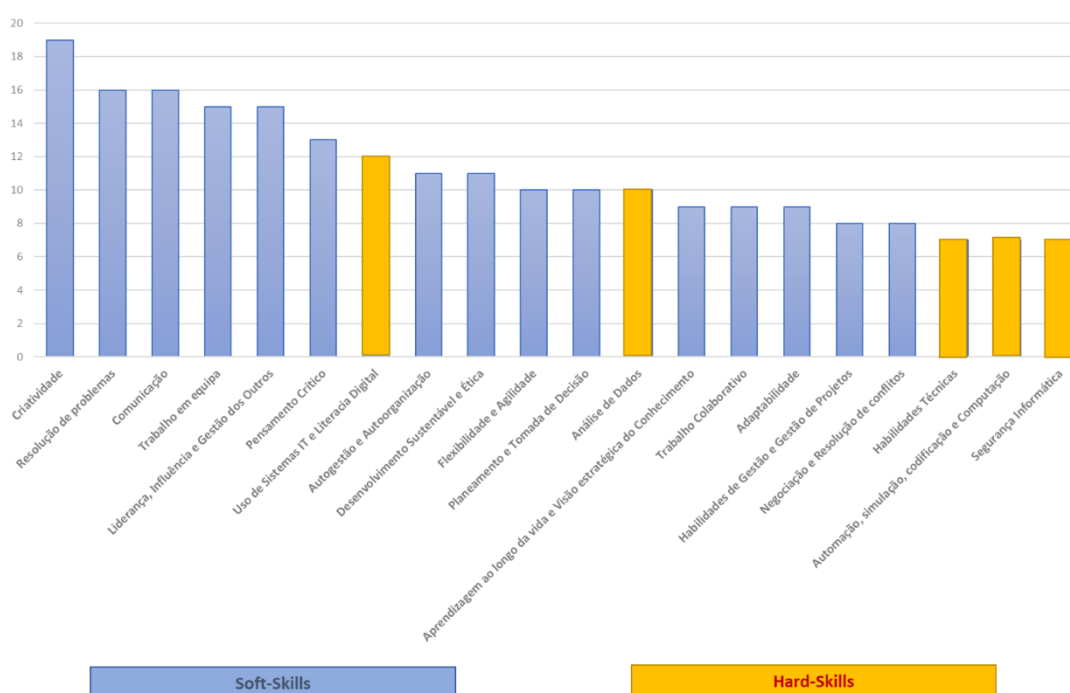
Ao nível da interação com dispositivos, são apresentados estudos que procuram identificar competências impostas pelo facto de, num futuro próximo, os próprios robôs passarem a fazer parte das equipas de trabalho (Marnewick & Marnewick, 2020) e, mesmo neste campo, ser notória a existência da ideia de uma necessidade premente de apuramento das soft-skills, para além das hard-skills, uma vez que as novas tecnologias, características da Indústria 4.0, implicam o domínio do relacionamento entre pessoas e máquinas de uma forma muito idêntica à necessária para o relacionamento entre pessoas (Kwiatkowska et al., 2021).

Uma análise do conjunto de artigos aqui em estudo faz sobressair as Soft-Skills como aquelas que mais vezes são mencionadas

como fundamentais para a implementação da Indústria 4.0. As 6 Competências mais vezes mencionadas, Criatividade, Resolução de Problemas, Comunicação, Trabalho em equipe, Liderança ou Influência e Gestão dos outros e Pensamento Crítico, são Soft-Skills, aparecendo a primeira Hard-Skill, o Uso de Sistemas de Tecnologia da Informação e Literacia Digital, apenas como a sétima mais referida. Na figura 3, apresentam-se as 20 competências mais vezes mencionadas e o

respetivo número de ocorrências de cada uma delas, verificando-se que, de entre estas 20 competências mais vezes mencionadas, apenas 5, são Hard-Skills, contra 15 Soft-Skills. Analisando número de menções destas 20 Competências, chegamos a um número total de 178 de Soft-Skills e 43 de Hard-Skills, ou seja, 80,5% das menções a competências fundamentais para a implementação da Indústria 4.0 no conjunto de artigos em estudo, são referentes a Soft-Skills.

Figura 3 - Número de ocorrências das 20 competências mais mencionadas nos artigos em análise



Resumindo, pode-se verificar que a corrente mais significativa é a que aponta à premência do desenvolvimento preferencial das soft-Skills, de forma a equilibrar as habilidades dos trabalhadores qualificados com competências técnicas e sociais (Saari et al., 2021). No entanto, apesar desta parecer ser a corrente com maior número de seguidores, importa referir a inclusão de publicações que, para determinada função ou profissão, apontam a uma grande necessidade de desenvolvimento de competências técnicas ou hard-skills, como seja o caso dos funcionários de departamentos de compras (Bruzzi et al., 2021), onde se verifica ser fundamental uma maior atenção ao desenvolvimento de competências digitais ou,

no caso dos responsáveis pela gestão de recursos humanos (Mazurchenko & Maršíková, 2019), alegadamente um pouco relutantes em adotar a tecnologia, apesar de ser uma das profissões em que a tendência de crescimento da importância das habilidades digitais nos próximos anos é mais drástica.

4. CONCLUSÕES

Com a quarta revolução industrial em curso, estamos perante profundas alterações nos perfis de competências requeridos pelas empresas. De forma a compreender o estado da arte sobre esta questão, foi efetuada uma revisão sistemática da literatura para apreender as orientações mais significativas.

A análise dos artigos selecionados que tratam especificamente das competências fundamentais para a Indústria 4.0, revela uma clara indicação da premência do desenvolvimento das chamadas soft-skills. Apesar de alguns estudos defenderem o desenvolvimento preferencial de determinadas competências técnicas, nomeadamente os que se focam especificamente em determinada função em específico, a maioria dos autores aqui estudados verifica que os profissionais devem ter pensamento criativo, ser líderes, saber comunicar e trabalhar em equipa, saber gerir conflitos, tornando-se assim um dos principais pilares da Indústria 4.0.

No fundo a conclusão mais razoável a retirar do conjunto de artigos analisados é a de que, para a implementação mais eficiente da Indústria 4.0, será fundamental os trabalhadores serem preparados com uma combinação de competências técnicas e sociais. Também no que diz respeito às consequências para o emprego, não se encontra uma completa concordância nas conclusões dos artigos em análise, nomeadamente no que diz respeito aos empregos mais qualificados. Apesar disto, parece mais ou menos consensual que, para a minimização de eventuais efeitos negativos sobre o emprego, se torna fundamental o prestar de uma atenção acrescida ao desenvolvimento de talentos, com foco nas soft-skills. Do conjunto de artigos analisados parece emergir algumas lacunas que constituem oportunidades de pesquisa. Não foram encontrados trabalhos que estudem a relação entre eventuais hiatos de competências para uma adequada implementação da indústria 4.0 e o nível de responsabilidade da função exercida pelo trabalhador. Por outro lado, poucos estudos foram identificados sobre o impacto desta revolução no perfil de competências requerido nos operadores de chão de fábrica. Do conjunto de artigos aqui apresentados, emerge um aparente paradoxo. A ideia mais forte apresentada neste conjunto de resultados, é a do talento como o maior fator crítico de sucesso para o futuro, com as soft-skills a aparecerem como as merecedoras de maior atenção. Numa era de imparável

desenvolvimento tecnológico, o senso comum poderia fazer pensar que as competências digitais assumiriam um papel muito mais determinante do que aquele que nos é aqui sugerido. Perante isto, uma outra lacuna pode ser destacada nos estudos analisados: a ausência de trabalhos que busquem elucidar a sensibilidade dos gestores para as questões aqui abordadas ou a existência nas empresas de modelos de competências para a Indústria 4.0 que as auxiliem nos processos de recrutamento. Esta questão apresenta-se igualmente como uma oportunidade para a realização de pesquisas futuras, em que se procure avaliar modelos de competências e o seu alinhamento com as conclusões aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS

- Arcelay, I., Goti, A., Oyarbide-Zubillaga, A., Akyazi, T., Alberdi, E., & Garcia-Bringas, P. (2021). Definition of the future skills needs of job profiles in the renewable energy sector. *Energies*, 14(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.3390/en14092609>
- Bartram, D. (2005). The great eight competencies: A criterion-centric approach to validation. *Journal of Applied Psychology*, 90(6), 1185–1203. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.90.6.1185>
- Bruzzi, S., Balbi, N., Barcellini, L., & Genco, V. (2021). Toward the strengthening of enabling technologies in Italy: results of the second survey on procurement 4.0. *Sinergie*, 39(3), 75–97. <https://doi.org/10.7433/S116.2021.05>
- Bughin, J., Manyika, J., Woetzel, J., Mattern, F. M., Chui, S., Lund, A., Madgavkar, S., Ramaswamy, J., Cadena, A., Dobbs, R., George, K., Gupta, R., Hazan, E., Labaye, E., Leke, A., & Nyquist, S. (2017). A Future That Works: Automation, Employment, and Productivity. McKinsey Global Institute, January, 1–28. http://njit2.mrooms.net/pluginfile.php/688844/mod_resource/content/1/Executive_Summary_of_McKinsey_Report_on_Automation.pdf
- Chaka, C. (2020). Skills, competencies and literacies attributed to 4IR/Industry 4.0: Scoping review. *IFLA Journal*, 46(4), 369–399. <https://doi.org/10.1177/0340035219896376>

- Chang, Y.-H., & Yeh, Y.-J. Y. (2018). Industry 4.0 and the need for talent: a multiple case study of Taiwan's companies. *International Journal of Product Development*, 22(4), 247–275. <https://doi.org/10.1504/ijpd.2018.091150>
- Cimini, C., Adrodegari, F., Paschou, T., Rondini, A., & Pezzotta, G. (2021). Digital servitization and competence development: A case-study research. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 447–460. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.12.005>
- Devezas, T., Sarygulov, A., & Change, S. (2017). *Industry 4.0 - Studies on Entrepreneurship, Structural Change and Industrial Dynamics* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49604-7>
- Ejsmont, K. (2021). The Impact of Industry 4.0 on Employees — Insights from Australia. *SUSTAINABILITY*.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitization of industrial work: development paths and prospects. *JOURNAL FOR LABOUR MARKET RESEARCH*, 49(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12651-016-0200-6>
- Jerman, A., Bach, M. P., & Bertonecelj, A. (2018). A bibliometric and topic analysis on future competences at smart factories. *Machines*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/MACHINES6030041>
- Kearney, A. T. (2017). Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. In *World Economic Forum* (Issue March). http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf
- Keathley-Herring, H., Van Aken, E., Gonzalez-Aleu, F., Deschamps, F., Letens, G., & Orlandini, P. C. (2016). Assessing the maturity of a research area: bibliometric review and proposed framework. *Scientometrics*, 109(2), 927–951. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2096-x>
- Kipper, L. M., Iepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenu, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454>
- Kruger, S., & Steyn, A. A. (2021). A conceptual model of entrepreneurial competencies needed to utilise technologies of Industry 4.0. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation*, 22(1), 56–67. <https://doi.org/10.1177/1465750320927359>
- Kwiatkowska, A., Gajdzik, B., Wolniak, R., Vveinhardt, J., & Gebczynska, M. (2021). Leadership Competencies in Making Industry 4.0 Effective: The Case of Polish Heat and Power Industry. *ENERGIES*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144338>
- Le Deist, F. D., & Winterton, J. (2005). What is competence? *Human Resource Development International*, 8(1), 27–46. <https://doi.org/10.1080/1367886042000338227>
- Lenarčič, B. (2019). Rethinking competencies of the european information-communication sector's workforce in the context of industry 4.0: The case of Slovenia | Preispitivanje kompetencija radne snage u okviru evropskog informaciono-komunikacionog sektora u kontekstu industri. *Sociologija*, 61(4), 585–598.
- Liszka, K., Klimkiewicz, K., & Malinowski, P. (2019). Polish foundry engineer with regard to changes carried by the industry 4.0. *Archives of Foundry Engineering*, 19(1), 103–108. <https://doi.org/10.24425/afe.2019.127102>
- Maisiri, W, van Dyk, L., & Coetzee, R. (2021). Development of an industry 4.0 competency maturity model. *SAIEE Africa Research Journal*, 112(4), 189–197. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85118569413&partnerID=40&md5=435eabb0b9726c95ec5c8ebd8f371e58>
- Maisiri, Whisper, Darwish, H., & van Dyk, L. (2019). An investigation of industry 4.0 skills requirements. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(3), 90–105. <https://doi.org/10.7166/30-3-2230>
- Maisiri, Whisper, & Van Dyk, L. (2021). Industry 4.0 skills: A perspective of the south african manufacturing industry. *SA Journal of*

- Human Resource Management, 19, 1–9.
<https://doi.org/10.4102/sajhrm.v19i0.1416>
- Marnewick, C., & Marnewick, A. L. (2020). The Demands of Industry 4.0 on Project Teams. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(3), 941–949.
<https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2899350>
- Mazurchenko, A., & Maršíková, K. (2019). Digitally-powered human resource management: Skills and roles in the digital era. *Acta Informatica Pragensia*, 8(2), 72–86.
<https://doi.org/10.18267/j.aip.125>
- McKinsey Global Institute. (2018). Skill Shift: Automation and the Future of the Workforce. McKinsey & Company, May, 3–84.
[https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Featured Insights/Future of Organizations/Skill shift Automation and the future of the workforce/MGI-Skill-Shift-Automation-and-future-of-the-workforce-May-2018.ashx](https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Featured%20Insights/Future%20of%20Organizations/Skill%20shift%20Automation%20and%20the%20future%20of%20the%20workforce/MGI-Skill-Shift-Automation-and-future-of-the-workforce-May-2018.ashx)
- Mitrović, L. M. (2020). Challenges , Risks and Threats to Human Security in The 4 Th Industrial Revolution. *NBP • Journal of Criminalistics and Law*, 25(1), 81–97.
<https://doi.org/10.5937/nabepo25-26316>
- Mpofu, P. R. (2019). Frankenstein and the Fourth Industrial Revolution (4IR): Ethics and Human Rights Considerations. 8(5), 1–25.
- Nuvolari, A. (2019). Understanding successive industrial revolutions: A “development block” approach. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 32(November 2018), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.11.002>
- Park, H. S. (2017). Technology convergence, open innovation, and dynamic economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 3(4).
<https://doi.org/10.1186/s40852-017-0074-z>
- Patacsil, F. F., & Tablatin, C. L. S. (2017). Exploring the importance of soft and hard skills as perceived by it internship students and industry: A gap analysis. *Journal of Technology and Science Education*, 7(3), 347–368.
<https://doi.org/10.3926/jotse.271>
- Pejic-Bach, M., Bertoncel, T., Meško, M., Krstić, Ž., & Krstić. (2020). Text mining of industry 4.0 job advertisements. *International Journal of Information Management*, 50(August), 416–431.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.07.014>
- Peña-Jimenez, M., Battistelli, A., Odoardi, C., & Antino, M. (2021). Exploring skill requirements for the industry 4.0: A worker-oriented approach. *Anales de Psicología*, 37(3), 577–588.
<https://doi.org/10.6018/analesps.444311>
- Poszytek, P. (2021). The landscape of scientific discussions on the competencies 4.0 concept in the context of the 4th industrial revolution— a bibliometric review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(12).
<https://doi.org/10.3390/su13126709>
- Prifti, L., Knigge, M., Kienegger, H., & Krcmar, H. (2017). A Competency Model for “Industrie 4.0” Employees. *Wirtschaftsinformatik*, 46–60.
- Rodrigues, M., Fernández-Macías, E., & Sostero, M. (2021). A unified conceptual framework of tasks, skills and competences JRC Working Papers Series on Labour, education and Technology 2021/02.
<https://ec.europa.eu/jrc>
- Saari, A., Rasul, M. S., Yasin, R. M., Abd Rauf, R. A., Ashari, Z. H. M., & Pranita, D. (2021). Skills Sets for Workforce in the 4th Industrial Revolution: Expectation from Authorities and Industrial Players. *JOURNAL OF TECHNICAL EDUCATION AND TRAINING*, 13(2), 1–9.
<https://doi.org/10.30880/jtet.2021.13.02.001>
- Saniuk, S., Caganova, D., & Saniuk, A. (2021). Knowledge and Skills of Industrial Employees and Managerial Staff for the Industry 4.0 Implementation. *Mobile Networks and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01788-4>
- Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/su13116149>
- Santoso, W., Sitorus, P. M., Batunanggar, S., Krisanti, F. T., Anggadwita, G., & Alamsyah, A. (2020). Talent mapping: a strategic approach toward digitalization initiatives in the banking and financial technology (FinTech) industry in

- Indonesia. Journal of Science and Technology Policy Management, 12(3), 399–420. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-04-2020-0075>
- Schwab, K. (2016). A Quarta Revolução Industrial (W. E. Forum (ed.); 2nd ed.). LEVOIR, Marketing e Conteúdos Multimídia, S.A.
- Shet, S. V., & Pereira, V. (2021). Proposed managerial competencies for Industry 4.0 – Implications for social sustainability. Technological Forecasting and Social Change, 173(August), 121080. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121080>
- Spöttl, G., & Windelband, L. (2021). The 4th industrial revolution—its impact on vocational skills. Journal of Education and Work, 34(1), 29–52. <https://doi.org/10.1080/13639080.2020.1858230>
- Stelzle, B., Jannack, A., & Rainer Noennig, J. (2017). Co-Design and Co-Decision: Decision Making on Collaborative Design Platforms. Procedia Computer Science, 112, 2435–2444. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.095>
- Thun, S., Kamsvåg, P. F., Kløve, B., Seim, E. A., & Torvatn, H. Y. (2019). Industry 4.0: Whose revolution? The digitalization of manufacturing work processes. Nordic Journal of Working Life Studies, 9(4), 39–57. <https://doi.org/10.18291/njwls.v9i4.117777>
- Uys, J., & Webber-Youngman, R. (2019). A 4.0D leadership model postulation for the Fourth Industrial Revolution relating to the South African mining industry. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 119(10), 793–800. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/17/450/2019>
- Venter, A. A. J., Herbst, T. H. H., & Iwu, C. G. (2019). What will it take to make a successful administrative professional in the fourth industrial revolution? SA Journal of Human Resource Management, 17. <https://doi.org/10.4102/sajhrm.v17i0.1224>
- Wang, B., & Ha-Brookshire, J. E. (2018). Exploration of Digital Competency Requirements within the Fashion Supply Chain with an Anticipation of Industry 4.0. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 11(3), 333–342. <https://doi.org/10.1080/17543266.2018.1448459>
- Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (2018). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. International Journal of Financial Research, 9(2), 90–95. <https://doi.org/10.5430/ijfr.v9n2p90>

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob *Creative Commons*, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

MODELO ESTRATÉGICO DO SISTEMA DE GESTÃO DE PÓRTICOS DE SINALIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A.

STRATEGIC MODEL OF THE SIGNALING GANTRY MANAGEMENT SYSTEM OF INFRASTRUCTURES OF PORTUGAL, S.A.

[10.29073/rae.v1i1.650](https://doi.org/10.29073/rae.v1i1.650)

Receção: 09/06/2022 Aprovação: 27/09/2022 Publicação: 07/01/2023

João Luís Amado ^a, Ana Cristina Martins ^b, Neuza Rodrigues ^c, Nuno Minas ^d

^aInfraestruturas de Portugal, S.A. Direção de Asset Management; joao.amado@infraestruturasdeportugal.pt; ^bInfraestruturas de Portugal, S.A. Direção da Rede Rodoviária; ana.martins@infraestruturasdeportugal.pt; ^cInfraestruturas de Portugal, S.A. Direção da Rede Rodoviária; neuza.rodrigues@infraestruturasdeportugal.pt; ^dInfraestruturas de Portugal, S.A. Direção de Engenharia e Ambiente; nuno.minas@infraestruturasdeportugal.pt

RESUMO

Pórticos, semipórticos e pórticos de telemática são equipamentos de sinalização rodoviária com a importante função de transmitir informação aos utilizadores das vias de comunicação que integram. Sendo equipamentos essenciais à utilização, operação e gestão das redes rodoviárias, contribuem também para a prossecução da missão e dos objetivos das empresas gestoras de infra-estruturas de transporte. Nesse sentido, estas estruturas constituem-se como ativos que importa gerir, procurando uma adequada relação entre custo, risco e desempenho, ao longo da sua vida útil. O artigo apresenta o modelo estratégico do Sistema de Gestão de Pórticos de Sinalização Rodoviária, baseado no modelo genérico de gestão do risco da Infraestruturas de Portugal, e por sua vez na norma NP ISO 31000:2018. Este sistema tem como objetivo gerir as ameaças e vulnerabilidades, de forma estruturada, integrada, transversal e contínua, contribuindo assim para a preservação e criação de valor. Após identificação do risco a gerir a metodologia genérica prevê a sua análise nas vertentes de probabilidade de ocorrência de um evento, e o impacto dessa ocorrência, o que por sua vez permite a avaliação e tratamento por via da definição de um nível de risco, metodologia aqui aplicada aos pórticos e semipórticos de sinalização rodoviária.

Palavras-Chave: Pórticos de sinalização, Condição, Criticidade, Risco, Desempenho

ABSTRACT

Gantries, semi gantries and telematics gantries are road signaling equipment with the important function of transmitting information to users of the roadways they integrate. As essential equipment for the use, operation, and management of road networks, they also contribute to the pursuit of the mission and objectives of transport infrastructure management companies. In this sense, these structures are assets that must be managed, seeking an appropriate relationship between cost, risk, and performance throughout their useful life. This paper presents the strategic model of the Road Signal Gantry Management System, based on the generic risk management model of Infraestruturas de Portugal, and in turn on the NP ISO 31000:2018 standard. This system aims to manage threats and vulnerabilities, in a structured, integrated, transversal and continuous way, thus contributing to the preservation and creation of value. After identifying the risk to be managed, the generic methodology requires its analysis in terms of the probability of occurrence of an event and the impact of that occurrence, which in turn allows the assessment and treatment through the definition of a risk level, methodology applied here to the road signage gantries.

Keywords: Signposts, Condition, Criticality, Risk, Performance

1. INTRODUÇÃO

A Rede Rodoviária Nacional gerida pela Infraestruturas de Portugal, S.A. integra, atualmente, mais de 1500 pórticos, semipórticos e pórticos de telemática

(adiante designados unicamente por pórticos) disseminados em todo o território de Portugal continental. Na contínua procura de melhoria dos seus processos a empresa delineou uma estratégia de desenvolvimento de um sistema de gestão

dedicado a estas estruturas, alinhada com as melhores práticas de gestão de ativos.

Genericamente, as estratégias de gestão de ativos pretendem promover: a recolha sistemática e objetiva de dados, a manutenção de níveis de risco adequados, a resolução de prioridades conflituantes, planeamento e controlo de ações, a extensão da vida útil dos ativos ou providenciar uma justificação para a sua renovação, redução dos custos de ciclo de vida, bem como a sensibilização para a importância e valor da otimização das práticas de manutenção.

Em particular, o modelo de gestão de pórticos assenta na recolha sistematizada de informação, análise e tratamento de dados, e posterior definição de ações em consonância com o conhecimento adquirido acerca de cada um dos ativos. A base do modelo é a informação de inventário, onde se inclui a informação cadastral de cada ativo, sobre a qual se recolherá a informação relativa à sua condição. Como objetivos gerais estabelecem-se os seguidamente enumerados:

- 1. Gerir o inventário de pórticos de sinalização rodoviária, semipórticos e pórticos de telemática;*
- 2. Despoletar ações de manutenção e conservação nestas estruturas;*
- 3. Avaliar de forma sistemática a condição estrutural;*
- 4. Priorizar e despoletar ações de reparação, reforço ou substituição.*

A recolha de informação relativa à condição, que possibilite a definição da estratégia de intervenção, ocorrerá em dois momentos de inspeção distintos, nomeadamente as Inspeções Operacionais e as Inspeções Principais. As Inspeções Operacionais são executadas a cada 3 anos, em geral no âmbito de Contratos de Conservação Corrente das vias. As Inspeções Principais ocorrem periodicamente, de acordo com uma periodicidade que é função do nível de risco em que a estrutura se insere, podendo também ocorrer pontualmente quando solicitadas pela Inspeção Operacional.

Para definição dos níveis de risco foram desenvolvidas relações entre probabilidade de ocorrência de falhas e condição das estruturas, bem como entre consequência da ocorrência e a criticidade dos ativos no que respeita à sua importância estratégica. Por sua vez, o nível de risco é definido em função da condição e criticidade de cada estrutura, permitindo estabelecer prioridades de intervenção e periodicidades de inspeção, constituindo um referencial estratégico para a gestão dos pórticos de sinalização rodoviária.

Este artigo apresenta, numa primeira fase, as atividades base do sistema de gestão, nomeadamente o cadastro e os diferentes tipos de inspeção e diagnóstico, seguindo-se uma abordagem à metodologia proposta para a gestão do risco. Finalmente, a interligação e dependência das atividades, bem como dos seus outputs, é apresentada no formato de um processo colaborativo, que se constitui como o modelo estratégico do sistema de gestão.

2. CADASTRO E INSPEÇÃO OPERACIONAL

Em diversos grupos de ativos o estabelecimento de práticas de gestão e acompanhamento ao longo da sua vida útil tem por base uma definição objetiva do grupo de estruturas alvo, bem como a recolha de dados relativos à sua localização, tipologia, dimensões e principais características técnicas, conforme descrito por Póvoa et al (2019) para as obras de arte. Brutus e Tauber (2009), citados por Amado et al. (2014), avançam como hipótese a considerar, a possibilidade de conjugação das atividades iniciais de cadastro com uma primeira abordagem à condição das estruturas, com vista à priorização de inspeções mais detalhadas. Em exemplo apresentado por Amado et al. (2021), no âmbito do cadastro de estruturas de contenção de terras existentes na rede da Infraestruturas de Portugal, as atividades iniciais de cadastro são simultâneas à realização de um primeiro ato de inspeção, de acordo com um protocolo de inspeção simplificado, procurando uma importante

otimização de recursos por via da redução do número de deslocamentos necessárias.

No âmbito da gestão de pórticos, e uma vez que as necessidades mais comuns nestas estruturas se revestem de um carácter simples, nomeadamente relativas a pequenas intervenções de manutenção de ligações e da proteção anticorrosiva, optou-se, numa primeira iteração, pela realização simultânea das atividades de cadastro e de inspeções conduzidas por equipas capazes de proceder, não só a uma inspeção simplificada, mas também à correção de parte das anomalias observadas. A denominação destas inspeções como inspeções operacionais traduz esta vertente de intervenção, integrada no âmbito de contratos de conservação das vias. O registo de observações é efetuado através de um conjunto predefinido de verificações que têm por objetivo avaliar as necessidades de conservação e reparação dos pórticos de sinalização. Dizem respeito a observações de carácter visual, relacionadas com anomalias que possam afetar a durabilidade do pórtico ou pôr em causa a segurança da estrutura e/ou dos utilizadores.

Adicionalmente, são também registados outros trabalhos cuja concretização não possa ser efetuada imediatamente, bem como de necessidades de análises mais aprofundadas, decorrentes de situações graves ou complexas que necessitem de um estudo para caracterização da metodologia de intervenção. Situações anómalas com potencial elevado para causar, no curto ou médio-prazo, impacto considerável na exploração e nível de serviço da via onde se inserem são assinaladas com alertas, atribuídos à totalidade ou parte da estrutura, a partir dos quais se desencadeará um processo de revisão e análise com vista à sua resolução, avaliando as opções de reabilitação, reforço ou desmantelamento do pórtico.

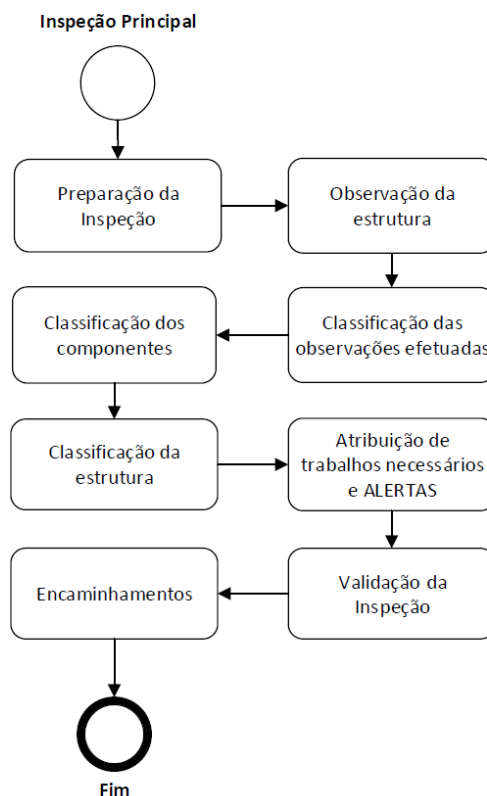
3. INSPEÇÕES PRINCIPAIS E AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS

Em complemento às inspeções operacionais são posteriormente realizadas

inspeções principais, que se definem como observações detalhadas, com vista à avaliação da condição física dos pórticos, conduzidas por técnicos com formação em inspeção e diagnóstico de estruturas. Têm como objetivo o aprofundamento do diagnóstico das observações efetuadas nas Inspeções Operacionais, quando tal necessidade seja identificada, assumindo também um carácter periódico, que permita um acompanhamento adequado das estruturas ao longo da sua vida útil. Resultam na atribuição de um Estado de Conservação geral da estrutura, e de cada um dos seus componentes em particular, com indicação de eventuais necessidades de intervenção. No âmbito dos pórticos de sinalização, e devido à existência de componentes e elementos elevados, são usualmente conduzidas com recurso a meios especiais de acesso. Devido à sua localização em plena via, a utilização de meios de acesso obriga, na maioria dos casos, à implementação de sinalização temporária específica, muitas vezes recorrendo ainda ao acompanhamento das autoridades de trânsito.

Constituindo-se como a atividade charneira da avaliação da condição das estruturas obedecem a um protocolo detalhado, que de acordo com a Figura 1 inclui:

- Preparação da inspeção e consulta do historial da estrutura, incluindo avaliação das condicionantes do local e consulta de anteriores inspeções;
- Observação de todos os componentes e elementos visíveis em todo o seu desenvolvimento;
- Registo das principais constatações efetuadas no local de implantação através de formulário normalizado;
- Classificação das observações efetuadas, classificação dos componentes e da estrutura.
- Proposta de medidas de atuação, relativas a Alertas, trabalhos necessários, avaliação estrutural, entre outros.

Figura 1 – Processo de inspeção principal


Fonte: Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a)

A atividade de inspeção principal é suportada por um manual de inspeção, conforme Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a), que se constitui como um roteiro para a observação da estrutura, onde se encontram descritas e ilustradas as anomalias mais

comuns. De maneira a sistematizar as observações e o reporte estas encontram-se listadas e agrupadas tendo em consideração uma divisão da estrutura em componentes, conforme apresentado na Tabela 1 (Tabela 1).

Tabela 1 – Observações a realizar no âmbito da Inspeção Principal

Componen te	Elementos	Observações a classificar
Fundações	Envolvente	Assentamentos e/ou deslizamentos de terra
		Acumulação de água, vegetação, solo ou detritos
	Betão armado	Fendilhação
		Degradação
	Pernos de ancoragem	Empenos ou danos na rosca
		Pernos em falta ou sem ligação ao maciço
		Corrosão dos pernos
		Corrosão de porcas, contraporcas e anilhas
		Ausência de porcas ou desaperto
	Chapa de base, <i>goussets</i> e interface com o maciço	Deformações
Corrosão		
Defeitos nas soldaduras		
Ausência de material de selagem na interface		
Colunas	Perfil	Desalinhamento
		Danos ou deformações
		Corrosão
	Ligações de continuidade	Anomalias nas soldaduras

		Folga entre flanges
		Deformação das flanges ou <i>goussets</i>
		Corrosão nas flanges ou <i>goussets</i>
		Parafusos desadequados ou em falta
		Corrosão em parafusos, porcas ou anilhas
		Desaperto
	Revestimento de proteção anticorrosiva	Degradação/ perda de revestimento
Travessas	Perfil	Desalinhamento
		Danos ou deformações
		Corrosão
	Ligações de continuidade e Ligação Coluna-Travessa	Anomalias nas soldaduras
		Folga entre flanges
		Deformação das flanges ou <i>goussets</i>
		Corrosão nas flanges ou <i>goussets</i>
		Parafusos desadequados ou em falta
		Corrosão em parafusos, porcas ou anilhas
		Desaperto
	Revestimento de proteção anticorrosiva	Degradação/ perda de revestimento
Painéis	Painéis	Danos nas telas
		Ausência ou danos nas régua
		Anomalias nas fixações das régua
		Aumento de cargas
	Elementos verticais de fixação	Desalinhamento ou deformação
		Corrosão
	Abraçadeiras de fixação	Abraçadeiras partidas ou em falta
		Parafusos desadequados ou em falta
		Defeitos nas soldaduras
		Corrosão
		Desaperto ou desajuste

Fonte: Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a)

3.1. ESCALAS DE CLASSIFICAÇÃO

No decurso da inspeção será atribuída uma classificação a cada uma das observações listadas na ficha de inspeção. Por sua vez, a avaliação de outras observações não listadas, bem como a consideração das principais causas das anomalias observadas, permitirão

ao inspetor atribuir uma classificação a cada um dos componentes da estrutura. Finalmente, a classificação geral da estrutura dependerá da classificação atribuída a cada um dos componentes. A classificação das observações efetuadas será realizada de acordo com a escala discreta de 4 níveis apresentada na Tabela 2 (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação das observações

Classificação	Descrição
1	Sem danos ou Danos de baixa gravidade
2	Danos de gravidade média em extensão reduzida a média
3	Danos de gravidade média em extensão média a alta
4	Danos graves

Fonte: Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a)

A escala apresentada tem como objetivo diferenciar, desde logo, as situações graves (classificação 4), ou potencialmente graves por evolução no curto-prazo,

independentemente da sua extensão. Por exemplo, a ocorrência de uma fenda numa soldadura de ligação entre elementos pode ter

uma extensão reduzida, mas representar um risco iminente para a estabilidade da estrutura.

As classificações intermédias da escala (classificação 2 e 3) representam situações de gravidade intermédia, podendo ocorrer em extensões reduzidas, médias ou em grandes extensões. Para avaliação da extensão deve ser considerado unicamente o elemento cuja observação se refere, e não a representatividade desse elemento no contexto da estrutura. Exemplificando, uma anomalia que ocorra numa chapa de base é considerada de extensão elevada se afetar toda a chapa, independentemente da área que a chapa representa face à área total da estrutura. A classificação mais baixa da escala (classificação 1) representa simultaneamente a ausência de danos ou danos de baixa gravidade.

A partir das classificações atribuídas às observações, e que integram já a tipologia do dano, a sua localização, extensão, causa e

gravidade, será atribuída pelo inspetor uma classificação a cada um dos componentes. Esta classificação pretende representar o Estado de Conservação (EC) de cada um dos componentes, sendo efetuada de acordo com a escala apresentada na Tabela 2. Por sua vez, a partir da classificação atribuída a cada um dos componentes o inspetor caracteriza a condição da estrutura atribuindo um Estado de Conservação que resume as constatações efetuadas, fazendo uso da mesma escala utilizada para os componentes.

Cada Estado de Conservação tem subjacente uma tipologia de intervenção, que embora indicativa, auxilia o inspetor à definição e atribuição de trabalhos que se julguem necessários, designadamente: Manutenção (ações de manutenção corrente), Conservação (reparação corrente), Reparação e Reforço (Reparação não Corrente e Reforço), Desmantelamento e Substituição, de acordo com a correlação apresentada na Tabela 3 (Tabela 3).

Tabela 3 – Escala de Estados de Conservação

EC	Descrição
1	Manter
2	Conservar
3	Reparar e/ou Reforçar
4	Desmantelar e Substituir

Fonte: Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a)

A transposição da classificação das observações para os EC dos componentes e da estrutura não é direta, carecendo do juízo técnico do inspetor. Contudo, algumas considerações poderão ser úteis à definição dos EC e consequentemente das intervenções posteriores a considerar:

- As características próprias destas estruturas, quer relativas à sua localização quer aos próprios materiais e técnicas construtivas, podem dificultar ou mesmo inviabilizar a realização de trabalhos in situ.
- A durabilidade destas estruturas, face aos materiais utilizados e à sua exposição aos agentes atmosféricos é diminuta, ao que

acresce, em muitos casos, o desconhecimento das disposições de projeto consideradas.

- As ações de reparação ou reforço poderão carecer do desmantelamento da estrutura para execução de trabalhos em estaleiro, o que, face aos custos envolvidos e ao incremento da vida útil expectável, determina que o custo-benefício deva ser considerado face à possibilidade de desmantelamento e substituição.
- A classificação geral da estrutura (EC) não deverá ser inferior ao EC atribuído aos componentes.
- Exclui-se dos dois critérios anteriores a eventual necessidade de substituição do componente

Painéis, na medida em que este pode ser intervencionado ou substituído sem condicionamentos relevantes para a restante estrutura.

Sempre que a observação visual não seja suficiente para uma avaliação da condição da estrutura as inspeções principais poderão ser complementadas por ensaios ou avaliações estruturais. Estas são respeitantes à avaliação da capacidade estrutural face às características geométricas conhecidas da estrutura, de modo a verificar qual o nível de segurança teórico relativamente às solicitações regulamentares. São executadas pontualmente quando existam indícios de deficiência estrutural ou quando ocorram alterações que comprometam a segurança estrutural do pórtico.

3.2. CAUSAS DAS ANOMALIAS

A existência de processos de dano instalados nas estruturas manifestar-se-á, a partir de um certo grau de desenvolvimento, num conjunto de situações que o inspetor tentará detetar no decurso das inspeções principais. Com base no seu conhecimento e experiência, o inspetor tentará inferir as causas subjacentes às situações observadas, com o objetivo de antever diferentes cenários de evolução, ou

seja, possíveis consequências, conforme referencial de inspeção proposto por Pakrashi (2019).

A correlação de uma observação com a sua causa suporta a definição de intervenções necessárias ou mesmo a definição de medidas mitigadoras de risco. A longo-prazo, a correlação das anomalias observadas e respetivas causas constitui fonte de conhecimento que poderá auxiliar à reavaliação de procedimentos. Como exemplo prático da pertinência deste tipo de conhecimento poderá antever-se o caso de estruturas que estejam continuamente a sofrer embates, tornando pertinente a revisão das alturas mínimas das estruturas na secção de estrada em causa.

De maneira a agilizar o processo, o registo das principais causas das anomalias observadas é efetuado por componente. Ou seja, após observação das anomalias que afetam o componente o inspetor deverá selecionar, a partir de lista predefinida de acordo com as opções constantes na Tabela 4, as principais causas que possam estar subjacentes, repetindo-se o processo para todos os componentes da estrutura (Tabela 4).

Tabela 4 – Principais causas de anomalias

Causas
Insuficiente capacidade dos elementos estruturais
Insuficiente capacidade de carga do solo
Deterioração de materiais (corrosão de materiais estruturais, desgaste dos revestimentos e telas dos painéis)
Deficiente execução
Fenómenos naturais (p.ex. erosão hidráulica)
Dano accidental (p.ex. invasão do gabarito da estrutura)
Dano deliberado (p.ex. vandalismo)
Drenagem desadequada ou deficiente
Perda de funcionalidade de elementos (p.ex. desaperto ou ausência de porcas e parafusos)
Perda de funcionalidade ou desadequação de equipamentos (p.ex. guarda-corpos e guardas de segurança)

Fonte: Adaptado de Highways England (2021)

4. GESTÃO DO RISCO OPERACIONAL

No âmbito da gestão de ativos, a gestão do risco tem por objetivo a gestão estruturada, integrada, transversal e contínua das ameaças e vulnerabilidades das infra-estruturas. O procedimento interno da empresa

Infraestruturas de Portugal S.A. (2021b), relativo à gestão do risco, define como “risco operacional” aquele que se relaciona com as infra-estruturas e os processos internos relativos às atividades executadas no âmbito do seu ciclo de vida. Mais especificamente, e

atendendo às características das estruturas abordadas no presente estudo, como sejam a sua vulnerabilidade a impactos, à ação do vento, ou mesmo ao efeito dos agentes atmosféricos na sua durabilidade, poderá incrementar-se o detalhe do risco operacional ao evento extremo de colapso da estrutura.

Circunscrito o risco que se pretende abordar, nomeadamente o risco de colapso, que coexiste com outros que extravasam o âmbito deste estudo, como sejam o risco reputacional, regulação e compliance, financeiro, de negócio, entre outros, importa proceder à sua análise, avaliação e estabelecimento de procedimentos adequados ao seu tratamento.

A Infraestruturas de Portugal, S.A., no normativo interno para a Gestão do Risco, propõe, genericamente, uma análise nas vertentes de probabilidade de ocorrência de um determinado evento e impacto da ocorrência desse mesmo evento, que por sua vez permitem a definição de um nível de risco, a partir do qual se poderá estabelecer diferentes tipos de atuação ou tratamento. A aplicação conjunta de uma classificação da probabilidade e do impacto vai determinar o nível do risco, ou seja, através do produto da Probabilidade de ocorrência do evento (P) pelo

seu Impacto (I), é obtido o nível do risco, de acordo com a seguinte fórmula (Infraestruturas de Portugal, 2021b):

$$\text{Nível de Risco} = \text{Probabilidade (P)} \times \text{Impacto (I)}$$

A probabilidade de ocorrência do colapso de uma estrutura está intrinsecamente associada à sua condição, por sua vez periodicamente analisada no âmbito das inspeções principais, conforme anteriormente descrito no capítulo 2. A ocorrência de um evento extremo de colapso de uma estrutura terá consequências ao nível da via e da própria rede em que se insere, e consequentemente, um impacto no desempenho e objetivos da organização. O impacto de determinado ativo no desempenho e objetivos de uma organização determina a sua criticidade, ou seja, a sua importância estratégica, conforme referido por Rasdorf (2016). A segmentação da rede rodoviária da IP, de acordo com a proposta aprovada pela Instituto da Mobilidade e dos Transportes, diferencia níveis de prioridade, aos quais poderão estar associados diferentes objetivos operacionais. A relação esquemática destas entidades é apresentada na Figura 2 (Figura 2).

Figura 2 – Representação das correlações entre probabilidade e condição, e impacto e criticidade



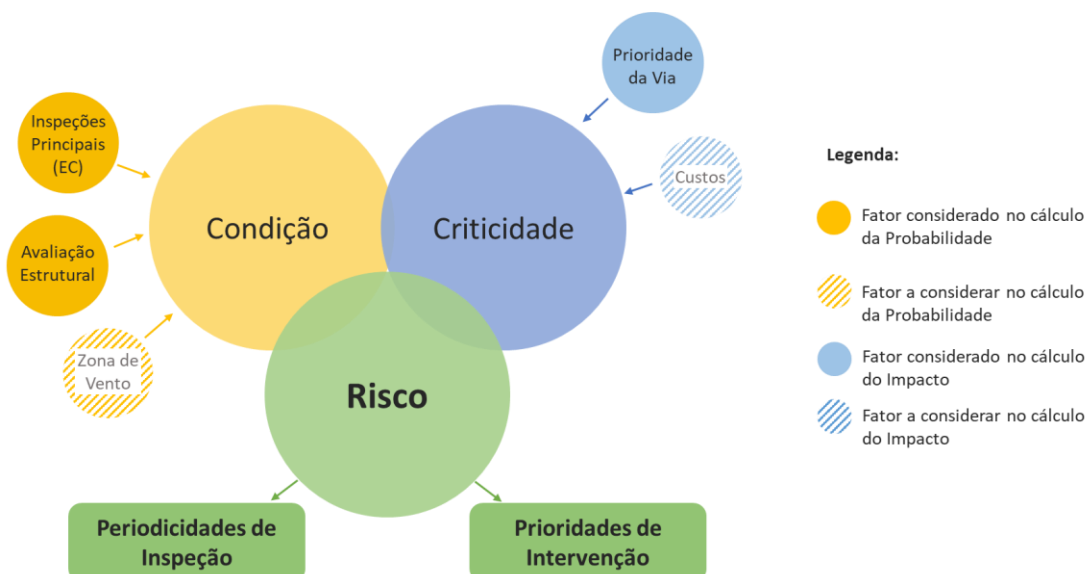
Fonte: Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c)

Com vista à otimização de uma relação entre custo, risco e desempenho, a diferenciação de níveis de risco tem como objetivo priorizar as intervenções necessárias e definir as periodicidades das avaliações de condição por via da execução de inspeções principais. Em detalhe, as prioridades de intervenção e as periodicidades de inspeção são estabelecidas

de acordo com o nível de risco calculado, que por sua vez tem por base a informação relativa à prioridade das vias, bem como a informação recolhida no âmbito das inspeções principais e avaliações estruturais, conforme esquematizado na Figura 3. Futuramente, a exposição ao vento da zona onde a estrutura se insere e os custos de manutenção ao longo

do ciclo de vida poderão também vir a ser considerados no cálculo.

Figura 3 – Representação dos fatores que contribuem para definição do nível de risco e respetivos outputs



Fonte: Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c)

A conjugação de probabilidade e impacto permite a formulação de uma matriz, conforme ilustrada na Figura 4, a partir da

qual é efetuada a diferenciação de quatro níveis de risco: alto, elevado, moderado e baixo.

Figura 4 - Matriz de Risco do Sistema de Gestão de Pórticos da Infraestrutura de Portugal S.A.

NÍVEIS DE RISCO			IMPACTO / Criticidade / Segmentação da rede			
			Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
			Segmento 4	Segmento 3	Segmento 2	Segmento 1
PROBABILIDADE / Condição	Muito Provável	EC4	Risco Alto	Risco Alto	Risco Alto	Risco Alto
	Provável	EC3	Risco Elevado	Risco Elevado	Risco Alto	Risco Alto
	Remota	EC2	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Moderado
	Improvável	EC1	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado

Fonte: Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c)

Finalmente, para cada um destes níveis, poderão ser diferenciadas as prioridades de intervenção e as periodicidades de inspeção.

Uma formulação genérica desta diferenciação é apresentada na Tabela 5 (Tabela 5).

Tabela 5 – Prioridades de intervenção e periodicidades de inspeção por níveis de risco

Nível de Risco	Prioridade de Intervenção	Periodicidade de Inspeção Principal
Risco Alto	Intervenção imediata / curto-prazo	1 ano
Risco Elevado	Intervenção a médio-prazo	2 anos
Risco Moderado	Conservação a médio-prazo	5 a 6 anos
Risco Baixo	Manutenção corrente	≥ 8 anos

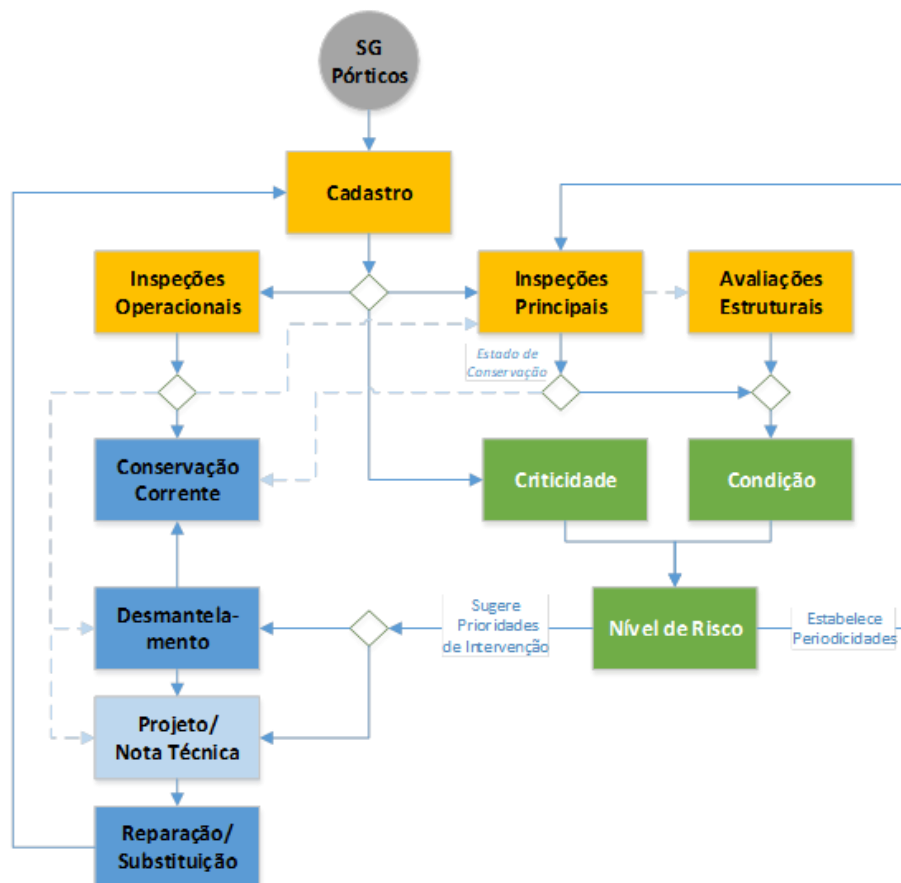
Fonte: Adaptado de Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c)

5. DISCUSSÃO

O acompanhamento do desempenho dos ativos ao longo do seu ciclo de vida é prática estabelecida, há várias décadas, na generalidade dos gestores de infra-estruturas nacionais e internacionais. É igualmente tema de desenvolvimento no meio académico, nomeadamente no que respeita a modelos de deterioração e otimização de intervenções, e mais atualmente na deteção remota de danos. A adaptação dos processos de gestão a outros grupos de ativos, bem como das práticas estabelecidas e terminologias reconhecidas, é uma preocupação que tem vindo a dar lugar ao aparecimento de sistemas de gestão dedicados, ou à adaptação dos existentes a diferentes tipologias de ativos.

No contexto atrás referido, a Infraestruturas de Portugal tem vindo a desenvolver uma formulação que permita o acompanhamento sistemático da condição e desempenho dos pórticos de sinalização rodoviária, abordada no presente artigo, e suportada em diversos contratos-piloto para o teste e implementação destas metodologias. O processo de interligação e interdependência destas atividades dá lugar a um sistema de gestão do desempenho de pórticos de sinalização rodoviária, ou mais simplesmente um sistema de gestão de pórticos, que de acordo com as melhores práticas deverá ser continuamente objeto de revisão e melhoria, com o fim último da otimização da relação entre custo, risco e desempenho. O modelo estratégico do sistema de gestão de pórticos é apresentado na Figura 5 (Figura 5).

Figura 5 – Modelo estratégico do Sistema de Gestão de Pórticos de Sinalização Rodoviária



Fonte: Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c)

Baseado na informação cadastral de cada estrutura, onde se inclui a sua localização geográfica, troço de rede em que se insere e principais características técnicas, o sistema de gestão de pórticos assenta, principalmente, na informação gerada através das atividades de inspeção operacional, inspeção principal e avaliações estruturais. Esta informação, de acordo com as metodologias de gestão do risco apresentadas no capítulo 3, permite a definição de prioridades de intervenção, com vista à reparação ou substituição das estruturas analisadas. Sempre que estas atividades não ocorram no imediato, o acompanhamento das estruturas segue uma periodicidade que é igualmente estabelecida de acordo com o nível de risco calculado, fechando assim um ciclo de acompanhamento do pórtico ao longo da sua operação.

REFERÊNCIAS

Amado, J., Freire, L., & Monteiro, B. (2014). Fundamentos para o Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Obras de Contenção da

EP – Estradas de Portugal, S.A. 14º Congresso Nacional de Geotecnia. Covilhã.

Amado, J., Pratas, M., Monteiro, B., Costa, A., & Pinheiro, M. (2021). Avaliação expedita da condição de estruturas de contenção geridas pela Infraestruturas de Portugal S.A. XVII Congresso Nacional de Geotecnia. A Geo, as ciências e a tecnologia, (pp. 103-112). Lisboa.

Brutus, O., & Tauber, G. (2009). Guide to Asset Management of Earth Retaining Structures. Technical Report prepared as part of NCHRP Project 20-07, Task 259, Gandhi Engineering, Inc., New York.

Highways England. (2021). CS 450 Inspection of highway structures.

Infraestruturas de Portugal. (2021b). Procedimento GR.PR.006 Gestão do Risco. Almada (não publicado).

Infraestruturas de Portugal S.A. (2021a). Manual de Inspeção de Pórticos de Sinalização Rodoviária. Almada (não publicado).

- Infraestruturas de Portugal, S.A. (2021c). Manual do Sistema de Gestão de Pórticos de Sinalização Rodoviária. Almada (não publicado).
- Pakrashi, V. W. (2019). WG5-Recommendations of COST Action TU1406.
- Póvoa, A., Freire, L., & Santos, F. (2019). O sistema de gestão de obras de arte da IP - SGOA IP. 9º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Rasdorf, W., Butler, C. J., Findley, D. J., Gabr, M. A., & Bert, S. A. (2016). Framework for Defining Asset Features to Monitor and Assess Earth-Retaining Structures. Journal of the Transportation Research Board, Volume 2579, 8-16. doi:10.3141/2579-02

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob *Creative Commons*, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

DECISÕES ESTRATÉGICAS NO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS CONSTRUÍDOS BASEADAS EM INFORMAÇÃO TÉCNICO-FUNCIONAL E FINANCEIRA

*STRATEGIC DECISIONS IN THE LIFE CYCLE OF CONSTRUCTED ASSETS BASED ON TECHNICAL
FUNCTIONAL AND FINANCIAL INFORMATION*

[10.29073/rae.v1i1.649](#)

Receção: 29/06/2022 Aprovação: 09/08/2022 Publicação: 07/01/2023

Filipa Salvado^a, Nuno Marques de Almeida^b, Álvaro Vale Azevedo^c,

^aLNEC; asalvado@lnec.pt; ^bIST-UL; nunomarkquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt; ^cLNEC; ava@lnec.pt

RESUMO

As funções financeiras e as funções relacionadas com o desempenho técnico e funcional (não financeiras) estão incorporadas nas atividades de gestão do ciclo de vida de qualquer dos ativos construídos. Essas funções fornecem informação relevante para o estabelecimento de estratégias de operação e de manutenção, bem como para o processo de tomada de decisão relacionado com investimentos a longo prazo em reparações, substituições e reabilitações. O objetivo deste artigo é demonstrar os efeitos da utilização destes dois tipos de funções nas decisões estratégicas de longo prazo da gestão de ativos. Esta demonstração é feita por recurso a uma análise de informação financeira, técnica e funcional de portefólios de edifícios. Para tal, apresenta-se um caso de estudo de dois edifícios escolares públicos construídos, respetivamente nas décadas de 40 e 80 do século passado, nos quais foram realizadas intervenções profundas de reabilitação no ano de 2010. Consideram-se e comparam-se os efeitos das funções utilizadas para apoiar o processo de tomada de decisão nos períodos que antecederam e sucederam essas intervenções. Os resultados dos cálculos de taxas de depreciação funcional equivalente e financeiras, mostram um desalinhamento entre funções financeiras e não financeiras e realçam a importância de que se promova esse alinhamento, tendo em vista uma otimização da gestão do ciclo de vida destes edifícios.

Palavras-Chave: Gestão de edifícios, Funções técnicas e funcionais, Funções financeiras, Taxas de depreciação, Custo do Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Financial functions and functions related to technical and functional (non-financial) performance are embedded in the lifecycle management activities of built assets. These functions provide relevant information for the establishment of operation and maintenance strategies, as well as for the decision-making process related to long-term investments in repairs, replacements, and rehabilitations. The purpose of this paper is to make a direct comparison of the effects of these two types of functions on long-term asset management strategies applied to building portfolios. A case study related to two public-school building, built in the 40's and 80's of the last century, are selected, in which deep rehabilitation interventions were carried out in 2010. The effects of the functions used to support the decision-making process in the periods that precede and follow these interventions, are considered, and compared. The results of calculating functional and financial equivalent depreciation rates show a misalignment between financial and non-financial functions and the importance of promoting this alignment with a view to optimize the life cycle management of these buildings.

Keywords: Building Management, Technical and functional functions, financial functions, Depreciation rates, Cost of the cycle of life.

1. INTRODUÇÃO

Os ativos construídos consomem uma quantidade considerável de recursos ao longo de seu ciclo de vida com impactos a diferentes níveis, nomeadamente consequências económicas relevantes. O desempenho económico de edifícios pode ser avaliado

numa fase inicial (decisão de construir), ou em qualquer fase posterior (e.g. apoio à tomada de decisão entre reabilitar, manter ou demolir). Para sustentar este tipo de avaliação é necessário existir informação (ISO 15686-5, 2017), que nem sempre é fiável e robusta, nem está prontamente disponível. A atividade de

gestão de ativos (GA) ainda enfrenta dificuldades na incorporação do conceito de custo do ciclo de vida (CCV) na sua prática diária (Fellows & Liu, 2018; Salvado et al., 2018; Goh & Sun, 2016 ; Bromilow & Pawsey, 2013).

O funcionamento das organizações de GA depende de várias funções financeiras e não financeiras (técnicas e funcionais). Em muitos casos, estas funções não se encontram alinhadas. A aplicação do conceito do CCV na atividade de GA contribui para melhorar o alinhamento das funções financeiras e técnicas e funcionais, sendo uma estratégia que conduz a processos de tomada de decisão informados e com resultados sustentáveis a longo prazo. Salienta-se que as funções financeiras são geralmente menos orientadas para apoiar o processo de tomada de decisão a longo prazo (e.g., contabilidade financeira e atividades de relatórios financeiros). Por outro lado, as funções técnicas e funcionais focam-se no planeamento de intervenções em reabilitação e em estratégias de manutenção (Salvado et al., 2019).

2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

A Diretiva Europeia 2014/24/UE relativa aos contratos públicos estabelece regras para os procedimentos de contratação de obras, fornecimentos ou serviços relativos a contratos públicos, bem como concursos de projeto, de forma a aumentar a eficiência económica dos ativos. A norma internacional ISO 15686-5 fornece diretrizes para realizar análises baseadas no conceito do CCV de ativos construídos e as normas europeias, EN 15643-4 e EN 16627 salientam a importância de se considerar requisitos de ordem técnica e funcional na avaliação económica do desempenho dos ativos ao longo do seu ciclo de vida e definem métodos de cálculo. A ISO 55010 fornece diretrizes para o alinhamento, na atividade de GA, entre funções financeiras e não financeiras, de forma a melhorar o controle interno como parte do sistema de gestão de uma organização. O alinhamento destas funções permite a realização do valor derivado da implementação da GA.

O conceito de depreciação, em termos económico-financeiros, é utilizado essencialmente na contabilidade das

organizações e nos mercados cambiais e está relacionado com a depreciação da unidade monetária (taxas de inflação) ou depreciação imobiliária. Revela-se necessário um processo de gestão financeira dos edifícios, tanto para manutenção contínua ao longo do seu ciclo de vida, como para apoio ao processo de tomada de decisão no que respeita ao momento de reparações, reabilitações e substituições (Salvado, 2019).

O Decreto Regulamentar n.º 25/2009, que estabelece o regime das depreciações e amortizações para efeitos do imposto sobre o rendimento das pessoas colectivas, tem associado o conceito de depreciação financeira. Apresenta tabelas com taxas específicas e com taxas genéricas de depreciações nomeadamente para diferentes tipos de edifícios, bem como para subsistemas, elementos e componentes de edifícios.

Ao longo do seu ciclo de vida, os ativos enfrentam um processo de deterioração gradual. Os requisitos técnicos e funcionais originais são muitas vezes atingidos antes mesmo do fim de vida física prevista. O mesmo se aplica à viabilidade económica de requisitos de ordem técnica e funcional originais do ativo. Neste sentido, o conceito de depreciação, para além de traduzir a degradação natural dos ativos devido a vários fatores (e.g., idade, uso, constituição, envolvente) esta essencialmente relacionado com uma perda de valor económico. Quando visto de uma perspectiva estritamente financeira, o conceito de depreciação está relacionado com a depreciação da unidade monetária (taxas de inflação). Mas, deve-se salientar que, no caso de depreciação de ativos físicos contruídos, a estimativa da durabilidade física e adequação dos subsistemas e elementos dos ativos, também é um aspecto relevante a ser considerado. A estimativa da vida útil, ou seja, a durabilidade de sistemas, componentes e elementos de edifícios é um aspeto relevante tanto na fase de projeto, como nas atividades de gestão das fases de operação e de manutenção. (Boomen et al., 2017; AIFMM, 2015).

Para efeitos de depreciação técnica de ativos, considera-se que o seu fim de vida técnico

está em linha com as exigências mínimas para edifícios, definida na Diretiva 89/106/CEE e Regulamento (EU) n.º 305/2011, ou seja, que os ativos devem estar aptos para o uso a que se destinam, devendo satisfazer as exigências de: i) resistência mecânica e estabilidade; ii) segurança contra incêndio; iii) higiene, saúde e proteção do ambiente; iv) segurança na utilização; v) proteção contra ruído; e vi) economia de energia e isolamento térmico. Este tipo de depreciação está diretamente relacionado com novas exigências legislativas e regulamentares de caráter técnico dos diversos subsistemas que compõem o ativo. No âmbito do desempenho integrado do edifício, os requisitos para o desempenho técnico estão descritos na norma internacional ISO 15928.

A depreciação funcional de um ativo caracteriza-se pela perda de utilidade, como a sua obsolescência face às novas exigências (ou novos requisitos) decorrentes de novos estilos de vida e técnicas construtivas. Está associada a uma perda de valor devido a aspetos arquitetónicos dos espaços do ativo que impedem ou limitam a otimização da sua operacionalidade. Este tipo de depreciação afeta significativamente o valor de mercado do ativo (Salvado, 2019) e está traduzida no Código do Imposto Municipal sobre Imóveis (CIMI, Decreto-Lei n.º 287/2003) no designado “Coeficiente de qualidade e conforto, concretamente em dois dos coeficientes minorativos”. No âmbito do desempenho integrado do edifício, os requisitos para o desempenho funcional estão descritos na norma internacional ISO 11863.

Tanto as atividades financeiras quanto as não financeiras estão envolvidas nos processos da GA e diversos estudos têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de aprimorar esses processos com a geração e disponibilização de bases de dados com informação técnicas sobre manutenção, reparação, substituição e estimativas de vida útil (Fellows e Liu, 2018; Daniotti et al., 2010; Kirkham, 2005).

3. MÉTODO

Tanto as funções financeiras quanto as técnicas e funcionais estão inseridas na atividade de GA, bem como na gestão do CCV de ativos. Estas funções fornecem informação

relevante para estabelecer estratégias de longo prazo a nível operacional e de manutenção, bem como nos processos de tomada de decisão relacionados com investimentos em intervenções de reparação, substituição e reabilitação. Pretende-se com este trabalho, melhorar o alinhamento das funções financeiras e não financeiras, tendo como pressuposto que o potencial de serviço dos ativos deve ser adequadamente financiado à medida que é depreciado ao longo do seu ciclo de vida. Para o efeito, é utilizado um caso de estudo relacionado com edifícios escolares públicos, para comparar e debater situações de desalinhamento entre funções (através do cálculo de taxas de depreciação financeira e técnicas e funcionais). Para uma análise mais detalhada, o sistema edifício é dividido em cinco subsistemas (arranjos urbanísticos, estrutura, envolvente, espaço interior e instalações especiais). Promove-se, desta forma, o alinhamento de taxas de depreciação financeira e técnicas e funcionais dos edifícios e dos seus subsistemas, com vista a uma gestão otimizada do ciclo de vida do portfólio de edifícios.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

O presente caso de estudo é constituído por dois edifícios escolares públicos (designados de E1 e E2), com diferentes características técnicas e funcionais, fruto da época em que foram construídos.

O edifício E1 foi construído no ano de 1947, na zona de Lisboa, com uma tipologia construtiva Liceu e com características técnicas e funcionais do Plano de 38 (Parque Escola, 2010). Em termos formais apresenta uma configuração em extensão ocupando na totalidade o perímetro de um quarteirão urbano. Desenvolve-se em dois pisos. Apresenta uma simetria de espaços em relação ao átrio de entrada. Tipologia linear, assente num corredor de distribuição (com largura mínima de 2,5m) com escadas nos topos e nos pontos de interseção com corpos de direções perpendiculares. Organização tradicional para as salas de aula: espaço retangular (6x9m e pé direito de 4m);

iluminação natural unilateral (janelas localizadas a 1,2m do pavimento e com uma superfície de 1/5 a 1/6 da área do pavimento). A cobertura é inclinada e em telha, com cunhais, cornijas e molduras revestidas a pedra. A fachada principal também revestida a pedra.

O edifício E2 foi construído no ano de 1988, na zona de Lisboa, com uma tipologia construtiva Pavilhonar (blocos 3x3) e com características técnicas e funcionais de Projetos-tipo para o ensino secundário (Parque Escola, 2010). Caracteriza-se por ser constituído por um conjunto de pavilhões autónomos, que estão ligados entre si através de percursos exteriores cobertos. Os pavilhões são concebidos segundo o conceito de modulação tirando-se partido da repetição de elementos construtivos. Construção industrializada com a qual se pretendia reduzir custos e tempo de execução de obras. Assim surgiu um projeto-tipo designado de blocos 3x3 que foi amplamente utilizado na construção e ampliação de escolas durante duas décadas. Baseou-se no módulo dimensional da sala de aula de planta quadrada de 50 m² inserida numa malha regular de 7,20x7,20 m, originando blocos com a dimensão final de

21,6x21,6 m dois ou três pisos, autónomos e normalizados. Construtivamente, estes pavilhões são constituídos por soluções de estrutura em pórtico pilar-viga em betão armado e lajes maciças. Cada bloco, em torno do módulo central onde se localizam as escadas está iluminado naturalmente através de lanternins.

A atividade de GA nestes edifícios contemplou intervenções corretivas, adaptações e melhoramentos de forma isolada, o que não permitiu uma requalificação abrangente destes edifícios. O envelhecimento natural dos materiais e dos elementos de construção e a falta de ações de conservação, manutenção e reabilitação, resultou num património bastante degradado que apresentava sinais de desqualificação a nível técnico, funcional, ambiental e social, bem como questões de carácter regulamentar e legislativo. No ano de 2010, estes edifícios foram submetidos a intervenções profundas no âmbito do Programa de Modernização do Parque Escolar destinado ao Ensino Secundário. E1 foi reabilitado e ampliado (com construção nova) e E2 foi demolido e construído um edifício novo no mesmo local. Apresentam-se na Tabela 1 dados deste dois edifícios.

Tabela 1 – Dados dos edifícios

Edifício	Construção inicial				Intervenção em 2010			
	Área de construção (m ²)	Área de arranjos urbanísticos (m ²)	Capacidade e (n.º alunos)	Área de demolição (m ²)	Área de reabilitação (m ²)	Área de construção nova (m ²)	Área de arranjos urbanísticos (m ²)	Capacidade e (n.º alunos)
E1	7.420	23.293	451	775	6.645	9.392	18.156	975
E2	6.502	27.647	600	6.502	0	11.828	22.886	1.100

E1 e E2 estão atualmente com características técnicas e funcionais idênticas, entre eles, e bastante diferentes das iniciais aquando a sua construção. A partir de 2010 verifica-se uma atividade de GA distinta onde existe um plano estruturado de manutenção e de investimento em intervenções, de acordo com funções financeiras.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Utiliza-se a divisão do sistema edifício por subsistemas (ver Tabela 2) tal como adotada

em diversos estudos e normalização. Assim, primeiro é apreciado o sistema edifício, como um todo, e de seguida apreciados os seus subsistemas. A cada subsistema estão associadas características técnicas e funcionais distintas. A vida útil do sistema edifício está condicionada pela durabilidade dos seus subsistemas e de acordo com a função que lhe está atribuída, apresentando cada subsistema uma depreciação diferente ao longo do seu ciclo de vida (Salvado, 2019).

Tabela 2 – Descrição dos subsistemas do edifício

Subsistema	Descrição
AU Arranjos urbanísticos	- Terreno onde está implantado o edifício escolar e onde existem diversos elementos construtivos (e.g., fundações e infraestruturas; áreas desportivas; muros, e vedações; pavimentos; escadas e rampas; coberturas e passadiços; equipamento e mobiliário urbano fixo; terreno natural e vegetação).
EST Estrutura	- Conjunto de elementos que dão forma ao edifício e asseguram a sua estabilidade (e.g., fundações e contenções; elementos estruturais; estabilização e proteção de elementos estruturais; juntas, ligações e apoios).
ENV Envolvente	- Conjunto de elementos com a funcionalidade de garantir o conforto dos ocupantes protegendo-os dos agentes exteriores, nomeadamente ruídos e agentes climatéricos procurando uma maior eficiência energética (e.g., paredes; cobertura; vãos).
EI - Espaço interior	- Conjunto de elementos com a funcionalidade de garantir a utilização dos ocupantes (e.g., pavimentos; paredes; tetos; vãos; acessórios fixos).
IE Instalações especiais	- Conjunto de elementos diretamente relacionados com as especialidades de projeto definidas na Portaria 701-H (e.g., águas e esgotos; elétricos; comunicações; AVAC; gás; segurança integrada; gestão técnica centralizada; transporte de pessoas e carga; produção de energia renovável).

4.3. INVESTIMENTOS AO LONGO DO CICLO DE VIDA

Consideram-se dois períodos do ciclo de vida destes edifícios. O primeiro período (CV1) entre a data da construção dos edifícios e 2009 e o segundo período (CV2) entre 2010 e 2070.

Com a recolha de dados históricos de E1 e E2 apresentam-se na Figura 1 e Figura 2 os respetivos investimentos no CV1. Saliencia-se que, além do investimento da construção dos edifícios, E1 apresenta investimentos em reabilitação nos anos de 1951 e 1971, enquanto E2 não teve intervenções de reabilitação.

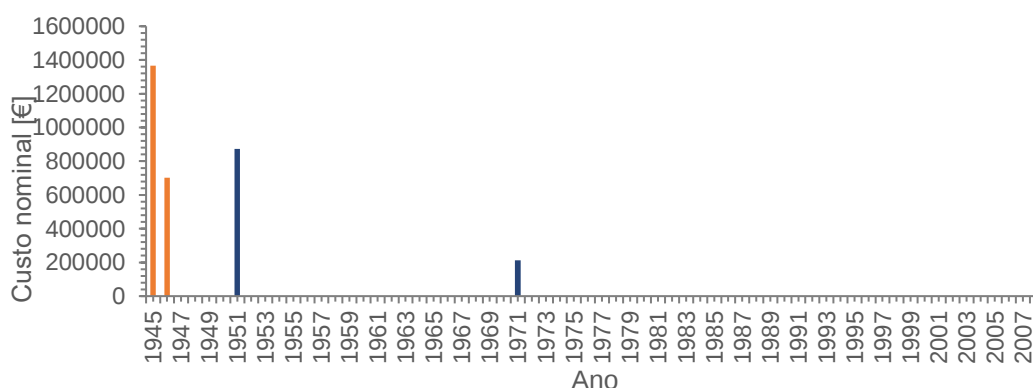
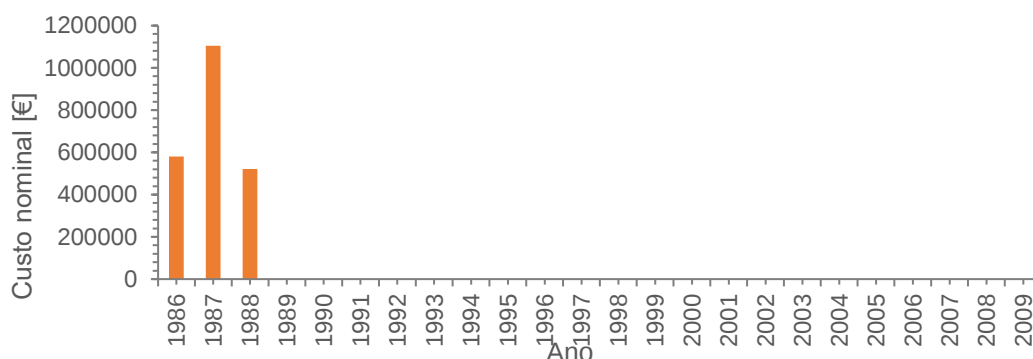
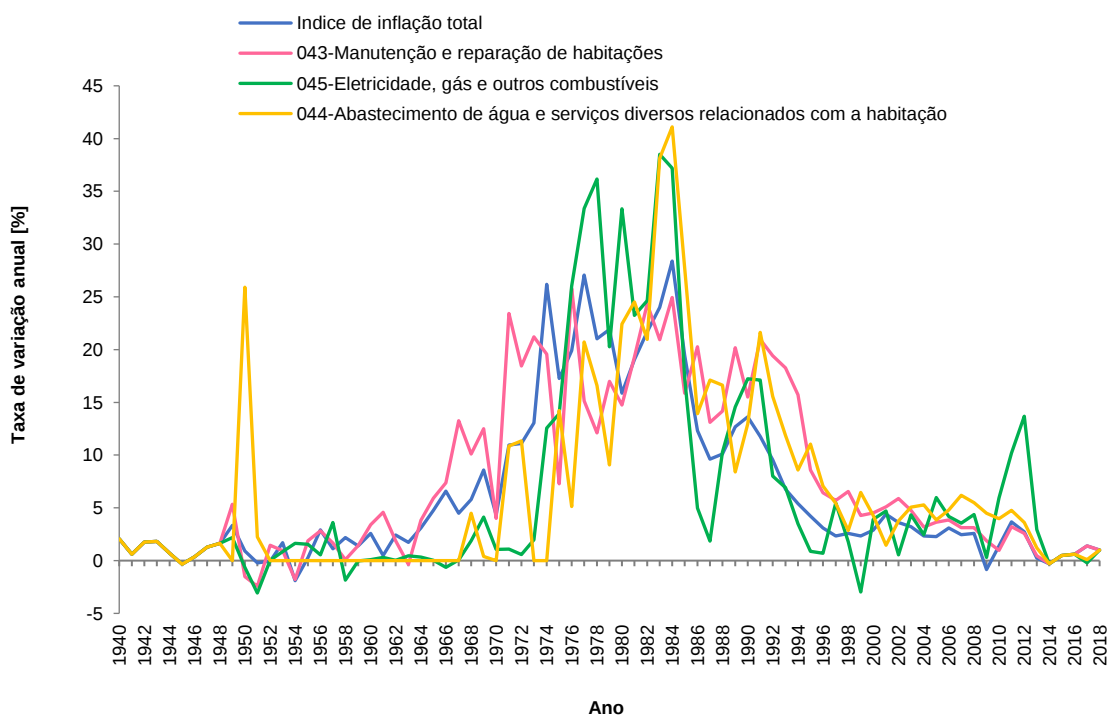
Figura 1 – Investimentos em E1 no CV1


Figura 2 – Investimentos em E2 no CV1


Salienta-se que os custos reais históricos recolhidos, foram corrigidos para custos nominais através da Equação 1 (ISO 15686-5).

$$q_i d = (1 + a)^n$$

Onde, a é a taxa de inflação/deflação por ano (Figura 3) e n é o número de anos entre a data de base e a ocorrência do custo.

Figura 3 – Taxas de variação anual para correção de valores


Após as intervenções de reabilitação em 2010, a estratégia de GA visa investimentos a longo prazo, nos subsistemas do edifício que se baseiam nas vidas úteis e custos apresentados na Tabela 3.

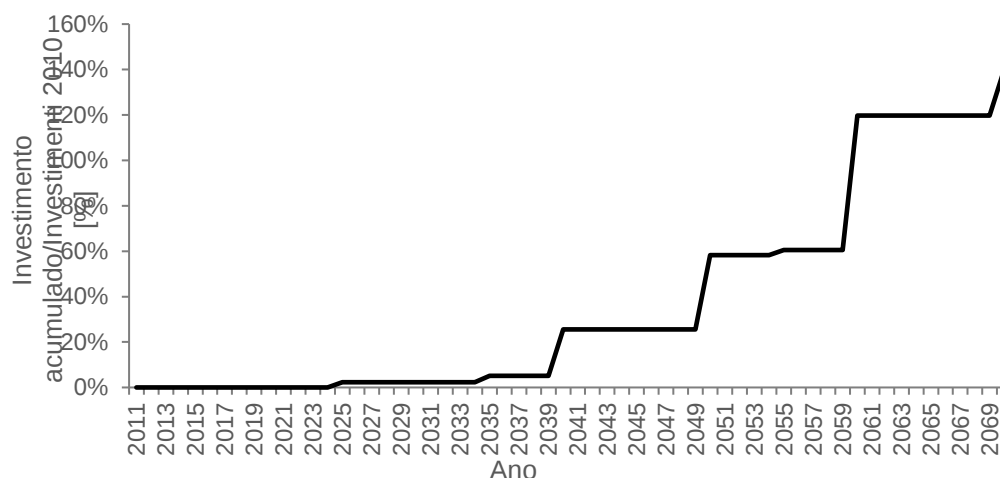
Esta estratégia é baseada em funções técnicas e funcionais tendo também em consideração funções financeiras do Decreto Regulamentar n.º 25/2009 (taxas de depreciação de 10% para os subsistemas AU e IE e de 5% para EST, ENV e EI).

Tabela 3 – Vida útil e custo de intervenção do edifício

Subsistema	Vida útil (anos)	Custo (% do investimento 2010)
ENV (pinturas); EI (pinturas)	15	2,00%
ENV (isolamentos e impermeabilizações)	25	2,50%
IE (AVAC, gás, segurança integrada, gestão técnica centralizada e produção de energia renovável)	30	2,70%
ENV (revestimentos e acabamentos); EI (revestimentos e acabamentos); IE (águas e esgotos, elétricos e transporte de pessoas e carga)	40	7,25%
AU; EST; ENV (cantarias, serralharias e paredes); EI (carpintarias, paredes e elementos plásticos); IE (comunicações)	50	6,25%

Apresenta-se na Figura 4, os investimentos acumulados previstos (em percentagem, com base no investimento de 2010) para os edifícios E1 e E2.

Em termos percentuais é idêntico nos dois edifícios e de acordo com as funções definidas na Tabela 3.

Figura 4 - Investimentos em E1 e E2 no CV2


4.4. CÁLCULO DE TAXAS DE DEPRECIAÇÃO

No início do seu ciclo de vida, o edifício degrada-se de forma ligeira, sendo que com o decorrer dos anos a degradação aumenta, principalmente nos casos em que não existem intervenções de manutenção, reparação, substituição e de reabilitação (Salvado, 2019).

Analisando os varios métodos de cálculo, a longo prazo, verifica-se que a depreciação de edifícios de acordo com o método linear se situa aproximadamente na média das diversas abordagens existentes (Salvado, 2019).

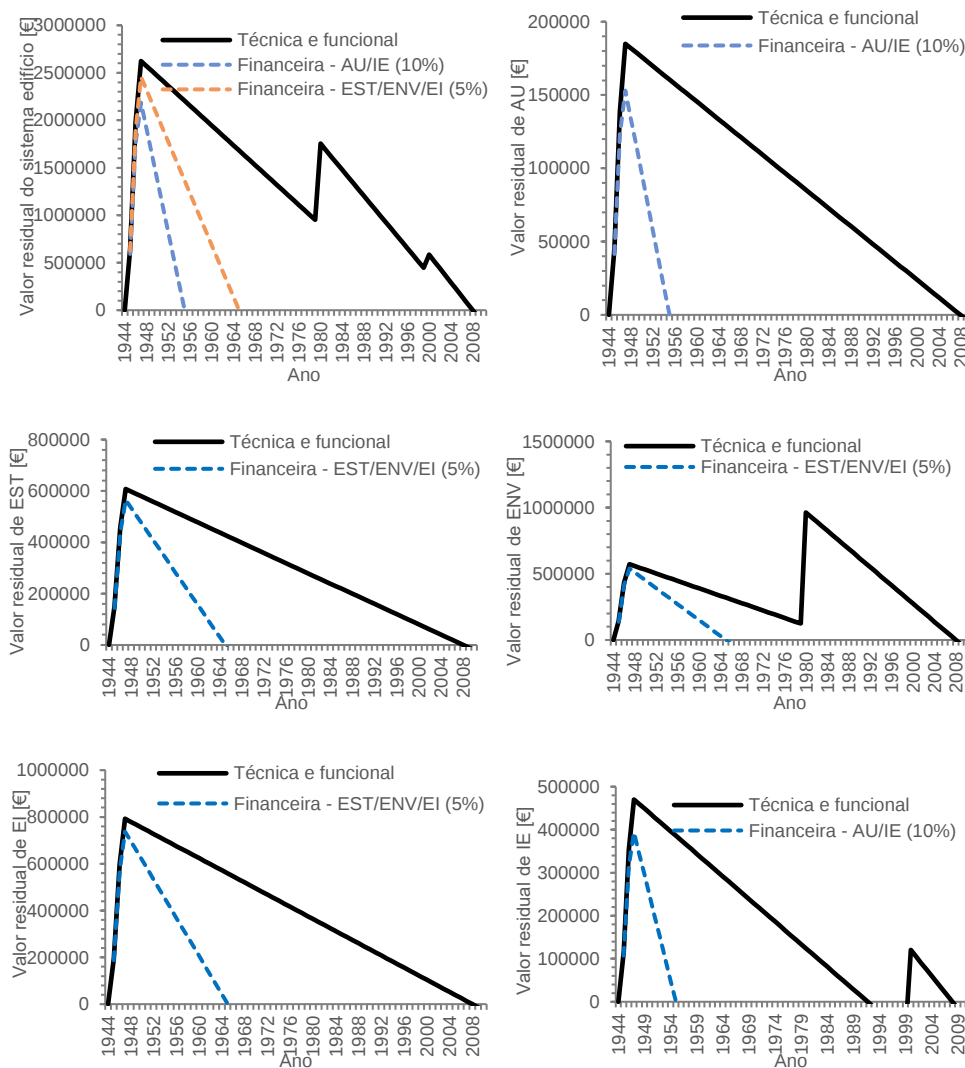
Assim, no presente caso de estudo, o cálculo de taxas de depreciação é efetuado de acordo com o método linear. Salienta-se também que este método linear encontra-se referido no CIMI (Decreto-Lei n.º287/2003) através da aplicação do coeficiente de vetustez.

A par, o Decreto Regulamentar n.º 25/2009 refere que a regra de cálculo das depreciações/amortizações é o método das quotas constantes, que corresponde a este método linear.

Para o Edifício E1 no CV1, na Figura 5 apresentam-se as comparações entre as depreciações reais obtidas de acordo com funções técnicas e funcionais (não

financeiras), e as depreciações financeiras previstas no Decreto Regulamentar n.º 25/2009, para cada subsistema do edifício, bem como para o sistema edifício.

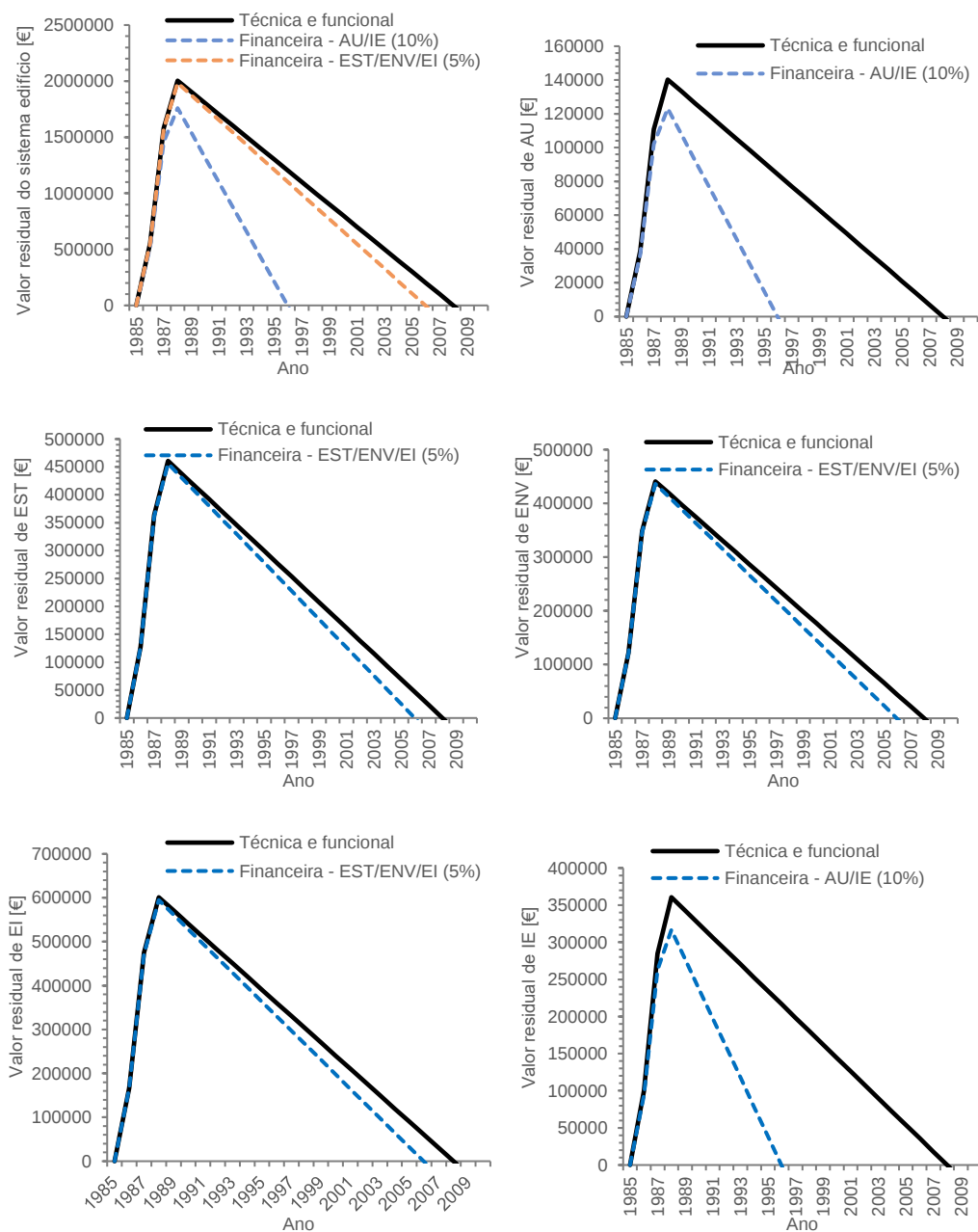
Figura 5 – Depreciações financeiras e não financeiras em E1 no CV1



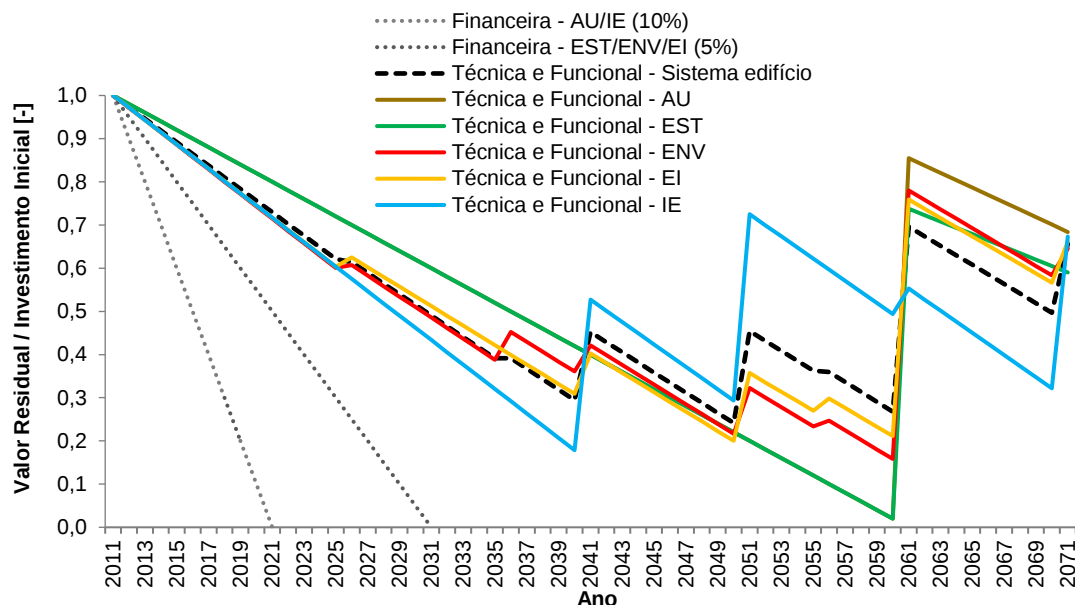
A par, a Figura 6 apresentam-se também as comparações entre as depreciações reais obtidas de acordo com funções técnicas e funcionais (não financeiras), e as

depreciações financeiras previstas no Decreto Regulamentar n.º 25/2009, para cada subsistema do edifício, bem como para o sistema edifício.

Figura 6 - Depreciações financeiras e não financeiras em E2 no CV1



Na Figura 7 apresentam-se as diferentes depreciações para o CV2. Em termos percentuais, são idênticas para E1 e E2.

Figura 7 - Depreciações financeiras e não financeiras em E 1 e E2 no CV2


4.4. CÁLCULO DE TAXAS DE DEPRECIAÇÃO

Na Tabela 4 apresentam-se as diversas taxas de depreciação obtida.

Tabela 4 – Taxas de depreciação financeiras e não financeiras

Subsistema	Taxa de depreciação [%]			
	Financeira	Técnica e Funcional de E1 no CV1	Técnica e Funcional de E2 no CV2	Técnica e Funcional de E1 e E2 no CV2
Edifício	7	1,92	4,54	2,58
AU	10	1,59	4,54	2,00
EST	5	1,59	4,54	2,00
ENV	5	2,33	4,54	3,06
EI	5	1,59	4,54	2,93
IE	10	2,14	4,54	2,91

Os dados históricos mostram a relevância de considerar as características técnicas e funcionais do sistema edifício e dos seus subsistemas (AU, EST, ENV, EI e IE) para se determinar as taxas de depreciação reais dos ativos.

A fim de destacar a importância de combinar um sistema financeiro com uma abordagem de gestão não financeira das taxas de depreciação, analisam-se rácios relativos (depreciação não financeira/depreciação financeira).

O edifício escolar E1, no CV1, apresenta os seguintes rácios: 1/6,29 (AU); 1/3,14 (EST e EI); 1/2,15 (ENV); e 1/4,67 (IE). O edifício escolar E2, no CV1, apresenta rácios de 1/2,20 (AU e IE) e de 171,10 (EST, ENV e EI). Estas diferenças assentadas entre as funções não financeiras do E1 e E2 devem-se ao facto das suas características técnicas e funcionais serem bastante distintas, enquanto o E1 é um edifício robusto do ano de 1947, o E2 é um edifício com recurso à préfabricação do ano de 1988.

No CV2, E1 e E2 têm características técnicas e funcionais idênticas e bastante distintas das

existentes no CV1. A recente estratégia a longo prazo baseada em funções não financeiras, para o CV2, conduz a uma redução do desalinhamento entre funções em cerca de 50% por cento para os subsistemas AU e IE e em cerca de 30% para os subsistemas EST, ENV e EI.

Fatores de ordem económica estão refletidos na correção de valores reais a nominais através do andamento a longo prazo da taxa de inflação/deflação. Outros fatores de depreciação, nomeadamente de ordem ambiental ou política, não são considerados.

A taxa de depreciação financeira tem em consideração alterações de requisitos técnicos, com exigências legislativas e regulamentares, principalmente no que se refere a instalações especiais, o que justifica a diferença entre a depreciação financeira de instalações especiais, de 10% face aos 5% das depreciações de outros subsistemas.

Sendo essas exigências datadas na última década, tem maior influência na taxa de depreciação equivalente funcional de edifícios mais recentes. Daí ser o E2 que apresenta vida útil técnica e funcional funcional mais próxima da vida útil financeiras.

Por outro lado, as diferenças estão também associadas a questões políticas no que respeita a restrições económicas verificadas durante o CV1 e no que respeita também a investimento no património público.

5. CONCLUSÕES

O setor imobiliário lida com diversos intervenientes e influencia as diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos de construção. Um processo de tomada de decisão sólido ao longo do ciclo de vida dos edifícios depende da aplicação generalizada e consistente do conceito do CCV, nomeadamente através da geração e disponibilização de informação em quantidade e com qualidade.

A procura crescente, neste setor, de requisitos legais e regulamentares, incluem a necessidade de informação sólida e fiável que descreva o desempenho económico dos edifícios. Esta tarefa envolve uma compreensão das taxas de depreciação dos

ativos e das suas vidas úteis, tanto a nível financeiro como não financeiro.

As funções de depreciação obtidas com o presente trabalho, fornecem informação relevante para planejar as atividades de operação e manutenção ao longo do ciclo de vida dos edifícios escolares, bem como investimentos em reabilitação.

O caso de estudo utilizado indica que o momento ótimo para investimentos depende da vida útil dos elementos do edifício que estão diretamente relacionadas com requisitos técnicos e funcionais. No entanto, as taxas de depreciação financeira estabelecidas pelos regulamentos nacionais são diferentes.

Este artigo oferece uma abordagem de depreciação lógica e consistente para determinar a vida dos sistemas de ativos do edifício. Esta abordagem pode ter um impacto nas organizações de GA e também nas várias partes interessadas envolvidas no processo (e.g., engenheiros e arquitetos; reguladores e autoridades; bancos e seguradoras; ou utilizadores finais).

Uma parte das diferenças consideráveis, para a depreciação financeira, podem estar associadas a questões legislativas, condições regulatórias ou governamentais públicas e de políticas de gestão ao longo do ciclo de vida dos ativos.

Este artigo também preenche a lacuna entre a teoria e a prática no sentido que se tem vindo a realçar a importância de alinhar funções, mas sem uma compreensão clara de como pode ser alcançado. Os resultados obtidos podem ser utilizados para motivar os reguladores a rever as taxas legais de depreciação em linha com as taxas de depreciação equivalentes funcionais.

REFERÊNCIAS

AIFMM (2015). Australian Infrastructure Financial Management Manual. Quick Guide. IPWEA, Institute of Public Works Engineering Australasia, Sidney.

Boomen, M., Schoenmaker, R. & Wolfert, A. (2017). A life cycle costing approach for

discounting in age and interval replacement optimisation models for civil infrastructures assets. *Structure and Infrastructure Engineering*, 7(1), 1-13.

Bromilow, F. & Pawsey, M. (2013). Life cycle cost of university buildings. *Construction Management and Economics*, 5(1), 3-22.

Daniotti, B., Spagnolo, S., Chevalier, J., Hans, J. & Chorier, J. (2010). An international service life database: the grid definition for an actual implementation of factor methods and service life prediction. CIB2010 World Congress, Salford.

Decreto Regulamentar n.º25/2009 de 14 de setembro (2008). Estabelece o regime das depreciações e amortizações para efeitos do imposto sobre o rendimento das pessoas colectivas e revoga o Decreto Regulamentar n.º 2/90, de 12 de janeiro. *Diário da República*, n.º 178, Série I, pp.6270-6285

Decreto-Lei n.º 287/2003 de 12 de novembro - Aprova o Código do Imposto Municipal sobre Imóveis e o Código do Imposto Municipal sobre as Transmissões Onerosas de Imóveis, altera o Código do Imposto do Selo, altera o Estatuto dos Benefícios Fiscais e os Códigos do IRS e do IRC e revoga o Código da Contribuição Predial e do Imposto sobre a Indústria Agrícola, o Código da Contribuição Autárquica e o Código do Imposto Municipal de Sisa e do Imposto sobre as Sucessões e Doações. *Diário da República*, n.º 262, Série I-A, pp. 7568-7647.

Diretiva 2014/24/UE (2014). Parlamento Europeu e Conselho de 26 de fevereiro de 2014 relativa aos contratos públicos e que revoga a Diretiva 2004/18/CE. *Jornal Oficial da União Europeia*.

Diretiva 89/106/CEE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de dezembro de 1988 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção. *Jornal Oficial da União Europeia*.

EN 15643-4 (2012). Sustainability of construction works. Assessment of buildings - part 4: framework for the assessment of

economic performance. European Committee for Standardization.

EN 16627 (2015). Sustainability of construction works. Assessment of economic performance of buildings – calculation method. European Committee for Standardization.

Fellows, R., & Liu, A. (2018). Where do I go from here? Motivated reasoning in construction decisions. *Construction Management and Economics*, 36(1), 623-634.

Goh, B. & Sun, Y. (2016). The development of life cycle costing for buildings. *Building Research & Information*, 44(3), 319-333.

ISO 11863 (2011). Buildings and building-related facilities. Functional and user requirements and performance. Tools for assessment and comparison. International Organization for Standardization.

ISO 15686-5 (2017). Building and constructed assets - service-life planning - part 5: life-cycle costing. International Organization for Standardization.

ISO 15928-1 (2015). Houses. Description of performance - Part 1: Structural safety. International Organization for Standardization.

ISO 15928-2 (2015). Houses. Description of performance - Part 2: Structural serviceability. International Organization for Standardization.

ISO 15928-3 (2015). Houses. Description of performance - Part 3: Structural durability. International Organization for Standardization.

ISO/TS 55010 (2019). Asset management - Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management. International Organization for Standardization.

Kirkham, R. (2005). Re-engineering the whole life cycle costing process. *Construction Management and Economics*, 23(1), 1-17.

Parque Escolar (2010). Liceus, Escolas Técnicas e Secundárias. Lisboa: Parque Escolar EPE, Direção-Geral de Projeto - Área de Edificações.

Portaria n.º 701-H/2008 de 29 de julho (2008). Conteúdo obrigatório do programa e do projeto de execução e normas a adotar na elaboração

e faseamento de projetos de obras públicas. Diário da República, n.º 145, Série I, pp.5106(37)-5106(80).

Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de março de 2011 que estabelece condições de harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Diretiva 89/106/CEE do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia.

Salvado, F., Almeida, N., & Vale e Azevedo, A. (2018). Towards improved LCC-informed decisions in building management. Journal of

Built Environment Project and Asset Management, 8(2), 114-133.

Salvado, F., Ameida, N., & Vale e Azevedo, A. (2019). Aligning financial and functional equivalent depreciations rates of buildings assets. Engineering, Construction and Architectural Management, 27(2), 441-457.

Salvado, F. (2019). Custo do ciclo de vida na gestão de edifícios. Modelo de apreciação económica aplicado a portefólios de edifícios escolares públicos. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob *Creative Commons*, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO

LIFE CYCLE COST ANALYSIS OF A WATER TREATMENT PLANT FOR GYPSUM BOARDS PRODUCTION
[10.29073/rae.v1i1.653](#)

Receção: 01/07/2022 Aprovação: 22/09/2022 Publicação: 07/01/2023

Inês Nunes ^a, Paulo Gomes ^b, Ana Vieira ^c, Hugo Raposo ^d, José Farinha ^e

^aISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra; inunes050499@gmail.com; ^bISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra; paulojsqm@gmail.com; ^cISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. CISE - Electromechatronic Systems Research Centre, Universidade da Beira Interior; avieira@isec.pt; ^dISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, CEMMPRE – Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes, EIGES – Research Centre in Industrial Engineering, Management and Sustainability, Universidade Lusófona; hugo.raposo@isec.pt; ^eISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, CEMMPRE – Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes; tfarinha@isec.pt

RESUMO

O presente artigo combina os aspetos tradicionais da gestão aplicada a realizações da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) com os da área transdisciplinar emergente da gestão de ativos. Aborda também o papel da inovação e do empreendedorismo na afirmação da abordagem da gestão de ativos de engenharia com particular incidência no âmbito específico dos ativos construídos. Esta combinação justifica-se pelos crescentes desafios colocados na gestão de empreendimentos de infraestruturas, edifícios e instalações industriais que servem funções críticas para o funcionamento das sociedades. O envelhecimento e a natural degradação da condição deste tipo de sistemas de ativos físicos críticos implicam necessidades elevadas de investimento de renovação e modernização nas próximas décadas, exigindo a mobilização de recursos limitados que podem não estar imediatamente disponíveis. Isto tem atraído atenções para o potencial dos conceitos e princípios da gestão de ativos no domínio da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e para a necessária adaptação e inovação da abordagem clássica da gestão da construção e dos empreendimentos de construção para integrar esses mesmos conceitos e princípios.

Palavras-Chave: Ativos de Engenharia, Ativos Construídos, Gestão De Ativos, Indústria AEC, Inovação

ABSTRACT

This article combines the traditional aspects of project management as applied to Architecture, Engineering and Construction (AEC) with those of the emerging transdisciplinary discipline of asset management. It also deals with the role of innovation and entrepreneurship in the affirmation of the engineering asset management approach with an emphasis on constructed assets. This combination is relevant to deal with the increasing challenges posed to infrastructure, buildings and industries facilities that serve and are critical for the functioning of cities and societies. The aging and natural decay of these type of critical physical assets implies intensive renewal and modernization investments in the coming decades, but the resources needed are limited and might not be readily available. The applicability of the asset management concepts and principles in the realm of AEC has been attracting attention as these can drive innovation and a much-needed transformation in the traditional approach to project management in the AEC sector.

Keywords: Engineering Assets, Built Assets, Asset Management, AEC Industry, Innovation

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os mercados vão mostrando, cada vez mais, uma feroz competitividade à medida que surgem cada vez maiores exigências de produtos e serviços

personalizados. O essencial para uma organização se manter competitiva é a capacidade de criar estratégias de adaptação e de gestão de recursos, envolvendo previsões para o futuro, tendo sempre em consideração

o mercado, produto e cliente. O aumento dos requisitos de qualidade, a rapidez da evolução tecnológica e a dificuldade de financiamento criam conflitos de interesses que sem uma estrutura e uma metodologia adequada podem originar graves problemas numa organização. Assim, é necessário que os gestores zelem pelas organizações, ativos, recursos e colaboradores, assegurando a sua capacidade na manutenção da produtividade.

O desempenho, a qualidade e a disponibilidade da linha de produção são uma prioridade para as organizações, visto que uma falha de um equipamento pode provocar grandes implicações organizacionais e financeiras, causando variações na taxa de produção e na qualidade do produto. Tendo em conta a importância de uma boa gestão da disponibilidade e uso dos equipamentos, do uso dos recursos disponíveis e da manutenção dos equipamentos, é imprescindível para as empresas ter uma Gestão de Ativos (GA) competente. A GA deve ser suportada num modelo construído com diversas visões integradas, tais como, manutenção, qualidade, segurança, meio ambiente, melhoria contínua, processos produtivos, capacitação e aprendizagem contínua, tendo como principal foco otimizar o desempenho dos ativos ao menor custo possível, cumprindo com os objetivos organizacionais. A GA possibilita a escolha das melhores práticas para a organização, de um ponto de vista operacional, estratégico e financeiro, tendo em conta as necessidades de cada organização e os recursos de investimento sempre limitados (Coelho, 2015). Na tomada de decisão e na definição de estratégias da GA, deve-se ter em conta todo o ciclo de vida dos ativos, desde a sua aquisição até à fase de fim de vida, uma vez que a análise de todas as fases de vida é essencial para que se obtenha uma visão global das oportunidades, dos riscos, das necessidades e do desempenho de cada ativo.

Os equipamentos industriais são peças fundamentais para o bom funcionamento de uma organização industrial e a sua gestão deve ter como foco que estes operem na sua máxima disponibilidade e eficiência. É crucial que se estude o ciclo de vida dos ativos, o que implica uma adequada seleção dos ativos,

uma adequada operação e manutenção e, no fim da sua vida, uma decisão apropriada para a renovação ou retirada de funcionamento (Raposo & Farinha, 2020). A avaliação e otimização económica do ciclo de vida de um ativo, desde a sua aquisição até à sua eliminação, resulta em benefícios significativos e poupanças atrativas. A perceção dos benefícios que resultam da utilização de uma abordagem global do ciclo de vida dos ativos leva a que surja o conceito de Custo do Ciclo de Vida (CCV), (Matos, 2016). De acordo com Langdon (2007), a análise do CCV permite identificar e minimizar os custos do ciclo de vida dos ativos, de forma a sinalizar as áreas onde existe ou não acréscimo de valor ao ativo, permitindo assim intervir nos pontos onde não há acréscimo de valor e que possam constituir um objetivo de melhoria contínua.

Neste artigo, de forma a assegurar o bom funcionamento e boa gestão da ETA, com os menores custos possíveis para a empresa Gyptec, realizou-se o cálculo e análise do CCV do ativo, que possibilita a implementação de melhorias significativas na GA, tais como a identificação de custos e possíveis otimizações, a definição de prioridades de intervenção e de estratégias de utilização.

2. ENQUADRAMENTO

2.1. GESTÃO DO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS

Os ativos físicos, devido ao desgaste, perdem valor ao longo da sua vida útil podendo chegar a tornarem-se obsoletos. Assim, as organizações devem centrar-se na rentabilização do valor dos ativos durante o respetivo ciclo de vida. A GA é definida, na ISO 55000, como uma “atividade coordenada de uma organização para perceber e produzir valor a partir dos ativos”, sendo que a perceção e a produção de valor envolve, normalmente, o balanço de custos, riscos, oportunidades e benefícios de desempenho (ISO, 2014).

Devido ao crescente aumento das exigências de entidades reguladoras nas várias áreas de aplicação, a necessidade de otimização da GA é cada vez maior.

Os responsáveis pela GA devem ser capazes de usar os seus ativos de modo a satisfazer as

exigências das partes interessadas e de optar por práticas que melhor convêm à organização, de um ponto de vista operacional, estratégico e financeiro (Coelho, 2015). A GA possibilita que uma organização analise a necessidade e o desempenho dos ativos e dos sistemas de ativos a diferentes níveis, de forma a aplicar abordagens analíticas de gestão em diferentes estágios do seu ciclo de vida, que pode começar na percepção da necessidade do ativo até à sua alienação (ISO, 2014). Decisões, planos e atividades relacionadas com a GA são realizadas com base num ciclo de aprendizagem, que constantemente monitoriza e revê o desempenho dos ativos decorrente de decisões passadas, fornecendo informação sobre a evolução dos riscos e oportunidades, que irá servir de apoio a decisões futuras (Pais et al., 2019). A otimização dos processos da GA e a minimização do custo do ciclo de vida dos ativos, de modo a permitir decidir quais os ativos necessários para o cumprimento dos objetivos organizacionais, é uma necessidade comum a todas as organizações (ISO, 2014).

O ciclo de vida de um ativo, segundo Pais et al. (2019), é definido como o período em que uma entidade pode utilizar um ativo de forma economicamente eficaz e eficiente para promover a prestação de serviços. Este período abrange todas as fases da vida de um ativo: aquisição, operação, manutenção e eventual alienação. É necessário um acompanhamento e uma análise permanente durante o ciclo de vida dos ativos para que estes operem na sua máxima disponibilidade e eficiência (Raposo & Farinha, 2020). Portanto, é crucial que seja realizada uma análise ao ciclo de vida dos ativos, o que implica uma adequada seleção dos ativos, uma adequada operação e manutenção e, no fim da sua vida, uma decisão apropriada sobre a renovação ou retirada de funcionamento (Raposo & Farinha, 2020).

2.2. CUSTO DO CICLO DE VIDA DO ATIVO

O CCV de um ativo é o custo decorrente de todo o seu ciclo de vida, desde o Custo de Aquisição (CA), passando pelo Custo de Operação (CO), Custo de Manutenção (CM) e Custo de Fim de Vida (CFV), ou seja, abrange

todas as despesas consideráveis durante o período de posse do ativo (Langdon, 2007).

A análise do CCV, segundo Langdon (2007), é uma ferramenta para avaliar o desempenho do custo total de um ativo ao longo do tempo, de forma a avaliar diferentes cenários de investimentos, entre vários projetos e entre várias especificações, de maneira a atingir as expectativas do cliente. O principal objetivo da análise do CCV é identificar e minimizar os custos do ciclo de vida dos ativos, de forma a sinalizar as áreas onde existe ou não acréscimo de valor ao ativo, permitindo assim intervir nos pontos onde não há acréscimo de valor e que possam constituir um objetivo de melhoria contínua. A análise do CCV pode ser realizada durante qualquer etapa do ciclo de vida de um ativo, uma vez que fornece informação para as decisões relacionadas com o projeto, compra, operação, manutenção e com o desmantelamento do ativo. A complexidade da análise deve refletir a complexidade dos ativos a analisar, permitindo obter uma estimativa dos custos e da importância destes na tomada de decisões da organização (Dionísio, 2020). A análise do CCV é aplicada de forma mais eficaz na fase inicial do projeto, uma vez que pode impedir que se tome uma decisão errada de aquisição de um ativo, evitando que a organização sofra com as consequências dessa decisão. No entanto, a análise também pode ser realizada durante qualquer fase do ciclo de vida do ativo, com o objetivo de identificar áreas de incerteza e risco significativos, servindo de apoio para qualquer tomada de decisão (Pais et al., 2020).

Como a análise do CCV de um ativo é uma previsão do futuro, geralmente, são utilizados diferentes métodos para realizar as estimativas de custos. Neste tipo de análise e, em particular, na tomada de decisão de aquisição, substituição ou eliminação de um ativo, devem ser tidos em consideração os métodos de investimento. De forma a estimar o período completo da vida útil do ativo em análise é necessário determinar o momento certo de substituição do ativo. Existem modelos matemáticos que nos permitem fazer a caracterização adequada de forma a determinar o momento certo para substituir o ativo. As variáveis utilizadas na tomada de

decisão de substituição baseiam-se em dados históricos, à exceção do valor de eliminação do ativo, que terá de ser obtido através dos valores de mercado para cada ativo específico; essas variáveis são (Raposo et al., 2017):

- 1.Custo de Aquisição – CA;
- 2.Custo de Fim de Vida – CFV;
- 3.Custo de Operação – CO;
- 4.Custo de Manutenção – CM;
- 5.Taxa de Inflação – θ ;
- 6.Taxa de Capitalização.

O decreto regulamentar nº25/2009, de 14 de setembro, corresponde ao regime regulamentar das depreciações e amortizações e estabelece o método de depreciação adequado, bem como as taxas de depreciação e amortização, para cada ativo do imobilizado (Pereira et al., 2021). Em alternativa a este decreto-lei podem utilizar-se vários tipos de métodos de desvalorização (Raposo et al., 2017):

- 1.Método Linear de Depreciação – a desvalorização do ativo é constante ao longo dos anos;
- 2.Método da Soma dos Dígitos – a desvalorização anual não é linear;
- 3.Método Exponencial – a taxa de depreciação anual é decrescente ao longo da vida útil do ativo;
- 4.Outro método, usualmente utilizado para estimar o momento certo de substituição é o método da “vida útil”, que define que a vida útil de um equipamento termina quando os custos de manutenção superam os custos de manutenção acrescidos da amortização do capital de um novo equipamento equivalente (Farinha (2011); Farinha (2018); Raposo et al. (2021)).

3. CASO DE ESTUDO

O presente estudo é realizado na Gyptec Ibérica – Gessos Técnicos S.A., cuja atividade é a produção de placas de gesso. O processo produtivo da Gyptec consiste, numa fase

inicial, na britagem do gesso, para diminuição e homogeneização da granulometria em dimensões utilizáveis nas fases seguintes. Depois de calcinado, o gesso é conduzido ao mixer, que é o dispositivo onde são misturados os vários componentes da receita necessários à formação da massa de fabrico da placa de gesso, que será depositada sobre papel. O mixer é alimentado de gesso, água e restantes aditivos, sendo a água proveniente da ETA. Após a formação da placa, esta é conduzida ao longo de uma tela, de maneira a endurecer para que se possa proceder ao seu corte. Depois de cortada no comprimento desejado, a placa segue para o secador e, posteriormente para a zona do corte final, onde o objetivo é o apuramento da qualidade final do corte, quer em termos de aspeto quer providenciando à placa a esquadria desejada. À saída do corte final, as placas são depositadas sobre as correias de paletização, onde ocorre o embalamento das placas em paletes. Finalizado este procedimento a paleta de produto acabado é levada para o armazém pelo operador.

Assim, uma das matérias-primas com mais relevância no processo produtivo de placas de gesso Gyptec é a água, sendo assim importante garantir que exista na quantidade e qualidade desejadas. A água utilizada no processo resulta de captações subterrâneas que, situando-se a empresa numa zona de águas estuarinas, ou seja, numa zona onde se junta a água do rio e do mar, têm já, normalmente, características de uma água salobra (Ribeiro, 2008), caracterizada por ter uma elevada carga iónica, sólidos suspensos e matéria orgânica, pelo que, para a sua utilização no processo é necessário que esta passe por uma ETA. Sendo os cloretos extremamente prejudiciais ao processo, o principal objetivo da instalação desta ETA passa pela sua remoção, através da osmose inversa. No entanto, para operacionalizar este equipamento, é necessária a passagem da água por uma série de outros dispositivos precedentes, de forma a não colmatar as membranas de osmose, a saber: a completa instalação da ETA comporta injeções de hipoclorito de sódio e biocida, filtros milipor, filtros de mídia (filtros utilizados na remoção de grandes quantidades de sólidos suspensos na

água), ultrafiltração, microfiltros e osmose inversa. O funcionamento destes equipamentos implica, também ele, a utilização de aditivos, como sejam o redutor de

metais, o inibidor de cloro, o ácido cítrico e produtos compostos específicos para limpeza química de membranas, quer da ultrafiltração quer da osmose inversa.

Figura 1 – Estação de Tratamento de Águas (ETA)



Para a Gyptec é de extrema importância que seja feita uma boa gestão da ETA e de todas as atividades nela decorrentes, visto ser um ativo com bastante influência no processo produtivo. Com a falta de registos das operações realizadas na ETA e dos consumíveis utilizados no seu funcionamento, torna-se difícil fazer uma boa gestão do ativo, uma vez que o controlo, tanto das operações como dos consumíveis utilizados, é fundamental. Com a monitorização do processo da ETA e da otimização da sua gestão, é possível melhorar o aproveitamento dos recursos utilizados, reduzir desperdícios e, principalmente, gerar oportunidades de minimização de custos.

4. METODOLOGIA E MÉTODOS

4.1. CUSTO DO CICLO DE VIDA DO ATIVO

A metodologia adotada para o cálculo do CCV consiste nos seguintes passos principais: realização de uma estimativa para a vida útil da ETA, que passa por calcular os CA e CM, pois é através destes que se estima a vida útil do ativo, como será explicado mais adiante; cálculo dos CO; cálculo dos CFV; e, por fim, com todos os valores anteriores calculados, calcular o CCV da ETA, através da Equação 1.

$$CCV = CA + CO + CM + CFV \quad (1)$$

4.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No cálculo do CCV da ETA estimam-se todos os custos, considerando a evolução dos índices de preços atualizados, a atualização salarial e as taxas de juro. Assim, considera-se uma taxa de inflação de $\theta=2,5\%$, uma taxa de atualização salarial de $\mu=4\%$ e uma taxa de capitalização de $i=3,5\%$.

4.1.2. CÁLCULO DE VIDA ÚTIL

Para o cálculo da vida útil da ETA são necessários vários dados, tais como os CA e os CM, uma vez que a vida útil de um equipamento termina quando os CM acumulados ultrapassam os CM mais os custos de amortização do capital de um equipamento novo equivalente, ou seja, quando (Farinha (2011); Farinha (2018); Raposo et al. (2021)):

$$\sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} > CA + \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} \quad (2)$$

Onde, CM_j são os CM no ano $j=1,2,3,\dots,n$; i_A é a taxa aparente; e j é o número de anos $j=1,2,3,\dots,n$. Sendo, $i_A=i+\theta+i\times\theta$, em que i é a taxa de capitalização e θ é a taxa de inflação.

Dado que a ETA se encontra em fase de exploração, os CA relacionados com os custos do projeto, do planeamento, da montagem e da compra de todo o sistema, são considerados com o valor atribuído nas faturas de compra de toda a estrutura da ETA.

Os CM consistem na soma do valor das peças suplentes, da mão de obra, dos contratos de manutenção e dos consumíveis utilizados, tanto químicos (aditivos para limpeza) como elementos de filtragem (membranas, filtros e mídia). O valor gasto em peças suplentes, no primeiro ano de funcionamento da ETA, foi de, aproximadamente, 200€, sendo que, a cada ano que passa, se considera que, devido ao natural desgaste das peças com o tempo, estes custos aumentem em 10%, logo, a necessidade de peças suplentes aumenta, igualmente, 10%. Relativamente ao custo com a mão de obra nas ações de manutenção, o valor é cerca de 1.200€ por ano, sendo que ao longo dos anos é aplicada a taxa de atualização salarial de 4%. Quanto aos contratos de manutenção, estes apresentam uma mensalidade de 345€, logo, o custo anual é de 4.140€. Os custos referentes aos consumíveis químicos são determinados através da multiplicação do preço por quilograma do consumível com a quantidade do mesmo utilizada por limpeza e com a quantidade de limpezas que se realizam num ano. Por exemplo, o custo do ácido cítrico é de 806€ por ano, dado que o preço por quilograma é de 1,55€, sendo utilizados 10 kg por limpeza e realizadas limpezas uma vez por semana. O custo dos consumíveis de manutenção, que são membranas, filtros e mídia, são determinados multiplicando o preço unitário dos mesmos pelo número de vezes que são substituídos por ano. Por exemplo, o custo das membranas da osmose é de 7.992€, sendo trocadas de três em três anos. Todos estes cálculos são realizados num período de 20 anos de utilização da ETA, sendo aplicada a taxa de inflação ao longo desses anos, à exceção do cálculo dos custos com a mão de obra.

Após a determinação dos CA e dos CM é possível fazer a comparação apresentada na Equação 2, de forma a determinar a vida útil da ETA, para que, nos cálculos dos restantes

custos, se realizem as previsões apenas para a período de vida útil do ativo.

4.1.3. CÁLCULOS DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO

Os CO englobam os custos dos consumíveis utilizados no tratamento da água e o custo de energia associado ao funcionamento da ETA. Os custos anuais dos consumíveis utilizados são calculados através da multiplicação do preço por quilograma com a quantidade utilizada por ano. Por exemplo, o custo anual do hipoclorito de sódio é de 10.080€, uma vez que o preço deste consumível é de 0,28€ por quilograma e a quantidade utilizada de 3.000 kg por mês, ou seja, 36.000 kg por ano.

Para o cálculo do custo de energia, lê-se no contador da ETA o consumo instantâneo de eletricidade em pleno funcionamento. Através dessa leitura, estima-se, para um ano (365 dias) em regime de trabalho de 24 horas, um consumo anual de eletricidade de 160.833,6 kWh, tendo em conta que a ETA trabalha 60% do tempo de operação da fábrica e que a operação da fábrica decorre em 90% do ano. Depois de estimado o consumo anual de eletricidade é necessário verificar o preço a que se encontra a eletricidade. De acordo com o operador do mercado elétrico designado para a gestão do mercado elétrico diário e intradiário na Península Ibérica, OMIE, com o valor do mercado diário, de fecho a 22 de abril de 2022, de 86,833 € por MWh, calcula-se o custo anual de energia. Estes dois custos somados determinam os CO por ano.

4.1.4. CÁLCULO DO CUSTO DE FIM DE VIDA

Os CFV abrangem os custos decorrentes do desmantelamento de todo o sistema da ETA, incluindo os custos de envio dos resíduos para um operador de gestão de resíduos, que venderá o seu serviço, caso estes sigam para abate, ou comprará os resíduos, caso estes possam ser revalorizados. No sistema da ETA, as embalagens contaminadas, nomeadamente as tubagens, a fibra de vidro e o material filtrante, são resíduos que seguem para abate e, por isso, constituem um custo. Já os motores, o material inox, o material de cobre e a sucata grossa, constituem um ganho, pois são resíduos que são

revalorizados. Considerando todos estes ganhos e custos, determina-se o CFV da ETA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de aplicar a metodologia descrita é possível determinar os valores dos diversos custos a considerar no cálculo do CCV da ETA, nomeadamente os CA, CO, CM e CFV.

Os CA, de acordo com as faturas de compra de toda a estrutura da ETA, correspondem a um valor de 223.724€. Os CM são calculados para um período de 20 anos de utilização da ETA, resultando nos valores apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Valores anuais dos custos de manutenção

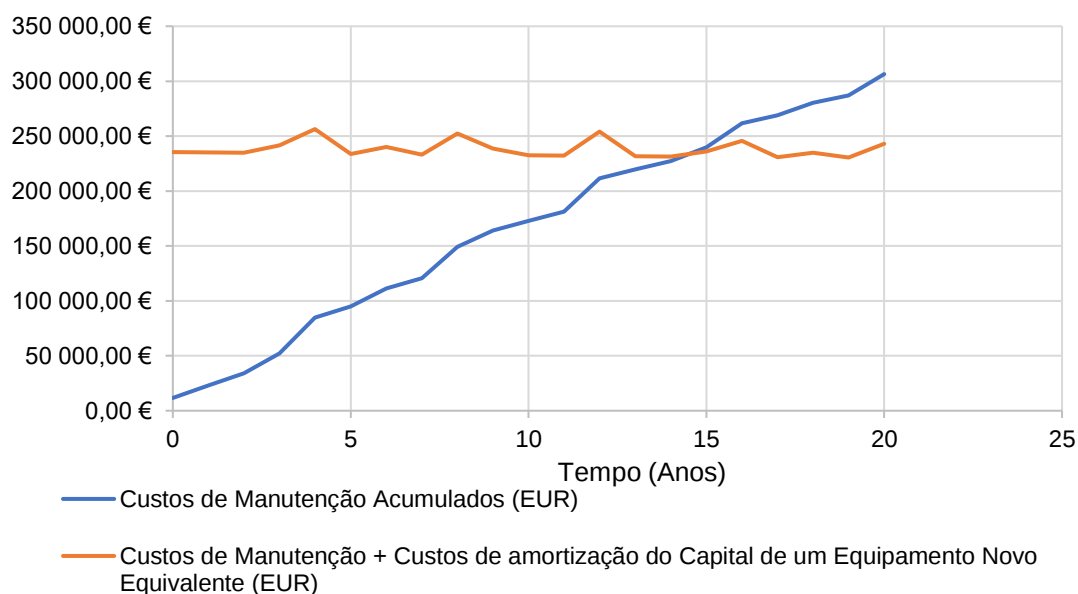
Ano	Peças Supl.	Mão Obra	Contrato Manut.	Ácido Cítrico	Soda Cáustica	Aditivo Alcalino UF	Aditivo Ácido UF	Aditivo Alcalin Osm	Aditivo Ácido Osm
0		1 200,00	4 140,00	806,00	46,00	2 262,00	2 163,20	471,00	356,00
1	200,00	1 248,00	4 243,50	826,15	47,15	2 318,55	2 217,28	482,78	364,90
2	225,00	1 297,92	4 349,59	846,80	48,33	2 376,51	2 272,71	494,84	374,02
3	253,13	1 349,84	4 458,33	867,97	49,54	2 435,93	2 329,53	507,22	383,37
4	284,77	1 403,83	4 569,79	889,67	50,78	2 496,82	2 387,77	519,90	392,96
5	320,36	1 459,98	4 684,03	911,92	52,04	2 559,25	2 447,46	532,89	402,78
6	360,41	1 518,38	4 801,13	934,71	53,35	2 623,23	2 508,65	546,22	412,85
7	405,46	1 579,12	4 921,16	958,08	54,68	2 688,81	2 571,37	559,87	423,17
8	456,14	1 642,28	5 044,19	982,03	56,05	2 756,03	2 635,65	573,87	433,75
9	513,16	1 707,97	5 170,29	1 006,58	57,45	2 824,93	2 701,54	588,21	444,60
10	577,30	1 776,29	5 299,55	1 031,75	58,88	2 895,55	2 769,08	602,92	455,71
11	649,46	1 847,34	5 432,04	1 057,54	60,36	2 967,94	2 838,31	617,99	467,10
12	730,65	1 921,24	5 567,84	1 083,98	61,86	3 042,14	2 909,26	633,44	478,78
13	821,98	1 998,09	5 707,04	1 111,08	63,41	3 118,19	2 982,00	649,28	490,75
14	924,73	2 078,01	5 849,71	1 138,86	65,00	3 196,15	3 056,54	665,51	503,02
15	1 040,32	2 161,13	5 995,95	1 167,33	66,62	3 276,05	3 132,96	682,15	515,59
16	1 170,36	2 247,58	6 145,85	1 196,51	68,29	3 357,95	3 211,28	699,20	528,48
17	1 316,65	2 337,48	6 299,50	1 226,42	69,99	3 441,90	3 291,56	716,68	541,70
18	1 481,23	2 430,98	6 456,99	1 257,08	71,74	3 527,95	3 373,85	734,60	555,24
19	1 666,39	2 528,22	6 618,41	1 288,51	73,54	3 616,15	3 458,20	752,96	569,12
20	1 874,68	2 629,35	6 783,87	1 320,72	75,38	3 706,55	3 544,66	771,79	583,35

Tabela 2 - Valores anuais dos custos de manutenção (continuação da tabela 4)

Ano	Membranas Osm	Membranas UF + Mídia	Filtros Milipor	CM
0			191,36	11 635,56
1			196,14	12 144,45
2			201,05	12 486,78
3	8 606,51		206,07	21 447,43
4		28 147,23	211,23	41 354,73
5			216,51	13 587,22
6	9 268,27		221,92	23 249,11
7			227,47	14 389,18
8		31 069,27	233,15	45 882,41
9	9 980,91		238,98	25 234,63
10			244,96	15 711,99
11			251,08	16 189,17
12	10 748,35	34 294,67	257,36	61 729,57
13			263,79	17 205,60
14			270,39	17 747,91
15	11 574,80		277,15	29 890,05
16		37 854,89	284,07	56 764,47
17			291,18	19 533,07
18	12 464,79		298,46	32 652,92
19			305,92	20 877,41
20		41 784,72	313,57	63 388,63

Depois de apurados os CA e os CM determina-se que a vida útil da ETA é de 15 anos, visto que é nesse ano que os CM acumulados começam a ser superiores aos CM mais os

custos de amortização do capital de um equipamento novo equivalente, tal como se pode observar no gráfico da Figura 2, obtido através da Tabela 3.

Figura 2 - Gráfico de determinação do período de vida útil da ETA

Tabela 3 - Determinação do período de vida útil da ETA

Ano	Custo Aquisição	Custo Manutenção	$\sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{(1+i_A)^j}$	$CA + \frac{CM_j}{(1+i_A)^j}$	$CA + \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} - \left(\sum_{j=1}^n \frac{CM_j}{(1+i_A)^j} \right)$
0	223 724,00	11 635,56	11 635,56	235 359,56	223 724,00
1		12 144,45	23 083,14	235 171,58	212 088,44
2		12 486,78	34 178,00	234 818,87	200 640,86
3		21 447,43	52 141,16	241 687,15	189 546,00
4		41 354,73	84 790,04	256 372,88	171 582,84
5		13 587,22	94 901,40	233 835,36	138 933,96
6		23 249,11	111 210,16	240 032,76	128 822,60
7		14 389,18	120 724,67	233 238,51	112 513,84
8		45 882,41	149 322,47	252 321,79	102 999,33
9		25 234,63	164 148,30	238 549,83	74 401,53
10		15 711,99	172 849,70	232 425,40	59 575,70
11		16 189,17	181 300,89	232 175,20	50 874,30
12		61 729,57	211 676,34	254 099,45	42 423,11
13		17 205,60	219 656,93	231 704,59	12 047,66
14		17 747,91	227 416,69	231 483,76	4 067,07
15		29 890,05	239 735,35	236 042,66	-3 692,69
16		56 764,47	261 787,41	245 776,06	-16 011,35
17		19 533,07	268 940,25	230 876,85	-38 063,41
18		32 652,92	280 211,35	234 995,09	-45 216,25
19		20 877,41	287 004,27	230 516,92	-56 487,35
20		63 388,63	306 445,65	243 165,38	-63 280,27

Os CO abrangem os custos dos consumíveis utilizados no tratamento da água e o custo de energia associado ao funcionamento da ETA. O valor do custo com os consumíveis é de 18.238,80 €, apresentado na Tabela 4, e o

valor do custo anual de energia é de 13.965,66€. Somando os custos com os consumíveis utilizados no tratamento da água e o custo de energia, os CO são de 32.204,46 € por ano.

Tabela 4 - Valores dos custos com os consumíveis utilizados no tratamento da água

Consumíveis	EUR / ano
Hipoclorito de Sódio	10 080,00
Metabissulfito de Sódio	1 710,00
Genesis	4 800,00
Biocida	1 648,80
Total	18 238,80

Os CFV englobam os custos decorrentes do desmantelamento de todo o sistema da ETA, sendo que existem custos e ganhos que devem ser considerados. Assim, na Tabela 5

são apresentados os custos e os ganhos na fase de fim de vida da ETA, sendo o valor do CFV de 371 €.

Tabela 5 - Valores dos custos e ganhos na fase de fim de vida da ETA

Tipo de Resíduos	Preço (€ / ton)	Quantidade (ton)	Valor a pagar ou a receber
Embalagens contaminadas	140,00	3	- 420,00
Fibra de vidro	110,00	22	- 2 420,00
Material filtrante	122,00	2	- 244,00
Motores	850,00	1	850,00
Material Inox	1 700,00	0,5	850,00
Material em cobre	7 030,00	0,1	703,00
Sucata grossa	310,00	1	310,00
Total CFV			- 371,00

De acordo com a equação 1, o CCV é o somatório dos CA, CO, CM e CFV, associados ao ciclo de vida do ativo. Após contabilizados os diferentes custos, a Tabela 6 apresenta o

valor do CCV da ETA, de 1.228.110,54 €, para um período de 15 anos, visto ser esta a sua vida útil.

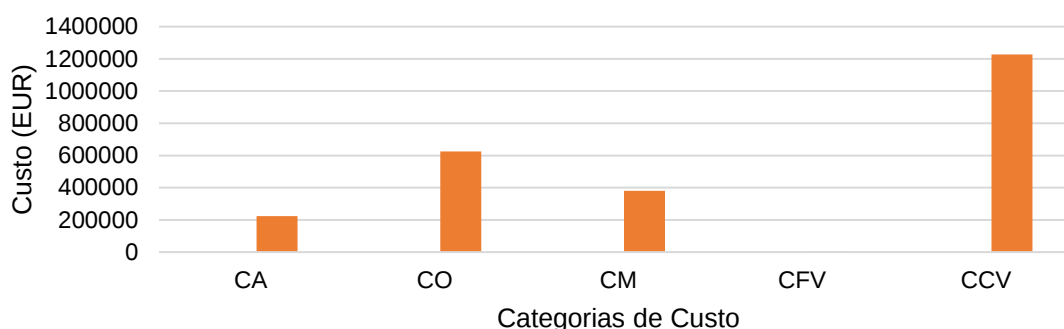
Tabela 6 - Valor do custo do ciclo de vida da ETA

Ano	CA	CO	CM	CFV	CCV / ano	CCV acumulado
0	223 724,00	32 204,46	11 635,56		267 564,02	267 564,02
1		33 009,58	12 144,45		45 154,02	312 718,05
2		33 834,81	12 486,78		46 321,60	359 039,64
3		34 680,69	21 447,43		56 128,11	415 167,76
4		35 547,70	41 354,73		76 902,43	492 070,19
5		36 436,40	13 587,22		50 023,62	542 093,81
6		37 347,30	23 249,11		60 596,41	602 690,22
7		38 280,99	14 389,18		52 670,16	655 360,39
8		39 238,01	45 882,41		85 120,42	740 480,81
9		40 218,96	25 234,63		65 453,59	805 934,40
10		41 224,44	15 711,99		56 936,43	862 870,83
11		42 255,05	16 189,17		58 444,22	921 315,05
12		43 311,42	61 729,57		105 040,99	1 026 356,04
13		44 394,21	17 205,60		61 599,81	1 087 955,85
14		45 504,06	17 747,91		63 251,97	1 151 207,83
15		46 641,67	29 890,05	371,00	76 902,72	1 228 110,54

De forma a obter uma visão geral do CCV é apresentado o gráfico da Figura 3, onde se pode compreender o peso que as várias categorias de custos têm no total do CCV. Verifica-se que os CO representam cerca de 51% do CCV e os CM representam 31%, o que indica que estas duas categorias de custo representam cerca de 82%. Verifica-se ainda

que os CA representam cerca de 18%, o que comprova que a decisão de aquisição de um ativo deve ser baseada numa análise ao seu CCV, e não apenas baseada no menor CA. Sendo os CO e os CM 82% do total do CCV existe certamente oportunidade para se procurarem soluções que permitam reduzir alguns desses custos.

Figura 3 - Custos do ciclo de vida por categorias de custo



Depois de analisados todos os tipos de custos associados ao ciclo de vida da ETA e de calculado o seu CCV é possível fazer uma comparação com o custo do consumo de água, caso a Gyptec não tivesse investido numa ETA, tendo assim de recorrer às águas municipais para utilização de água no processo. De acordo com a tabela de preços da empresa Águas da Figueira da Foz, para o escalão de consumo em que a Gyptec se insere, o preço seria de 2,02 €/m³ com o acréscimo de 1,71 €/m³ de saneamento. Como o consumo de água no processo é de 10,7 m³/h, o respetivo custo, durante um ano,

seria de 314.658,32 €, tendo em conta que o regime de funcionamento da fábrica é de 24 horas por dia e que decorre em 90% do tempo disponível de um ano. Portanto, num período de 15 anos, correspondente ao período de vida útil da ETA, a Gyptec iria incorrer num custo de 4.719.874,86€ com o consumo de água utilizada no processo. Comparando o valor do CCV, de 1.228.110,54 €, com o custo do consumo de água, caso não existisse a ETA, conclui-se que a Gyptec poupa cerca de 3.491.764,32 € com a instalação deste equipamento, que se traduz em, aproximadamente, 232.784,29 € por ano.

Tabela 7 – Valor poupado pela Gyptec com o projeto da ETA

	Sem Projeto da ETA	Projeto da ETA
Custo da utilização de água no processo (15 anos)	4 719 874,56	1 228 110,54
Diferença de custo (Valor poupado)		3 491 764,32

Para além da viabilidade do projeto da ETA, a nível financeiro, que mostra o acerto na decisão estratégica de investir nestes equipamentos, é também importante ressaltar que, com a instalação da ETA, a Gyptec não utiliza, para fins industriais, água da rede

municipal previamente preparada para consumo humano, algo que do ponto de vista ético e ambiental é adequado.

6. CONCLUSÕES

O artigo descreveu uma abordagem de um caso de estudo de gestão de Ativos Físicos, onde se realiza um estudo ao CCV da ETA da Gyptec.

A partir do histórico disponível do programa de registos e de outras fontes de informação disponíveis, realizou-se um estudo ao CCV da ETA, onde são apurados todos os custos a este associado, desde os CA, CO, CM e CFV, de forma a obter o valor do CCV da ETA, num período de 15 anos. Com este estudo é possível analisar e perceber o peso que as várias categorias de custo têm no CCV, permitindo atuar sobre as categorias com custos mais elevados, de forma a minimizá-los ao máximo. É, também, possível concluir que o projeto da ETA permite que a Gyptec poupe cerca de 232.784,29 € por ano, o que indica que o projeto é viável, tanto ao nível financeiro, como ambiental e ético.

Relativamente a trabalhos a desenvolver futuramente, persiste a sensação da necessidade de realizar uma comparação, ao longo do tempo, entre os custos efetivos do ciclo de vida da ETA e os custos previstos no cálculo do CCV, de forma a identificar e minimizar os desperdícios com custos patentes no CCV, através da sinalização de áreas onde não exista acréscimo de valor ao ativo, intervindo assim com o objetivo de melhoria contínua no que se refere à otimização de custos. Será ainda necessário, através da análise pormenorizada de todos os custos associados ao ciclo de vida da ETA, elaborar e aplicar estratégias Kaizen, com vista à minimização desses mesmos custos.

REFERÊNCIAS

Coelho, R. W. S. (2015) Aplicação do Conceito de Gestão de Ativos Físicos numa Estação Elevatória de Águas. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Available at: <http://hdl.handle.net/10400.21/5533>.

Dionísio, J. M. M. (2020) Modelo de Gestão Económica do Ciclo de Vida de um Ativo. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Available at:

<https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/12480>.

Farinha, J. T. (2011) Manutenção - A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão. 1a Edição. Lisboa.

Farinha, J. T. (2018) Asset Maintenance Engineering Methodologies. 1a Edição. Boca Raton.

ISO (2014) ISO 55000:2014 - Asset Management - Overview, principles and terminology.

Langdon, D. (2007) Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction. Available at: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/5054/attachments/1/translations/en/renditions/native>.

Matos, J. P. S. (2016) Custo do ciclo de vida como ferramenta para a gestão de ativos físicos - Aplicação ao aquartelamento da Amadora da Academia Militar. Técnico de Lisboa. Available at: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/17751>.

Pais, E. et al. (2020) 'Optimizing the life cycle of physical assets – A review', WSEAS Transactions on Systems and Control, 15, pp. 417–430. doi: 10.37394/23203.2020.15.42.

Pais, E., Farinha, J. T. and Raposo, H. (2019) 'ISO 55001 – Gestão de Activos', in 15o Congresso Nacional de Manutenção. Braga, p. 7. Available at: https://www.researchgate.net/publication/339363909_ISO_55001_-_Gestao_de_Activos.

Pereira, J. et al. (2021) 'Análise dos Ativos Físicos de uma Indústria Alimentar', Revista de Manutenção, 148(Parte 1), pp. 4–8.

Raposo, H. et al. (2017) 'Análise de Investimento versus Análise do Ciclo de Vida no Contexto das ISO 55000 com ênfase na Gestão de Manutenção', in 14o Congresso de Manutenção. Maia, pp. 1–23.

Raposo, H. et al. (2021) 'An Integrated Model for Dimensioning the Reserve Fleet based on the Maintenance Policy', WSEAS Transactions on Systems and Control, 16, pp. 43–65. doi: 10.37394/23203.2021.16.3.

Raposo, H. and Farinha, J. T. (2020) Modelos Econométricos para Análise do Ciclo de Vida de Ativos Físicos Hospitalares, Tecnohospital. Coimbra.

Ribeiro, J. L. G. S. (2008) 'Um modelo de análise da qualidade das águas estuarinas', Cadernos de Geografia, pp. 239–253. doi: 10.14195/0871-1623_27_20.

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob *Creative Commons*, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

IMPACTO DA REABILITAÇÃO NA MELHORIA DA RESILIÊNCIA DE EDIFÍCIOS ESCOLARES PÚBLICOS

THE IMPACT OF THE PROGRESS OF THE RESILIENCE OF PUBLIC-SCHOOL ARCHITECTURE

[10.29073/rae.v1i1.658](#)

Receção: 18/07/2022 Aprovação: 28/09/2022 Publicação: 07/01/2023

Maria João Falcão Silva ^a, Filipa Salvado ^b, Nuno Almeida ^c

^aLaboratório Nacional de Engenharia Civil; mjoaofalcao@lnec.pt; ^bLaboratório Nacional de Engenharia Civil; ava@lnec.pt; ^cInstituto Superior Técnico; nunomarkuesalmeida@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

A segurança das pessoas e o elevado valor dos bens construídos e dos seus conteúdos, bem como a sua criticidade na satisfação das necessidades básicas e bem-estar das comunidades, sempre suscitaram preocupações quanto à sustentabilidade, resiliência e fiabilidade do ambiente construído. A resiliência dos ativos construídos está frequentemente ligada à formulação de políticas e estratégias para o ambiente construído após eventos catastróficos ou traumáticos. É um conceito multidimensional que abrange aspetos físicos, infraestruturais, ambientais, económico-sociais, regulamentares e organizacionais. O presente artigo apresenta os resultados da aplicação de um sistema de classificação de resiliência assente numa abordagem holística, abrangente e sistemática, a diferentes tipos de edifícios, em qualquer fase do seu ciclo de vida. Em particular, analisa a resiliência de edifícios de escolas públicas portuguesas a diferentes riscos do ponto de vista da engenharia, nomeadamente no que diz respeito à segurança estrutural e de manutenção do edifício. Os edifícios escolares analisados, construídos ao longo do século XX, tiveram intervenções alargadas, entre 2009 e 2011, no âmbito de um programa nacional de investimento público. Os edifícios foram analisados antes e após intervenções de reabilitação. Relativamente a indicadores económicos e a investimento potencial, nota-se que as intervenções de reabilitação apresentam impacto positivo na classificação da resiliência.

Palavras-Chave: Resiliência urbana, edifícios, gestão de ativos, sistema de classificação, apoio à decisão

ABSTRACT

The safety of people and the high value of constructed assets and their contents, as well as their criticality in fulfilling the basic needs and the well-being of communities, have always prompted concerns regarding the built environment sustainability, resilience, and reliability. The constructed assets' resilience is often linked with policymaking and strategies for the built environment in the aftermath of catastrophic or traumatic events. It is a multi-dimensional concept covering physical, infrastructural, environmental, economic-social, political-regulatory, and organizational. This paper presents the results of applying a resilience rating system as a comprehensive and systematic holistic approach. This system can be applied to different types of buildings, at any stage of their life cycle. It analyses the resilience of Portuguese public-school buildings to different risks from an engineering point of view, namely regarding structural safety and maintenance of the school building. These schools, built in the 20th century, had long-term interventions, between 2009 and 2011, within the framework of a national investment program. The buildings were analysed before and after different types of rehabilitation interventions. Regarding economic indicators and potential investment, it should be noted that rehabilitation interventions have a positive impact on the resilience rating.

Keywords: Urban resilience, buildings, asset management, classification system, decision support

1. INTRODUÇÃO

A resiliência dos edifícios e obras de engenharia civil tem despertado a atenção de diversos intervenientes, incluindo profissionais de engenharia de diversas áreas, cientistas,

organismos de normalização, investidores e instituições financeiras, agências reguladoras, grupos de utilizadores de diversos, bem como serviços administrativos a nível nacional e regional e entidades gestoras de ativos (GA).

Esse interesse decorre da visão mais ampla de que a resiliência é uma questão fundamental para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, em particular no que diz respeito às questões humanitárias e à necessidade de fornecer ao público em geral, incluindo grupos vulneráveis, um ambiente que possa se adaptar melhor aos riscos de ocorrência de desastres futuros (Sarhosis et al. 2019).

Os mais recentes esforços de normalização levaram a uma maior consciencialização para a necessidade de uma visão estruturada da resiliência de edifícios e obras de engenharia civil, nomeadamente no que diz respeito ao próprio conceito e aos riscos e medidas decorrentes da ocorrência de catástrofes, naturais ou infligidas pela ação humana. Em relação aos conceitos fundamentais, a ISO 22845 (ISO/TR 22845, 2020) classifica a resiliência em diferentes contextos, bem como as definições de resiliência que estão atualmente em desenvolvimento. As medidas incluídas neste documento resumem as informações típicas existentes sobre o conceito de resiliência, risco de desastres e contramedidas para resiliência de edifícios e obras de engenharia civil na forma de normas, diretrizes, entre outras (Bernard e Westergaard, 2011).

Neste sentido, e tendo por base diversos documentos internacionalmente reconhecidos, entre eles a norma ISO/TR 22845 (ISO/TR 22845, 2020), é possível o desenvolvimento de uma proposta para um sistema de classificação de resiliência para aplicação a diferentes tipos de edifícios e obras de engenharia (Duarte et. al., 2021a).

2. ENQUADRAMENTO

Dado que a resiliência representa a capacidade de um edifício resistir, absorver, acomodar, adaptar, transformar e recuperar dos efeitos do perigo, é necessário compreender a importância dos riscos de desastres que são pré-requisitos para o desenvolvimento de padronização para resiliência de edifícios e obras de engenharia civil (Duarte et. al, 2021b).

Existem diferentes usos do conceito de "resiliência" em torno de quatro conceitos básicos: i) resiliência como recuperação do trauma e restauração do equilíbrio; ii) resiliência como sinónimo de robustez; iii) resiliência como o oposto da fragilidade, ou seja, como extensibilidade graciosa quando a surpresa desafia limites; e iv) resiliência como arquiteturas de rede que podem suportar a capacidade de adaptação a surpresas futuras à medida que as condições evoluem (Duarte et. al, 2021c).

Os esforços mais recentes ao nível da normalização conduzem à consciencialização da necessidade de um panorama estruturado de informação sobre a resiliência de edifícios e obras de engenharia civil, nomeadamente no que diz respeito ao próprio conceito e aos riscos e medidas de desastres. Em relação a conceitos fundamentais, a ISO/TR 22845 (ISO/TR 22845, 2020) classifica a resiliência em diferentes contextos, bem como as definições de resiliência que se encontram atualmente em desenvolvimento. Para riscos de desastres, esta norma internacional define três tipos: i) induzidos pelo clima, ii) induzidos por sismos; e iii) induzidos por mão humana.

Considerando que a vida útil das edificações e obras de engenharia civil é de dezenas ou mesmo centenas de anos, também é necessário considerar as possibilidades futuras de riscos e eventos naturais extremos. São mencionadas duas categorias de riscos de desastres naturais relacionados a edifícios e obras de engenharia civil: i) induzidos pelo clima; ii) induzida por sismos. As medidas incluídas neste documento sintetizam a informação relevante para a estratégia e, nomeadamente, sob a forma de normas, orientações, entre outros (Bernard e Westergaard, 2011) (Duarte, 2021).

3. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE RESILIÊNCIA

Esta secção apresenta um sistema de classificação de resiliência desenvolvido em um projeto de investigação anterior, com métricas padronizadas e classificação simplificada para entender e avaliar a resiliência de edifícios em relação a desastres naturais. O sistema foi desenvolvido com base

numa abordagem holística, abrangente e sistemática, permitindo a sua aplicação a diferentes tipos de edifícios (escolares, industriais, comerciais, residenciais, hoteleiros, etc.), em qualquer fase do seu ciclo de vida (projeto, construção, exploração, etc) (Duarte, 2021).

A ferramenta proposta simplifica a identificação da resiliência e fragilidades dos edifícios em análise, permitindo uma fácil comunicação e comparação, quer ao longo do tempo relativamente ao mesmo edifício ou a outros. Destina-se a todos os envolvidos nos processos de construção, manutenção e gestão de ativos construídos, como projetistas, empreiteiros, gestores de projeto, proprietários e até companhias de seguros, mais concretamente as dedicadas a questões de âmbito municipal, cuja necessidade de determinar a resiliência do edifício e da comunidade é alto (Duarte et. al, 2021c).

Considera-se necessária uma abordagem profunda a vários níveis, buscando minimizar as interdependências, e para isso foi considerada uma estrutura hierárquica de três níveis, composta por dimensões, indicadores e parâmetros. Cada parâmetro é avaliado de acordo com determinados critérios de avaliação.

O trabalho desenvolvido para o sistema de classificação de resiliência é recursivo, com itens e critérios de avaliação calibrados e aprimorados a cada iteração. A definição de indicadores e parâmetros visa avaliar a resiliência e facilitar os procedimentos de comunicação e consulta. Os parâmetros subdividem os indicadores e, por sua vez, cada conjunto de indicadores expressa de forma mais detalhada cada uma das dimensões mencionadas acima. A seleção foi fundamentada por meio de revisão de literatura prévia, patente no enquadramento conceptual, tendo em conta que: (i) os parâmetros selecionados são passíveis de mensuração; (ii) as informações estão disponíveis para sua quantificação e (iii) é desejável evitar sobreposições ou repetição de métricas.

3.1. ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO

O modelo de classificação de resiliência proposto para ativos construídos procura basear-se na norma ISO/TR 22845 (ISO/TR 22845, 2020) com foco em desastres naturais cuja exposição nacional é alta ou média, adaptado de: sismos, inundações (urbanas, fluviais, marítimas), incêndios e tsunamis. O modelo proposto possui uma estrutura hierárquica com três camadas: dimensões, indicadores e parâmetros e segue os seguintes princípios: i) Minimizar a redução de desempenho; ii) Minimizar o tempo de recuperação após um evento e iii) Maximizar a capacidade de recuperação (Peer review, 2019).

O modelo de classificação proposto, de base semiquantitativo, é fundamentado em sistemas de classificação de resiliência existentes e sistemas de classificação de sustentabilidade que são razoavelmente maduros (Peer review, 2019) (Burroughs, 2017) (VRS, 2017) (Cerè et. al., 2019). Neste sentido, torna-se possível graduar níveis progressivos de desempenho para cada indicador garantindo: i) linguagem acessível, tanto em termos quanto em conceitos, que permita a compreensão por pessoas que trabalham ou são qualificadas na gestão de instalações e bens construídos relacionados, ii) critérios aplicáveis a edifícios com diferentes tipos de uso e iii) identificação do nível de atenção necessário para a análise de indicadores e dimensões [5]. A escala observável adotada atende às recomendações da ISO 11863 (ISO 11863, 2011), pois considera 5 níveis diferentes expressos em números inteiros de um dígito em uma escala de 1,3,5,7 e 9, onde 1 corresponde ao pior desempenho e 9 para o melhor (Almeida, 2011) (ISO 11863, 2011) (Duarte, et. al., 2021a) Essa escala permite a utilização de níveis pares quando a avaliação correta está entre dois níveis (Tabela 1).

Por uma questão de simplicidade, a ponderação de cada parâmetro na proposta de teste piloto é considerada de igual importância. Isso permite a identificação do desempenho geral do edifício e o desempenho dos aspetos individuais. Para uma interpretação mais clara da pontuação final, a pontuação numérica

pode ser transposta em classes de resiliência de F a A++ (Tabela 1 e Figura 1) permitindo que a diferenciação dos níveis de resiliência seja compreendida e intuitiva.

Tabela 1 – Sistema de classificação

Calibração genérica	Pontuação média	Classe
Exceccionalmente exigente	9	A++
	[8,9[	A++
Claramente mais alto que o normal, mas não exceccionalmente exigente	[7,8[	A+
	[6,7[	A
Típico, médio ou normal	[5,6[	B
	[4,5[	C
Claramente inferior ao normal, mas aceitável em algumas situações devidamente justificadas	[3,4[	D
	[2,3[	E
Exceccionalmente inferior ao normal, mas aceitável em situações exceccionais devidamente justificadas	[1,2[	F

Fonte: (Duarte et. al., 2021a)

Figura 1 – Escala de avaliação proposta



Fonte: (Duarte et. al., 2021a)

3.2. MÉTRICAS DE CLASSIFICAÇÃO

A definição de indicadores e parâmetros visa avaliar a resiliência e facilitar os procedimentos de comunicação e consulta. Os parâmetros subdividem os indicadores e, por sua vez, cada conjunto de indicadores expressa com mais detalhes cada uma das dimensões mencionadas acima. A sua seleção foi comprovada por meio do resultado da revisão de literatura, considerando que: i) os parâmetros selecionados são passíveis de mensuração; ii) há informação disponível para sua quantificação e iii) é desejável evitar sobreposição ou repetição de métricas (Duarte

et. al, 2021c). Uma lista inicial de mais de 200 indicadores, divididos por 5 dimensões (ambiental, econômica, organizacional, social, técnica) foi revista e reduzida a 16 indicadores, que foram subdivididos em 75 parâmetros que melhor se adequam ao objetivo do sistema de classificação pretendido (Duarte, 2021). Os principais impulsionadores do processo de revisão foram a eliminação da repetição de indicadores e daqueles que expressam uma perspectiva ao nível das preocupações urbanas e comunitárias, mas que não melhoram necessariamente a resiliência ao nível dos bens construídos. Os critérios de avaliação definidos para cada parâmetro foram

inicialmente estabelecidos com base nos limites de diferentes métricas. Espera-se que o processo de revisão e calibração dos indicadores, parâmetros e critérios de avaliação seja iterativo. O processo deve ser monitorizado quanto à influência de julgamentos ou opiniões, falta de dados e dificuldade de quantificação (NP ISO 31000, 2018).

A dimensão Ambiental (D1) inclui 4 indicadores (I1-Terremoto, I2 - Tsunami e efeito de maré, I3 - Inundação, I4 - Incêndio) e 25 parâmetros (P1- Zoneamento sísmico - tipo 1 EC8; P2 - Zoneamento sísmico - tipo 2 EC8 ;, P3 - Vulnerabilidade sísmica dos solos do PDM; P4 - Declividade do terreno; P5 - Tipo de solo EC8; P6 - Distância às falésias; P7 - Altitude do terreno; P8 - Distância à costa; P9 - Distância à rio; P10 - Barreiras naturais no entorno; P11 - Barreiras artificiais no entorno; P12 - Objetos móveis; P13 - Linhas construídas entre a costa e o prédio; P14 - Suscetibilidade ao efeito direto das marés PDM; P15 - Localização relativa ; P16 - Distância ao rio ; P17 - Barreiras naturais no entorno; P18 - Barreiras artificiais no entorno; P19 - Vulnerabilidade a enchentes PDM; P20 - Distância à vegetação; P21 - Densidade da vegetação; P22 - Estado de manutenção de vegetação; P23 - Tipo de vegetação; P24 - Edifícios adjacentes; P25 - Proximidade da indústria I zona). Essa dimensão busca promover uma compreensão ampla das questões ambientais, com foco na vulnerabilidade da área a desastres naturais nas categorias alta e média adaptadas (Peer Review, 2017). Os parâmetros foram calibrados para o caso de Portugal, proporcionando uma visão geral das potenciais ameaças, bem como a determinação das características intrínsecas da área de estudo, como altitude, distância ao mar e ao rio, declive, etc., que aumentam a propensão ao risco determinado. A avaliação relacionada aos desastres naturais deve ser realizada para o presente e o futuro, considerando que as mudanças climáticas modificam a frequência e a intensidade dos desastres (Duarte et. al, 2021c).

A dimensão Económica inclui 2 indicadores (I5 - Seguros; I6 - Implicações financeiras e

estratégicas) e 3 parâmetros (P26 - Seguro contra catástrofes naturais; P27 - Plano financeiro; P28 - Avaliação económica de paragens). Os aspetos económicos são cruciais para tornar um ativo resiliente e podem afetar muito a qualidade da edificação, principalmente durante e após sofrer os impactos de um desastre natural (Cerè et. al, 2019). Estudos recentes mostram que uma boa gestão económica e uma disponibilidade financeira consistente melhoram a resposta a desastres naturais, e o período de recuperação é encurtado. Essa dimensão está relacionada à capacidade monetária do proprietário diante das perturbações impostas, incluindo gastos com reparos, perdas de bens e perdas monetárias com atividades temporariamente encerradas (Duarte et. al, 2021c).

A dimensão Organizacional inclui 2 indicadores (I7 - Organização interna; I8 - Organização externa) e 10 parâmetros (P29 - Plano de continuidade de negócios; P30 - Análise de gestão de risco; P31 - Plano de recuperação pós-desastre; P32 - Rotina; P33 - Planos e pós -exercícios de desastres; P34 - Aprendizado e atualização; P35 - Dados de eventos destrutivos; P36 - Responsável; P37 - Conformidade com o cenário regulatório existente; P38 - Padrões externos para construção resiliente). A capacidade organizacional das edificações está relacionada à capacidade de gestão em situações de ocorrência de emergência, ou seja, tomada de decisão do proprietário em relação à identificação, monitoramento e gestão de riscos. Esta dimensão tem como foco o pré-desastre, promovendo ações preventivas que reduzam os impactos dos desastres naturais, garantindo um bom desempenho da edificação, minimizando as consequências danosas e criando o mínimo de perturbação para os usuários (Atrachali et. al., 2019). Também foram considerados temas fora do alcance do proprietário, como o atendimento ao cenário regulatório existente e a utilização de outros padrões de resiliência. Esses indicadores garantem a segurança da construção e contribuem para a preparação das edificações diante dos obstáculos existentes, auxiliando na identificação e

priorização de problemas (Duarte et. al, 2021c).

A dimensão Social inclui 2 indicadores (I9 - Infraestruturas de emergência; I10 - Responsabilidade Social) e 7 parâmetros (P39 - Acesso a esquadras; P40- Acesso a quartéis de bombeiros; P41 - Acesso a infraestruturas de emergência; P42 - Acesso a hospitais e centros de saúde; P43 - Ocupantes; P44 - Divulgação; P45 - Vulnerabilidade social). A dimensão social procura relacionar o edifício com a sociedade e a comunidade envolvente, que estão intrinsecamente relacionadas, sobretudo em momentos de stress, cuja resposta individual é difícil de identificar e parametrizar, mas é importante ter em conta. Estudos efetuados em comunidades resilientes mostram que cidades atentas e sensíveis aos indivíduos estão mais bem preparadas para desastres, reduzindo suas consequências (Cutter et. al., 2003) (Cutter et. al., 2000), o mesmo pode ser dito para os ativos construídos. Neste sentido, foram considerados fatores como a vulnerabilidade social da edificação, que corresponde ao número de idosos, crianças e pessoas com deficiência. Além disso, pretende-se enfatizar o papel dos cidadãos na resposta aos desastres e a proximidade do edifício às infraestruturas da comunidade, como bombeiros, esquadras, hospitais, etc (Duarte et. al, 2021c).

A dimensão técnica inclui 6 indicadores (I11 - Conservação; I12 - Acessibilidade; I13 - Segurança sísmica predial; I14 - Segurança predial contra incêndio; I15 - Segurança predial contra inundações; I16 - Segurança predial contra tsunamis) e 29 parâmetros (P46 - Ano de construção; P47 - Sistema estrutural; P48 - Estado de conservação; P49 - Densidade das edificações; P50 - Trajetos alternativos; P51 - Características das ruas; P52 - Irregularidade do plano; P53 - Irregularidade de cotas; P54 - Interação com edificações adjacentes; P55 - Desfasamento; P56 - Junta de dilatação; P57 - Distância entre vãos sobrepostos; P58 - Instalações de gás;

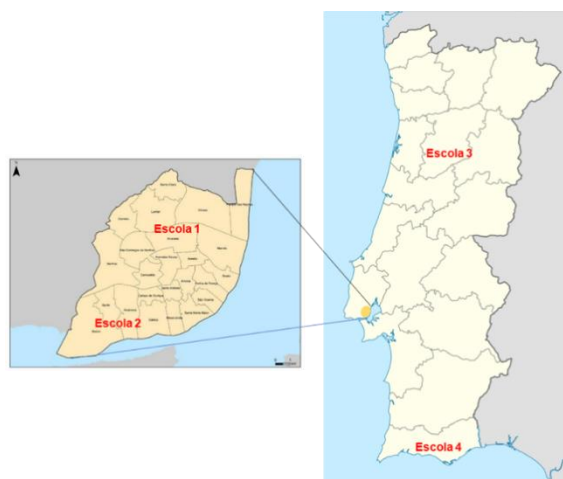
P59 - Sistemas de controlo e evacuação de fumos; P60 - Meios intrínsecos de combate; P61 - Instalações elétricas; P62 - Compartimento de incêndio; P63 - Equipa de segurança; P64 - Incêndio exterior hidrantes; P65 - Iluminação e sinalização de emergência; P66 - Extintores de incêndio; P67 - Detecção e alarme de incêndio; P68 - Vias de fuga; P69 - Barreiras; P70 - Sistemas de bombeamento de enchentes; P71 - Exposição da parede ls; P72 - Número de andares (inundação); P73 - Número de andares (tsunami); P74 - Orientação; P75 - Hidrodinâmica do piso térreo). Esta dimensão centra-se nas características técnicas e físicas do edifício e da sua envolvente, que são cruciais para garantir a resistência aos desastres naturais e minimizar os danos causados pelos mesmos (Atrachali, et. al, 2019). Esta dimensão deriva de abordagens técnicas e está relacionada com a componente de engenharia de um edifício, que inclui a segurança estrutural, mecânica, elétrica e hidráulica e a avaliação das vulnerabilidades físicas do edifício face aos desastres naturais acima identificados. As estratégias de redundância e robustez do edifício estão incluídas nesta dimensão, como melhorias além do código de construção ou instalação de sistemas de proteção contra desastres naturais (NP ISO 31000, 2018). São consideradas nesta dimensão características intrínsecas da construção como idade, número de pisos, irregularidades, qualidade de construção, estado atual e estado de conservação. As características da envolvente também devem ser analisadas, principalmente pelo seu impacto na recuperação pós-desastre (Atrachali, et. al, 2019) como a acessibilidade da edificação que depende de vários aspetos, como a existência de rotas alternativas, características das vias e densidade da edificação (Duarte et. al, 2021c).

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ATIVOS

Este caso estudo compreende 4 escolas distribuídas por 3 zonas geográficas de Portugal Continental (Figura 2).

Figura 2 – Localização geográfica dos edifícios escolares objeto de estudo



A Escola 1 (Zona Norte da Cidade de Lisboa), cuja área bruta de construção é de 10000m², foi construída no período 1950-60 com tipologia construtiva tipo Liceu, é isolada, regular em altura e em planta, com 3 pisos e 1 cave. A estrutura é constituída por paredes resistentes em betão armado assentes em micro-estacas (Figura 3).

Figura 3 – Escola 1: a) Vista do exterior; b) detalhe do interior



A Escola 2 (Zona ribeirinha da Cidade de Lisboa), com área de construção bruta de 13.276m², foi construída em 1958 com tipologia construtiva Industrial e Comercial, é

isolada, regular em altura e planta, tem 3 pisos e 1 cave. A estrutura também é constituída por paredes resistentes em betão armado assentes em micro-estacas. (Figura 4).

Figura 4 – Escola 2: a) Vista do exterior; b) detalhe do interior



A Escola 3 (Interior Norte - Distrito de Viseu), cuja área de construção bruta é de 11.300m², foi construída em 1987 com tipologia construtiva tipo pavilhão, é isolada, regular em

altura e planta e tem 2 pisos. A estrutura do edifício é pré-fabricada em betão (pré-fabricação ligeira) (Figura 5).

Figura 5 – Escola 3: a) Vista do exterior; b) detalhe do interior



A Escola 4 (Sul Litoral – Distrito de Faro), com área de construção bruta de 16.200m², foi construída em 1975 com tipologia construtiva tipo pavilhão é isolada, regular em altura e

planta, tem 2 pisos. A estrutura do edifício é pré-fabricada em betão (pré-fabricação pesada) (Figura 6).

Figura 6 – Escola 4: a) Vista do exterior 2; b) vista do exterior 1



Estes quatro edifícios escolares tiveram intervenções alargadas, entre 2009 e 2011, no âmbito de um programa de investimento público. Os materiais e soluções construtivas adotados tiveram em conta as necessidades atuais (requisitos regulamentares e legislativos) bem como o sistema de manutenção a implementar. As intervenções contemplam equipamentos, instalações e projetos técnicos atualmente exigidos no âmbito legislativo, segurança estrutural, reforço sísmico e aspetos de segurança contra incêndio (Parque Escolar, 2010).

4.2. RESULTADOS

A Figura 7a, Figura 8a, Figura 9a e Figura 10a compreendem os resultados considerando as cinco dimensões analisadas, enquanto a Figura 7b, Figura 8b, Figura 9b e Figura 10b correspondem aos resultados obtidos para os principais indicadores representativos considerando o tipo de estrutura, o modelo de classificação da resiliência proposto e o tipo de intervenções correspondentes aos custos anteriormente referidos. A descrição do tipo de intervenções não é objeto do presente trabalho.

Figura 7 – Classificação da resiliência - Escola 1: a) Dimensões, b) Indicadores

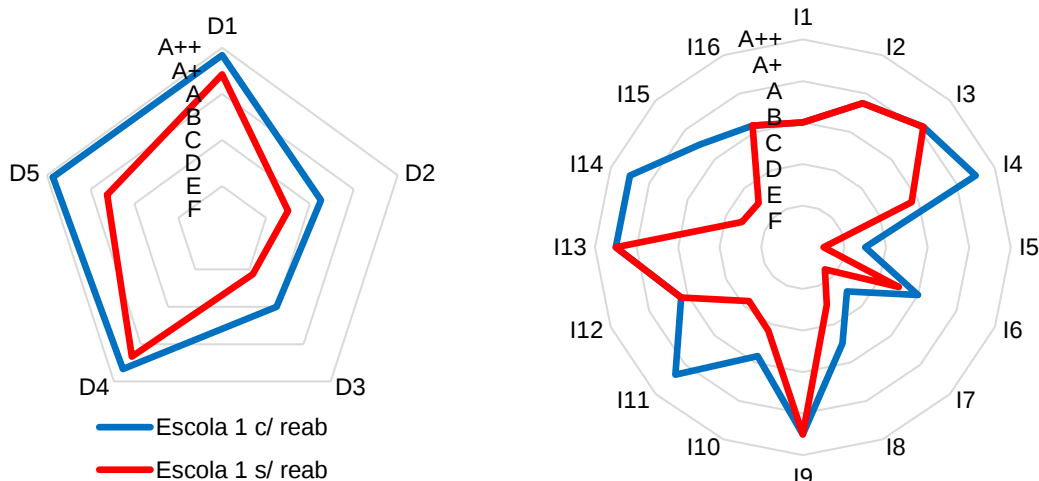


Figura 8 – Classificação da resiliência - Escola 2: a) Dimensões, b) Indicadores

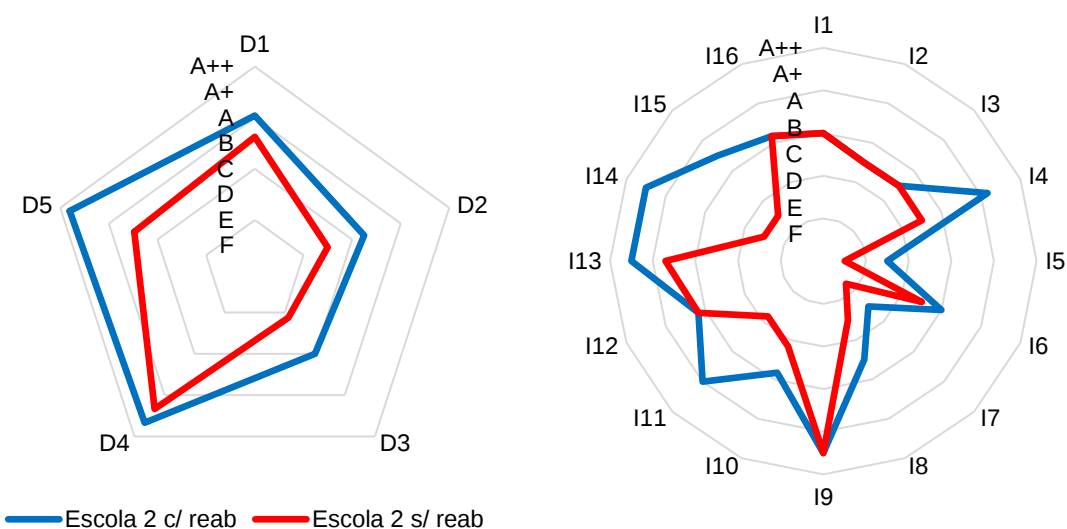
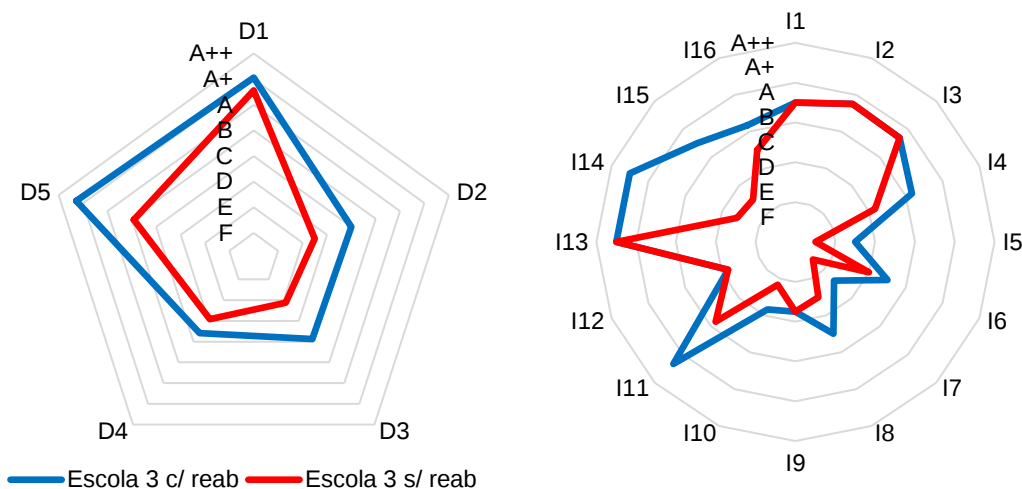
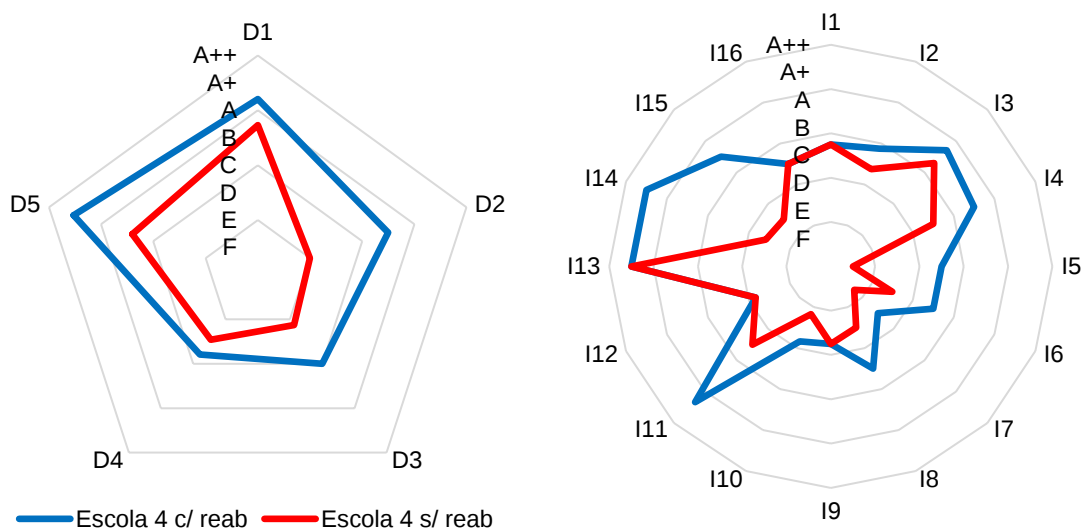


Figura 9 – Classificação da resiliência - Escola 3: a) Dimensões, b) Indicadores

Figura 10 – Classificação da resiliência - Escola 4: a) Dimensões, b) Indicadores


No que se refere à melhoria dos aspetos de resiliência, o desempenho de um ativo depende das suas partes integrantes, referindo-se a título de exemplo: i) estrutura; ii) serviços e equipamentos; iii) fachadas exteriores, coberturas e compartimentação interior; iv) paisagismo.

Para que os gestores de ativos realizem uma análise económica para apoio à decisão em intervenções de reabilitação, que promovam e

potenciem a resiliência, são definidos indicadores de desempenho relacionados com os custos de intervenção (custo total – CT; estrutura – E; serviços e equipamento – SE; fachadas exteriores, coberturas e compartimentação interior – FECCI; arranjos exteriores – AE) para cada parte integrante e para cada uma das escolas analisadas (Tabela 2), com base em trabalhos de investigação anteriores desenvolvidos (Salvado, 2019).

Tabela 2 – Custos de intervenção total (CT) e pelas diferentes rubricas (em €/m2)

Escola	E	SE	FECCI	AE	CT
1 (Lisboa cidade – zona Norte)	27,38	87,29	173,28	7,48	295,43
2 (Lisboa cidade - zona ribeirinha)	33,20	107,10	232,62	68,15	441,07
3 (Interior Norte– Distrito de Viseu)	50,09	136,73	291,02	29,84	507,68
4 (Litoral Sul – Distrito de Faro)	40,23	105,62	310,67	14,53	471,05

Analisando as Figuras 1 a 4, verifica-se que os 4 edifícios escolares tiveram melhoria da classe de resiliência em todas as dimensões. Salienta-se que os edifícios se encontravam todos com um elevado grau de degradação, o que justifica o elevado investimento em intervenções de reabilitação (ver Tabela 2) e consequentemente na melhoria da sua resiliência.

Relativamente às clases de resiliência por indicador, verificam-se também melhorias. No entanto, diversos indicadores, que não dependem intrinsecamente do edifício, mas sim de fatores de cariz mais extrínseco, mantiveram-se sensivelmente no mesmo nível de classe de resiliência, alguns para as quatro (4) escolas estudadas e outros apenas para uma (1) delas, respetivamente : I1-Terremoto, I9 - Infraestruturas de emergência, I12 – Acessibilidade, I13 – Segurança sísmica do edifício e I16 – Segurança do edifício contra tsunamis.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado contribui para uma discussão sobre formas de medir a resiliência de ativos construídos, nomeadamente com base num sistema de classificação de resiliência composto por 5 dimensões, 16 indicadores e 75 parâmetros. O sistema de classificação proposto considerado no âmbito do presente estudo contempla não apenas as qualidades intrínsecas do edifício, mas também a sua interdependência com a comunidade, com a envolvente e com os utilizadores em contexto pós-desastre. O sistema de classificação de resiliência usado permite que diferentes intervenientes identifiquem quais os aspetos que nos ativos construídos, e de forma eficiente e rápida, devem ser melhorados para que seja possível estabelecer prioridades de investimento com vista a aumentar a sua resiliência perante a ocorrência de eventos extremos. Esta

informação pode ser útil para todos os intervenientes, ou seja, o proprietário, gestores de ativos, seguradoras e entidades municipais, permitindo uma melhor perceção do importante contributo dos ativos construídos para a construção de comunidades resilientes.

Em relação aos indicadores económicos, nota-se que as intervenções de reabilitação têm um impacto positivo no score de resiliência (de acordo com a escala de avaliação apresentada). O investimento nas intervenções de reabilitação é diretamente proporcional ao aumento do nível de resiliência. No entanto, ainda é necessário desenvolver trabalhos complementares para implementar a avaliação proposta em número e diversidade representativa dos tipos de ativos construídos, bem como ampliar o âmbito de aplicação do sistema de classificação multivariado proposto com relação a outros tipos de riscos (por exemplo, riscos induzidos pelo homem) e a identificação de medidas compensatórias e a sua classificação.

REFERÊNCIAS

- Almeida, N. (2011). “Modelo de gestão técnica de edifícios baseada no desempenho e no risco”. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Atrachali, M., Ghafory-ashtiany, M., Amini-hosseini, K., (2019). “Toward quantification of seismic resilience in Iran: Developing an integrated indicator system”. International Journal Disaster Risk Reduction, vol. 39, p. 101231.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101231>.
- Bernard, J.; Westergaard, H. (2011). Concrete durability in marine environments. Proceedings of 9th International Conference on Durability, 7, pp. 215-223.

- Burroughs, S. (2017). Development of a Tool for Assessing Commercial Building Resilience. University of Canberra, ACT 2601 Australia. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.263>.
- Cerè, G., Rezgui, Y., Zhao, W., (2019). Urban-scale framework for assessing the resilience of buildings informed by a Delphi expert consultation. *International Journal Disaster Risk Reduction*, vol. 36, P.101079. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101079>.
- Cutter, S., Boruff, B., Shirley, W., (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, Vol. 84(2).
- Cutter, S., Mitchell, J., Scott, M., (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, vol.90(4), p. 713–737.
- Duarte, M., Almeida, N., Falcão Silva, M.J., Rezvani, S. (2021a). Resilience rating system for buildings against natural hazards. 15WCEAM, Brasil, Paper ID 42.
- Duarte, M. (2021). de Sistema de classificação de resiliência para edifícios perante riscos naturais. Dissertação de mestrado em engenharia civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.)
- Duarte, M., Almeida, N., Falcão Silva, M.J., Rezvani, S. (2021b) Resilience rating system for buildings against natural hazards, 15 WCEAM, Brasil, Paper ID 94
- Duarte, M., Almeida, N., Falcão Silva, M.J., Salvado, F. (2021c). Resilience of constructed assets against natural extreme events from the engineering standpoint. CEES 2021. Coimbra, Portugal.
- ISO 11863 (2011). Buildings and building-related facilities, Functional and user requirements and performance: Tools for assessment and comparison. Lisboa: IPQ.
- ISO/TR 22845 (2020). Resilience of buildings and construction works. Lisboa: IPQ.
- NP ISO 31000 (2018). Gestão do risco – linhas de orientação. Lisboa: IPQ.
- Parque Escolar (2010). Liceus, Escolas Técnicas e Secundárias. Lisboa: Parque Escolar EPE, Direção-Geral de Projeto - Área de Edificações.
- Peer review – Report Portugal 2019. (2019) European Union Civil Protection.
- Salvado, F. (2019). Custo do ciclo de vida na gestão de edifícios. Modelo de apreciação económica aplicado a portefólios de edifícios escolares públicos. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Sarhosis, V., Dais, D., Smyrou, E. et al. (2019). Evaluation of modelling strategies for estimating cumulative damage on Groningen masonry buildings due to recursive induced earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 4689–4710. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-00549-1>.
- VRS (2017). Voluntary resilience standards. Meister Consultants Group, Inc..

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob *Creative Commons*, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

OTIMIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM GESTÃO DE ATIVOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O ÍNDICE DE VALOR DA INFRAESTRUTURA

OPTIMIZATION OF INVESTMENTS IN ASSET MANAGEMENT OF WATER SUPPLY SYSTEMS USING THE INFRASTRUCTURE VALUE INDEX

[10.29073/rae.v1i1.647](#)

Receção: 21/06/2022 Aprovação: 10/09/2022 Publicação: 07/01/2023

Hermilio Carneiro Vilarinho Fernandes ^a, Flávia Barbosa ^b, Henriqueta Nóvoa ^c, Jaime Gabriel Silva ^d, Ana S. Camanho ^e

^a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; hermilio.vilarinho@gmail.com; ^b Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; flavia.barbosa@inesctec.pt; ^c Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; hnovoa@fe.up.pt; ^d ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto; jgs@isep.ipp.pt; e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; acamanho@fe.up.pt

RESUMO

A área de conhecimento associada à gestão de ativos potencia a extração de valor de ativos físicos, incorporando uma abordagem integrada que envolve riscos, custos e desempenho. Este trabalho propõe uma abordagem direcionada para selecionar projetos de investimento em infraestruturas no âmbito da gestão de ativos. A métrica padrão utilizada para a seleção de projetos em ativos múltiplos é o Índice de Valor da Infraestrutura (IVI), que tem sido utilizado para caracterizar ativos do setor da água em diversos países. Este trabalho desenvolveu dois modelos de programação linear inteira mista. O primeiro modelo de otimização trata de um problema de alocação de orçamento de capital selecionando projetos de investimento com vista à maximização da condição dos ativos. O segundo modelo de otimização trata de um problema de planeamento de orçamento, visando a minimizar o capital necessário para manter os ativos nas condições desejadas. A aplicação dos modelos é ilustrada por um estudo de caso de uma empresa que opera no setor da água em Portugal, nomeadamente, em uma estação elevatória de um sistema de abastecimento. Os resultados obtidos nos diferentes cenários analisados são discutidos com vista a apoiar o desenho de políticas de gestão de ativos mais eficientes.

Palavras-Chave: Gestão De Ativos, Planeamento de Investimentos, Seleção de Projetos, Indicador de Desempenho, Otimização

ABSTRACT

The field of asset management provides a coordinated effort to extract value from physical assets, incorporating an integrated approach to deal with risks, costs and performance. This paper proposes an oriented approach to selecting infrastructure investment projects in an asset management framework. The standard metric used for project selection with multiple assets is the Infrastructure Value Index (IVI), which has been used to characterize water sector assets in several countries. Two mixed-integer linear programming models are developed in this paper. The first optimization model deals with a capital budget allocation problem that intends to select investment projects that maximize assets' condition. The second optimization model deals with a budget planning problem aiming at minimizing the capital required to maintain the assets in the desired condition. The application of the models is illustrated by a case study of a company operating in the water sector in Portugal, namely in a pumping station from a water supply system. The results obtained in the different scenarios analysed are discussed with a view to supporting the design of more efficient asset management policies.

Keywords: Asset Management, Investments Planning, Projects Selection, Performance Indicator, Optimization

1. INTRODUÇÃO

A área de gestão de ativos adota um conceito holístico relacionado com os ativos de infraestruturas, abrangendo estratégia,

segurança, meio ambiente, custo, risco e ciclo de vida. A norma internacional ISO 55000 enfatiza a relevância das decisões de investimento entre os principais desafios das

estratégias de gestão de ativos (ISO, 2014). A forma mais eficaz de investir o orçamento disponível representa uma tarefa crítica para os gestores, motivando o desenvolvimento de ferramentas de decisão para orientar essas escolhas. De forma geral, os problemas de seleção de investimentos em gestão de ativos são classificados de duas formas: alocação de orçamento e planejamento de orçamento. No problema de alocação de orçamento, há um montante de capital disponível para investimento e pretende-se decidir a melhor forma de selecionar os projetos até o limite do capital. Já no problema de planejamento de orçamento, pretende-se atingir uma determinada condição de preservação para os ativos e identificar o capital mínimo necessário para tal (France-Mensah & O'Brien, 2018; Gao et al., 2012).

Este trabalho propõe desenvolver modelos de programação matemática para a seleção de projetos de investimento em sistemas de múltiplos ativos. Um estudo de caso baseado em dados de uma empresa de abastecimento de água do mundo real é discutido. O Índice de Valor da Infraestrutura (IVI), um indicador desenvolvido no setor da água em Portugal que traduz o grau de envelhecimento da infraestrutura (Alegre, 2008), é empregado na formulação dos modelos. Embora o IVI tenha sido proposto para abordar o planejamento de investimentos, este trabalho de investigação é pioneiro na integração do IVI num modelo de otimização para selecionar um portfólio de projetos eficiente num contexto de gestão de ativos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de abastecimento de água são projetados para longas vidas funcionais e sofrem deterioração de componentes durante a sua vida útil, o que pode causar interrupções de serviço, exigindo reabilitação contínua (Mazumder et al., 2018). Essas infraestruturas representam exemplos típicos de redes formadas por múltiplos ativos que necessitam de investimentos de capital significativos para manter o seu desempenho e qualidade de serviço nos níveis requeridos. Os projetos de investimento em sistemas de água são justificados por necessidades de expansão, adaptação a novas exigências por parte dos

consumidores ou da legislação, ou obsolescência de materiais e tecnologias, além da deterioração causada pelo envelhecimento das infraestruturas. Dessa forma, os investimentos em sistemas de água devem ser contínuos, ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos.

A maioria das empresas define uma vez por ano um orçamento para projetos de investimento em bens de capital, denominados frequentemente de CAPEX, do inglês “capital expenditure”, e há normalmente mais projetos potenciais a serem implementados do que o capital disponível permite. Esses projetos competem por recursos escassos, tais como pessoas, tempo e financiamentos, pelo que é normalmente necessário um processo de avaliação para definir um plano de projetos CAPEX a serem implementados. A carteira de projetos de uma empresa é normalmente escolhida a partir de um conjunto de potenciais candidatos a projetos, de acordo com seus objetivos e restrições de orçamento e demais recursos (Tavana et al., 2015).

As avaliações de projetos são tradicionalmente realizadas através da aplicação de uma análise do fluxo de caixa descontado, que envolve medidas como o payback, a taxa interna de retorno e o valor presente líquido (VPL). No entanto, segundo Yeo & Qiu (2003), estas abordagens não refletem a realidade dinâmica das empresas. Os estudantes de finanças e gestão aprendem que o VPL deve orientar a seleção de projetos. Na prática, contudo, o processo de tomada de decisão inclui várias variáveis. Os métodos económico-financeiros comuns para seleção de projetos requerem a estimativa de custos e resultados financeiros ou lucros para o projeto em consideração. A avaliação dos custos do projeto pode ser uma tarefa árdua e demorada, especialmente nas suas fases iniciais e as avaliações dos lucros podem ser ainda mais difíceis. O problema é que os projetos que envolvem infraestruturas apoiam indiretamente vários esforços para produzir lucros, mas raramente geram receitas diretas para uma empresa. Portanto, a estimativa dos custos do projeto pode ser quantificável, enquanto o retorno de caixa esperado é muitas vezes imprevisível (Gurgur & Morley, 2008).

Em geral, modelos de decisão mais estruturados para a seleção de investimentos podem apoiar melhor a estratégia da organização ao mesmo tempo que consideram os objetivos, benefícios e restrições locais (Koppinen & Rosqvist, 2010).

Modelos de decisão planejados para seleção de projetos têm sido usados frequentemente na gestão de ativos. O processo de seleção nesse caso torna-se mais preciso, transparente e menos sujeito a conflitos entre as partes interessadas (Kabir et al., 2014). Os modelos matemáticos de otimização têm-se tornado cada vez mais populares em gestão de ativos, podendo lidar com um grande volume de dados de ativos e resolver problemas complexos (Chen & Bai, 2019). A aplicação mais comum desses métodos a infraestruturas de sistemas de água é a seleção de condutas a substituir através da aplicação de métodos heurísticos, tais como algoritmos genéticos (Dandy & Engelhardt, 2001; Dridi et al., 2008; Shin et al., 2016).

Em sistemas formados por múltiplos tipos de ativos, como é o caso dos sistemas de água, o desenvolvimento de modelos de otimização apresenta uma dificuldade adicional pois exige o uso de uma métrica comum para avaliação dos diversos ativos. O Índice de Valor da Infraestruturas (IVI), desenvolvido no setor de águas em Portugal, tem essa característica de poder ser aplicado a variados tipos de ativos. Esse indicador tem sido discutido mundialmente como uma ferramenta para caracterizar infraestruturas de serviços de água e abordar o planejamento de investimentos para mitigar riscos (Alegre, 2008; Alegre & Covas, 2010; Amaral et al., 2016; Vieira, Almeida, et al., 2020; Vieira, Cabral, et al., 2020).

A formulação básica do IVI é expressa como a razão entre o valor atual de uma infraestrutura e seu custo de substituição. O custo de substituição de um ativo é usualmente considerado como o custo que seria pago por um ativo moderno com as mesmas funcionalidades. Já o valor atual de um ativo pode ser estimado como o produto entre a sua vida residual e a sua depreciação. A depreciação do ativo, nesse caso, pode ser estimada de forma linear como a razão entre o

custo de substituição e a vida total útil do ativo. Se considerarmos uma infraestrutura constituída por vários ativos, o valor atual e o custo de substituição da infraestrutura são obtidos, respetivamente, pela soma dos valores atuais e custos de substituição dos ativos que a compõe. Dessa forma, o IVI da infraestrutura em um período t pode ser obtido pela expressão (1), onde VR_{it} representa a vida residual do ativo i , VU_{it} representa sua vida útil e CS_i representa seu custo de substituição. O Valor N indica o número de ativos que compõem a infraestrutura (Alegre, 2008; Alegre & Covas, 2010).

$$IVI_t = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{VR_{it}}{VU_{it}} \times CS_i}{\sum_{i=1}^N CS_i}$$

O IVI varia de 0 a 1, ou 0% a 100%, onde valores mais elevados significam que a infraestrutura está bem preservada, uma vez que o seu valor atual deve estar próximo do custo esperado de uma infraestrutura moderna equivalente. Por outro lado, a infraestrutura provavelmente está deteriorada se o IVI for baixo, uma vez que, nesse caso, o seu valor atual é pequeno em comparação com o seu custo de substituição. De acordo com Alegre et al. (2014), o IVI de infraestruturas bem conservadas deveria ser de cerca de 50% (40-60%). Os valores mais elevados de IVI estão associados a infraestruturas jovens ou infraestruturas mais antigas recentemente sujeitas a expansão ou reabilitação, e os valores mais baixos resultam de reduzida manutenção ou renovação. Nesse sentido, a aplicação de investimentos de capital a ativos pode aumentar o IVI, e a maximização dos valores do IVI pode ser considerada um objetivo consistente para a gestão de ativos. No entanto, no caso de não haver reabilitação de ativos, o valor atual da infraestrutura diminui com o tempo devido ao envelhecimento, resultando numa queda do IVI. Devem ainda ser evitados investimentos que tornem o IVI demasiadamente alto, para que a prioridade no uso dos recursos seja direcionada para infraestruturas mais depreciadas. Além disso, o IVI demasiado alto deve ser evitado para evitar concentração de investimentos em períodos de tempo curtos. Caso os investimentos se concentrem em períodos muito curtos, e os ativos tiverem a mesma vida

útil expectável, eles também terão de ser substituídos numa janela temporal curta. Desta forma, decidir onde e quando investir para atingir níveis elevados ou aceitáveis de IVI representa um problema de gestão relevante.

Novas formulações para o IVI de longo prazo, considerando o efeito dos investimentos de capital, foram propostas por Vieira, Cabral, et al. (2020), mas a seleção de portfólios ótimos de projetos não foi explorada. A estimação da forma como os projetos de capital impactam as condições dos ativos no setor da água é um tema raramente discutido na literatura. O IVI é uma métrica que pode apoiar a atribuição de prioridades de investimento, uma vez que os projetos de infraestrutura são frequentemente realizados para prolongar a vida útil dos ativos, modificando o IVI. Além disso, como a formulação IVI requer apenas a estimativa da vida útil dos ativos e custos de reposição, ela pode ser aplicada a uma ampla gama de classes de ativos em diferentes setores.

O IVI é uma métrica simples e de fácil comunicação, porém não leva em conta outros aspetos úteis na seleção de projetos, como a condição funcional do ativo, o seu estado estrutural, o desempenho hidráulico, ambiental ou de satisfação do cliente. No entanto, apesar dessas limitações, o IVI tem potencial para identificar investimentos de forma global e generalizada, fornecendo orientações para os gestores que podem ser complementadas por análises mais detalhadas.

3. METODOLOGIA E MÉTODOS

3.1 QUESTÕES DE PESQUISA

A metodologia utilizada neste estudo de caso envolve o desenvolvimento de dois modelos de otimização que são concebidos para responder às questões de pesquisa seguintes:

Q1 - Como determinar um plano de projetos de investimentos em ativos para maximizar o IVI global de uma infraestrutura considerando o montante de capital disponível?

Q2 - Como definir um plano de investimento para manter o IVI de uma infraestrutura dentro dos limites recomendados durante todo o período, minimizando o montante de capital

necessário para os projetos de investimento em ativos?

A questão de pesquisa Q1 representa um problema de alocação de orçamento, enquanto a questão de pesquisa Q2 caracteriza um problema de planeamento de orçamento.

3.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA O IVI, CONSIDERANDO A EXECUÇÃO DE PROJETOS

Para desenvolver os modelos de otimização, é necessário expressar o IVI durante o tempo previsto para a execução do plano de projetos, tendo em conta os efeitos que as execuções dos projetos de investimento causam sobre o valor do indicador. Para isso deve-se estimar que aumento de vida residual (Δ_{ip}) pode ser esperado em um ativo i após a execução de um projeto de investimento p .

Em seguida, expressões para a vida residual e vida útil dos ativos para todos os anos são desenvolvidas considerando o efeito dos aumentos de vida residual e, consequentemente, dos aumentos de vida útil. As expressões (2) e (3) revelam a vida residual de um ativo e sua vida útil respetivamente. Nessas expressões são introduzidas as variáveis binárias x_{ipt} , que podem assumir o valor 1, se o projeto p do ativo i é selecionado para o ano t , ou o valor 0 em caso contrário. Considera-se, nesse caso, que as vidas residuais de cada ativo no ano presente (VR_{i0}) são conhecidas, assim como a idade dos ativos no mesmo ano (age_{i0}).

$$VR_{it} = VR_{i0} - t + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt} \quad (2)$$

$$VU_{it} = VR_{i0} + age_{i0} + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt} \quad (3)$$

Para calcular o IVI de um ativo individualmente, a expressão (1) pode ser simplificada para (4), considerando $N=1$.

$$IVI_i = \frac{VR_{it}}{VU_{it}} = \frac{VR_{i0} - t + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}}{VR_{i0} + age_{i0} + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}} \quad (4)$$

Substituindo a razão entre VR_{it} e VU_{it} na expressão (1), chegamos à formulação do IVI, indicada em (5), de uma infraestrutura composta de múltiplos (N) ativos em função da execução de projetos de investimentos, representada pelas variáveis binárias x_{ipt} .

$$IVI_t = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{VR_{i0} - t + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}}{VR_{i0} + age_{i0} + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}} \times CS_i}{\sum_{i=1}^N CS_i} \quad (5)$$

A partir desta equação principal é possível desenvolver modelos de otimização, que, neste caso, envolvem variáveis inteiras e não-inteiras, sendo, portanto, caracterizados como modelos de programação linear inteira mista.

3.3. MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE ORÇAMENTO: MAXIMIZAÇÃO DO IVI

O modelo de otimização para alocação de orçamento (modelo 1) tem por objetivo maximizar a soma dos valores de IVI anuais para a infraestrutura para todos os anos do plano de investimentos. Esse objetivo é, assim, expresso pela soma dos valores da expressão (5) para todos os anos previstos no plano de investimentos.

As variáveis de decisão do modelo são as variáveis binárias x_{ipt} . Elas determinam, após encontrada a solução ótima, que projetos p serão executados em cada ativo i e em cada período t .

São adicionadas restrições ao modelo para assegurar que os resultados estejam de acordo com os objetivos pretendidos. No caso do modelo 1, a principal restrição deve limitar o investimento total utilizado nos projetos à disponibilidade de capital da empresa. Dessa forma, para cada projeto candidato, deve ser estimado o capital necessário para sua execução ($CapEx_{ip}$). A restrição de disponibilidade de capital é expressa em (6), onde OT indica o orçamento total disponível na empresa.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt} \leq OT \quad (6)$$

Restrições adicionais são também incluídas para assegurar que cada projeto seja executado apenas uma vez em todo o período, para balancear o capital investido ao longo do período e para estabelecer um limite superior do IVI em todos os anos. Uma restrição específica é incluída para permitir que um projeto possa incluir múltiplos ativos. A formulação completa do modelo 1 é exibida no Anexo A.1.

3.4. MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA PLANEAMENTO DE ORÇAMENTO: MINIMIZAÇÃO DOS INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

No modelo de otimização para planeamento de orçamento (modelo 2), o objetivo é minimizar a soma dos investimentos anuais em ativos no período considerado. A função objetivo, nesse caso, envolve a minimização da soma do capital utilizado em projetos de investimento em todos os anos, indicada em (7).

$$CapEx^{TOTAL} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt} \quad (7)$$

Nesse caso, as principais restrições devem limitar o IVI à faixa de valores desejada. São então adicionadas ao modelo duas restrições a partir da expressão (5), estabelecendo os limites inferior (LI) e superior (LS) do IVI em todos os anos.

$$IVI_t \geq LI \quad (8)$$

$$IVI_t \leq LS \quad (9)$$

A própria expressão (5) deve ser incluída como uma restrição, e além disso, restrições adicionais limitam a execução de um projeto em apenas uma vez e estabelecem a possibilidade de um projeto incluir múltiplos ativos. A formulação completa do modelo 2 é exibida no Anexo A.2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso considerado envolve a Estação de Bombeamento Jovim, composta

de 21 ativos, pertencente à companhia Águas do Douro e Paiva (AdDP), responsável pela extração, tratamento e abastecimento na região do Porto em Portugal. A estrutura de classificação de ativos da empresa inclui no caso da Estação de Bombeamento Jovim, ativos como, por exemplo, grupos de bombagem, tanques de armazenamento, painéis elétricos, grupos geradores e salas elétricas,

Considera-se que a companhia possui uma verba de 665.000€ para investir em ativos nessa infraestrutura nos próximos 5 anos. Para esse período de 5 anos, considerando a condição atual e a vida residual dos ativos, a empresa tem condições de estabelecer uma lista de possíveis projetos que podem ser selecionados para execução. No estudo de caso considerado, a empresa pré-selecionou 42 projetos potenciais, ou ideias de projetos, para seleção e execução durante o período considerado. Para o modelo de otimização 2, considera-se que a empresa deseja que o IVI da infraestrutura permaneça entre 40% e 60% durante todos os anos do período indicado. A partir do grupo pré-escolhido de 42 projetos, os modelos de otimização 1 e 2 apresentam como resultado um subgrupo de projetos selecionados para execução no período considerado. Essa seleção representa a condição ótima que permite que a empresa atinja os objetivos dos modelos 1 e 2. Certamente, após esse período de 5 anos, novos investimentos terão que ocorrer para manter o IVI nos níveis desejados e, o método de seleção desses novos projetos pode ser realizado novamente, tendo em conta a condição atualizada e mais precisa dos ativos. São estimadas para cada ativo a vida residual (VRi0) e a vida útil (VUi0) no ano que precede o plano de investimentos (ano zero), além da idade dos ativos no mesmo ano (agei0). A vida útil (VUi0) dos ativos foi definida a partir das recomendações da entidade reguladora para o setor da água em Portugal, a Entidade

Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) (Alegre & Covas, 2010). As vidas residuais dos ativos foram definidas, considerando o estado de conservação e a idade dos ativos a partir de procedimentos internos da empresa.

Entre os 42 possíveis projetos de investimentos em ativos, foram incluídos dois candidatos à execução em cada um dos 21 ativos da Estação de Bombeamento Jovim. Para todos os projetos é estimado quanto seria a extensão da vida residual do ativo correspondente após a execução do projeto (Δ_{ip}) e o custo do projeto (CapExip).

Ambos os modelos foram resolvidos utilizando o software IBM ILOG CPLEX versão 20.1.0.0.

Como resultado, o modelo de otimização para alocação de orçamento (modelo 1) gera um plano otimizado que inclui 23 projetos selecionados, do total de 42 projetos potenciais, e representa o portfólio que maximiza o IVI da infraestrutura durante o período de planeamento utilizando o capital disponível. O plano apresenta uma forma eficiente de aplicação do capital, com o objetivo de elevar o IVI da infraestrutura.

Um total de 15 projetos selecionados a partir dos 42 projetos foram incluídos no plano gerado no modelo de otimização para planeamento de orçamento (modelo 2). De acordo com este plano, é possível estimar o capital mínimo necessário para manter o IVI da infraestrutura dentro dos limites desejados, acima de 40% e abaixo de 60%, ao longo de todo o horizonte de planeamento. Os resultados do plano gerado no modelo para planeamento de orçamento mostram que é possível economizar 26,5% do capital disponível e ainda manter o IVI global dentro da faixa desejada. O número de projetos selecionados para cada ano e o orçamento resultante estão detalhados na Tabela 1.

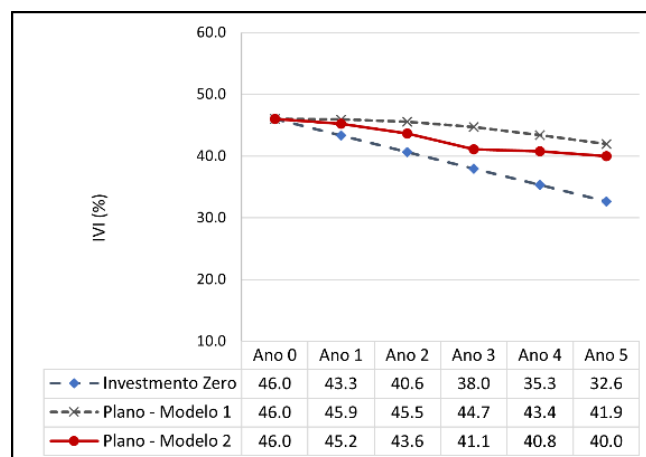
Tabela 1 – Planos de Projetos gerados pelos modelos de otimização

Plano Ótimo para alocação de orçamento (Modelo 1)			Plano Ótimo para planejamento de orçamento (Modelo 2)	
Ano	Projetos (No.)	Orçamento (€)	Projetos (No.)	Orçamento (€)
t_1	6	193.594	6	150.531
t_2	3	157.863	4	72.000
t_3	6	126.531	0	0
t_4	3	103.062	3	158.925
t_5	5	82.701	2	107.063
Total	23	663.751	15	488.519

Os projetos selecionados indicados na Tabela 1 resultam dos modelos de otimização 1 e 2 e representam as condições ótimas em que os objetivos de cada um dos modelos são atingidos e todas as restrições consideradas são satisfeitas. Isso significa que a escolha de planos de projetos diferentes dos listados na Tabela 1 resultariam em níveis de IVI mais baixos no modelo 1 e orçamento total mais alto no modelo 2.

Os valores de IVI anuais para a infraestrutura geral são apresentados na Figura 1, que compara os resultados dos planos gerados

pelos dois modelos de otimização e inclui ainda uma condição em que nenhum investimento é realizado ao longo de todo o período de 5 anos. O gráfico da Figura 1 mostra que os investimentos são cruciais para manter o IVI em níveis aceitáveis. Se nenhum investimento for realizado, a deterioração dos ativos reduzirá o IVI. Pode-se notar também que o plano gerado pelo modelo para alocação de orçamento (modelo 1), com maior quantidade de capital investido em projetos de ativos, consegue manter o IVI em patamares superiores ao plano resultante do modelo para planejamento de orçamento (modelo 2).

Figura 1 - IVI global em cenários diversos


5. CONCLUSÕES

Este trabalho forneceu uma nova abordagem para selecionar iniciativas de investimento de capital para a gestão de ativos em sistemas de múltiplos ativos, usando o Índice de Valor de Infraestruturas.

Estudos anteriores avaliaram o efeito de projetos de investimento no Índice de Valor de Infraestruturas, mas não consideraram a possibilidade de melhorá-lo por meio de uma

melhor alocação de capital. Essa metodologia pode ser generalizada para outros setores onde as ferramentas de tomada de decisão são importantes para apoiar a gestão de ativos.

Desenvolvimentos futuros podem considerar novos objetivos de otimização além dos refletidos nos modelos atuais, além de uma análise mais abrangente dos riscos para os

ativos, sem estar limitada aos riscos inerentes à deterioração das infraestruturas.

REFERÊNCIAS

- Alegre, H. (2008). Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Alegre, H., & Covas, D. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. Uma abordagem centrada na reabilitação. *Série Guias Técnicos No 16*, 510. https://poseur.portugal2020.pt/media/4039/guia_tecnico_16.pdf
- Alegre, H., Vitorino, D., & Coelho, S. (2014). Infrastructure value index: A powerful modelling tool for combined long-term planning of linear and vertical assets. *Procedia Engineering*, 89, 1428–1436. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.469>
- Amaral, R., Alegre, H., & Matos, J. S. (2016). A service-oriented approach to assessing the infrastructure value index. *Water Science and Technology*, 74(2), 542–548. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.250>
- Chen, L., & Bai, Q. (2019). Optimization in decision making in infrastructure asset management: A review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/app9071380>
- Dandy, G. C., & Engelhardt, M. O. (2001). Optimal scheduling of water pipe replacement using genetic algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(4), 214–223.
- Dridi, L., Parizeau, M., Mailhot, A., & Villeneuve, J. P. (2008). Using evolutionary optimization techniques for scheduling water pipe renewal considering a short planning horizon. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23(8), 625–635. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2008.00564.x>
- France-Mensah, J., & O'Brien, W. J. (2018). Budget Allocation Models for Pavement Maintenance and Rehabilitation: Comparative Case Study. *Journal of Management in Engineering*, 34(2), 05018002. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000599](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000599)
- Gao, L., Xie, C., Zhang, Z., & Waller, S. T. (2012). Network-Level Road Pavement Maintenance and Rehabilitation Scheduling for Optimal Performance Improvement and Budget Utilization. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(4), 278–287. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2011.00733.x>
- Gurgur, C. Z., & Morley, C. T. (2008). Lockheed Martin Space Systems Company optimizes infrastructure project-portfolio selection. *Interfaces*, 38(4), 251–262. <https://doi.org/10.1287/inte.1080.0378>
- ISO. (2014). ISO 55000:2014 . Asset management — Overview, principles and terminology. In *International Organization for Standardization (Vol. 1, Issue March, p. 25)*.
- Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. In *Structure and Infrastructure Engineering (Vol. 10, Issue 9, pp. 1176–1210)*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.795978>
- Koppinen, T., & Rosqvist, T. (2010). Dynamic Project Portfolio Selection in infrastructure sector. *Engineering Asset Management Review*, 1, 311–326. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3_16
- Mazumder, R. K., Salman, A. M., Li, Y., & Yu, X. (2018). Performance Evaluation of Water Distribution Systems and Asset Management. *Journal of Infrastructure Systems*, 24(3), 24. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000426](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000426)
- Shin, H., Joo, C., & Koo, J. (2016). Optimal Rehabilitation Model for Water Pipeline Systems with Genetic Algorithm. *Procedia Engineering*, 154, 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.497>
- Tavana, M., Keramatpour, M., Santos-arteaga, F. J., & Ghorbaniane, E. (2015). A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis , TOPSIS and Integer

Programming. 42, 8432–8444.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.057>

Vieira, J., Almeida, N., Silva, J. G., Castro, C., Lima, B., & Trindade, M. (2020). Using Indicators to Deal with Uncertainty in the Capital Renewals Planning of an Industrial Water Supply System: Testing the Infrastructure Value Index. In *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization* (Vol. 2, pp. 226–237). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_26

Vieira, J., Cabral, M., Almeida, N., Silva, J. G., & Covas, D. (2020). Novel methodology for efficiency-based long-term investment planning in water infrastructures. *Structure and Infrastructure Engineering*, 16(12), 1654–1668.
<https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1722715>

Yeo, K. T., & Qiu, F. (2003). The value of management flexibility-a real option approach to investment evaluation. *International Journal of Project Management*, 21(4), 243–250.
[https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00025-X)

ANEXOS

Anexo A.1. Modelo de Otimização para alocação de orçamento (modelo 1): Formulação

Maximizar $\sum_{t=1}^T IVI_t$

Sujeita a:

$$IVI_t = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{VR_{i0} - t + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}}{VR_{i0} + age_{i0} + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}} \times CS_i}{\sum_{i=1}^N CS_i}, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad \forall p \in \{1, 2, \dots, P\}, \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt} \leq OT$$

$$\sum_{t=1}^T x_{ipt}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \forall p \in \{1, 2, \dots, P\}$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ip(t+1)} \leq (1+\alpha) \times \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T-1\}$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ip(t+1)} \geq (1-\alpha) \times \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T-1\}$$

$$IVI_t \leq LS, \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{i,p \in C_k} x_{ipt} \geq |C_k| - M \times (1 - w_{kt}), \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{i,p \in C_k} x_{ipt} \leq M \times w_{kt}, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Obs.: Além das variáveis já introduzidas no texto, aparecem na formulação do Modelo, as seguintes variáveis:

α , percentual de variação de gastos de capital entre dois períodos consecutivos. Usado para balancear o fluxo de capital no plano de projetos.

C_k , conjunto de projetos que devem ser executados e gerenciados como um projeto único, logo as variáveis x_{ipt} relacionadas a esses projetos devem ser todas as iguais a 1 ou todas iguais a 0, significando que ou os projetos são selecionados juntos ou não são selecionados.

w_{kt} , variável binária auxiliar que indica que o conjunto C_k foi selecionado se é igual a 1 ou não foi selecionado, se é igual a 0.

M , número inteiro de grande magnitude.

Anexo A.2. Modelo de Otimização para planejamento de orçamento (modelo 2): Formulação

$$\text{Minimizar } CapEx^{TOTAL} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P CapEx_{ip} \times x_{ipt}$$

Sujeita a:

$$IVI_t = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{VR_{i0} - t + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}}{VR_{i0} + age_{i0} + \sum_{j=1}^t \sum_{p=1}^P \Delta_{ip} x_{ipt}} \times CS_i}{\sum_{i=1}^N CS_i}, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad \forall p \in \{1, 2, \dots, P\}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{t=1}^T x_{ipt}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad \forall p \in \{1, 2, \dots, P\}$$

$$IVI_t \leq LS, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$IVI_t \geq LI, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{i,p \in C_k} x_{ipt} \geq |C_k| - M \times (1 - w_{kt}), \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

$$\sum_{i,p \in C_k} x_{ipt} \leq M \times w_{kt}, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}$$

Obs.: Além das variáveis já introduzidas no texto, aparecem na formulação do Modelo, as seguintes variáveis:

C_k , conjunto de projetos que devem ser executados e gerenciados como um projeto único, logo as variáveis x_{ipt} relacionadas a esses projetos devem ser todas as iguais a 1 ou todas iguais a 0, significando que ou os projetos são selecionados juntos ou não são selecionados.

w_{kt} , variável binária auxiliar que indica que o conjunto C_k foi selecionado se é igual a 1 ou não foi selecionado, se é igual a 0.

M , número inteiro de grande magnitude.

PROCEDIMENTOS ÉTICOS

Conflito de interesses: nada a declarar. **Financiamento:** nada a declarar. **Revisão por pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da [Revista de Ativos de Engenharia](#) é licenciado sob **Creative Commons**, a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

RAE

REVISTA DE ATIVOS DE ENGENHARIA



e

e³

Revista de Economia
Empresas e
Empreendedores
na CPLP



HERANÇA

J²
Jornal Jurídico

JIM

Jornal de Investigação Médica

RAE

REVISTA DE ATIVOS DE ENGENHARIA

REM
REVISTA DE ESTUDOS DO MAR

A PÁTRIA

+

JORNAL DA COMUNIDADE IDENTIFICA DE LÍNGUA PORTUGUESA