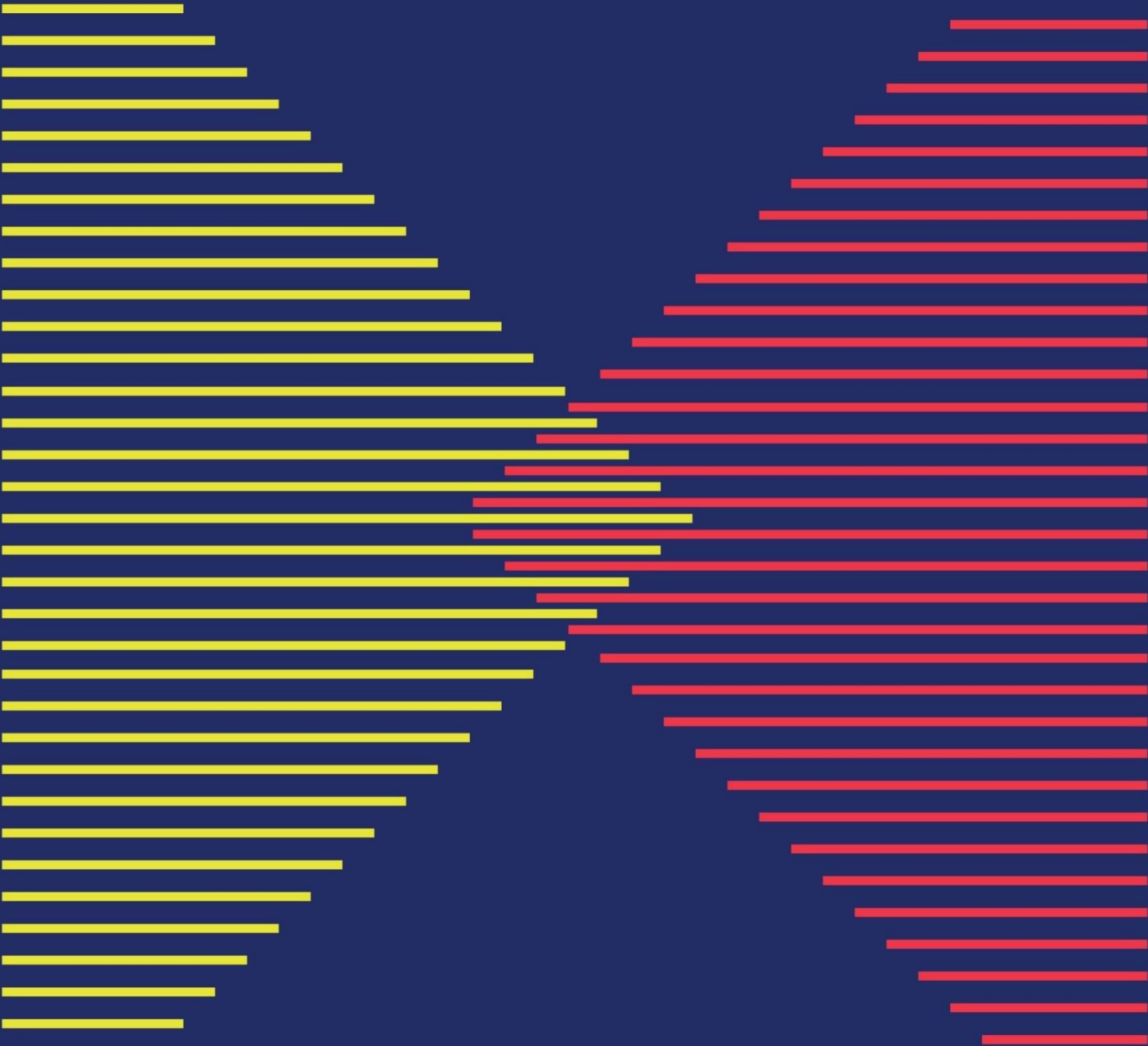


Revista de Ativos de Engenharia

2024

Volume 2, Número 2

ISSN Online: 2975-8289




Ficha Técnica



- **ISSN Online:** 2975-8289
- **Frequência:** Semestral
- **Propriedade:** Ponteditora, Sociedade Unipessoal, Lda.
- **NIPC:** 514 111 054
- **Composição do capital do proprietário:** 10 000€, 100% detido por Ana Leite, doutoranda
- **Gestão (não remunerada):** Eduardo Leite, Ph.D.
- **Localização:** Startup Madeira — Campus da Penteada, 9020-105, Funchal, Madeira, Portugal
- **Contacto principal:**
 - Eduardo Leite
 - Universidade da Madeira
 - +351 291 705 180
 - eduardo.leite@staff.uma.pt
- **Contacto de apoio:**
 - Ponteditora
 - +351 291 723 010
 - geral@ponteditora.org

Equipa Editorial














Editor-Chefe:

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

Editores-Adjuntos:

- Azucena Marques  — Doutoranda em Engenharia e Gestão, Instituto Superior Técnico, Portugal.
- Daniel Gaspar  — PhD em Engenharia Mecânica, Investigador Pós-doutorado, 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.
- Ana Miguel Ramos Leite  — Doutoranda em Economia Política, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 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.
- Edmundo de Almeida e Pais  — Doutorando em Engenharia e Gestão Industrial, Professor Auxiliar na Universidade Lusófona, 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 Ferreira  — PhD em Engenharia Civil, Professor Catedrático, 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 Silvestre  — PhD em Engenharia Civil, Professor Associado, Instituto Superior Técnico, 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 Graca  — PhD em Engenharia Urbana e Construções Cíveis, 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:

- Hugo Patrício  — Responsável Gestão de Ativos — Risco da Infraestrutura, Infraestruturas de Portugal, Portugal.
- 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  — Ministério das Infraestruturas e da Habitação, Portugal.
- Vítor Correia  — Secretário-Geral do Observatório Internacional dos Recursos Minerais (Intraw), Bélgica.
- Wagner Carvalho  — Gestor de Projetos Senior, Aegea Saneamento e Participações SA, Brasil.

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.

XII — A **RAE** publica preferencialmente em língua portuguesa, assim como em inglês. O título, resumo e palavras-chave de cada artigo poderão ser incluídos nas 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 n.º 1 do artigo 17.º da Lei de Imprensa.



Índice

Página	Título	Autor(es)
01	Editorial — Notes on sustainability and the lifecycle management of constructed assets	Nuno de Almeida
07	Captura da realidade e modelação estatística para gestão digital dos ativos de água: estudo de caso de infraestrutura hidráulica no Brasil	Wagner de Carvalho et al.
27	Método Delphi modificado para abordar a transformação digital na gestão de ativos	Samuel Messias et al.
41	Implementación de un plan de gestión de activos según la norma ISO 55001 en la Central de Generación Eléctrica Colmito	Carlos Parra et al.
53	Planejamento estratégico de gestão de ativos em empresas de saneamento — Estudo de caso Embasa	Alisson Brandão
71	Criação colaborativa de ativos construídos com projeto BIM multidisciplinar: Modelos 3D, 4D e 5D	Alcinia Sampaio et al.
87	Bridge infrastructure in Ecuador: challenges and solutions	Estefanía Cervantes et al.



Editorial — Notes on sustainability and the lifecycle management of constructed assets

Editorial — Apontamentos sobre sustentabilidade e gestão do ciclo de vida de ativos construídos

[10.29073/rae.v2i2.942](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.942)

Nuno de Almeida , Instituto Superior Técnico, Portugal, nunomarquesalmeida@tecnico.ulisboa.pt.

Asset management is recognized as a catalyst for sustainable development. Asset management mainly contributes to achieving 7 (out of 17) of the United Nations Sustainable Development Goals (ISO/TC 251, 2018): clean water and sanitation, renewable energy, decent jobs and economic growth, innovation and infrastructure, sustainable cities and communities, responsible consumption and combating climate change.

The core principle of asset management is value realization from assets (GFMAM, 2016; ISO 55000, 2024; The IAM, 2022). Achieving sustainable value is thus the aim of applying asset management to different areas of economic activity and different asset types. Engineering asset management (asset management applied to engineering assets) is a very important subset of asset management, as engineering assets and asset systems (Fig. 1) cover both physical and non-physical items that consume not only significant financial resources from public and private budgets, but also other forms of capital (natural, social, manufactured, intellectual, etc.).

Engineering asset management is a subset of asset management currently attracting much attention from the scientific community (Fig. 2). This subject area deals, for example, with constructed assets (infrastructure, buildings, industrial facilities, equipment, etc.). Disciplines such as risk management and project management can be combined in this context and act as a bridge for the embedding of asset management principles in the AECO industry (Amadi-Echendu, 2016; Azevedo, 2019), thus supporting Engineering Asset Management (EAM) as a key enabler of sustainable construction (Maletič et al., 2018) (Fig. 3).

Figure 1: The fundamental nature of engineering assets (adapted from Amadi-Echendu et al., 2010).

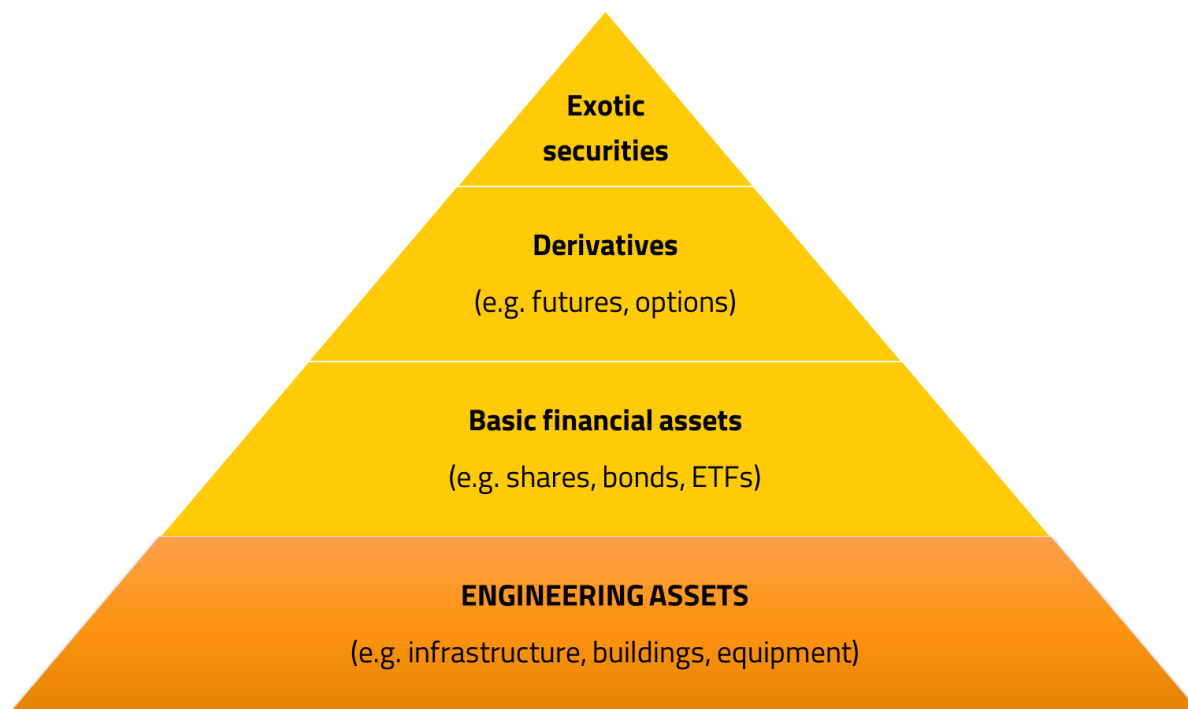




Figure 2: Distribution of publications about “asset management” by subject area (Diop et al., 2022).

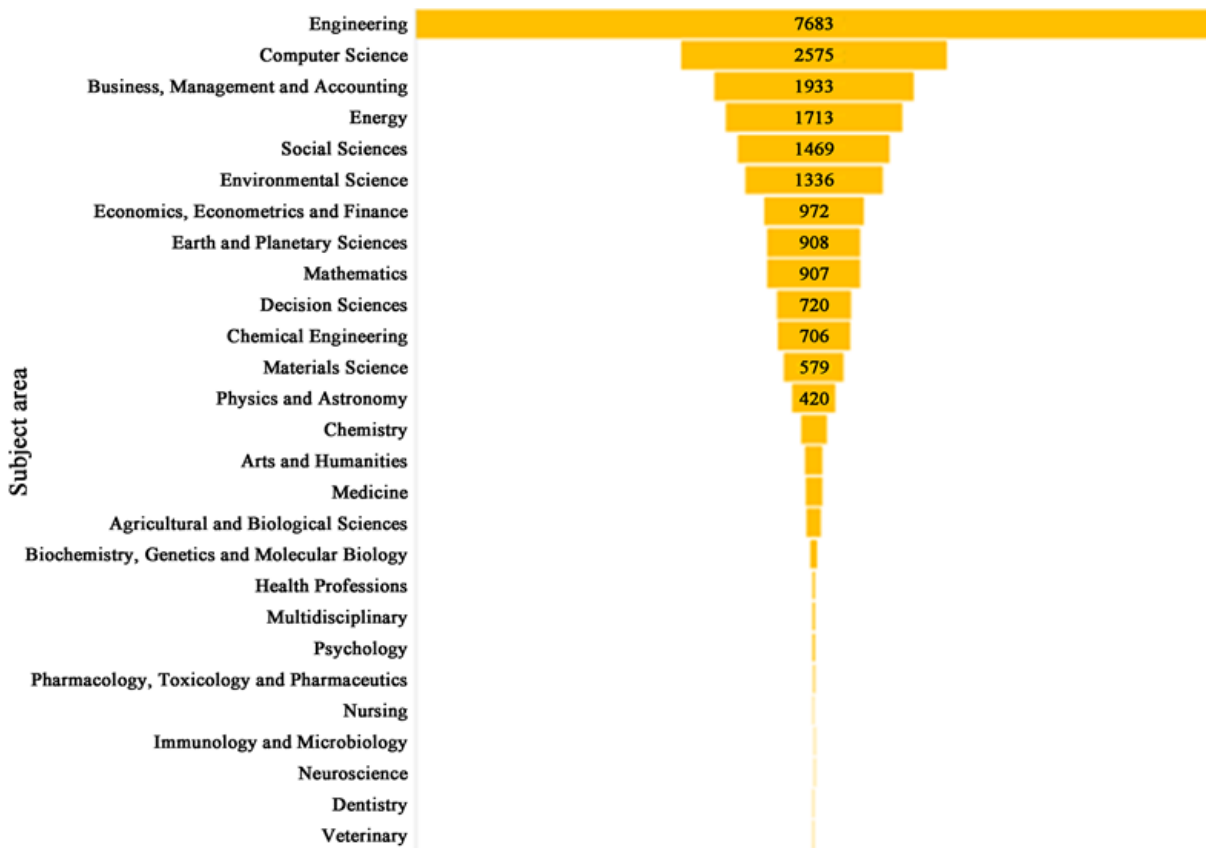
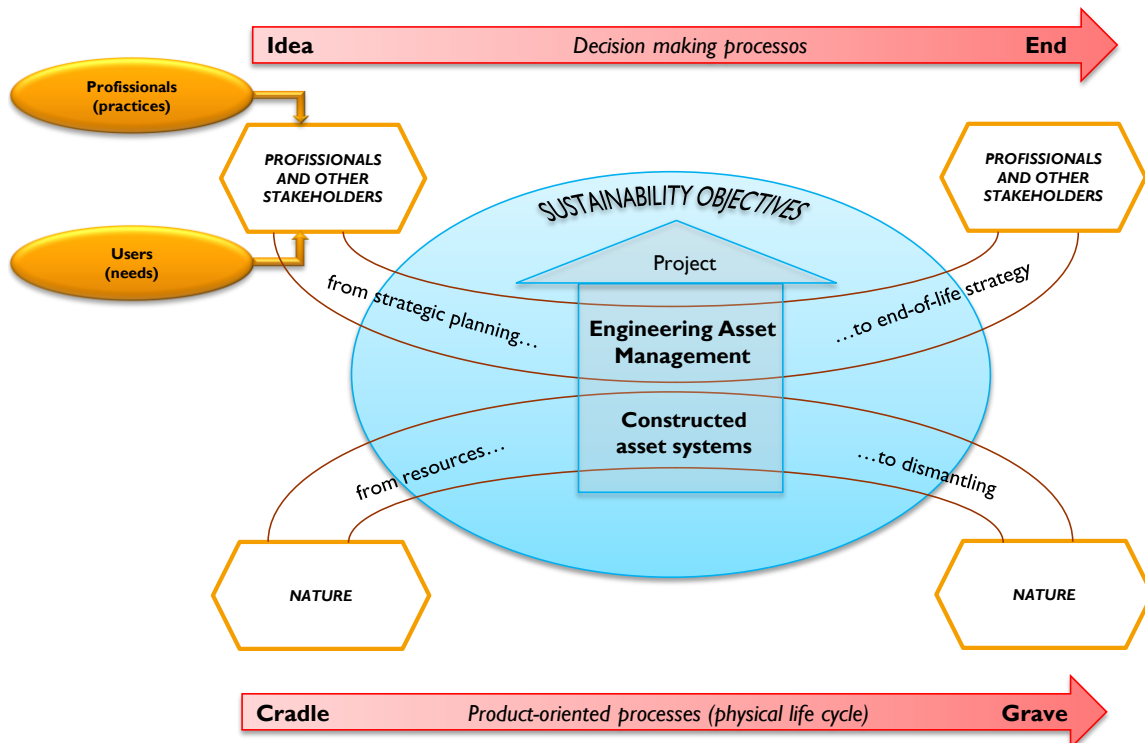


Figure 3: Management framework for sustainable construction (adapted from ISO/TS 12720, 2014)



EAM is a medium/long-term perspective oriented towards realizing value from engineered assets throughout their entire life cycle (Azevedo C, 2019; Dewan & Smith, 2005; Woodhouse, 2019) (Fig. 3). This editorial briefly discusses constructed physical assets to illustrate how EAM accounts for both the present and future needs and



expectations of society, in general, and, for example, in the case of constructed assets, the various stakeholders of the AECO industry, in particular.

Organizations responsible for investing in the acquisition or renovation (CAPEX) and for the operation and maintenance expenses (OPEX) associated with constructed assets, have been progressively adopting asset and risk management principles, combined, in view of creating and protecting value and transparently demonstrate optimal lifecycle management decisions and overall performance, including in terms of whole of life cycle costs (TOTEX) (Woodhouse, 2019). Risk management is significant in this context (Al-Bahar & Crandall, 1990; Campos & Moreira, 2022; Chapman, 2006; Komljenovic et al., 2019; Osei-Kyei et al., 2022; Wijnia & de Croon, 2015) because it can translate into simple terms the impacts arising from decisions made at the early stages of the life cycle of constructed assets (pre-construction stages) and the influence and repercussions extending beyond the moment when those decisions are made (construction and/or post-construction phases of constructed assets), in terms not only of costs but also of the overall performance of the assets created/acquired (adapted from Amadi-Echendu, 2016) (Fig. 4).

Risk management is particularly suitable to create and protect value deriving from the organizations and projects of the AECO industry. This approach became particularly popular in different contexts following the publication, in 2009, of the first version of the international standard ISO 31000 with principles and guidelines on risk management. This international standard boosted the use of several risk management techniques that were already being applied by engineering professionals in different contexts for several decades (ISO 31010, 2019). Asset management, used in combination with risk management, provides a proper framework to enable a systematic consideration of a medium/long-term perspective focused on realizing value from constructed assets throughout their entire life cycle (Fig. 5). The balancing of costs and risks needs to be achieved in a way that accounts for the needs for innovation and modernization and the accounting for various uncertainties associated with the long life cycles of the physical assets of the AECO industry (Parlikad & Srinivasan, 2016). This is particularly challenging for various reasons, one of which being that the stakeholders of this industry have different motivations and even conflicting goals.

Figure 4: Representation of the impact of decisions throughout the lifecycle of constructed assets (adapted from Hendrickson, 2008; PMI, 2016).

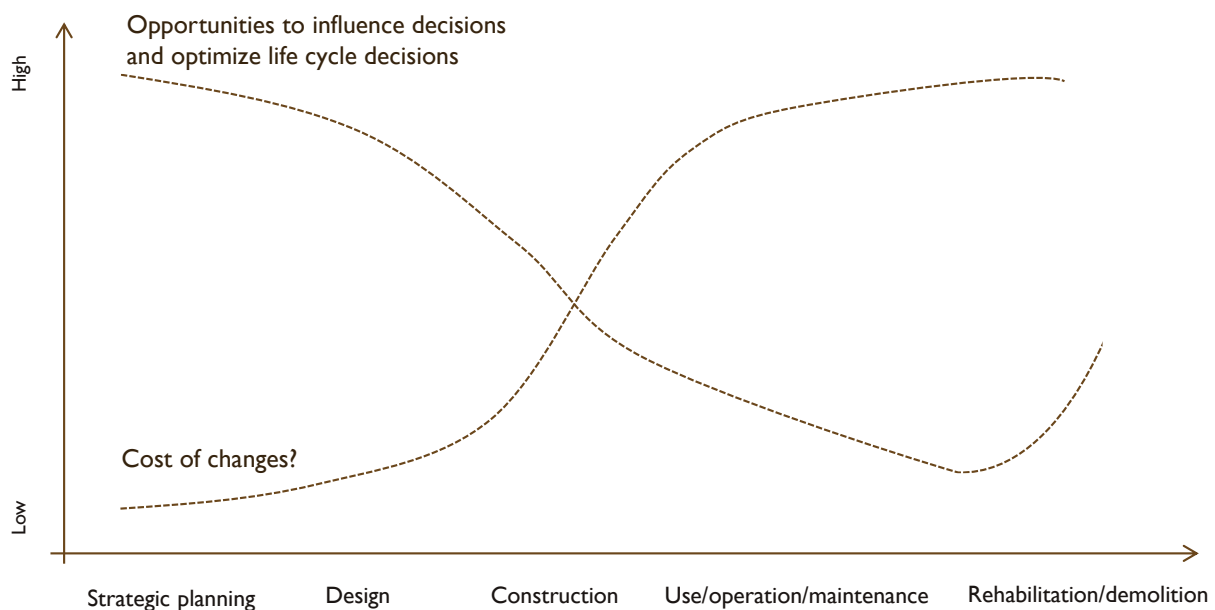
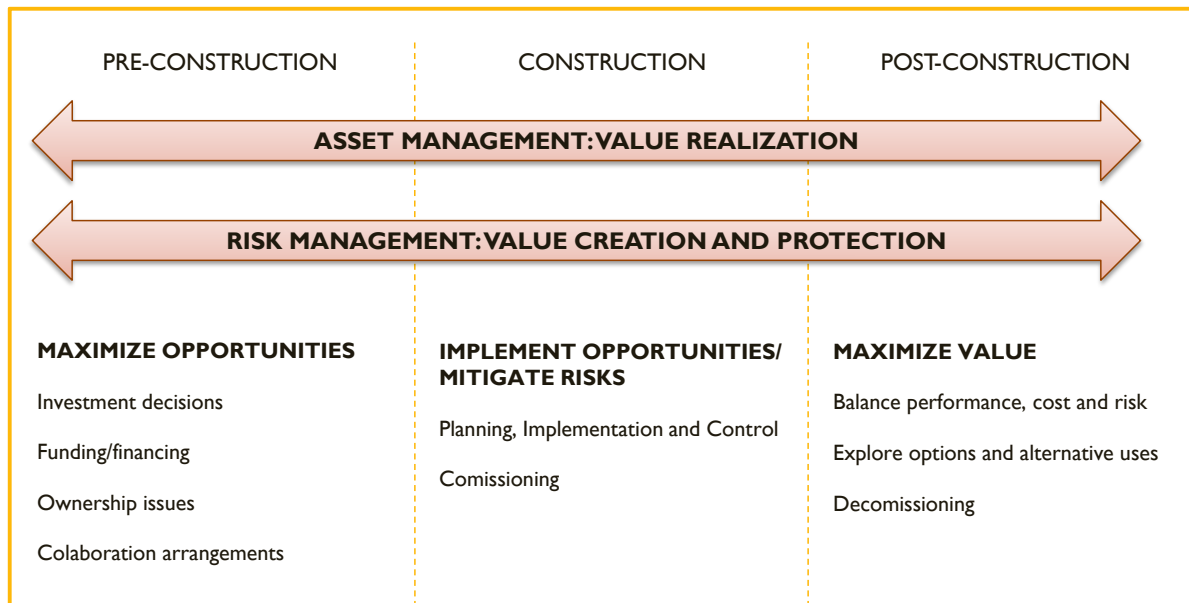




Figure 5: Life cycle management approach to constructed assets and asset systems (adapted from Amadi-Echendu, 2016).



This issue of RAE includes the publication of selected research and industry contributions presented in the 2nd Portuguese Congress on Engineering and Asset Management & the 1st Ibero-American Congress on Engineering and Asset Management (CONGREGA 2024), held at the FIL Meeting Centre in Lisbon, from 3–5 July 2024.

References

- Parkila, A., & Srinivasan, R. (2016). *Whole-Life Value-Based Decision Making in Asset Management*. Cambridge Centre for Smart Infrastructure & Construction. <https://www.icevirtuallibrary.com/isbn/9780727760616>
- Al-Bahar, J. F., & Crandall, K. C. (1990). Systematic Risk Management Approach for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(3), 533–546. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1990\)116:3\(533\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116:3(533))
- Almeida, N. (2023). Fundamentos e perspetivas de inovação na gestão de ativos de engenharia. *Revista de Ativos de Engenharia*, 1(1), 05–16. <https://doi.org/10.29073/rae.v1i1.644>
- Amadi-Echendu, J. (2016). Recognition of academic programmes in Engineering Asset Management. In WCEAM 2016 (Ed.), *11th World Congress on Engineering Asset Management*.
- 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? In J. E. Amadi-Echendu, R. Willett, K. Brown, T. Hope, J. Lee, J. Mathew, N. Vyas, & B.-S. Yang (Eds.), *Engineering asset management: Towards improving maintenance performance* (pp. 3–16). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3_1
- Azevedo, C. (2019). *Asset management insights: Phases, practices and values*. Industrial Press.
- Campos, V. R., & Moreira, D. J. S. (2022). Risk assessment with multi-attribute utility theory for building projects. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/S41024-022-00241-7>
- Chapman, C. (2006). Key points of contention in framing assumptions for risk and uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 24(4), 303–313. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2006.01.006>
- Dewan, S. A., & Smith, R. E. (2005). Valuing Pavement Network Assets and Use of Values as Decision Supports. *Journal of Infrastructure Systems*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2005\)11:4\(202\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2005)11:4(202))



Dieter, J. (2020). Asset taxonomy: ALN proposal for ASTM E53.

Diop, I., Abdul-Nour, G. G., & Komljenovic, D. (2022). A high-level risk management framework as part of an overall asset management process for the assessment of Industry 4.0 and its corollary Industry 5.0 related new emerging technological risks in socio-technical systems. *American Journal of Industrial and Business Management*, 12(7), 1286–1339. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2022.127071>

GFAMAM. (2016). The Value of Asset Management to an Organization — First Edition. *Global Forum on Maintenance and Asset Management*.

Global Forum of Maintenance and Asset Management. (2014). *The asset management landscape* (2nd ed.). 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/>

ISO 31000. (2018). *ISO 31000:2018 — Risk management — Guidelines*. International Organization for Standardization.

ISO 55000. (2014). *ISO 55000:2024 — Asset management — Vocabulary, overview and principles*. International Organization for Standardization.

ISO/TS 12720. (2014). *Sustainability in buildings and civil engineering works — Guidelines on the application of the general principles in ISO 15392*. International Organization for Standardization.

Komljenovic, D., Abdul-Nour, G., & Boudreau, J.-F. (2019). *Decision-Making in Asset Management Under Regulatory Constraints* (pp. 323–332). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95711-1_32

Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., & Gomišček, B. (2018). Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. *Sustainability*, 10(12), 4759. <https://doi.org/10.3390/su10124759>

Márquez, A. C., de León, P. M., Fernández, J. F. G., Márquez, C. P., & Campos, M. L. (2009). The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>

Martens, P., Moll, P., Swilling, M., & Thomas, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: Practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, 7, 25–43. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>

Osei-Kyei, R., Narbaev, T., & Ampratwum, G. (2022). A Scientometric Analysis of Studies on Risk Management in Construction Projects. *Buildings*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12091342>

PMI. (2016). Construction Extension to the PMBOK® Guide. In Inc. Project Management Institute (Ed.), *Project Management Institute*. <https://doi.org/10.1002/pmj>

The Institute of Asset Management. (2022). *The case for excellence in asset management*. www.theIAM.org

Too, E. G. (2010). A framework for strategic infrastructure asset management. In J. E. Amadi-Echendu, R. Willett, K. Brown, T. Hope, J. Lee, J. Mathew, N. Vyas, & B.-S. Yang (Eds.), *Engineering asset management: Towards improving maintenance performance* (pp. 31–62). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-178-3_3

Wijnia, Y., & de Croon, J. (2015). *The Asset Management Process Reference Model for Infrastructures* (pp. 447–457). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15536-4_35



Woodhouse, J. (2019). What is the value of asset management? *Journal of Infrastructure Asset Management*, 6(2), 102–108. <https://doi.org/10.1680/jinam.17.00040>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.



Captura da realidade e modelação estatística para gestão digital dos ativos de água: estudo de caso de infraestrutura hidráulica no Brasil

Reality capture and statistical modelling for digital water asset management: case study of hydraulic infrastructure in Brazil

[10.29073/rae.v2i2.937](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.937)

Recebido: 31 de julho de 2024.

Aprovado: 10 de setembro de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a 1: Wagner de Carvalho , Aegea Saneamento e Participações, S.A. Gerência de Engenharia; Instituto Superior Técnico, Portugal, wagner.carvalho@tecnico.ulisboa.pt.

Autor/a 2: Marta Gomes , Instituto Superior Técnico, Portugal, marta.gomes@tecnico.ulisboa.pt.

Autor/a 3: Rui Marques , Universidade Lusófona, Portugal, rui.marques@ulusofona.pt.

Resumo

A prestação de serviços de abastecimento de água continua a ser um desafio global significativo, com cerca de 2 bilhões de pessoas sem acesso à água potável (UNICEF/WHO, 2023). Além disso, o setor de distribuição de água enfrenta perdas financeiras substanciais, estimadas em 14 bilhões de dólares anuais devido aos altos índices de desperdício de água durante a distribuição (World Bank Group, 2022). Nos países em desenvolvimento, a média de perda de água é de 35%, chegando a 70% em algumas regiões, enquanto nos países desenvolvidos o índice médio atinge 15%.

A transformação digital promovida pela Indústria 4.0 tem potencial para aumentar a eficiência das entidades prestadoras de serviços de água. O programa Digital Water, lançado pela International Water Association (IWA, 2022), exemplifica como a digitalização pode melhorar a eficiência operacional e a gestão dos recursos hídricos. Neste contexto os ativos do setor de abastecimento de água têm grande potencial de aumento de desempenho, porém um dos maiores desafios é aumentar a qualidade da base informacional que frequentemente é caracterizada por dados incompletos, desatualizados e com baixa confiabilidade.

O estudo apresentado neste artigo analisa quali e quantitativamente a metodologia da captura de realidade dos ativos (Niles et al., 2022) e a base dos dados de uma concessionária de água do Brasil. Empregou-se modelações estatísticas uni e bivariadas com o uso do software IBM SPSS (Cronk, 2018) para analisar 2.584 ativos pertencentes a 106 reservatórios (entidades) de 19 municípios, caracterizados em 2 variáveis de contexto e 26 variáveis métricas.

Na aplicação da modelação estatística dos dados confirmaram a insuficiência informacional dos ativos físicos do setor de água, além de apresentar as medidas descritivas da quantidade e condição dos ativos na planta por meio de representações gráficas, incluindo histogramas e gráficos de barras.

O resultado das análises bivariadas gerou insights relevantes para a gestão de ativos de água ao demonstrar correlações significativas entre algumas variáveis derivadas das categorias, atributos, condição e de contexto dos ativos físicos. Como exemplo destaca-se a identificação da concentração de alguns reservatórios deficientes em regiões do Rio de Janeiro (alta densidade populacional e IDHM elevado) e esta indicação irá orientar a tomada de decisão da empresa para priorizar os investimentos nestes ativos.

Palavras-Chave: Captura da Realidade; Digitalização; Modelação Estatística Uni e Bivariadas; Prestação de Serviços de Água; Sistema de Gestão de Ativos.



Abstract

The provision of water supply services continues to be a significant global challenge, with approximately 2 billion people lacking access to safe drinking water (UNICEF/WHO, 2023). Additionally, the water distribution sector faces substantial financial losses, estimated at \$14 billion annually due to high levels of water loss in the distribution system (World Bank Group, 2022). In developing countries, the average water loss is 35%, reaching up to 70% in some regions, while in developed countries, this average is 15%.

The digital transformation promoted by Industry 4.0 has the potential to increase the efficiency of water service providers. The Digital Water program, launched by the International Water Association (IWA, 2022), exemplifies how digitalization can improve operational efficiency and water resource management. Asset management in the water supply sector needs to advance, particularly in the quality of the informational base, often characterized by low-reliability data.

The study presented in this paper analyzes the methodology of asset reality capture (Niles et al., 2022) and the data base of a water utility in Brazil. Uni and bivariate statistical models were used at the IBM SPSS software (Cronk, 2018) to analyze 2,584 assets belonging to 106 reservoirs (entities) municipalities, characterized in 2 context variables and 26 metric variables.

In the application of statistical modeling of data confirmed the informational insufficiency of physical assets of the water sector, and to present the descriptive measures of the quantity and condition of the assets in the plant by means of graphical representations, including histograms and bar graphs.

The results of bivariate analyses generated relevant insights for water asset management by demonstrating significant correlations between some variables derived from the categories, attributes, condition and context of the physical assets. As an example, the identification of the concentration of some deficient reservoirs in regions of Rio de Janeiro (high population density and high MHD) is highlighted and this indication will guide the decision of the company to prioritize investments in these assets.

Keywords: Asset Management System; Digitalization; Reality Capture; Uni and Bivariate Statistical Models; Water Supply Services.

Lista de Siglas

- AAS — Asset Administration Shell (Concha de Administração de Ativos)
- ACP — Análise de Componentes Principais (Principal Components Analysis)
- AIO — Asset-Intensive Organizations (Organizações Gestoras Intensivas de Ativos)
- AIR — Asset Information Requirement (Requisitos de Informação dos Ativos)
- AIV — Asset Identification and Verification (Identificação e Verificação dos Ativos)
- BIM — Building Information Modeling (Modelagem da Informação na Construção)
- ETR — Estação Elevatória de Água Tratada e Reservação
- GAI — Gestão de Ativos de Infraestrutura
- OIR — Organization Information Requirement (Requisitos de Informação da Organização)
- IAM — Institute of Asset Management (Instituto de Gestão de Ativos)
- IDHM — Índice de Desenvolvimento Humano Médio
- IQ — Information Quality (Qualidade da Informação)
- IWA — International Water Association
- SGA — Sistema de Gestão de Ativos

1. Introdução

É cada vez mais requisitado das organizações abordagens multidisciplinares e proativas na gestão dos seus ativos construídos, principalmente das infraestruturas críticas que servem as comunidades e ao funcionamento da sociedade. É o caso das entidades prestadoras de serviços de água que gerenciam sistemas com dezenas de

milhares de ativos de infraestruturas e que envolvem grandes quantidades de recursos na sua criação, operação, renovação e adaptação rápida a situações imprevistas (Almeida, 2023).

A gestão de ativos (área de conhecimento reconhecida internacionalmente) orienta a coordenação das atividades financeira, de operação, de manutenção, de gestão do risco e outras que estejam relacionadas aos ativos, para que a organização produza mais valor a partir deles. As normas da família ISO 55000, lançada mundialmente no ano de 2014, conta hoje com mais de 50 países membros e cresce estabelecendo boas práticas de Gestão de Ativos. Diversos setores de utilização intensiva dos mesmos, denominados como *Asset-Intensive Organizations* (AIO), seguem aderindo a estas práticas e melhorando seus resultados operacionais, sejam estas entidades públicas ou privadas (ISO Technical Committee 251, 2024).

Os serviços urbanos de água gerem infraestruturas críticas que são de elevado interesse público, no qual seu valor social supera significativamente seu valor económico. Por isso há uma preocupação dos organismos internacionais em promover maior eficácia na gestão e de apoiar a regulação nesse setor (Marques, 2005) (World Bank Group, 2022). O cenário contemporâneo ainda é mais desafiador ao somar os fatores conflitantes de crescimento urbano, limitação dos recursos naturais e mudanças climáticas, tornando ainda mais complexo assegurar a resiliência do sistema, promover a sustentabilidade dos serviços e adotar princípios da economia circular.

A prestação dos serviços de abastecimento de água e coleta de águas residuais requer a gestão de uma complexa malha de infraestrutura com centenas de ativos físicos espacializados no ambiente urbano, hierarquizados em redes (ativos lineares: redes de distribuição de água, rede coletora de esgotos, etc.) e decompostos por elementos localizados (ativos verticais: estações de tratamento de água, estações elevatórias de esgotos, etc.) com suas relações sistêmicas (Alegre et al., 2014) (Silva, 2023).

A forma como uma organização gerencia seus ativos determina seu sucesso no endereçamento dos desafios da prestação dos serviços de água (Asian Development Bank, 2013). Neste contexto algumas ações são essenciais na gestão destas infraestruturas:

- Rastreabilidade dos ativos;
- Otimização do uso dos ativos em todo seu ciclo de vida;
- Aumento da disponibilidade dos ativos;
- Redução dos custos em reparos e aumento de produtividade;
- Melhoria do planejamento das ações sob os ativos;
- Qualidade dos serviços prestados aos clientes;
- Segurança e conformidade com as regulamentações.

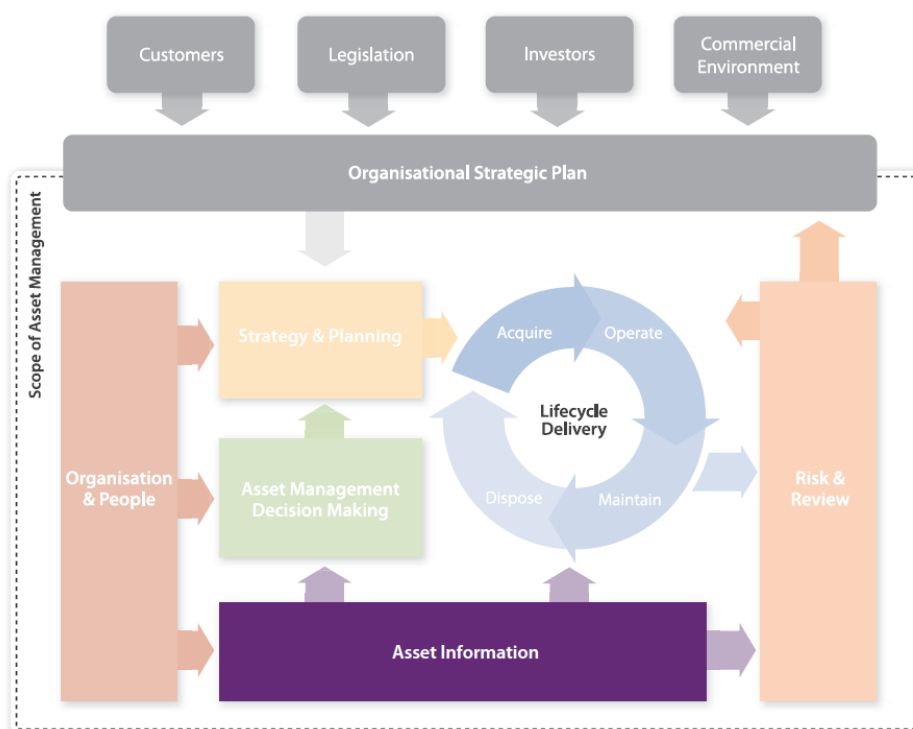
Este trabalho motiva-se no potencial da digitalização dos ativos para aumentar a eficiência operacional da “indústria” de prestação de serviços de água no Brasil. Apesar da relevância mundial do país em disponibilidade de recursos hídricos, a realidade é que cerca de 32 milhões de brasileiros ainda não têm acesso à água potável (aproximadamente 14 % da população), conflitando com a baixa eficiência do setor que registra perdas de mais de 1 litro de água para cada 3 litros produzidos para o sistema de abastecimento, ou seja, índice de 37,78 % de perdas que coloca o país na posição 78 do ranking de 139 nações analisadas (SNIS/Trata-Brasil, 2024).

A baixa eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água no país fica evidenciada pelo elevado índice de perdas na distribuição, somada à dificuldade de garantir a regularidade 24/7 para a população urbana ao longo do ano. As entidades de água não enfrentam concorrência de mercado pois estes serviços de utilidade pública são enquadrados como monopólio natural, porém a regulação do setor tem se fortalecido e exigido padrões mais elevados de qualidade e disponibilidade, ao passo que a escassez hídrica tem sido agravada, nos últimos anos, devido principalmente ao desmatamento, às mudanças nos ciclos pluviométricos e ao aumento da temperatura em muitas regiões do Brasil.

Os processos estruturados de digitalização podem aumentar a confiabilidade e a qualidade do pilar informacional da gestão dos ativos, e com o objetivo de confirmar este potencial, foi selecionada uma amostra de dados dos ativos físicos de uma entidade de água do Brasil para aplicação de métodos avançados de modelação estatística. Os dados foram coletados através da aplicação de tecnologias digitais inovadoras de captura da realidade no campo, ou seja, a organização investiu na base física da operação para gerar uma representação mais fiel das condições reais e ampliar o conhecimento sobre as instalações (Niles et al., 2022).

O modelo conceitual do *Institute of Asset Management* (IAM, 2015), apresentado na **Figura 1**, é a base do Sistema de Gestão de Ativos (SGA) pois agrupam as 39 atividades em 6 grupos de assuntos e ilustra graficamente as suas relações (estratégia e planeamento, tomada de decisão, ciclo de vida, informação do ativo, organização e pessoas, e risco). As organizações engajadas em gestão de ativos dependem de dados e informações estruturadas para gerenciar suas atividades, assim o grupo de informação do ativo (Asset Information) está na base do diagrama para “alimentar” outros grupos, seguindo os requisitos de dados e as atividades prioritárias que agregam mais benefícios. No entanto, é comum que as entidades não tenham informações suficientes em termos de qualidade e quantidade, e a baixa confiabilidade informacional aumentam as incertezas nos grupos do SGA, destacando o impacto no processo de tomada de decisão.

Figura 1: Modelo Conceitual de Gestão de Ativos do IAM.



Fonte: @Copyright 2014 Institute of Asset Management (www.theIAM.org/copyright) (IAM, 2015).

A maior compreensão e maturidade das organizações na disciplina da gestão de ativos estão elevando a importância e a relevância do conhecimento de cada ativo físico que compõe os sistemas que operam. Porém o cenário ainda é muito desafiador para aumentar a fiabilidade da base informacional dos ativos físicos, e de acordo com o relatório da organização *Reliability Leadership Foundation* - líder mundial em confiabilidade na gestão dos ativos - a média atual de conhecimento dos mesmos por parte dos operadores é de apenas 50% e raramente ultrapassa 70% (Terrence O’Hanlon & Ramesh Gulati, 2020).

2. Revisão da Literatura

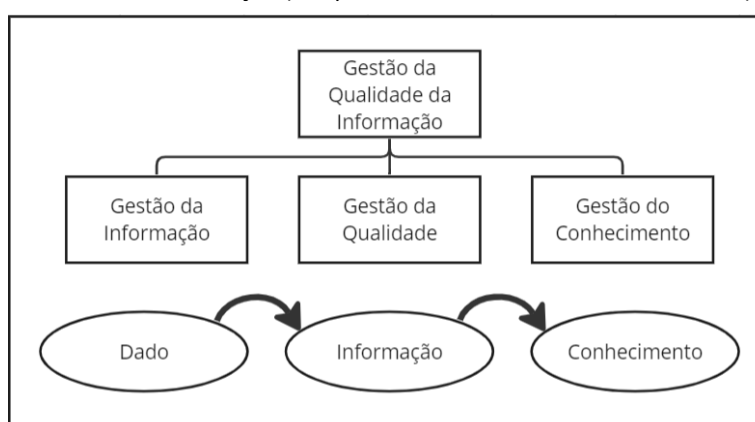
O estudo de Grosch & Bilot (2002) realizado no início do século para os sistemas de água, já apontava o potencial de transformação da era digital nas organizações diante do desafio de adaptação ao atendimento das demandas esperadas, face a grande velocidade na mudança das condições do meio e dos ativos operacionais. A

abordagem denominada “*digital nervous system*” buscava atingir alta eficiência nos processos de gestão das estações de água e águas residuais, para isso tecnologias integravam os sistemas de coleta, gestão, estruturação e disseminação da informação através da organização.

Segundo Helfert & Ge (2007) inúmeras perdas e falhas na gestão dos negócios são causadas por problemas na baixa Qualidade da Informação, ou *Information Quality* (IQ). Nesta pesquisa de estado da arte a IQ é definida como a capacidade da informação de atender às necessidades dos usuários e às especificações dos sistemas. A pesquisa sobre IQ é dividida em três aspectos principais: avaliação de IQ, gestão de IQ e IQ contextual.

O tema do pilar informacional dos ativos físicos foi ganhado relevância na engenharia dos ativos de água e Joe E. Amadi-Echendu et al. (2012) trouxe uma pesquisa do estado da prática em gestão da qualidade da informação (IQ) com algumas organizações. O estudo de benchmarking foi realizado com organizações intensivas em ativos de água do Reino Unido, e revelou desafios nas três áreas de abrangência na gestão da qualidade da informação: gestão da informação, gestão da qualidade e gestão do conhecimento (**Figura 2**).

Figura 2: Gestão da Qualidade da Informação (Adaptado de Joe E. Amadi-Echendu et al. (2012)).



Fonte: Escopo da Pesquisa Científica — Approaches to Information Quality Management: State of the Practice of UK Asset-Intensive Organisations.

O Modelo de Maturidade na Capacidade de Gestão da Qualidade da Informação MMC-QGI (*Information Quality Management Capability Maturity Model*) foi desenvolvido e validado com dez organizações gestoras de ativos de água, assim as organizações foram classificadas segundo a aderência aos fatores críticos de sucesso FCS (*Critical Success Factors*) em níveis de maturidade em gestão da informação: otimização, gestão, medição, reativa e caótica. O resultado da pesquisa é apresentado na

Tabela 1 que referencia a primeira coluna com os níveis de maturidade, na segunda linha as organizações analisadas pelas letras de A até J e na terceira linha o atendimento total (F) ou parcial (PF) aos FCS. Na última linha é apresentado o resultado em que nenhuma das entidades gestoras analisadas, na época, atingiu o máximo de maturidade denominado de nível 5 (otimização), sendo 8 organizações enquadradas como nível 2 (reativa) e apenas uma organização alcançou o nível 4 (gestão).



Tabela 1: Nível de maturidade final de cada organização com os valores percentuais de atendimento total (F) e parcial (FP) para cada nível de maturidade (Adaptado de Joe E. Amadi-Echendu et al. (2012)).

Nível de Maturidade	Organizações																			
	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF	F	PF
5- Otimização	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
4- Gestão	0	23	8	62	54	92	0	46	0	46	0	15	15	54	15	46	8	46	0	23
3- Medição	7	33	13	67	73	100	20	47	7	53	0	20	53	87	33	73	7	47	13	47
2- Reativa	100	100	100	100	100	100	93	100	100	100	93	93	93	100	93	100	93	100	64	100
1- Caótica	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Maturidade Final	2		2		4		2		2		2		3		2		2		2	

O avanço da digitalização nas organizações tem elevado a consciência sobre a necessidade de uma gestão da informação mais qualificada e estruturada. No entanto, além dos investimentos em tecnologias, é imperativo capacitar e qualificar os recursos humanos, bem como desenvolver processos integrados com a gestão de seus ativos informacionais.

Entretanto, qual o esforço e o investimento requerido para coletar informação estruturada dos ativos? Qual o benefício “tangível” da qualidade de informação dos ativos na organização?

Os investimentos em gestão e coleta de dados podem ser muito custosos, e a avaliação dos benefícios gerados não é sempre direta e fácil de se provar. Essencialmente o setor das águas requer a Gestão de Ativos de Infraestrutura (GAI) para a prestação dos serviços à população, e o bom resultado depende da governança e da efetiva utilização de dados para apoiar seus processos.

Rokstad et al. (2016) desenvolveu uma metodologia fundamentada nas ferramentas GAI para quantificar os custos da coleta de dados e os benefícios informacionais proporcionados no setor das águas. Os custos foram contabilizados em horas de trabalho investidas, incluindo custos base (aquisição, configuração e manutenção de ferramentas) e custos de registro de dados (coleta e processamento). Os benefícios são definidos como os resultados informacionais que suportam processos de tomada de decisão na GAI. A análise é consolidada numa planilha estruturada para organizar os dados, calcular os custos e benefícios das combinações de ferramentas e avaliar a relação custo-benefício para diferentes classes de dados.

A aplicação prática dessa metodologia é demonstrada em uma entidade de água na Europa, denominada anonimamente como *Utility X*. A análise de custo-benefício dos dados reais de coleta e utilização informacional revelou oportunidades para maximização os benefícios através das ferramentas de GAI implantados nesta organização. Os resultados foram sintetizados em uma tabela estruturada que destacou as possibilidades de melhoria nos processos de tomada de decisão, alocação de recursos e aumento da eficiência global.

A transformação digital agrega novas dimensões a gestão informacional dos ativos, e particularmente nas inspeções de campo estão sendo aplicados novos processos e tecnologias na coleta de dados, denominadas de captura da realidade (Niles et al., 2022). Neste contexto, a digitalização na indústria 4.0 foi um dos tópicos principais do Congresso Mundial da Engenharia de Gestão de Ativos 16th WCEAM Proceedings (16th World Congress on Engineering Asset Management 2022).

Alonso et al. (2022) estudou várias abordagens de digitalização de ativos (BIM, AIM, AAS e diferentes Digital Twin) revelando a complexidade do desafio atual da Indústria 4.0 e os potenciais benefícios das novas abordagens, desde que sejam adequadamente selecionadas num processo estruturado de gestão de ativos na organização.

A investigação revelou baixa aderência na aplicação das novas tendências, como Digital Twin, na gestão da manutenção dos ativos. Estes profissionais tomam complexas decisões (planejamento e execução da

manutenção) todos os dias e continuam utilizando métodos tradicionais, pois ainda possuem baixa confiança nos resultados das tecnologias (Alonso et al., 2022).

A digitalização está remodelando a natureza dos ativos, porém há necessidade de desenvolver métodos e estratégias para padronização da modelação de ativos em cada indústria e/ou setor. O modelo de gestão deve considerar dados estruturados dos ativos numa arquitetura que facilite o desenvolvimento e a utilização de soluções de digitalização mais sofisticadas (Alonso et al., 2022).

A recente ISO/FDIS 55013 (2024) fornece orientações sobre a gestão de dados no contexto da gestão de ativos, aplicando os princípios e requisitos descritos nas normas ISO 55000 e ISO 55001. Seu principal objetivo é ajudar as organizações a gerenciarem seus dados de maneira eficaz para apoiar a tomada de decisões informadas e atingir os objetivos de gestão de ativos e, conseqüentemente, os objetivos organizacionais. O contributo mais relevante desta nova norma é abordar a gestão de dados como um ativo da organização, oferecendo diretrizes para a coleta, análise, armazenamento, proteção e utilização de dados, garantindo sua confiabilidade, rastreabilidade e alinhamento com os seus objetivos estratégicos (Figura 3).

Figura 3: Mandala de Gestão de Ativos (Adaptada para ISO/FDIS 55013 (2024)).



3. Metodologia

A metodologia aplicada neste trabalho envolveu modelação estatística avançada numa amostra da base de dados de ativos físicos de uma entidade prestadora de serviços de água no Brasil. A origem dos dados é da coleta digital aplicando processo estruturado de identificação e verificação de ativos, denominada pela organização como AIV (*Asset Identification and Verification*) (Carvalho, 2021), e tecnologias avançadas de captura de realidade (Niles et al., 2022).

A modelação estatística procurou caracterizar aspectos quantitativos e qualitativos das informações coletadas na amostra em relação as informações requeridas no modelo de dados da organização OIR (Organization Information Requirements) (ISO/FDIS 55013, 2024).

O modelo de informações dos ativos da organização prestadora de serviços de água estudada é apresentado na Figura 4, e fundamenta-se nas seguintes dimensões:

- **Ativos Físicos:** classifica a tipologia específica (mais de 300 tipos distintos) e quantifica na categoria da disciplina do ativo físico em mecânico, motor, elétrico, civil ou instrumentação (N_{Ax} = Quantidade de Ativos);



- **Atributos:** os requisitos de informação dos ativos variam conforme o seu nível hierárquico (Ordem dos níveis estratégicos, táticos e operacionais da organização são Município, Sistema, Planta, Área, Ativo e Componente). Sendo requerido mais detalhes técnicos para os níveis operacional e tático (DATx = Dados Preenchidos / Total Requerido) e menos detalhes técnicos para o nível estratégico (DAFx = Dados Preenchidos / Fundamental Requerido);
- **Condição:** é a avaliação do estado de conservação para determinar a sua estimativa da vida útil operacional remanescente ou residual do ativo. O resultado é a combinação da inspeção visual realizada individualmente no ativo pelo especialista somados os registros e documentos de gestão disponíveis do mesmo (nota fiscal, histórico de manutenção, entre outros). Conforme a vida útil remanescente o enquadramento da classificação pode ser bom, médio ou deficiente em termos de conservação, e dependendo da criticidade do ativo pode significar uma alta exposição ao risco para a organização, pois a baixa condição de conservação pode indicar uma falha operacional iminente (ACx = % de Vida Útil Operacional Residual).

O estudo também analisou possíveis correlações entre estas variáveis de quantidade, informação (atributos) e condição dos ativos com variáveis de contexto em municípios que possuem diferentes densidades populacionais e características socioeconômicas distintas no Brasil (Figura 5).

Figura 4: Dimensões do Modelo de Informação dos Ativos da Organização (OIR).

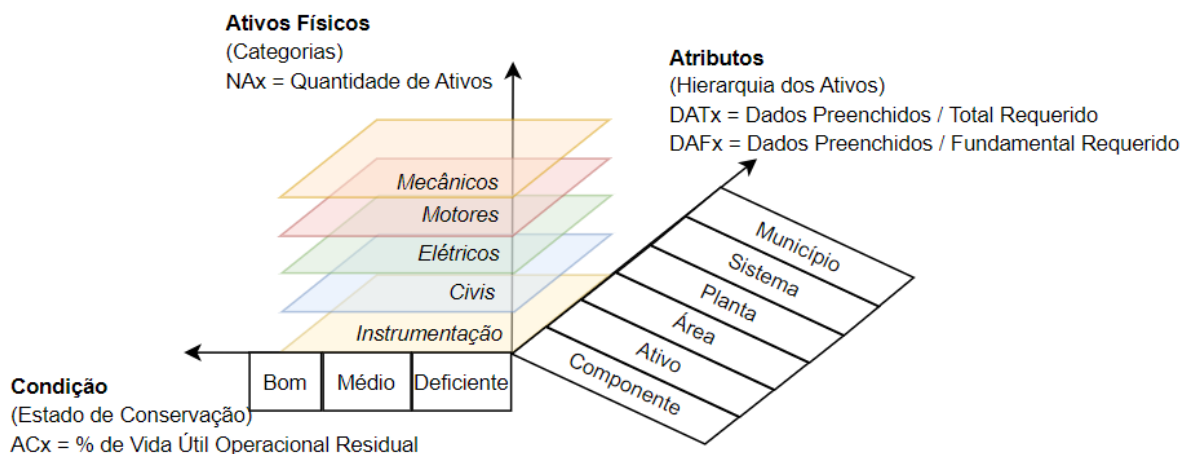


Figura 5: Mapa do Brasil destacando alguns estados onde há ativos operados pela Aegea, 2022.



Foram aplicadas as metodologias estatísticas utilizado o programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences), (Cronk, 2018).

4. Análise da Base de Dados

4.1. Análise Qualitativa



A aquisição dos dados é resultado do processo de digitalização para captura da realidade dos ativos de água em campo. Segundo (Carvalho, 2021) o método de coleta de dados foi desenvolvido pelo programa Infra Inteligente e foi denominado como AIV (Asset Identification & Verification), tendo como referências aplicação de tecnologias orientadas pelo BIM (Building Information Modeling) e a gestão de ativos (ISO 55.001, 2014).

Os ativos físicos são identificados e tagueados seguindo o procedimento de classificação na estrutura da árvore hierárquica da organização, do qual o nível mais alto é a própria entidade. Este último representa a esfera mais estratégica do negócio, seguido pelos níveis táticos até os operacionais (equipamentos).

Os profissionais multidisciplinares em campo são equipados de aplicativo customizado com formulário para a classificação das tipologias, categorias e famílias específicos, complementam o processo digitalizando os ativos físicos com tecnologias de captura da realidade: drones, câmeras 360 e GPS de alta precisão (Niles et al., 2022). As imagens de alta resolução e os dados de campo após processamento em laboratório geram modelos digitais 3D dos ativos, e os atributos técnicos são preenchidos com alta confiabilidade da informação, conforme demonstrado na **Figura 6** e **Tabela 2**.

Figura 6: Modelo Digital 3D (Mesh 3D da Planta).

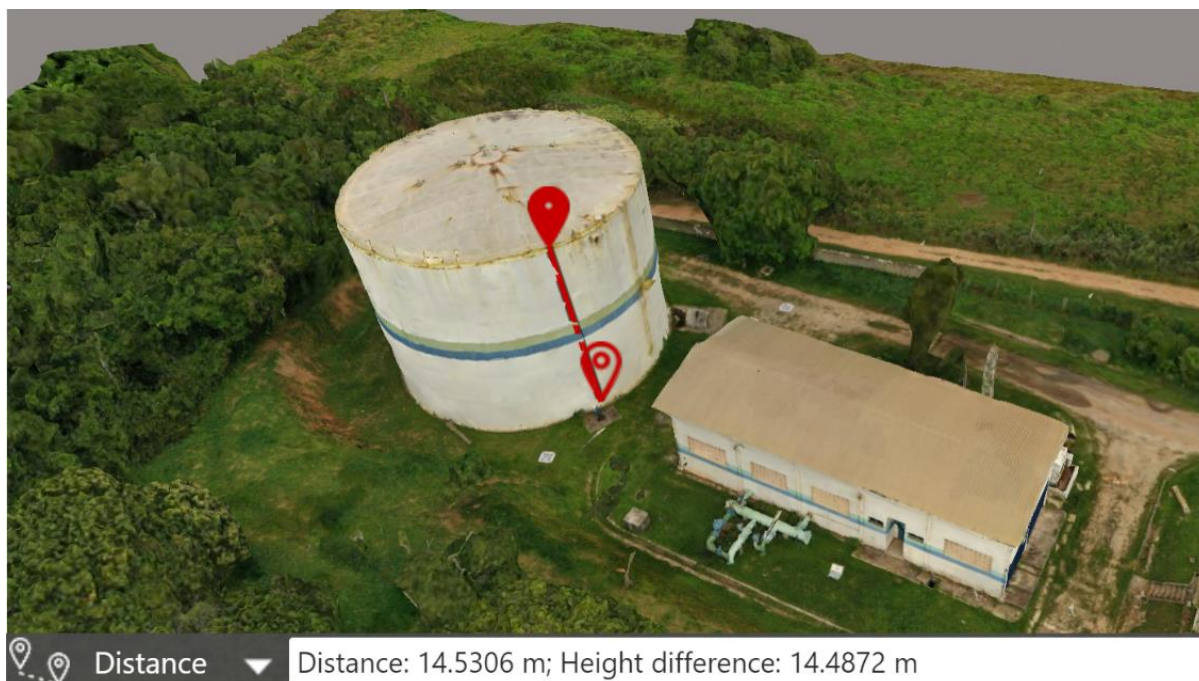


Tabela 2: Atributos de Métricas preenchidos a partir do Modelo Digital 3D.

METRICAS	
Itens Aferidos	Resultado
Area do Terreno	4379.272
Testada	54.761
Profundidade	81.612
Tipo de Cercamento	Muro em alvenaria
Perimetro do Cercamento	272.553
Area do Portao	5.085
Area Construida	731.800
Area Gramada	2888.211
Area Pavimentada	1841.068



O processo AIV visa responder com alto grau de confiabilidade questões essenciais para a eficácia operacional: Quais são os ativos físicos do sistema de água? Onde estão localizados (precisão de georreferenciamento)? Em que condição se encontram (vida útil remanescente)?

O nível de conhecimento mais aprofundado sobre um ativo depende do grau de preenchimento dos atributos de informação requeridos sobre ativo específico AIR (Asset Information Requirements). Organizações maduras em gestão de ativos fornecem um guia de orientação explícito sobre a forma, estrutura e significado dos dados de ativos necessários pela organização. Esse conjunto de definições de dados pode ser referido como "dicionário de dados", "requisitos de informação organizacional" (OIR) ou "requisitos de informação de ativos" (AIR) (ISO/FDIS 55013, 2024).

4.1.1. Classificação e Quantificação dos Ativos Físicos

Exemplo do resultado tabular da classificação dos ativos dentro de uma planta de reservação, identificado conforme a família, categoria e tipologia específica pelo método AIV (**Error! Reference source not found.**).

Figura 7: Quadro de ativos físicos classificados dentro de uma planta (entidade).

Classificacao dos Ativos Fisicos	Qtde de Ativos
FACILITIES(Civil)-Abrigo	1
FACILITIES(Civil)-Galpão Industrial	1
FACILITIES(Poste/Pórtico)-Poste de luz em material cimentício	2
FACILITIES(Poste/Pórtico)-Poste de luz em material metálico	7
OPERACIONAIS(Civil)-Reservatório Apoiado - Aço	1
OPERACIONAIS(Civil)-Reservatório de Contenção	3
OPERACIONAIS(Elétrico)-Disjuntor a Vácuo	1
OPERACIONAIS(Elétrico)-Inversor de frequência	4
OPERACIONAIS(Elétrico)-Painel Elétrico de Comando ou de distribuição	12
OPERACIONAIS(Elétrico)-Painel de automação	3

4.1.2. Condição dos Ativos Físicos

Neste processo é realizada a avaliação da condição, ou seja, a vida útil remanescente de um ativo. O especialista em campo segue o protocolo de análise do equipamento (Figura 8).

Figura 8: Processo de Avaliação da Condição do Ativo.



O resultado da avaliação é calculado a partir dos formulários no aplicativo sobre aspectos visuais de presença de anomalias no ativo (representação das ilustrações: sim - vermelho, não - verde e não avaliado - amarelo) (Figura 9).

Figura 9: Formulário estruturado da avaliação da condição do ativo.

Vistoria de Campo	
A expectativa de vida é menor que 1 ano ? (Falha está iminente)	😊
Existem vazamentos acima dos normais pelo sistema de selagem ?	😊
Existem ruídos em níveis acima dos normais, representando um problema do componente ?	😊
Existe superaquecimento de peças devido a falta de lubrificação ?	😊
Existem sinais de vazamento de lubrificante ?	😊
Existem muitos pontos de corrosão, justificando a necessidade de reparo ?	😞
Há desgaste excessivo em peças móveis e peças sem a devida fixação ?	😟
Existe vibração em excesso, comprometendo as fixações ou peças móveis ?	😊
Existem adaptações (gambiarras), comprometendo o funcionamento ?	😊
Faltam peças e/ou proteções ?	😊

4.1.3. Requisitos de Informação do Ativo

No método AIV o procedimento de preenchimento dos atributos informacionais requeridos inicia-se após o taqueamento e classificação do ativo na família, categoria e tipologia.

No processo de captura digital parte dos atributos informacionais são preenchidos, a partir dos dados técnicos contidos no selo do equipamento em campo. Porém há muitos desafios na coleta e aquisição de informações requeridas no ambiente operacional, tais como: ativo instalado em local inacessível (equipamento submerso em água ou instalado em poste, por exemplo); equipamento sem selo do fabricante, ou mesmo inelegível devido ao longo tempo de instalação; e ativos situados em locais de ambiente agressivo (instalações de químicos, por exemplo).

Assim o registro digital dos atributos e a pesquisa das variáveis informacionais dos ativos, seguem um fluxo de processo de melhoria contínua, na qual a primeira etapa de digitalização da instalação/planta costuma não ser suficiente para coletar todas as informações requeridas do ativo (AIR) (ISO/FDIS 55013, 2024).

As instalações de reservação de água desta amostra contêm grande diversidade de tipologias de ativos, em diferentes estados de conservação e com idades muito distintas que variam de anos até mesmo séculos de implantação, como é o caso do PL-RJB-ETR0165 (Reservatório do Pedregulho no Rio de Janeiro, inaugurado no ano de 1880 pelo imperador Dom Pedro II).

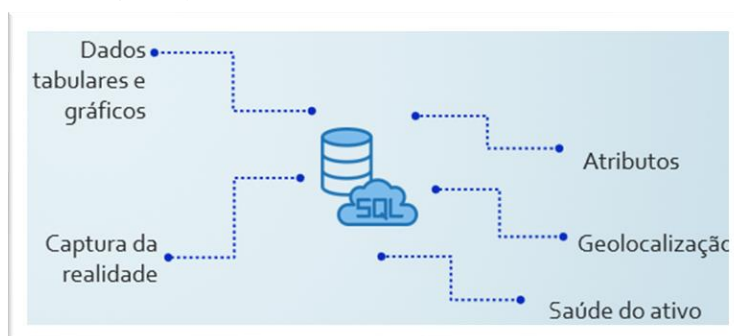
No exemplo ilustrado na Figura 10, foi realizada a análise de um ativo pertencente à família operacional, especificamente à categoria mecânica e à tipologia motor, cujas classificações determinam os requisitos informacionais necessários. A principal fonte de dados foi a digitalização do selo do fabricante do equipamento. O resultado foi a criação de uma ficha técnica simplificada para um equipamento do tipo bomba hidráulica, contendo a identificação do código único do ativo (TAG) e os atributos técnicos essenciais, coletados durante a inspeção e verificação digital AIV. Os atributos marcados como << PREENCHER >> representam informações ausentes ao final do processo (Missing Value). Portanto, um dos objetivos desta investigação é quantificar o percentual de atributos preenchidos, permitindo que as organizações direcionem esforços e investimentos em pesquisa e digitalização, promovendo um maior entendimento de seus ativos operacionais.

Após os processos de coleta e tratamentos, os dados processados dos ativos são armazenados na base de dados em formato SQL e compartilhados com as Key Performance Areas (KPA) em diversos formatos de visualização nas plataformas de SGA da organização (Figura 11)

Figura 10: Atributos fundamentais requeridos de um equipamento do tipo bomba hidráulica.

TAG do Ativo	Atributos
PRO- 02372	Modelo: 8AE17B21 Rendimento: << PREENCHER >> Rotação: 1750 Vazão nominal: << PREENCHER >> Data de fabricação: << PREENCHER >> Fabricante : MARK Diâmetro do rotor: 432mm

Figura 11: Base de Dados da Organização.



Os dados de captura da realidade dos ativos são base para a estruturação e geração de Digital Model, Digital Shadow e Digital Twin (Niles et al., 2022), e o respectivo enquadramento vai estar relacionado ao nível de automação na transferência de dados entre os ativos físicos e virtuais (Vieira et al., 2022) (Kritzinger et al., 2018).

Destaca-se na **Figura 12** a integração dos dados gráficos e não gráficos que resultaram no Digital Twin de uma Estação Elevatória de Água Tratada e Reservação da organização. Essa é uma réplica digital fiel da planta com os atributos reais coletados dos ativos e que são explorados virtualmente num ambiente imersivo com multiplataformas: óculos de realidade virtual (Vive Pro ou Oculus Guest), notebook ou tablet.

Figura 12: Digital Twin da ETR (plataforma XRProj Education and Training: <https://www.xrproj.com/>).



4.2. Análise Quantitativa

A amostra selecionada representa 19 municípios do Brasil contabilizando 2.584 ativos distribuídos por 106 entidades (plantas de reservação de água denominadas de ETR - Estação Elevatória de Água Tratada e Reservação). Para a modelação estatística foram definidas 2 variáveis não métricas (município e situação operacional), 2 variáveis de contexto (densidade populacional e índice de desenvolvimento humano) e mais 24 variáveis métricas. Estas últimas foram elaboradas a partir das dimensões do modelo de informações do ativo da organização, apresentado no capítulo 3 que refere a metodologia, e assim temos as variáveis de quantidade, condição visual e atributo técnico para as cinco categorias de ativos físicos: mecânicos, motores, civil, elétrico e instrumentação.

A **Tabela 3** resume as variáveis selecionadas contendo o nome (abreviatura), a descrição da variável, a unidade de medida e a fonte específica.

Tabela 3: Descrição das Variáveis.

Variáveis	Descrição	Unidade	Fonte
Mun	Município do Brasil	Nominal	
SituaOper	Situação operacional da planta	Nominal	(1)
DensPop	Densidade Populacional	Pessoas/km ²	(2)
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (L=Longevidade, E=Educação e R=Renda)	$\frac{IDHM(L) + IDHM(E) + IDHM(R)}{3}$	(2)
NAm,n,e,c,i	Número de Ativos por Categoria (*) na Planta (Entidade)	$\frac{NAm, n, e, c, i}{Planta}$	(1)
NTme	Número Total de Ativos por Planta (Entidade)	$\frac{NT}{Planta}$	(1)
ACm,n,e,c,i	Índice da Condição Média dos Ativos, ou vida útil remanescente, por Categoria (*) na Planta (Entidade)	$\frac{ACm, n, e, c, i}{Planta}$	(1)



ACme	Índice da Condição Média dos Ativos, ou vida útil remanescente média na Planta (Entidade)	$\frac{AC}{Planta}$	(1)
DAT_{m,n,e,c,i}	Índice de Dados dos Atributos preenchidos por Categoria (*) na Planta (Entidade) em relação ao total requerido (AIR)	$\frac{(Dados\ Preenchidos)_{m, n, e, c, i}}{Total\ Requerido}$	(1)
DATme	Índice de Dados dos Atributos preenchidos por Planta (Entidade) em relação ao total requerido (AIR)	$\frac{Dados\ Preenchidos}{Total\ Requerido}$	(1)
DAF_{m,n,e,c,i}	Índice de Dados dos Atributos preenchidos por Categoria (*) na Planta (Entidade) em relação ao fundamental requerido (AIR)	$\frac{(Dados\ Preenchidos)_{m, n, e, c, i}}{Fundamental\ Requerido}$	(1)
DAFme	Índice de Dados dos Atributos preenchidos por Planta (Entidade) em relação ao fundamental requerido (AIR)	$\frac{Dados\ Preenchidos}{Fundamental\ Requerido}$	(1)

Fontes: (1) Inventário de ativos físicos (Carvalho, 2021).

(2) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística — IBGE (Censo 2010).

(*) Observação: Categorias Mecânicos(m), Motores(n), Elétricos(e), Civis(c) e Instrumentação(i).

A Figura 13 apresenta um extrato parcial da base de dados.

Figura 13: Extrato Parcial da Base de Dados.

Entidade	Mun	DensPop	IDHM	NAm	NAn	NAe	NAC	NAi	NTme
Descrição	Nome do município (Brasil)	Medida da densidade populacional no município	Índice estatístico composto de expectativa de vida, educação e renda per capita	Número de Ativos Mecânicos por Planta	Número de Ativos Motores por Planta	Número de Ativos Elétricos por Planta	Número de Ativos Civis por Planta	Número de Ativos de Instrumentação por Planta	Número Total de Ativos por Planta
Entidade	Nominal	Pessoas/km ²	0 - 1	NAm/Plant	NAn/Plant	NAe/Plant	NAC/Plant	NAi/Plant	NTme/Plant
Planta	Município	DensPop	IDHM	NAm	NAn	NAe	NAC	NAi	NTme
PL-PRO-ETR2250	Arraial do Cabo	172.91	0.733	8	1	2	1	6	18
PL-PRO-ETR2262	Arraial do Cabo	172.91	0.733	7	4	3	1	5	20
PL-PRO-ETR3094	Búzios	392.16	0.728	35	3	24	4	17	83
PL-PRO-ETR3096	Búzios	392.16	0.728	15	2	19	4	8	48
PL-PRO-ETR3154	Búzios	392.16	0.728	4	1	2	1	3	11
PL-PRO-ETR4095	Cabo Frio	453.75	0.735	49	2	24	11	15	101
PL-PRO-ETR4129	Cabo Frio	453.75	0.735	13	2	4	1	5	25
PL-PRO-ETR4138	Cabo Frio	453.75	0.735	21	3	3	2	10	39
PL-PRO-ETR4207	São Pedro da Aldeia	264.05	0.712	2	1	1	2	3	9
PL-PRO-ETR4208	São Pedro da Aldeia	264.05	0.712	0	0	0	1	0	1
PL-PRO-ETR4219	Cabo Frio	453.75	0.735	20	2	3	5	2	32
PL-PRO-ETR4241	Cabo Frio	453.75	0.735	3	0	2	1	3	9
PL-TMN-ETR0051	Timon	89.18	0.649	6	1	5	1	5	18
PL-RJA-ETR0001	Cachoeiras de Macacu	56.9	0.7	4	0	0	0	0	4
PL-RJA-ETR0002	Cachoeiras de Macacu	56.9	0.7	6	0	1	1	0	8
PL-RJA-ETR0003	Cachoeiras de Macacu	56.9	0.7	8	0	1	4	0	13
PL-RJA-ETR0024	Cachoeiras de Macacu	56.9	0.7	4	0	0	0	0	4
PL-RJA-ETR0029	São Sebastião do Alto	22.35	0.646	1	1	1	1	0	4
PL-RJA-ETR0111	São Francisco de Itabapoana	36.84	0.639	25	7	18	2	1	53

5. Resultados e Discussão

5.1. Análise Univariada

A análise univariada foi realizada para examinar individualmente algumas variáveis de maior interesse da base de dados, visando compreender suas características e comportamentos específicos. A modelação incluiu a distribuição de frequências e a avaliação das medidas descritivas, tais como as de centralidade, dispersão, assimetria e curtose dos dados, complementada pela representação gráfica por meio de histogramas e gráficos de barras correspondentes.



Foram selecionadas as variáveis quantidade total de ativos (NTme), condição média dos ativos (ACme) e dados totais preenchidos dos ativos (DATme). Os resultados das análises são comentados a seguir, e estão apresentados na :

- **NTme:** a análise indicou que a quantidade mais frequente (moda) de ativos em plantas é 18, observada em 8 plantas. Apenas 2,8% das ETRs possuem mais de 100 ativos, e cerca de 80% das plantas têm menos de 29 ativos. O número de ativos varia de 1 a 137, com uma média de 22,8 e uma mediana de 16. A média superior à moda indica uma distribuição assimétrica positiva, com uma diferença de 6,80 entre a média e a mediana, e um coeficiente de assimetria de 2,669, sugerindo uma assimetria acentuada (**Error! Reference source not found.**);
- **ACme:** o resultado da condição média e mediana dos ativos verificados está em cerca de 75%, o que indica que os ativos da planta já ultrapassaram 25% da vida útil (boas condições). Sendo que 10% das plantas estão com condição abaixo de 50% (condição entre média e deficiente), e 6,6% das plantas estão com 100% (condição de novos). A diferença entre a média e a mediana resultou em 2,01, sendo a assimetria pouco acentuada, como pode ser observado pelo valor de -0,501 (Tabela X). Verificou-se que a moda é maior que a mediana, e que esta é maior que a média: logo, a distribuição é assimétrica negativa (**Figura 14**).
- **DATme:** verificou-se na distribuição de frequências que cerca de 99% das plantas só atingiram no máximo 31% de preenchimento do atributo total, e que apenas 1 planta atingiu índice de atributo de 57% (potencial outlier). A diferença entre a média e a mediana resultou em 0,0004, sendo a assimetria pouco acentuada, como pode ser observado pelo valor de 1,3. Nas medidas de estatística descritiva a média está ligeiramente menor que a mediana: logo, a distribuição é assimétrica negativa (**Error! Reference source not found.**).

Tabela 4: Medidas de Estatística Descritiva para as variáveis: NTme, ACme) e DATme.

		Variável		
		NTme	ACme	DATme
N	Válido	106	106	106
	Omisso	0	0	0
Média		22,80	75,7451	,1196
Mediana		16,00	77,7500	,1200
Moda		18	100,00	,00a
Erro Desvio		26,482	17,31965	,08899
Variância		701,303	299,970	,008
Assimetria		2,669	-,501	1,303
Erro de assimetria padrão		,235	,235	,235
Intervalo		136	68,37	,57
Mínimo		1	31,63	,00
Máximo		137	100,00	,57
Percentis	25	7,75	62,9100	,0500
	50	16,00	77,7500	,1200
	75	24,25	90,7925	,1800



Figura 14: Histograma da variável quantidade (NTme).

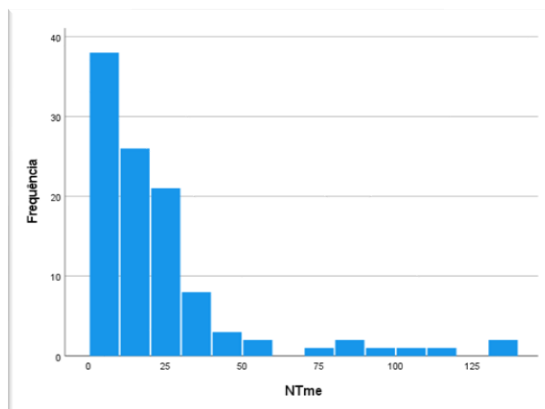


Figura 14: Histograma da variável condição (ACme).

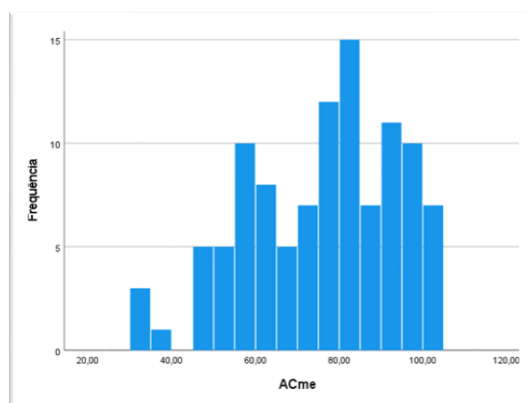
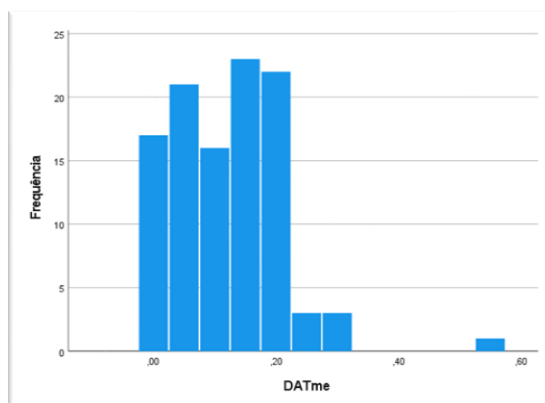


Figura 15: Histograma da variável atributo total (DATme).



Em resumo as medidas de estatística descritiva apresentaram uma ampla variação de quantidade de ativos por planta (desvio padrão / média > 1) e pouca variação na condição dos ativos (desvio padrão / média < 1). Quanto a condição média dos ativos na planta é de 75% (boas condições), porém 10% da amostra de ativos está em condição abaixo de 50%, e assim recomenda-se uma análise mais detalhada sobre este subgrupo de ativos com condição de conservação baixa devido a um potencial exposição ao risco e a impactos operacionais em caso de falha.

O nível de informação dos ativos ficou com média de apenas 13% (DATme) e 15% (DAFme), confirmando os artigos técnicos sobre a baixa maturidade na gestão informacional do cadastro técnico no setor das águas.

5.2. Análise Bivariada

Nesta etapa da modelação foram avaliadas as correlações entre as principais variáveis dos ativos e de contexto (análise bivariada).



Os resultados do SPSS, apresentados na **Tabela 5**, mostraram uma correlação positiva entre a densidade populacional e o índice de desenvolvimento humano (IDHM) nestes municípios ($p = 0,936$), e uma correlação negativa entre estas duas variáveis com a condição visual do ativo (ACme) observada em campo ($p = -0,376$; $p = -0,333$).

A correlação positiva ocorre também entre DAFme com DATme ($p = 0,862$), o que se explica porque os atributos fundamentais são um subgrupo dos atributos totais dos ativos físicos.

O estado de condição do ativo (ACme) tem uma relação positiva com os atributos informacionais (DATme e DAFme) resultado da análise do coeficiente de correlação ($p = 0,337$; $p = 0,335$).

Tabela 5: Matriz de correlação entre as variáveis densidade populacional, IDHM, quantidade, condição e atributo total e fundamental dos ativos.

Correlações

	DensPop	IDHM	NTme	ACme	DATme	DAFme
DensPop	1	,936**	,044	-,376**	,021	-,080
IDHM	,936**	1	,063	-,333**	,071	-,014
NTme	,044	,063	1	,098	,044	,138
ACme	-,376**	-,333**	,098	1	,337**	,335**
DATme	,021	,071	,044	,337**	1	,862**
DAFme	-,080	-,014	,138	,335**	,862**	1

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

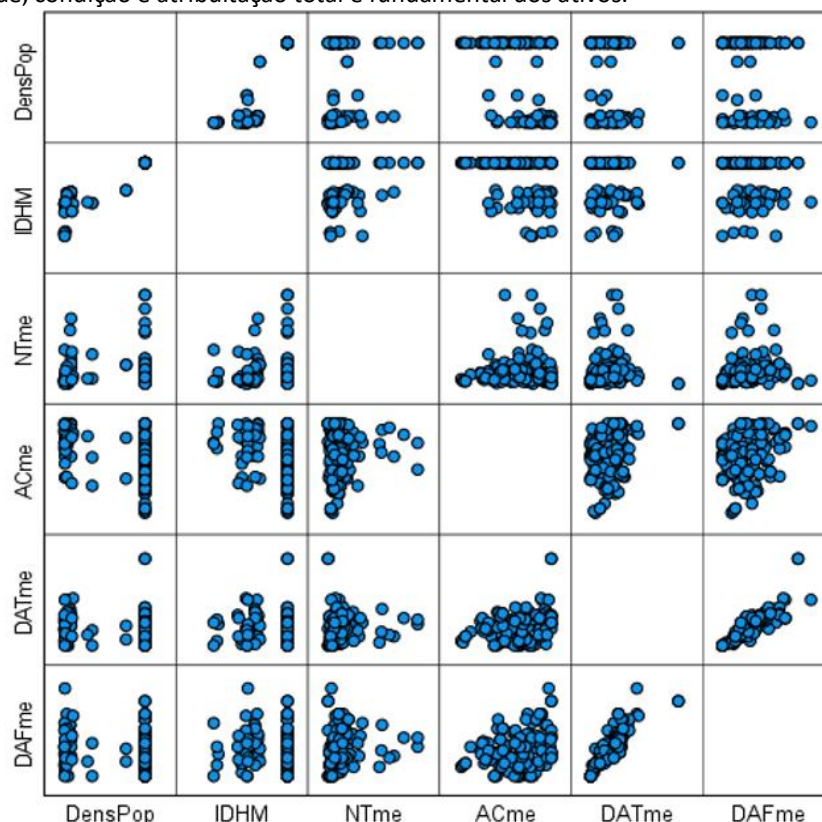
A matriz de correlação global (todas as variáveis) em escala reduzida pode ser visualizada no Apêndice 1. Verifica-se poucas variáveis com os valores de coeficientes de correlação linear mais elevados, destaca-se pela cor amarela as correlações entre 0,4 e 0,6, e pela cor vermelha as correlações entre 0,6 e 1,0.

Na matriz de diagramas de dispersão (scatter plot matrix) para as variáveis de densidade populacional, IDHM, quantidade, condição e atribuição total e fundamental dos ativos observa-se que há uma correlação mais significativa positiva entre os dados totais e fundamentais dos ativos (DATme e DAFme). Nos quadrantes que estas variáveis se correlacionam tem uma forma elíptica, que se desenvolve se aproximando de uma reta na inclinação diagonal (Figura 16).

Nesta figura também é possível visualizar linhas retas de dados horizontais e verticais nas correlações entre as variáveis densidade populacional e IDHM com as variáveis (NTme, ACme, DATme e DAF), que se explicam pois 68% das plantas estão no mesmo município do Rio de Janeiro.



Figura 16: Matriz de diagramas de dispersão (scatter plot matrix) para as variáveis de densidade populacional, IDHM, quantidade, condição e atribuição total e fundamental dos ativos.



O resultado mais surpreendente foi a correlação negativa entre as variáveis de condição (ACme) e de contexto (densidade populacional e IDHM), pois esperava-se uma condição melhor das plantas nas regiões mais adensadas e de melhor índice socioeconômico. Segundo a concessionária, estas informações e insights irão ajudar na tomada de decisão para priorizar os investimentos nestes ativos.

6. Conclusão

Este estudo motivou-se nos desafios da digitalização dos ativos da “indústria” da água para aumentar a eficiência na prestação destes serviços. Fundamentou-se em investigações anteriores que questionam a qualidade das informações (IQ) dos ativos na gestão de infraestruturas de água e apresenta uma contribuição original ao aplicar métodos avançados de modelação estatística para avaliar a confiabilidade de uma amostra da base de dados de uma entidade de água no Brasil, cujos dados foram coletados por meio de captura digital da realidade (Niles et al., 2022).

Qualitativamente, demonstrou-se que os processos de digitalização proporcionam uma maior rastreabilidade informacional ao SGA da organização (ISO/FDIS 55013, 2024). No entanto, as análises univariadas e bivariadas confirmaram o déficit significativo de dados técnicos relacionados ao OIR, e revelaram uma correlação inesperada e indireta entre as variáveis de condição e de contexto (população e IDHM) das regiões atendidas pelos reservatórios. Assim esses métodos proporcionaram insights valiosos para a organização, gerando oportunidade de priorização na alocação de recursos e na tomada de decisões estratégicas mais estruturadas para a governança dessas plantas.

Esta abordagem não apenas valida a eficácia do processo de digitalização por meio de modelação estatística, como também destaca os benefícios de aumentar o investimento em tecnologias avançadas de coleta de dados em campo. Exemplos incluem a maior precisão, atualização e confiabilidade das informações sobre os ativos, demonstrados por meio de um estudo de caso avançado na gestão do conhecimento em uma tipologia específica do sistema de água. Recomenda-se a realização de pesquisas futuras e testes ampliados em outros ativos do setor.

Agradecimentos

O autor agradece ao apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia através do financiamento UIDB/04625/2020 da unidade de pesquisa CERIS.

Referências

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>

Almeida, N. (2023). *Gestão de Ativos — 5ª edição: PorValor*. IST — FUNDEC.

Alonso, P. J., Guillén, A. J., Gómez, J. F., & Cándón, E. (2022). Review of asset digitalization models in the context of intelligent asset management and maintenance. In A. Crespo Márquez, J. F. Gómez Fernández, V. González-Prida Díaz, & J. Amadi-Echendu (Eds.), *16th WCEAM Proceedings* (pp. 87–97). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25448-2>

Amadi-Echendu, J. E., Brown, K., Willett, R., & Mathew, J. (2012). *Asset condition, information systems and decision models: Approaches to information quality management* (Vol. 2). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2924-0>

Asian Development Bank. (2013). *Water utility asset management: A guide for development practitioners*.

Carvalho, W. O. (2021). BIM and AM to manage critical and relevant water and wastewater utilities assets. In *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering - ICCBE 2020* (Vol. 98, pp. 697–720). https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_49

Cronk, B. C. (2018). *How to use SPSS®: A step-by-step guide to analysis and interpretation* (10th ed.). Taylor & Francis Group.

Grosch, R., & Bilot, P. (2002). A simple strategy for integrated plant management and control. In *ISA Instrumentation, Systems, and Automation Conference Proceedings* (pp. 13–23).

Helfert, M., & Ge, M. (2007). A review of information quality research: Develop a research agenda. <https://www.researchgate.net/publication/220918901>

Institute of Asset Management (IAM). (2015). *An anatomy of asset management*. <https://www.theIAM.org>

ISO Technical Committee 251. (2024). *ISO/TC 251 asset management*. <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources.html>

ISO. (2014). *ISO 55001:2014 Asset management—Management systems—Requirements*. <https://www.iso.org/standard/55089.html>

ISO/FDIS 55013. (2024). *Asset management—Guidance on the management of data assets*. <https://www.iso.org>

IWA - Digital Water Programme. (2022). *A strategic digital transformation for the water industry*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789063400>

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>

Marques, R. C. (Ed.). (2005). *Regulação de serviços públicos*. Sílabo. <https://silabo.pt>

Niles, J., McClure, S., & Pouliquen, D. (2022). *Reality capture: A digital twin foundation*.

O'Hanlon, T., & Gulati, R. (2020). *10 rights of asset management*.



Rokstad, M. M., Ugarelli, R. M., & Sægrov, S. (2016). Improving data collection strategies and infrastructure asset management tool utilisation through cost benefit considerations. *Urban Water Journal*, 13(7), 710–726. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1024692>

Silva, J. B. (2023). *Structuring urban networks: Accessibility networks, road hierarchy and transport modes*. <http://pcp.vub.ac.be/MACRBOOK.html>

SNIS/Trata-Brasil. (2024). *Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): Desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil*. www.goassociados.com.br

UNICEF/WHO. (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender*. United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO). <https://washdata.org>

Vieira, J., Martins, J. P., de Almeida, N. M., Patrício, H., & Morgado, J. G. (2022). Towards resilient and sustainable rail and road networks: A systematic literature review on digital twins. *Sustainability*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127060>

World Bank Group. (2022). *Water supply and sanitation policies, institutions, and regulation*. www.worldbank.org

Apêndices

Apêndice 1 — Matriz de Correlações Globais (Todas as Variáveis)

		Matriz de correlações																								
Correlação	DensPop	IDHM	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm	Nkm						
DensPop	1.000																									
IDHM	0.989	1.000																								
Nkm	0.113	0.120	1.000																							
Nkm	0.134	0.119	0.551	1.000																						
Nkm	0.042	0.038	0.713	0.551	1.000																					
Nkm	-0.087	-0.059	0.352	0.071	0.329	1.000																				
Nkm	-0.310	-0.205	0.488	0.379	0.879	0.301	1.000																			
Nkm	0.044	0.063	0.950	0.813	0.880	0.423	0.673	1.000																		
Nkm	-0.273	-0.247	0.554	0.142	0.062	0.034	0.118	0.077	1.000																	
Nkm	-0.349	-0.332	0.014	0.039	0.037	0.039	0.120	0.038	0.668	1.000																
Nkm	-0.203	-0.185	0.564	0.125	0.108	0.069	0.110	0.098	0.462	0.335	1.000															
Nkm	-0.258	-0.191	-0.097	0.018	0.030	0.025	0.126	-0.033	0.368	0.368	0.441	1.000														
Nkm	-0.348	-0.312	0.179	0.213	0.280	0.112	0.347	0.258	0.609	0.636	0.603	0.548	1.000													
Nkm	-0.270	-0.353	0.040	0.125	0.121	0.088	0.401	0.098	0.763	0.709	0.724	0.869	0.869	1.000												
Nkm	0.056	0.115	0.185	0.127	0.027	-0.071	0.104	0.138	0.335	0.107	0.154	0.161	0.227	0.223	1.000											
Nkm	0.051	0.084	0.049	0.309	-0.054	-0.107	0.068	0.031	0.339	0.174	0.138	0.066	0.119	0.203	0.361	1.000										
Nkm	0.133	-0.043	0.504	0.106	0.066	-0.089	0.278	0.051	0.319	0.238	0.290	0.372	0.377	0.503	0.597	0.260	1.000									
Nkm	0.019	0.018	-0.090	-0.030	-0.018	-0.288	0.011	-0.088	0.214	0.163	0.198	0.207	0.219	0.254	0.050	0.150	0.814	1.000								
Nkm	0.055	0.052	0.050	0.118	-0.013	-0.142	0.056	0.035	0.238	0.018	0.181	0.186	0.180	0.165	0.553	0.353	0.485	0.531	1.000							
Nkm	0.021	0.071	0.051	0.222	-0.013	-0.181	0.135	0.044	0.401	0.190	0.245	0.205	0.278	0.337	0.759	0.749	0.717	0.663	0.765	1.000						
Nkm	0.039	0.041	0.271	0.205	0.105	-0.048	0.174	0.229	0.370	0.062	0.093	0.095	0.251	0.194	0.809	0.372	0.424	0.307	0.431	0.606	1.000					
Nkm	0.009	0.044	0.047	0.254	-0.056	-0.147	0.044	0.018	0.340	0.168	0.178	0.074	0.123	0.221	0.352	0.366	0.285	0.188	0.441	0.246	0.388	1.000				
Nkm	-0.105	-0.100	0.082	0.175	0.152	-0.050	0.287	0.145	0.272	0.114	0.273	0.207	0.317	0.313	0.474	0.223	0.880	0.403	0.434	0.900	0.489	0.394	1.000			
Nkm	-0.019	-0.009	-0.078	-0.066	-0.004	-0.300	0.020	-0.071	0.221	0.171	0.192	0.333	0.228	0.288	0.400	0.077	0.532	0.018	0.400	0.024	0.320	0.164	0.431	1.000		
Nkm	0.124	-0.098	0.119	0.163	0.120	-0.074	0.162	0.138	0.159	-0.031	0.174	0.216	0.298	0.190	0.373	0.227	0.422	0.340	0.761	0.542	0.458	0.275	0.488	0.371	1.000	
Nkm	-0.080	-0.074	0.130	0.222	0.094	-0.108	0.204	0.138	0.379	0.129	0.256	0.276	0.342	0.335	0.666	0.575	0.684	0.595	0.728	0.862	0.748	0.633	0.730	0.536	0.771	1.000

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.



Método Delphi modificado para abordar a transformação digital na gestão de ativos

Modified Delphi method for insights on digital transformation in asset management


[10.29073/rae.v2i2.935](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.935)


Recebido: 24 de julho de 2024.


Aprovado: 2 de setembro de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a 1: Samuel Messias , Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal, samueltmessias@gmail.com.

Autor/a 2: André Guimarães , CISED – Centro de Investigação em Serviços Digitais — Instituto Politécnico de Viseu; CISE — Centro de Investigação em Sistemas Electromecatrónicos — Universidade da Beira Interior, Portugal, aguimaraes@estgv.ipv.pt.

Autor/a 3: Hugo Raposo , RCM — Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas, Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal, hugo.raposo@isec.pt.

Autor/a 4: Daniel Gaspar , CISED — Centro de Investigação em Serviços Digitais — Instituto Politécnico de Viseu; CISE — Centro de Investigação em Sistemas Electromecatrónicos — Universidade da Beira Interior, Portugal, augusto@civil.ist.utl.pt.

Resumo

A utilização de um método de avaliação e de validação é de extrema importância para credibilizar e fortalecer a aceitação de conclusões sobre um determinado tema. Este artigo tem como objetivo descrever a adaptação da técnica Delphi no processo de validação do conteúdo de um questionário sobre a Transformação Digital na Gestão de Ativos. No estudo, participaram 25 especialistas da indústria portuguesa com experiência em Gestão de Ativos e Transformação Digital. O questionário abrangeu os seguintes temas: Gestão de Ativos, Transformação Digital, norma NP EN 55001, sistemas de informação e o ciclo de vida dos ativos. Adicionalmente, foram abordados os modelos de maturidade relacionados com a Gestão de Ativos e a Transformação Digital. Para a avaliação do nível de maturidade na Gestão de Ativos, foi utilizado o modelo do IAM (Institute of Asset Management), enquanto para a avaliação do nível de maturidade digital foi utilizado o modelo VDMA/IMPULS. A técnica Delphi aplicada foi modificada para se adequar ao formato de um questionário, sendo realizada numa única ronda pelos especialistas. Os resultados mostraram uma taxa de resposta de 72%. Os especialistas chegaram a um consenso sobre as 15 perguntas apresentadas, com 10 questões validadas por unanimidade e bem classificadas, juntamente com algumas sugestões de melhoria, enquanto 5 questões não obtiveram tanto consenso. Para a classificação e avaliação, foi utilizada a escala de Likert de 1 a 5, onde “1 — Nada relevante” e “5 — Extremamente relevante”. Esta técnica Delphi modificada permitiu perceber tendências e vetores futuros na Gestão de Ativos e na Transformação Digital. O método Delphi contribuiu para o aprimoramento da formulação do questionário, sendo esta uma etapa intermediária num processo de validação iterativo. A opinião dos especialistas possibilitou a obtenção de feedbacks construtivos para a validação das questões e da estrutura do questionário a ser utilizado.

Palavras-Chave: Gestão de Ativos; Método Delphi; Questionários; Transformação Digital.

Abstract

An evaluation and validation method are paramount for establishing credibility and strengthening the acceptance of conclusions on a given topic. This article aims to describe the adaptation of the Delphi technique in validating the content of a newly developed questionnaire on Digital Transformation in Asset Management. The study involved 25 experts of the Portuguese industry with experience in Asset Management and Digital Transformation. The questionnaire covered the following topics: Asset Management, Digital Transformation, NP



EN 55001 standard, information systems, and the asset life cycle. Additionally, maturity models related to Asset Management and Digital Transformation were addressed. The IAM (Institute of Asset Management) model was used to assess the maturity level in Asset Management, while the VDMA/IMPULS model was used to evaluate digital maturity. The Delphi technique was modified to fit the format of a questionnaire the experts conducted in a single round. The results showed a response rate of 72%. The experts reached a consensus on the 15 questions presented, with 10 questions being unanimously validated and well-rated, along with some suggestions for improvement. In comparison, five questions did not achieve as much consensus. A Likert scale from 1 to 5 was used for classification and evaluation, where “1 — Not relevant at all” and “5 — Extremely relevant”. This modified Delph technique allowed the identification of future trends and vectors in Asset Management and Digital Transformation. The Delphi method contributed to the refinement of the questionnaire formulation, serving as an intermediate step in an iterative validation process. The experts' opinions and provided constructive feedback for validating the questions and the overall structure of the questionnaire to be used.

Keywords: Asset Management; Delphi Method; Digital Transformation; Questionnaires.

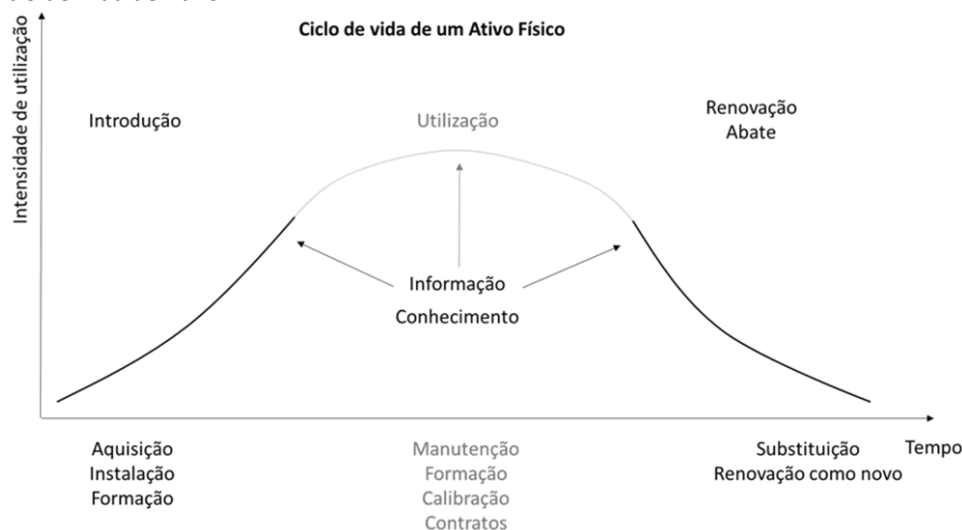
1. Introdução

A gestão de ativos tem como objetivo assegurar que os ativos sejam utilizados da forma mais eficiente possível, com o propósito de obter o máximo benefício para a empresa. Esta gestão representa uma abordagem estratégica que visa maximizar o valor e o desempenho dos ativos ao longo do seu ciclo de vida (Coelho, 2015).

Conforme definido pela norma NP EN 55000 (2016), um ativo é considerado como “um item, coisa ou entidade que tem valor potencial ou real para uma organização”, enquanto a gestão de ativos é descrita como a “atividade coordenada de uma organização para realizar o valor dos ativos”. No entanto, a mesma norma especifica: “Os ativos físicos referem-se geralmente a equipamentos, stocks e propriedades detidas pela organização. São o oposto dos ativos intangíveis, que correspondem a bens não físicos, como arrendamentos, marcas, ativos digitais, direitos de utilização, licenças, direitos de propriedade intelectual, reputação ou acordos”.

O conjunto de normas da família NP EN 55000 surge para responder à necessidade de gerir de forma eficaz o ciclo de vida dos ativos das organizações, assegurando o nível de competitividade sem comprometer a excelência dos produtos/serviços oferecidos. A norma NP EN 55001 propõe uma metodologia para gerir os ativos em conformidade com os objetivos estratégicos da Organização, apoiando as decisões de aquisição, substituição e/ou alienação dos mesmos (Figura 1), em alinhamento com práticas que visam a sustentabilidade ambiental, social e económica dos equipamentos e da própria Organização (Pais et al., 2018 e Pais et al., 2019).

Figura 1: Ciclo de Vida de Ativo.



Fonte: Raposo et al., 2023.

Nas unidades industriais existem diversos ativos, desde os menos importantes até aos mais críticos, sendo que estes últimos, como os equipamentos produtivos, devem assegurar uma disponibilidade e eficiência máximas. Para garantir que esses equipamentos alcancem o seu máximo desempenho, é essencial que sejam acompanhados e analisados de forma contínua ao longo do seu ciclo de vida.

Para Raposo et al. (2023), a análise do ciclo de vida dos ativos é uma ferramenta de grande importância para a gestão de ativos e de grande utilidade aos gestores, designadamente os responsáveis pelas instalações, sistemas e equipamentos industriais. Além disso, trata-se de uma questão essencial no atual clima macroeconómico, sendo a sua assertividade crucial para o sucesso de qualquer investimento empresarial. Raposo et al. (2023) realça a importância da análise de investimento para a tomada de decisões estratégicas em diversas empresas, interligadas com a análise do ciclo de vida do ativo, dentro de uma abordagem estruturante de certificação pela norma NP EN 55001.

A digitalização na indústria e nos diversos processos industriais traz consigo novas perspetivas de melhoria e desenvolvimento. Com o advento das tecnologias da Indústria 4.0, a gestão de ativos tornou-se crucial para integrar um maior nível de digitalização e interconetividade dos ativos, juntamente com os recursos humanos e os processos das organizações (Almeida, 2023). A digitalização dos processos produtivos proporciona maior flexibilidade, produtividade e personalização de produtos, visando minimizar os custos (Petronas, 2021).

Na elaboração de um questionário, por vezes, surge a incerteza quanto à sua formulação correta, à disposição adequada das perguntas, à obtenção dos resultados desejados e à compreensão clara do objetivo pelo público-alvo. Para enfrentar essas questões, existem métodos e técnicas de avaliação de questionários, sendo um deles o método Delphi. Este método consiste na avaliação da relevância das perguntas por especialistas na área.

O presente artigo propõe a utilização do Método Delphi de forma modificada para avaliar um questionário relacionado com a Transformação Digital na Gestão de Ativos, aplicando-o posteriormente à indústria portuguesa. Este trabalho permitirá, no futuro, avaliar os diferentes níveis de maturidade da Gestão de Ativos das empresas industriais portuguesas, utilizando o modelo do Institute of Asset Management (IAM, 2015) e correlacionar os diferentes níveis de maturidade digital dessas mesmas empresas, obtidos por Guimarães et al. (2023).

2. Revisão da Literatura

2.1. Método Delphi

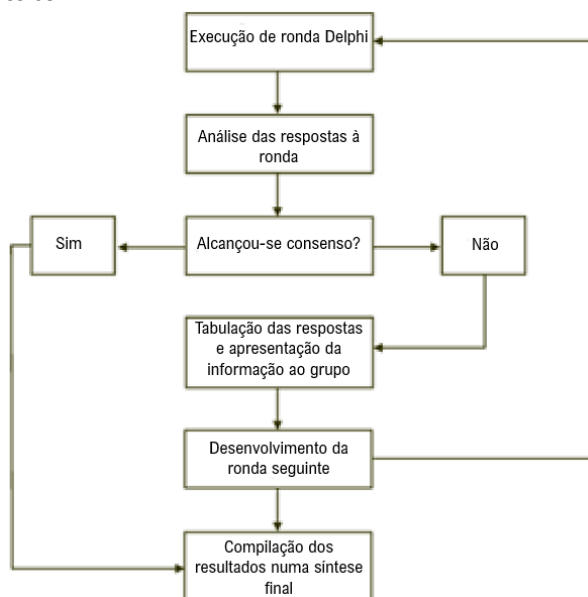
O método Delphi surgiu como resposta às limitações dos métodos tradicionais utilizados para obter a opinião de grupos no desenvolvimento de políticas, sendo fundado na premissa de que as previsões de grupo não estruturadas e presenciais eram menos eficazes do que as previsões estatísticas individuais. O método Delphi original foi desenvolvido durante a década de 1950 por Olaf Helmer, Norman Dalkey e Nicholas Rescher, da Rand Corporation, com o objetivo de prever o impacto da tecnologia na guerra (Trevelyan e Robinson, 2015). O objetivo foi desenvolver uma técnica para obter um conjunto de opiniões que resultassem num consenso mais fiável de um grupo de especialistas (Okoli e Pawlowski, 2004).

O método Delphi pode ser caracterizado como uma técnica utilizada para estruturar um processo de comunicação em grupo, com o objetivo de garantir que a eficácia desse processo permita que um grupo de indivíduos ultrapasse um determinado problema (Okoli e Pawlowski, 2004). Quando utilizado em processos de validação de objetos de estudo, o método consiste na recolha de dados para a construção de um consenso de um grupo de peritos de uma ou várias áreas. Este processo é realizado em várias rondas, com o intuito de avaliar um problema específico ou propostas de resolução que necessitem de apreciação. A participação dos peritos é mantida em anonimato, assim como as suas respostas, permitindo que expressem opiniões pessoais e forneçam feedbacks sem o risco de exposição (Zarili et al., 2021). Okoli e Pawlowski (2004) sugerem que o número ideal de especialistas para a aplicação deste método varia entre 10 e 18, não devendo ultrapassar 30 participantes.



Segundo Zarili et al. (2021), no método Delphi clássico, o número de rondas é determinado pela obtenção de um consenso entre os peritos no final das rondas, através da eliminação ou reformulação de determinadas discordâncias. Este método Delphi é utilizado na realização de questionários, onde cada questionário representa uma ronda distinta, conforme ilustra a Figura 2. Em cada ronda, os peritos respondem a um conjunto de perguntas, classificando as propostas por ordem de importância. Após esta fase, os peritos podem sugerir novas propostas, que serão incluídas na ronda seguinte. Concluída a primeira ronda, os especialistas têm acesso aos resultados consolidados. Realiza-se então uma segunda ronda, na qual os peritos voltam a classificar as propostas, incluindo as originais quanto as novas sugestões. Este processo é repetido até que se atinja um consenso razoável ou se conclua que é impossível alcançar um consenso. O questionário pode iniciar-se com uma lista pré-definida de propostas, ou os peritos podem sugerir propostas relevantes. Na sua forma clássica, as propostas são apresentadas aos peritos, que as ordenam por importância (Lilja et al., 2011; Marques e Freitas, 2018).

Figura 2: Método Delphi Clássico.



Fonte: Adaptado de Moreira (2010).

Este método é considerado uma metodologia adequada para situações em que há falta de acordo, conhecimento incompleto, incerteza ou ausência de evidências sobre o objeto de estudo. Esta técnica não pretende substituir procedimentos estatísticos ou baseados em modelos, mas sim ser utilizada em contextos onde os métodos estatísticos não são práticos ou viáveis (Trevelyan e Robinson, 2015).

2.2. Transformação Digital

A Transformação Digital é caracterizada pelo processo em que as empresas adotam novas tecnologias com o objetivo de aprimorar todos os níveis, como operações, serviços e processos, visando adaptar-se e manter a competitividade. A digitalização dos processos produtivos proporciona maior flexibilidade, produtividade e personalização de produtos com o menor custo possível. Este processo impulsiona o aumento da eficiência, e está também relacionado com a continuidade dos negócios. Para implementar a digitalização dos processos produtivos, é essencial, inicialmente, investir na criação de uma cultura digital nas indústrias. Mesmo com procedimentos automatizados, os operários da unidade industrial ainda precisam operar as máquinas e os sistemas (Petronas, 2021).

O processo de transformação digital consiste no aumento da utilização da robótica, bem como de soluções automatizadas e informatizadas, resultando numa redução de custos, numa melhoria da eficiência e da produtividade, além de facilitar futuras mudanças (Hole et al., 2021).

Composta por uma ampla variedade de conceitos, a transformação digital destaca-se pela utilização da Inteligência Artificial, pelo uso da Internet das Coisas, pela automatização de processos e pela utilização de realidade aumentada, entre outros. Desta forma, ao promover uma melhoria da eficácia nas operações, um aumento da produtividade e uma tomada de decisões mais precisa, torna-se um contributo fundamental para o impulsionamento e crescimento da empresa (Branca et al., 2020; Matyi et al., 2020).

A avaliação do nível de maturidade digital na Indústria 4.0 é uma ferramenta essencial para quantificar e qualificar o nível de preparação das pequenas, médias e grandes empresas para a implementação de tecnologias na sua transformação digital (Guimarães et al., 2023), bem como para a sua preparação na Gestão de Ativos.

2.3. Gestão de Ativos

A Gestão de Ativos tem como objetivo principal otimizar o valor e o desempenho de um determinado ativo, reduzindo os custos associados e maximizando a sua utilização (Gaspar et al., 2022). Esta área é considerada essencial nas empresas que possuam um número significativo de ativos ou ativos de elevado valor. Quando a gestão desses ativos é eficaz, pode resultar numa melhoria do desempenho operacional, numa maior redução de custos e no aumento da eficiência (Cóppola, 2020). A gestão de ativos concentra-se na aplicação de boas-práticas e na gestão técnico-financeira, permitindo decidir quais os ativos necessários para alcançar os objetivos propostos pela organização (Coelho, 2015).

Podem ser considerados ativos, como já mencionado anteriormente: edifícios, máquinas, instalações, veículos, softwares, contratos, infraestruturas, tecnologias de informação, investimentos, entre outros. Estes podem ser agrupados em diferentes grupos, como menciona (Pereira et al., 2023):

- **Ativos físicos:** constituem as estruturas tangíveis e equipamentos essenciais para as operações da organização, incluindo instalações, equipamentos e máquinas, entre outros;
- **Ativos humanos:** representam o capital intelectual da empresa, como conhecimentos, competências, responsabilidades e experiência, entre outros;
- **Ativos financeiros:** abrangem os recursos monetários e patrimoniais disponíveis para a organização, correspondem aos lucros, capital financeiro, ações, dívidas, entre outros;
- **Ativos intangíveis:** são os recursos intangíveis que agregam valor à organização, correspondem à reputação, impacto social, imagem, relações externas, entre outros;
- **Ativos de informação:** são os dados digitais que sustentam as operações e a tomada de decisões da empresa, como as informações corporativas das organizações, as informações dos clientes e as informações sobre o desempenho financeiro da empresa, entre outros.

Em 2008, o IAM (Institute of Asset Management) introduziu uma nova metodologia de avaliação designada por PAM (PAS 55 Assessment Methodology), que consiste num conjunto de perguntas para avaliar o nível de maturidade. Contudo, com o surgimento da norma NP EN 55001 (2016), o IAM reconheceu a necessidade de atualizar esta ferramenta. Assim, foi criada a metodologia de avaliação SAM (Self-Assessment Methodology), que utiliza a PAS 55, em conjunto com a NP EN 55001, para a avaliação da maturidade (João, 2019; Sobral e Tancredo, 2023).

Atualmente, os níveis de maturidade identificados pela SAM, são os seguintes:

- Nível de maturidade 0 — Inocência;
- Nível de maturidade 1 — Consciência;
- Nível de maturidade 2 — Desenvolvimento;
- Nível de maturidade 3 — Competente;
- Superior a 3 — Otimizado e Excelente.

3. Metodologia

3.1. Dados

Os dados recolhidos neste estudo envolveram uma estratégia iterativa de apenas uma ronda, realizada em Portugal entre o período de janeiro e março de 2023. Esta técnica foi concebida para transformar as opiniões de especialistas num consenso de grupo (Hasson et al., 2000; Donohoe et al., 2012; Niederberger e Spranger, 2020).

Esta investigação permitiu desenvolver um modelo de questionário, utilizando a ferramenta Microsoft Excel 2016, composto por 11 perguntas e respetivas opções (ver Apêndice), com o objetivo de analisar de que forma as novas tecnologias estão integradas na gestão de ativos na indústria nacional. Este questionário abrange diversos tópicos e áreas, tendo em consideração a possibilidade de profissionais de diferentes setores dentro da mesma empresa terem perspetivas distintas e, conseqüentemente, fornecerem respostas diferentes ao mesmo tipo de questionário.

As perguntas do questionário são em formato de escolha múltipla, com exceção da primeira, que tem como objetivo identificar a função do profissional que irá responder. As restantes perguntas visam avaliar se a empresa pratica a gestão de ativos, se possui certificação NP EN 55001, e se exploram as perceções sobre os níveis de maturidade e a integração da tecnologia na gestão de ativos.

3.2. Seleção dos Peritos

Para a seleção dos peritos encarregados de analisar o questionário, foram considerados os seguintes critérios: área de especialização, investigação e trabalhos realizados em gestão de ativos e transformação digital, formação académica e setor de atuação. Após uma cuidadosa ponderação e análise de vários candidatos, 25 peritos foram selecionados por exclusão de partes.

Dos peritos escolhidos, 39% possuem doutoramento, enquanto 61% possuem mestrado, abrangendo áreas como Engenharia Mecânica (68%), Engenharia Eletrotécnica (16%), Engenharia Informática (3%) e Engenharia Civil (13%). Estes peritos têm experiência na área e realizaram trabalhos académicos relacionados à gestão de ativos e à transformação digital.

Com o objetivo de obter diferentes opiniões e perspetivas, optou-se por selecionar peritos com atividades no meio industrial (50%), académico (37%) e em associações e laboratórios de pesquisa (13%).

3.3. Aplicação do Método Delphi

Esta técnica oferece uma abordagem sistemática e estruturada para incorporar as perspetivas dos especialistas (ou seja, intervenientes na área de Engenharia e Gestão) (Donohoe et al., 2012; Toronto, 2017), mantendo o anonimato (Hasson et al., 2000; Niederberger e Spranger, 2020; Spranger et al., 2022) e evitando associações ou interações influentes (Toronto, 2017).

A utilização da técnica Delphi tem vantagens que podem superar algumas limitações de outros métodos de pesquisa. Por exemplo, as iterações nas respostas permitem aos membros do painel de especialistas alterar as suas opiniões em rondas subsequentes, e as respostas estatísticas do grupo fornecem um resumo da resposta global do grupo (Keeney et al., 2011).

Procedeu-se à compilação de uma lista de potenciais peritos nas áreas de gestão de ativos e transformação digital. A partir dessa lista, foram selecionados 25 peritos com experiência e atuação nessas áreas específicas. O questionário desenvolvido foi então enviado a esses peritos por e-mail, com o objetivo de solicitar uma análise e feedback detalhado do mesmo.

Dado que a análise deste método é relativamente complexa e demorada para um pequeno questionário, como é o caso, optou-se pela sua modificação, consistindo na realização de apenas uma ronda de avaliação. Assim, em vez de ser solicitado aos peritos que ordenassem as perguntas por ordem de importância, a modificação do método consistiu na sua simplificação, propondo-se apenas que os peritos avaliassem cada uma das perguntas utilizando uma escala de Likert de 1 a 5, sendo “1 — Nada relevante” e “5 — Extremamente relevante”, indicando



a relevância de cada pergunta no contexto do questionário. Comentários e observações adicionais sobre o questionário foram também incluídos. A análise das respostas dos peritos envolveu o cálculo da média e do desvio padrão dos valores de relevância atribuídos às perguntas, permitindo aferir a sua relevância no questionário. Em termos práticos, os peritos receberam a versão inicial do questionário em formato Excel, contendo uma tabela para atribuir uma pontuação de 1 a 5 a cada pergunta, com base na sua relevância para o objetivo principal do questionário. Além disso, foi disponibilizada uma secção dedicada a análises críticas e comentários sobre as perguntas.

Esta técnica, quando utilizada neste formato e aplicada a pequenos questionários, oferece a possibilidade, àqueles que necessitam de uma opinião mais fundamentada na formulação de um questionário, de obter não só a opinião de peritos da área, como também perceber se determinada pergunta deve ou não estar presente no questionário, ou se necessita de alterações.

Após a análise, os peritos enviaram os seus comentários sobre as perguntas do questionário original. Posteriormente, foi criado um ficheiro Excel para compilar e analisar as respostas obtidas dos peritos. Neste processo, foram realizados cálculos como a média das respostas e o desvio padrão, além da elaboração de tabelas e gráficos para uma análise mais aprofundada e fundamentada dos resultados obtidos.

4. Resultados e Discussões

4.1. Análises das respostas pelos Peritos

Após o prazo proposto aos peritos, foi recebido por e-mail o questionário em formato Excel, previamente enviado, já acompanhado da respetiva avaliação e comentários de cada perito. No total, foram obtidas 16 respostas relativas à classificação da relevância de cada pergunta, assim como 18 comentários que abordavam tanto perguntas específicas como considerações gerais sobre o questionário.

Através da recolha e análise de todas as respostas, referentes à avaliação numa escala de 1 a 5 na escala de Likert, calculou-se a média e o desvio padrão. Os resultados estão apresentados na Tabela 1 e Figura 3, onde constam o número de cada pergunta e os valores correspondentes após o tratamento dos dados no Excel.

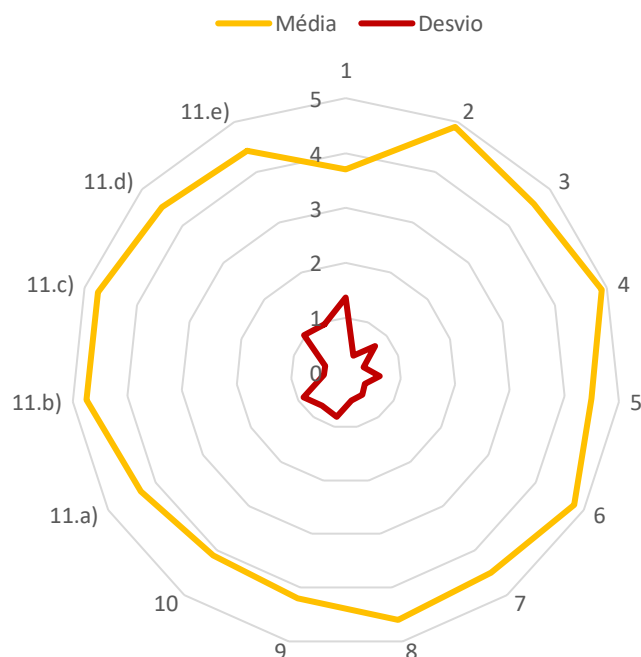
Com base nos dados compilados na Tabela 1, observa-se que a média da relevância das perguntas é superior a 4, com exceção da primeira, que apresenta uma média de 3,7, indicando alguma divergência na identificação da função desempenhada pelos respondentes.

Tabela 1: Respostas dos Peritos.

Pergunta	Média	Desvio
1	3,70	1,37
2	4,90	0,34
3	4,60	0,72
4	4,90	0,34
5	4,50	0,62
6	4,80	0,40
7	4,50	0,50
8	4,60	0,51
9	4,20	0,82
10	4,11	0,74
11.a)	4,31	0,89
11.b)	4,75	0,40
11.c)	4,75	0,40
11.d)	4,50	1,02
11.e)	4,42	0,96



Figura 3: Mapa Radar das Respostas dos Peritos.



A maioria dos peritos não só classificou a relevância das perguntas, mas também forneceu comentários adicionais. Destaca-se que as perguntas 6, 7, 9 e 10 receberam o maior número de comentários, sendo o perito número 13 o que mais contribuiu com comentários às perguntas. Embora seis peritos tenham oferecido um comentário geral sobre o questionário, é relevante mencionar que apenas as perguntas 11b) e 11c) não suscitaram qualquer comentário.

Ao analisar os comentários por pergunta, verifica-se que, em grande parte, as perspectivas e opiniões convergem quanto possíveis melhorias nas questões. Este padrão sugere que o questionário estava inicialmente bem estruturado, sendo que uma única aplicação do método Delphi foi esclarecedora o suficiente. Dada a natureza do questionário, esta versão adaptada do método Delphi revelou-se adequada para a revisão das perguntas, proporcionando uma visão dos especialistas sobre como aprimorá-lo para a aplicação final.

4.2. Estatística de teste

Para realizar a análise estatística, recorreu-se ao software IBM SPSS Statistics 26, optando-se por empregar um método não paramétrico, nomeadamente o teste de Kruskal-Wallis. Este teste é utilizado para comparar duas ou mais amostras independentes e serve como equivalente não paramétrico da ANOVA. Embora a recolha de dados permita uma variedade de análises, este artigo aborda apenas um subconjunto delas, fornecendo um tratamento geral dos dados.

A Tabela 2 resume os resultados do Teste de Kruskal-Wallis. Este teste é frequentemente utilizado na comparação de três ou mais amostras, com o objetivo de verificar se existem diferenças significativas entre elas. Neste contexto, utilizou-se este teste para avaliar se havia alguma relação entre as avaliações dos peritos e o setor em que estes atuam (meio Académico, Indústria e Associação/Laboratório).

Após a análise do Teste de Kruskal-Wallis, não foram encontradas diferenças significativas entre os peritos dos diferentes setores atuantes, nomeadamente (industrial, académico, associações e laboratórios de pesquisa) em relação ao nível de relevância atribuído a cada pergunta no questionário ($p > 0,05$), possivelmente devido ao reduzido número de amostras. A única exceção foi uma discrepância mais notória nos valores de relevância atribuídos pelos peritos às perguntas 4, 5 e 7, com os valores de 3,000, 3,813 e 4,600, respetivamente.



Tabela 2: Resultados do teste^{a,b} Kruskal-Wallis.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11.a	11.b	11.c	11.d	11.e
H de))))	
Kruskal-Wallis	2,14	1,28	2,25	3,00	3,81	1,76	4,600	0,14	0,99	1,69	0,95	0,53	0,53	0,64	0,64
df	4	6	0	0	3	9		3	9	8	3	8	8	3	3
Significância Sig.	0,34	0,52	0,32	0,22	0,14	0,41	0,100	0,93	0,60	0,42	0,62	0,76	0,76	0,72	0,72
	2	6	5	3	9	3	*	1	7	8	1	4	4	5	5

a. Teste Kruskal Wallis. *p<0.1 **p<0.05 ***p<0.1

b. Variável de Agrupamento: Formação Acadêmica.

5. Discussão

A modificação do método Delphi para aplicação num questionário sobre Transformação Digital na Gestão de Ativos trouxe vantagens e desafios que merecem reflexão. A decisão de realizar apenas uma ronda de avaliação revelou-se benéfica em termos de simplicidade e eficiência do processo, permitindo uma rápida recolha de dados e uma resposta mais célere dos especialistas, com uma taxa de resposta de 72%. A utilização de uma escala de Likert de 1 a 5 facilitou a quantificação da relevância das perguntas, possibilitando uma análise estatística robusta. Além disso, os comentários qualitativos fornecidos pelos especialistas ofereceram informações valiosas para a melhoria das perguntas e do questionário como um todo. As perguntas que receberam as melhores classificações (média superior a 4) indicam que os tópicos abordados eram pertinentes e bem formulados, reforçando a validade do questionário.

No entanto, o número limitado de rondas também restringiu a profundidade da análise. Num método Delphi tradicional, múltiplas rondas permitem um refinamento contínuo das perguntas e uma maior oportunidade para os especialistas reverem e ajustarem as suas respostas. Algumas discrepâncias significativas nas avaliações, especialmente nas perguntas 6, 7, 9 e 10, sugerem que estas áreas poderiam ser mais suscetíveis a divergências ou apresentarem maior complexidade. A análise e a integração dos comentários qualitativos requerem uma abordagem cuidadosa, para garantir que todas as sugestões e críticas sejam devidamente consideradas, o que pode ser um desafio.

6. Conclusão

Com o progresso tecnológico, novos temas de estudo têm emergido, como a digitalização, que se integra cada vez mais tanto na vida quotidiana das pessoas como no meio industrial. Outro tema amplamente debatido atualmente é a gestão de ativos, onde constantemente surgem novas formas de gestão e controlo.

A metodologia utilizada, uma adaptação do método Delphi, revelou-se plenamente justificada pela resposta e interação dos peritos quando solicitados a avaliar e comentar sobre o questionário. A simplificação e adaptação do método alinharam-se com o propósito do questionário, que visava formular um conjunto breve de perguntas simples e diretas, permitindo de forma rápida e sucinta obter uma perspetiva clara sobre a interação entre a gestão de ativos e a digitalização, bem como sobre as tendências e o futuro destes temas nas empresas industriais.

O estudo permitiu identificar as perguntas consideradas mais relevantes na opinião dos peritos. Notavelmente, a pergunta número 2 (A empresa tem implementado um sistema de gestão de ativos?) e a pergunta 4 (Qual o nível de maturidade em que a empresa se encontra em relação à gestão de ativos?) destacaram-se como as mais significativas, segundo a opinião dos peritos. Por fim, utilizando o teste H de Kruskal-Wallis, concluiu-se que não existe uma relação entre o setor em que os peritos atuam e as suas respostas ao questionário.

O trabalho também sugeriu a aplicação de uma adaptação dos modelos de níveis de maturidade digital para avaliar a sua correlação e interação com os meios industriais. Esta abordagem resultou numa análise com resultados bastante interessantes e motivadores para investigações futuras. Isso permitirá que os autores

avancem com um questionário devidamente aprimorado, destinado a um amplo número de empresas industriais em Portugal, possibilitando ainda a replicação deste estudo em organizações de outros países.

A modificação do método Delphi demonstrou ser uma abordagem válida para a criação e validação de um questionário sobre Transformação Digital na Gestão de Ativos. No entanto, para futuros estudos, pode ser benéfico considerar um equilíbrio entre a eficiência de uma única ronda e a profundidade de múltiplas rondas. Adicionalmente, a implementação de técnicas de análise qualitativa mais sofisticadas poderá ajudar a integrar de forma mais eficaz os comentários dos especialistas.

Além disso, a diversidade de setores e perfis dos especialistas envolvidos contribuiu para uma visão abrangente, contudo, futuras pesquisas poderiam explorar a segmentação mais detalhada das respostas por setor, a fim de identificar variações específicas. A continuidade deste trabalho permitirá a aplicação prática do questionário a um maior número de empresas, proporcionando uma compreensão mais ampla das tendências e desafios na Transformação Digital e na Gestão de Ativos.

Agradecimentos

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

Referências

- Almeida, N. (2023). Fundamentos e perspetivas de inovação na gestão de ativos de engenharia. *RAE-Revista de Ativos de Engenharia*, 1(1), 05–16.
- Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Murri, M. M., Streppa, E., & Schröder, A. J. (2020). The challenge of digitalization in the steel sector. *Metals*, 10(2), 288.
- Coelho, R. W. S. (2015). Aplicação do conceito de gestão de ativos físicos numa estação elevatória de águas [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. Repositório Científico. <http://hdl.handle.net/10400.21/5533>
- Cóppola, G. (2020, julho 15). Gestão de ativos: O que é e como fazer na sua empresa? *Rabbot | Automatize sua Gestão de Frotas*. <https://rabbot.co/blog/gestao-de-ativos/>
- Donohoe, H., Stellefson, M., & Tennant, B. (2012). Advantages and limitations of the e-Delphi technique: Implications for health education researchers. *American Journal of Health Education*, 43(1), 38–46.
- Gaspar, D. A. E. M. M., Reguenga, D., Almeida, N., & Sobral, J. (2022). A manutenção na Gestão de ativos. In *Manual de manutenção em edificações: Estudos, técnicas e aplicações* (1.ª ed., pp. 155–174).
- Guimarães, A., Reis, P., & Charrua-Santos, F. (2023). Industry 4.0-Assessment of digital readiness of manufacturing companies in Portugal. In *2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 0557–0561). IEEE.
- Hasson, F., Keeney, S., & McKenna, H. (2000). Research guidelines for the Delphi survey technique. *Journal of Advanced Nursing*, 32(4), 1008–1015.
- Hole, G., Hole, A. S., & McFalone-Shaw, I. (2021). Digitalization in pharmaceutical industry: What to focus on under the digital implementation process? *International Journal of Pharmaceutics: X*, 3, 100095.
- IAM. (2015). *Institute Asset Management—An Anatomy* (Vol. 3). The Institute Asset Management.
- NP ISO 55000. (2016). *Gestão de ativos. Visão geral, princípios e terminologia*. Instituto Português da Qualidade.
- NP ISO 55001. (2016). *Gestão de ativos. Sistemas de gestão. Requisitos*. Instituto Português da Qualidade.

- João, S. M. C. (2019). Metodologia BIM aplicada à gestão de ativos [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. Repositório Científico. <http://hdl.handle.net/10400.21/10200>
- Keeney, S., McKenna, H. A., & Hasson, F. (2011). *The Delphi technique in nursing and health research*. John Wiley & Sons.
- Lilja, K. K., Laakso, K., & Palomäki, J. (2011). Using the Delphi method. In *2011 Proceedings of PICMET'11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)* (pp. 1–10). IEEE.
- Marques, J. B. V., & Freitas, D. D. (2018). Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-Posições*, 29, 389–415.
- Matyi, H., Veres, P., Bányai, T., Tamás, P., & Demin, V. (2020). Digitalization in Industry 4.0: The role of mobile devices. *Journal of Production Engineering*, 75–78.
- Moreira, M. D. C. D. A. P. (2010). O paradoxo em tecnologias de saúde: da racionalidade paramétrica à racionalidade estratégica [Dissertação de mestrado, Instituto Universitário de Lisboa]. Repositório Científico. <https://www.iscte-iul.pt/tese/2923>
- Niederberger, M., & Spranger, J. (2020). Delphi technique in health sciences: A map. *Frontiers in Public Health*, 8, 561103.
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15–29.
- Pais, E., Raposo, H., Meireles, A., & Farinha, J. T. (2018). ISO 55001 - A strategic tool for the Circular Economy - Diagnosis of the organization's state. In *Proceedings of Maintenance, Performance, Measurement and Management Conference (MPMM 2018)*. Coimbra, Portugal.
- Pais, E., Raposo, H., Meireles, A., & Farinha, J. T. (2019). ISO 55001 — A strategic tool for the Circular Economy — Diagnosis of the organization's state. *Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 1, 89–108.
- Pereira, J., Raposo, H., Farinha, J. T., & de-Almeida-e-Pais, J. E. (2023). Physical assets life cycle analysis in a food industry company-case study. *Archives of Food and Nutritional Science*, 7(1), 012–029.
- Petronas. (2021). Digitalização de processos produtivos na indústria: Como implementar? *Inovação Industrial*. <https://inovacaointustrial.com.br/digitalizacao-de-processos-produtivos-na-industria-como-implementar/>
- Raposo, H., Farinha, J. T., & Pais. (2023). Modelos econométricos para análise do ciclo de vida de ativos físicos, 1.ª, 2.ª e 3.ª Parte. *Revista Manutenção*, n.º M 155, 156/157 e 158, ISSN 0870-0702.
- Sobral, J., & Tancredo, F. (2023). Desenvolvimento e aplicação de metodologia de avaliação da maturidade em gestão de ativos. *RAE — Revista de Ativos de Engenharia*, 1(2), 01–15.
- Spranger, J., Homberg, A., Sonnberger, M., & Niederberger, M. (2022). Reporting guidelines for Delphi techniques in health sciences: A methodological review. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 172, 1–11.
- Tancredo, F. V. P. (2018). Modelo para determinação da maturidade de uma organização na gestão de ativos físicos [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa]. Repositório Científico. <http://hdl.handle.net/10400.21/8841>
- Toronto, C. (2017). Considerations when conducting e-Delphi research: A case study. *Nurse Researcher*, 25(1).
- Trevelyan, E. G., & Robinson, N. (2015). Delphi methodology in health research: How to do it? *European Journal of Integrative Medicine*, 7(4), 423–428.



Zarili, T. F. T., Castanheira, E. R. L., Nunes, L. O., Sanine, P. R., Carrapato, J. F. L., Machado, D. F., ... & Nemes, M. I. B. (2021). Técnica Delphi no processo de validação do Questionário de Avaliação da Atenção Básica (QualiAB) para aplicação nacional. *Saúde e Sociedade, 30*, e190505.

Apêndice

1 — Qual a sua função na empresa?

2 — A empresa tem implementado um sistema de gestão de ativos?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Sim
- Não

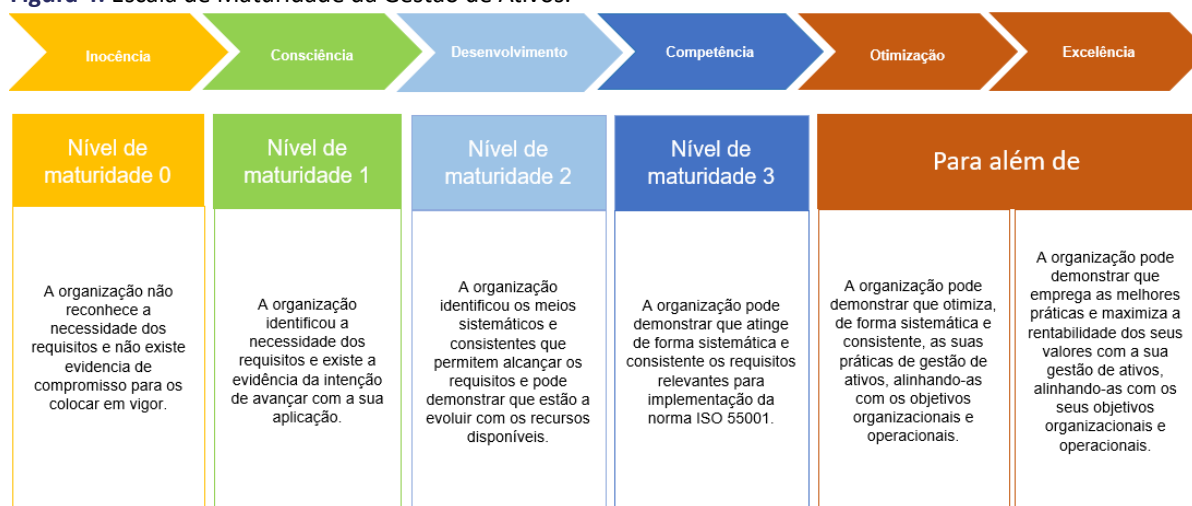
3 — Esta empresa é certificada pela norma ISO 55001?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Sim
- Não

4 — Qual o Nível de maturidade em que a empresa se encontra em relação à gestão de ativos?

Figura 4: Escala de Maturidade da Gestão de Ativos.



Fonte: Adaptado de IAM, 2015; Tancredo, 2018.

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Nível 0 — Inocência
- Nível 1 — Consciência
- Nível 2 — Desenvolvimento
- Nível 3 — Competência
- Nível 4 — Otimização
- Nível 5 — Excelência

5 — A empresa utiliza algum software para a gestão de Ativos?

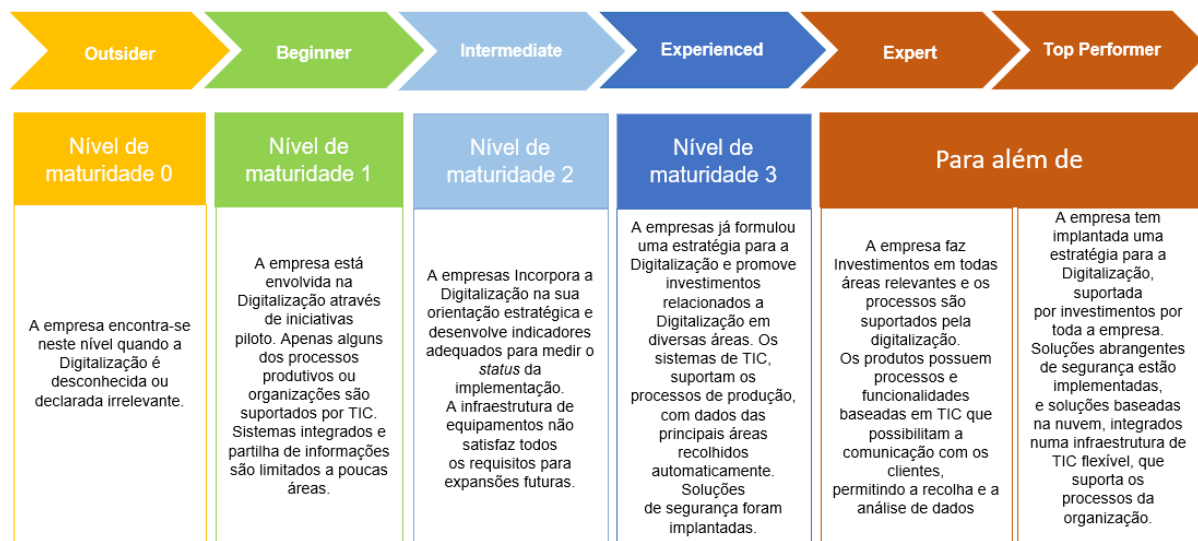
Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Sim
- Não



6 — Qual o nível de maturidade de digitalização da empresa?

Figura 5: Escala de Maturidade da Digitalização.



Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Nível 0 — Outsider
- Nível 1 — Beginner
- Nível 2 — Intermediate
- Nível 3 — Experienced
- Nível 4 — Expert
- Nível 5 — Top Performer

7 — Qual a perspetiva da empresa na transformação digital?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- A: Investimento previsto nos próximos tempos
- B: Manter e dar continuidade ao sistema atual
- C: Processo de implementação de transformação digital em curso em um ou mais setores da empresa
- D: O tema está a ser estudado

8 — Qual a perspetiva da empresa na gestão de Ativos?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- A: Investimento previsto nos próximos tempos
- B: Manter e dar continuidade ao sistema atual
- C: Processo de implementação de gestão de Ativos em curso em um ou mais setores da empresa
- D: O tema está a ser estudado

9 — Que impacto têm os dados na gestão dos Ativos?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- 0 — Nada importante
- 5 — Muito importante



10 — A sua empresa tem um sistema de informação na gestão do ciclo de vida dos ativos?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

- Sim
- Não

11 — Tendo em conta a gestão de ativos, que aspetos na área digital lhe parecem relevantes?

Escolha a opção que se adequa à sua empresa:

a) Uso de Softwares

- 0 — Nada Relevante
- 5 — Extremamente Relevante

b) Sensorização dos equipamentos/linhas de produção/fábricas

- 0 — Nada Relevante
- 5 — Extremamente Relevante

c) Digitalização dos processos administrativos/Workflow

- 0 — Nada Relevante
- 5 — Extremamente Relevante

d) Aplicações de novas tecnologias (realidade aumentada, digital twin...)

- 0 — Nada Relevante
- 5 — Extremamente Relevante

e) Uso de ferramentas de AI

- 0 — Nada Relevante
- 5 — Extremamente Relevante

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da *RAE — Revista de Ativos de Engenharia* é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

Implementación de un plan de gestión de activos según la norma ISO 55001 en la Central de Generación Eléctrica Colmito

Implementation of an asset management plan according to ISO 55001 at the Colmito Power Generation Plant

[10.29073/rae.v2i2.913](#)

Recebido: 29 de maio de 2024.

Aprovado: 12 de setembro de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a 1: Carlos Parra, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, carlos.parram@usm.cl.

Autor/a 2: Carlos Baldi, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, carlos.baldi@usm.cl.

Autor/a 3: Cristian Cuadra, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, cristian.cuadra@usm.cl.

Autor/a 4: Juana Araya, Inkia Energy, Chile, juan.araya@inkiaenergy.com.

Autor/a 5: José Nuñez, Inkia Energy, Chile, jose.nunez@inkiaenergy.com.

Autor/a 6: César Ulloa, Inkia Energy, Chile, cesar.ulloa@inkiaenergy.com.

Autor/a 7: Vicente González-Prida , Universidad de Sevilla, Chile, vgonzalezprida@us.es.

Resumo

El artículo propuesto, describe el proceso general de implementación del Plan de Gestión de Activos bajo el enfoque de la norma NCh-ISO 55001 para la Central de Generación Eléctrica Colmito (Chile), que tiene como finalidad, mejorar la calidad de servicio, reduciendo la indisponibilidad por averías, optimizando la operatividad y alargando la vida útil de los activos, adaptándose a la legislación vigente y cumpliendo con los objetivos y metas definidos en la gestión de activos, dando cumplimiento al Decreto Supremo 109, de 2017, del ministerio de energía, reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica, específicamente, el Pliego Técnico Normativo RPTD N°17 que establece los requisitos del SGIE (Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas), Chile.

En la primera parte, se desarrolla el contexto operacional de la Central de Generación Eléctrica Colmito y el marco regulatorio del mercado eléctrico con el objetivo de brindar un entendimiento de la organización y de cómo interactúa con los diferentes entes que tienen una participación en el mercado. También, se presentan los detalles de la herramienta de diagnóstico que se utilizó para evaluar los requerimientos exigidos por la norma de Gestión de Activos NCh-ISO 55001 (herramienta de referencia desarrollada por el IAM: Institute of Asset Management) y los resultados del nivel de madurez que tiene la Central de Generación Eléctrica Colmito con respecto a los requerimientos de la norma NCh-ISO 55001.

Finalmente, se describen las directrices en la elaboración y puesta en marcha del Sistema de Gestión Activos para la Central de Generación Eléctrica Colmito y los procesos de planificación, apoyo, operación, evaluación del desempeño y mejora que se proponen para consolidar el PGEA (Plan de Gestión Estratégico de Gestión de Activos), con el objetivo de dar cumplimiento a los ítems del 4 al 10 de la norma NCh-ISO 55001, para minimizar los riesgos operacionales y maximizar la rentabilidad de los activos de la de la Central Colmito a lo largo de todo su ciclo de vida.

Palavras-Chave: Activos; Gestión; Mantenimiento; Riesgos.

Abstract

The proposed article describes the general process of implementing an Asset Management Plan following the NCh-ISO 55001 standard for the Colmito Power Generation Plant in Chile. Its aim is to improve service quality by reducing downtime due to faults, optimizing operations, and extending the lifespan of assets. This

implementation aligns with current legislation and meets the defined objectives and goals in asset management, in compliance with Supreme Decree 109 of 2017 from the Ministry of Energy. This decree regulates the safety of electrical installations for production, transportation, provision of complementary services, energy storage systems, and distribution of electrical energy, specifically referring to the Normative Technical Specification RPTD N°17, which establishes the requirements of the SGIIE (Integrity Management System for Electrical Installations) in Chile.

In the first part, the operational context of the Colmito Power Generation Plant and the regulatory framework of the electrical market are developed with the aim of providing an understanding of the organization and how it interacts with the various entities involved in the market. Additionally, details are presented about the diagnostic tool used to assess the requirements stipulated by the Asset Management standard NCh-ISO 55001 (a reference tool developed by the IAM: Institute of Asset Management). The article also includes the results of the maturity level assessment of the Colmito Power Generation Plant concerning the requirements of the NCh-ISO 55001 standard.

Finally, the article describes the guidelines for the development and implementation of the Asset Management System for the Colmito Power Generation Plant. It outlines the planning, support, operation, performance evaluation, and improvement processes proposed to consolidate the Asset Management Strategic Plan (PGEA). The goal is to comply with items 4 to 10 of the NCh-ISO 55001 standard in order to minimize operational risks and maximize the profitability of the assets of the Colmito Power Generation Plant throughout their entire lifecycle.

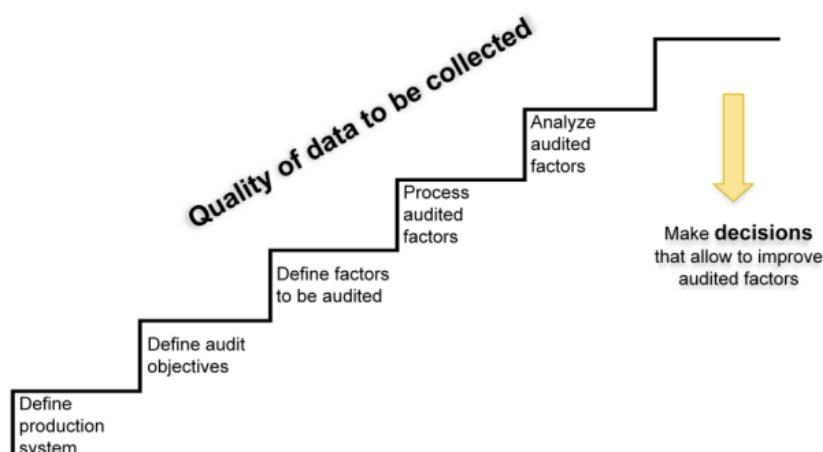
Keywords: Asset; Maintenance; Management; Risk.

1. Introducción

La aplicación de una auditoría requiere del desarrollo de diversas etapas, manteniendo una secuencia lógica, en la figura 1 se presenta el proceso de una implementación básica de auditoría [1], [2], [3]. La primera etapa es determinar el sistema de producción que se implementará, posteriormente se definen los objetivos del proceso, esta etapa es vital para el éxito del proceso, ya que, los aspectos relevantes de la auditoría de gestión de activo más importantes en el desarrollo de una auditoría deben estar relacionado con la definición de los objetivos a auditar. A continuación, a modo de ejemplo, se citan algunos de los objetivos clave más comunes en las áreas de mantenimiento y fiabilidad [2, 4]:

- Garantizar valores aceptables de riesgo operacional de los activos de producción, reduciendo la probabilidad de fallos (mejorando la fiabilidad), y/o minimizando las consecuencias de los fallos en las operaciones, la seguridad y el medio ambiente.
- Recuperar rápida y eficazmente el funcionamiento de los sistemas, una vez que se ha producido la interrupción de la función (mejorando el mantenimiento).
- Optimizar la continuidad operacional (mejorando la disponibilidad), para maximizar el rendimiento económico de los activos a lo largo de su ciclo de vida (mejorando el nivel de los costos).
- Ampliar los canales de comunicación entre cliente y fabricante, y también entre los diferentes departamentos de la empresa, asegurando que están abiertos para transmitir incidencias, decisiones, órdenes, etc., con objeto de asegurar un servicio de alta calidad al usuario.

Figura 1: Procedimiento general para la implantación de una auditoría.



Definido los objetivos de la auditoría a implementar, se debe seleccionar el área que genera la mayor oportunidad de ser evaluada. Bajo esta selección, se determinan, procesan y analizan los factores a ser evaluados dentro de la auditoría de mantenimiento, los factores a considerar son los siguientes [5]:

- Recursos Gerenciales.
- Sistemas de manejo de la información (GMAO).
- Tecnologías aplicadas al mantenimiento preventivo y predictivo.
- Procesos de planificación y estimación.
- Control de calidad en mantenimiento.
- Procesos de soporte (logística, inventarios).
- Planificación de paradas de plantas.
- Integración entre Mantenimiento y Producción.
- Metodologías de Ingeniería de Fiabilidad.
- Aspectos de motivación y comunicación.
- Servicio postventa, etc.

Existen diversos modelos de auditoría en la industria, estos tienen diversos enfoques. En la literatura, las auditorías se han aplicado con éxito para medir diferentes características, componentes y tareas relacionadas con el campo de la gestión de activos [6].

El proceso de auditoría, “proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias de la auditoría y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los criterios de auditoría” [7]. En referencia al Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases que se observa en la figura 2 [2], [8], [9], en la fase 1 del modelo se enfoca en la definición de objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento, y se alinea directamente en la aplicación de la auditoría AMS-ISO 55001, debido a que la organización debe diagnosticar en qué nivel de madurez se encuentra. De esta manera conocer las brechas y preparar un plan de mejora. Por otro lado, es bien sabido que las consecuencias de un mantenimiento deficiente pueden resultar en fallos de procesos, riesgos para la vida de los activos, entre otros [15].

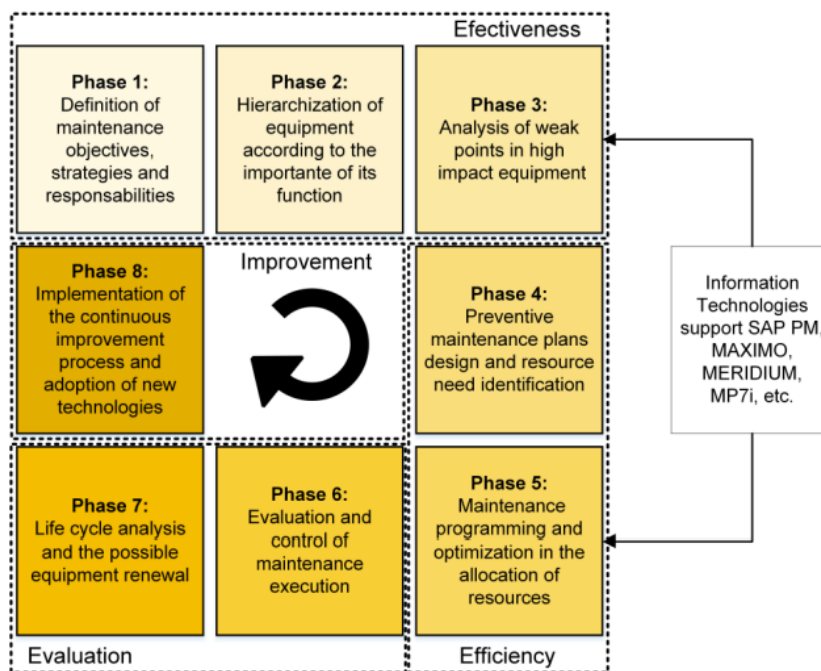
La eficacia de un proceso de gestión de mantenimiento se puede evaluar y medir, analizando muchos factores asociados a los aspectos claves del mantenimiento, de la fiabilidad y del impacto de estos sobre el proceso integral de la gestión de activos [10].

En definitiva, los atributos esenciales que determina la selección de la auditoría AMS-ISO 55001 para este artículo de aplicación, son los siguientes [2]:

- Deben ser capaces de permitir que se tomen decisiones con datos cualitativos y/o datos cuantitativos.
- Deben ser capaces de evaluar los factores que impliquen el mayor valor agregado al negocio.

- Deben combinar el lenguaje económico (finanzas) con el lenguaje técnico (ingeniería).
- Su aplicación ha de ser rápida y de fácil implantación.
- Las complicaciones matemáticas han de manejarlas los ordenadores.
- Los resultados del análisis de los factores auditados deben generar acciones que permitan conseguir los objetivos estratégicos del negocio y maximizar la rentabilidad de los activos de producción.

Figura 2: Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).



2. Técnica de Auditoría: AMS-ISO 55001 (ASSET MANAGEMENT SURVEY-ISO 55001)

La metodología de diagnóstico AMS-ISO 55001 [10], [11], [12], permite evaluar de forma eficaz los requerimientos de la ISO 55001 y determinar las desviaciones (brechas) que tiene la organización con respecto a los requerimientos de la norma. A continuación, se citan, los requerimientos certificables de la norma ISO 55001 [13]:

4. Contexto de la Organización

- 4.1. Comprender la organización y su contexto
- 4.2. Comprender las necesidades y expectativas de las partes interesadas
- 4.3. Determinar el alcance del sistema de gestión de activos
- 4.4. Sistema de Gestión de Activos

5. Liderazgo

- 5.1. Liderazgo y compromiso
- 5.2. Política
- 5.3. Papeles (Roles) organizacionales, responsabilidades y autoridades

6. Planificación

- 6.1. Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades en el sistema de gestión de activos
- 6.2. Objetivos de la gestión de activos y planificación para lograrlos

7. Soporte

- 7.1. Recursos
- 7.2. Competencia
- 7.3. Concientización
- 7.4. Comunicación



- 7.5. Requisitos de información
- 7.6. Información documentada
- 8. Operación
 - 8.1. Planificación y control operacionales
 - 8.2. Gestión de cambio
 - 8.3. Outsourcing (Tercerización)
- 9. Evaluación de desempeño
 - 9.1. Seguimiento, medición, análisis y evaluación
 - 9.2. Auditoría interna
 - 9.3. Revisión de la gestión
- 10. Mejora
 - 10.1. No conformidad y acción correctiva
 - 10.2. Acción preventiva
 - 10.3. Mejora continua

El nivel de madurez que utiliza este artículo está en base a “Asset Management Maturity Scale and Guidance” del IAM (junio 2016). Esta escala clasifica los requisitos de NCh-ISO 55001 que determina la escala de madurez del IAM, en la tabla 1 se describe cada nivel.

Posteriormente, se selecciona un grupo de personas (mínimo de 6 personas) de las distintas áreas de la organización para que evalúen de forma objetiva las preguntas de la auditoría AMS-ISO 55001. La evaluación se realiza a dos niveles:

Escala de existencia del requerimiento

1. Proceso muy deficiente
2. Proceso debajo del promedio
3. Proceso estándar promedio
4. Proceso con muy buenas prácticas
5. Proceso a nivel de Clase Mundial

Escala de aplicación del requerimiento

- 20% Proceso muy deficiente
- 40% Proceso debajo del promedio
- 60% Proceso estándar promedio
- 80% Proceso con muy buenas prácticas
- 100% Proceso a nivel de Clase Mundial

Tabla 1: Escala de madurez de gestión activos (Metodología IAM: Institute of Asset Management).

Descripción	Definición	Características de Madurez
0 Inocente	La organización no ha reconocido la necesidad de este requisito y/o no hay evidencia de compromiso para ponerlo en práctica.	
1 Consciente	La organización ha identificado la necesidad de este requisito y existe evidencia de intentos para progresar en ello.	Las propuestas están en desarrollo y algunos requerimientos pueden estar implementados. Los procesos están débilmente controlados, son reactivos y su desempeño es impredecible.



2	Desarrollando	La organización ha identificado los medios para alcanzar sistemática y consistentemente los requisitos y puede demostrar que se está progresando con planes creíbles y con recursos establecidos.	Los procesos se planifican, documentan (cuando es necesario), aplican y controlan a nivel local o dentro de los departamentos funcionales; a menudo de manera reactiva, pero podrían lograr los resultados esperados de manera repetitiva. Los procesos están insuficientemente integrados, con una coherencia o coordinación limitada en la organización.
3	Competente	La organización puede demostrar que cumple de manera sistemática y consistente con los requisitos establecidos en NCh- ISO 55001.	Este nivel involucra un sistema de gestión de activos documentado formalmente e incorporado en la organización. Se mide, revisa y mejora continuamente el desempeño de los elementos del sistema de gestión de activos con el fin de alcanzar los objetivos de la gestión de activos.
4	Optimizado	La organización puede demostrar que está optimizando sistemática y consistentemente su práctica de gestión de activos, alineada con los objetivos corporativos y su contexto operativo.	Las características de este nivel incluyen las siguientes: Monitoreo y evaluación del desempeño; resolución del balance entre metas competitivas en una estructura ágil de toma de decisiones; innovación es un estilo de vida, la mejora continua puede demostrarse ampliamente con evidencia de resultados; el referenciamiento es empleado para identificar oportunidades de mejora adicionales y el sistema de gestión es más integrado y efectivo.
5	Excelente	La organización puede demostrar que emplea prácticas de punta y que alcanza el máximo valor con la gestión de sus activos, alineadas con los objetivos corporativos y el contexto operativo.	Este es un estado dinámico y sensible al contexto, por lo que la evidencia debe incluir la demostración de la conciencia de las posiciones de evaluación comparativa frente a las mejores organizaciones similares en su clase y que, tanto en las prácticas de gestión de activos como en los resultados de gestión de activos (generación de valor) no hay mejoras conocidas que aún no se hayan implementado.

3. Caso de Estúdio: Inkia Energy Central Colmito

El decreto DS109/2017 [16] del Ministerio de Energía “Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica” establece la obligatoriedad para las empresas de generación de contar con un Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas (SGIIE). En su Pliego Técnico Normativo RPTD N° 17 [17], se establecen los requisitos del SGIIE, tomando como base la norma ISO 55001:2014 “Gestión de Activos”.

Los requisitos del SGIIE buscan maximizar las condiciones de seguridad, continuidad y calidad de suministro eléctrico de las instalaciones, por medio de la prevención de la ocurrencia de accidentes e incidentes, y en caso de que éstos ocurran, la minimización de sus consecuencias.



En caso de que Central Colmito no cumpliera con los requerimientos del pliego técnico RPTD N°17 en las fechas indicadas para cada proceso, se expone a ser sancionada según lo indicado en el Decreto Supremo N.º 119 [18], Reglamento de Sanciones en materia de Electricidad y Combustibles.

La metodología utilizada comprendió el desarrollo de un taller inicial de introducción a los requisitos de la NCh-ISO 55001. La revisión de la documentación presente en los sistemas de gestión existentes en los procesos de generación, transmisión, distribución y la realización de reuniones con el equipo de Inkia Energy.

Según se indica en el artículo 4°. Las sanciones que podrán aplicarse, con sujeción a esta reglamentación y sin perjuicio de las otras establecidas específicamente en la Ley 20.936 [19] o en otros cuerpos legales o reglamentarios, son las siguientes:

- Censura: consiste en una reprensión formal, dirigida por escrito al infractor, en la cual, junto con notificarle que se encuentra en situación ilegal o antirreglamentaria, se le advierte de una sanción mayor en caso de persistir la infracción.
- Multa: es una sanción pecuniaria que se aplica al infractor de acuerdo a los montos establecidos en la ley, esto es, de una a quinientas unidades tributarias mensuales.
- En el caso de tratarse de infracciones reiteradas de la misma naturaleza, podrá aplicarse una multa de hasta tres veces el monto máximo señalado. Para estos efectos se entenderá que hay reiteración cuando se cometan dos o más infracciones entre las cuales no medie un período superior a doce meses.
- Suspensión temporal o definitiva de autorizaciones o licencias: Priva al infractor, temporal o definitivamente, de los derechos que ellas otorgan o comprenden.
- Comiso: consiste en la pérdida de las especies objeto de la infracción.
- Clausura: consiste en el cierre temporal o definitivo de la fábrica, establecimiento comercial o depósito en que se sorprenda una infracción. La clausura temporal podrá serlo por tiempo determinado o bien por el período necesario para corregir la contravención.
- Caducidad de la concesión provisional: priva al titular de ella de todos los derechos inherentes.
- Desconexión de instalaciones: consiste en separar la instalación de que se trata del sistema de suministro de energía eléctrica, gas o combustibles al que se encuentra conectada.

La aplicación de la auditoría utilizada como referencia fue la NCh-ISO 55001-2014 Gestión de Activos y la escala de evaluación del IAM, en la empresa Inkia Energy contrato el servicio de Task Energy, en la Central Colmito. El diagnóstico se desarrolló durante el periodo de octubre a noviembre del año 2020, para determinar el nivel de madurez del sistema de gestión de activos, los participantes del proceso de auditoría fueron 11 integrantes de la organización.

El resultado obtenido de esta evaluación determina que Central Colmito posee un nivel de madurez del SGIIE de 1,26 lo cual se traduce en un sistema “Consciente” según la escala de evaluación IAM.

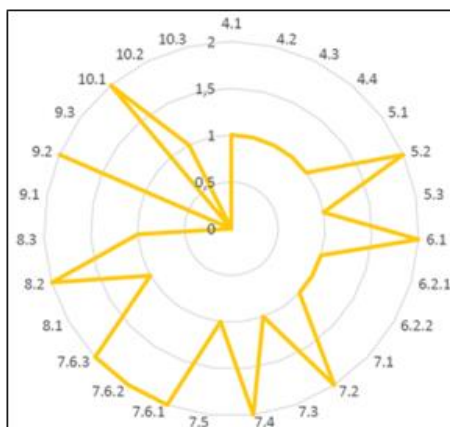
Cuadro 1: Resumen de Resultados Inkia Energy — Central Colmito.

RESUMEN DE RESULTADOS INKIA ENERGY — CENTRAL COLMITO		
Numeral	Nombre del requisito	Nivel de madurez
4.1	Comprensión de la organización y su contexto	1
4.2	Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	1
4.3	Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	1
4.4	Sistema de gestión	1
5.1	Liderazgo y compromiso	1
5.2	Política	2
5.3	Funciones organizacionales, responsabilidades y autoridad	1
6.1	Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades para el sistema de gestión de activos	2



6.2.1	Objetivos de la gestión de activos	1
6.2.2	Planificación para lograr los objetivos de la gestión de activos	1
7.1	Recursos	1
7.2	Competencia	2
7.3	Toma de conciencia	1
7.4	Comunicación	2
7.5	Requerimientos de información	1
7.6.1	Información documentada — generalidades	2
7.6.2	Información documentada — creación y actualización	2
7.6.3	Información documentada — control de información documentada	2
8.1	Planificación y control operacional	1
8.2	Gestión del cambio	2
8.3	Subcontratación	1
9.1	Monitoreo, medición, análisis y evaluación	0
9.2	Auditoría	2
9.3	Revisión por la dirección	0
10.1	No conformidad y acción correctiva	2
10.2	Acción preventiva	1
10.3	Mejora continua	0
Nivel de Madurez de la empresa		1,26

Figura 3: Gráfico radar con nivel de madurez.



3.1. Plan de mejora puntos débiles

Dentro de los requisitos más débiles determinados por el proceso de auditoría, se encuentran, Monitoreo, medición, análisis y evaluación (9.1), Revisión por la dirección (9.3) y Mejora continua (10.3), estos se encuentran en un nivel de madurez Inocente, se identificó que la organización no posee evidencia de compromiso para ponerlo en práctica.

Después del proceso de auditoría la organización determinó los siguientes planes de acción de mejora (en este artículo se expondrán solo los planes de mejora para los requisitos en nivel de Inocente):

- **Requisito 9.1:** la organización desarrollará el registro de seguimiento de los objetivos y metas del SGIIE de forma mensual, determinando un responsable. Mediante el uso de la plataforma Inkia Goals, se reportarán los indicadores de salud, seguridad y medioambiente. Por otra parte, los objetivos relacionados con el cumplimiento del mantenimiento preventivo, se gestionará y registrará en plataforma InforEAM.



- **Requisito 9.3:** para garantizar la ejecución del sistema de gestión de activos, el uso de recursos la eficacia de los procesos y la ejecución de la mejora continua en Central Colmito. Se realizará una revisión anual por parte de la gerencia. En esta revisión participaran:
 - Gerente de Operaciones
 - Ingeniero de Operaciones y mantenimiento.
 - Jefe de Operaciones.
 - Jefe de Mantenimiento.
 - Supervisor EHS.

Para cada revisión gerencial, deberán revisar los siguientes puntos:

- Asegurar el cumplimiento de los objetivos de SGIIE.
- Asegurar el cumplimiento de los PGA establecidos en Inkia Energy Chile.
- Realizar análisis de riesgos de la cartera de activos definida dentro del alcance del SGIIE.
- Actualizar los PGA en caso de que se requiera.
- Ver el estado de avance de las últimas modificaciones realizadas al PGA.
- Establecer y coordinar reuniones para el establecimiento del plan de mantenimiento anual.
- Canalizar información sobre propuestas de actualización de inspecciones a jefes de Mantenimiento y Operaciones.
- Gestionar las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo de las centrales térmicas.
- Analizar los resultados de las inspecciones realizadas a los activos eléctricos.
- Validar actualización de inspecciones.
- Realizar el control de inventario de stock en bodega.
- Gestionar la adquisición de repuestos según sea requerido.

Todos los acuerdos, acciones, cambios y/o temas tratados durante la Revisión Gerencial serán registrados en el documento Control de Cambios asociados a todos los formularios y procedimientos del SGIIE.

- **Requisito 10.3:** la organización desarrollará esfuerzos combinados (se están ejecutando) para cumplir con el sistema de gestión de activos, parte de estos son:
 - Revisión mensual de KPI: El ingeniero de operaciones y mantenimiento recopila la información necesaria de todos los KPI establecidos en el SGIIE envía un correo electrónico para compartir los resultados del análisis con el Gerente de Operaciones, jefe de Operaciones, jefe de Mantenimiento y Supervisor EHS.
 - Análisis causa raíz (RCA): El objetivo es establecer la causa raíz del evento que se estudia bajo este método. Puede ser utilizado como método para investigar fallas, así como para investigar incidentes, accidentes y cuasi-accidentes.
 - Near Miss: Establece una guía para dar un ambiente seguro y saludable para los empleados de Central Colmito como contratistas.

4. Conclusiones

El diagnóstico realizado en La Central Colmito, basado en los requerimientos del estándar ISO 55001, involucró a todas las áreas de la organización en función de un objetivo común, desarrollar un Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas (SGIIE), que cubra los factores exigidos en el Pliego Técnico Normativo — RPTD N° 17. Los resultados del diagnóstico ubicaron a dicha organización en un nivel de madurez “consciente”, posición 1,26 — escala de 0 a 5 (escala de valoración de madurez basada en el documento desarrollado por el Institute of Asset management (IAM) denominado: Asset Management Maturity Scale and Guidance, 2016).

En relación específica a los resultados obtenidos del proceso de auditoría en La Central Colmito con respecto al estándar ISO 55001, dicha organización, posee un sistema de gestión activos con muchas oportunidades de mejora y tomando como referencia las características del nivel de madurez “consciente” según la escala de

madurez, los procesos de gestión de la Central Colmito, están débilmente controlados, son reactivos y su desempeño es impredecible (ver figura 3).

A continuación, se presentan algunas fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, que se detectaron a partir del diagnóstico realizado:

Fortalezas:

- Existen avances o elementos que pueden ser tomados de referencia respecto a los siguientes temas: Auditoría Interna; Generación y Control de Documentos; Gestión de Empresas Contratistas; Procedimiento de Capacitación; Procedimientos de Mantenimiento.
- Se cuenta con liderazgo y compromiso de la alta dirección para implementar un sistema de gestión de activos, y con un equipo especializado con conocimientos de los procesos y equipos.
- La estructura organizacional es consistente, lo que reportará una clara ventaja al momento de la implementación, operación y mantenimiento del SGIIE.
- La tecnología de generación es madura, por lo que la operación y el mantenimiento resulta ser eficiente y conocido, transformándose en un sistema fiable de producción de energía.

Debilidades:

- Dada la estructura de la organización, modificar los documentos existentes es complejo. No existe la opción de integrar otros sistemas de gestión al que ya se encuentra implementado.
- El Sistema de Gestión implementado no se encuentra certificado.
- La bajada de información desde la oficina central a cada una de las instalaciones de generación en Chile puede ser desigual.
- Los temas administrativos pueden tomar tiempo, si es que depende de la casa matriz.

Oportunidades:

- Con respecto, al aumento de la demanda de energía se puede contar con esta alternativa de producción de energía continua y fiable.
- Nuevos requerimientos de inversión debido a aumentos de la demanda energética y, por ende, de la capacidad instalada a lo largo del país.
- Disponibilidad de nuevas tecnologías para hacer más eficientes los procesos y mantenimiento de equipos críticos.
- Incorporación de otras tecnologías de generación basada en ERNC.
- Los requerimientos legales a nivel nacional, como en este caso la implementación del SGIIE, con lleva la mejora del rendimiento de activos y la agregación de valor de éstas tecnologías de generación basada en ERNC, como la solar.

Amenazas:

- Manifestaciones y problemas con comunidades cercanas con respecto a la protección del medioambiente. Aunque la probabilidad de ocurrencia sea baja, se considera una amenaza, en cualquier caso.
- Limitaciones emergentes con respecto a emisiones de GEI que potencian el cambio climático y sus consecuencias. Estas limitaciones pueden ser cada vez más estrictas de acuerdo con el contexto mundial para combatir el calentamiento global.
- Restricciones de emisiones de MP, SO_x y NO_x de acuerdo con la normativa vigente. Problemas legales por el incumplimiento de dichas restricciones.
- Alza en los precios de los combustibles fósiles por situación geopolítica actual, lo que puede encarecer la operación.

Finalmente, el artículo describe los aspectos más importantes del diagnóstico realizado a la Central de Generación Eléctrica Colmito de la organización INKIA ENERGY (Chile), con respecto a los requisitos de la Norma ISO 55001 y resume los planes de acción que ayudarán a tener una visión clara de las responsabilidades que tendrán los colaboradores involucrados en el proceso de la implementación del Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas (SGIIE), teniendo como resultado, una gestión eficaz y eficiente de los activos de la Central Colmito a lo largo de su ciclo de vida.

Referências

- [1] Crespo, A. (2006). *El marco de gestión del mantenimiento. Modelos y métodos para el mantenimiento de sistemas complejos*. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0>
- [2] Parra, C., & Crespo, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos: Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión de mantenimiento (MMM)* (2nd ed.). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083>
- [3] Woodhouse, J. (1996). *Managing industrial risk*. Chapman & Hall Inc.
- [4] González-Prida, V., Parra, C., Gómez, J. F., & Crespo, A. (2012). Auditoría a un escenario de estudio específico según un marco de referencia para la mejora de la gestión de la garantía. In B. Gall, & G. Soares (Eds.), *Advances in Safety, Reliability and Risk Management* (pp. 1–10). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11433>.
- [5] Gonzalez-Prida, V., & Crespo, A. (2014). *After-sales service of engineering industrial assets: A reference framework for warranty management*. Springer Verlag.
- [6] Roda, I., & Macchi, M. (2018). A framework to embed asset management in production companies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 232(4), 368–378.
- [7] International Organization for Standardization (2014). *ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology*.
- [8] Parra, C., & Crespo, A. (2012). Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. In *Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos*. INGEMAN. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16765.38884>
- [9] González-Prida, V., Parra, C., Gómez, J. F., & Crespo, A. (2010). Audit to a specific study scenario according to a proposed reference framework for the improvement of the warranty management. In *Proceedings of ESREL/ESRA*. Rhodes, Greece.
- [10] Viveros-Gunckel, P., Kristjanpoller-Rodríguez, F., Parra-Márquez, C., Crespo-Márquez, A., & González-Prida-Díaz, V. (2020). Audit models for asset management, maintenance and reliability processes: Case study: Electricity transmission sector. *DYNA Management*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.6036/MN9826>
- [11] Parra, C., & Crespo, A. (2020). Nota técnica 1: Introducción a un modelo integral de gestión del mantenimiento (MGM). INGEMAN. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.63049>
- [12] Parra, C., González-Prida, V., Candón, E., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., & Crespo, A. (2020). Integration of asset management standard ISO 55000 with a maintenance management model. In A. Crespo Márquez, D. Komljenovic, & J. Amadi-Echendu (Eds.), *14th WCEAM Proceedings* (pp. 200–210). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17
- [13] International Organization for Standardization (2014). *ISO 55001: Asset management – Management systems – Requirements*.
- [14] The Institute of Asset Management. (2015). *Gestión de activos: Una anatomía* (3rd ed.).

[15] Crespo, A., Gómez, J., González-Prida, V., & Amadi-Echendu, J. (2023). *16th WCEAM Proceedings*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25448-2>

[16] Ministerio de Energía de Chile (2018). Reglamento de seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a la producción, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica, N° 109, de 12 de junio de 2018. Ministerio de Energía de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1119451&f=2022-04-25>

[17] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Ministerio de Energía de Chile (2020). Resolución exenta 31876, Anexo Técnico del pliego RPTD N° 17 “Sistema de Gestión de integridad de instalaciones eléctricas”, de 14 de mayo de 2020. <https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listaresultadosimple?cadena=RPTD%20N%C2%B0%2017&itemsporpagina=10&npagina=1>

[18] Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile (1989). Reglamento de sanciones en materia de electricidad y combustibles, N° 119, de 17 de abril de 1989. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=9554>

[19] Ministerio de Energía de Chile (2016). Ley Nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del Sistema Eléctrico nacional, N° 20.936, de 20 de julio de 2016. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1092695&idParte=9716002>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

Planejamento estratégico de gestão de ativos em empresas de saneamento

— Estudo de caso Embasa

Strategic planning for asset management in sanitation companies — Embasa case study

[10.29073/rae.v2i2.926](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.926)

Recebido: 28 de junho de 2024.

Aprovado: 8 de setembro de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a: Alisson Brandão, Empresa Baiana de Águas e Saneamento, Brasil, alissonmeireles@gmail.com.

Resumo

A implantação da gestão de ativos em empresas do tipo ativo intensivas, como é o caso das empresas de saneamento, que dependem do bom estado de seus ativos para desenvolver a sua atividade fim, é fundamental para garantir a máxima eficiência dos seus ativos por um tempo mais prolongado, por meio da minimização de riscos. As empresas de saneamento que não realizam uma gestão de ativos e manutenção eficientes costumam ter redução da capacidade de resposta perante os problemas de operação, perdendo o controle sobre seus bens materiais, sobre sua gestão de suprimentos, percepção de falhas nos equipamentos e dificuldade de padronizar serviços, fatores estes que contribuem para o aumento dos gastos operacionais e perda de eficiência. O ponto central é: como uma adequada gestão de ativos pode contribuir para o prolongamento da vida útil dos ativos de uma empresa de saneamento, com conseqüente redução de seus custos e a priorização adequada dos investimentos? Resultado de uma das iniciativas da Embasa para estruturar os processos de gestão de ativos e apoiar sua implementação na companhia, o estudo é resultado do contrato com a empresa Arcadis Logos S.A., no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica (PCT), firmado entre a Embasa, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores (ABC/ MRE). A metodologia desenvolvida trata do processo de implantação do Sistema de Gestão de Ativos da Embasa a partir do desenvolvimento da estratégia até a otimização do valor dos ativos sob a ótica dos objetivos estratégicos estabelecidos. Nesse sentido, a Embasa se tornou uma das pioneiras empresas prestadoras de serviços de saneamento no Brasil a se mobilizar na implantação de um Sistema de Gestão de Ativos. Com esta implantação em curso, a Embasa visa atingir a excelência operacional através da integração e coordenação das diversas funções e processos de negócio, buscando eficiência, eficácia e efetividade. Além disso, esse movimento potencializa a credibilidade da instituição e o reconhecimento público, aumentando seu valor intangível.

Palavras-Chave: Embasa; Gestão de Ativos; Planejamento Estratégico de Gestão de Ativos; SAMP; Saneamento.

Abstract

The implementation of asset management in asset-intensive companies, such as sanitation companies, which depend on the good condition of their assets to carry out their core activities, is essential to guarantee maximum efficiency of their assets for a period of time. longer, by minimizing risks. Sanitation companies that do not carry out efficient asset management and maintenance tend to have a reduced capacity to respond to operational problems, losing control over their material assets, their supply management, perception of equipment failures and difficulty in standardizing services, factors that contribute to increased operational expenses and loss of efficiency. The central point is: how can adequate asset management contribute to extending the useful life of a sanitation company's assets, with a consequent reduction in costs and adequate prioritization of investments? The result of one of Embasa's initiatives to structure asset management processes and support their implementation in the company, the study is the result of the contract with the company Arcadis Logos S.A., within the scope of the Technical Cooperation Project (PCT), signed between Embasa , the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) and the Brazilian Cooperation Agency of the Ministry of Foreign

Affairs (ABC/MRE). The methodology developed deals with the implementation process of Embasa's Asset Management System from the development of the strategy to the optimization of the value of assets from the perspective of the established strategic objectives. In this sense, Embasa became one of the pioneer companies providing sanitation services in Brazil to mobilize in the implementation of an Asset Management System. With this implementation underway, Embasa aims to achieve operational excellence through the integration and coordination of the various functions and business processes, seeking efficiency, efficacy and effectiveness. Furthermore, this movement enhances the institution's credibility and public recognition, increasing its intangible value.

Keywords: Asset Management; Embasa; SAMP; Sanitation; Strategic Planning for Asset Management.

1. Introdução

A universalização dos serviços de saneamento é essencial para a saúde pública, o bem-estar da população, a economia e o meio ambiente. A falta de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário seguros e eficazes tem consequências inevitáveis para a saúde pública e a qualidade de vida das comunidades, impactando negativamente diversos aspectos sociais e econômicos (Alegre, 2020). Além disso, o Objetivo 6 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destaca a importância desses serviços para o cumprimento de outros objetivos globais, reforçando a necessidade de políticas públicas eficientes e sustentáveis no setor de saneamento.

O agravamento das mudanças climáticas, que causa secas severas, inundações frequentes e aumento do nível do mar, juntamente com o crescimento populacional, a urbanização descontrolada e a falta de infraestrutura de manutenção, coloca desafios significativos para as empresas de saneamento. Consequentemente, o setor de saneamento precisa desenvolver maior resiliência para se adaptar a esses desafios (Lombana Córdoba et al., 2022). A resiliência, nesse contexto, refere-se à capacidade das empresas de absorver e se adaptar às mudanças, gerenciando eficazmente seus sistemas e melhorando sua capacidade de lidar com riscos futuros (Wied et al., 2019; Wang et al., 2023).

Os serviços de saneamento envolvem infraestruturas complexas cujos elementos, como redes de distribuição de água e sistemas de tratamento de esgoto, são suscetíveis ao desgaste e à deterioração ao longo do tempo. Sem manutenções regulares, renovações ou substituições, esses ativos podem falhar, resultando em interrupções nos serviços. A urbanização rápida e as mudanças climáticas aceleram esse processo de degradação, aumentando a necessidade de uma gestão de ativos eficiente (Halim e Mohammed, 2014).

No setor de saneamento, a eficiência operacional das companhias está diretamente relacionada ao bom funcionamento de seus ativos, caracterizando essas empresas como ativo-intensivas. A obtenção de valor no saneamento envolve atender às necessidades e expectativas das partes interessadas de forma sustentável, garantindo água potável e esgoto tratado de alta qualidade para todos, preservando os recursos hídricos (Brandão et al., 2022). A gestão avançada de ativos de infraestrutura é fundamental para alcançar níveis adequados de serviço no presente e no futuro, especialmente em termos de segurança, disponibilidade e qualidade do abastecimento de água, além do uso eficiente de recursos naturais e prevenção da poluição (Alegre, 2010; Cardoso et al., 2012; Leitão et al., 2016).

Cumprir com os requisitos regulatórios em constante mudança e desenvolver ações socialmente adequadas, ambientalmente corretas e financeiramente viáveis é um desafio significativo para as empresas de saneamento. Dessa forma, a gestão de ativos é uma ferramenta essencial para promover a sustentabilidade social, econômica e ambiental dessas empresas (Almeida & Cardoso, 2010; Mohammadifardi et al., 2022), sendo reconhecida como essencial para a sustentabilidade das organizações, mas sua implementação é um desafio para os gestores (Almeida & Cardoso, 2010).

A falta de uma gestão de ativos eficiente resulta em uma capacidade de resposta reduzida aos problemas operacionais, perda de controle sobre bens materiais e gestão de suprimentos, além de dificuldades na padronização de serviços, aumentando os custos operacionais e reduzindo a eficiência. A gestão de ativos envolve a adoção de metodologias, sistemas e atividades que permitem às organizações obter valor de seus ativos, equilibrando oportunidades, riscos, custos e indicadores, baseando-se nas melhores práticas e buscando a melhoria contínua.

Para alcançar a máxima eficiência dos ativos por um tempo prolongado e minimizar riscos, a gestão de ativos é crucial para empresas ativo-intensivas, como as de saneamento. Esse processo deve incluir o desenvolvimento de planejamentos estratégicos, táticos e operacionais alinhados dentro da organização, com a participação de todos os níveis decisórios. Internacionalmente, organizações têm investido em infraestruturas urbanas de água e esgoto para garantir a saúde pública, o bem-estar das populações, o desenvolvimento sustentável das comunidades e a proteção do meio ambiente. No entanto, a manutenção dessas infraestruturas é um desafio contínuo, especialmente em sociedades em constante crescimento que exigem níveis elevados de serviço, gestão de risco e sustentabilidade (Cardoso et al., 2016; Alegre et al., 2013).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS), em 2019, o Brasil possuía cerca de 680 mil km de redes de água e 354 mil km de redes de esgoto. Atualmente, 85% dos brasileiros têm acesso à água, enquanto apenas 50% têm acesso ao serviço de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2020). As metas de universalização estabelecidas pelo novo marco regulatório de saneamento básico (Lei nº 14.026/2020) visam atender 99% da população com água potável e 90% com tratamento e coleta de esgoto até 2033 (Brasil, 2020). O investimento necessário para alcançar essas metas é estimado em R\$753 bilhões, com recursos financeiros reservados para esse fim (KPMG, 2021).

Para alcançar essas metas, as empresas de saneamento precisam estruturar seus processos, políticas e cultura, viabilizando investimentos em infraestrutura e operando e mantendo seus ativos de forma adequada. Esses desafios estão diretamente relacionados aos modelos de gestão das organizações e à forma de pensar e agir de suas lideranças (Brandão et al., 2022). Nesse sentido, uma gestão de ativos eficiente é fundamental para gerar valor sustentável e atender às partes interessadas, garantindo a eficácia dos serviços prestados.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento (Embasa), principal prestadora de serviços de saneamento no Estado da Bahia, é responsável por um conjunto considerável de ativos que precisam ser gerenciados de forma eficiente para cumprir seu papel social com sustentabilidade. Este estudo é resultado de uma das iniciativas da Embasa para estruturar os processos de gestão de ativos e apoiar sua implementação na companhia, a partir do Projeto de Cooperação Técnica (PCT) “Universalização e aperfeiçoamento da prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas prioritárias do Estado da Bahia” — PCT BRA/IICA/16/003, firmado entre a Embasa, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores (ABC/ MRE). Com essa metodologia, a Embasa busca viabilizar projeções de reposições e reabilitações dos ativos críticos no curto, médio e longo prazo, a partir de uma sistemática de priorização, objetivando a ampliação da vida útil do portfólio de ativos.

Após analisar a aderência do planejamento estratégico da empresa ao Sistema de Gestão de Ativos, foi elaborado o Plano Estratégico de Gestão de Ativos. Este plano tem como objetivo orientar a estratégia a longo prazo para a gestão dos ativos, alinhando-os aos objetivos estratégicos da empresa. Ele estabelece uma estrutura geral para que os objetivos organizacionais sejam traduzidos em metas específicas da gestão de ativos, além de definir o papel do sistema de gestão de ativos na obtenção desses objetivos.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar o processo de planejamento estratégico de gestão de ativos, focado em empresas de saneamento, por meio do estudo de caso da Embasa.

2. Revisão da Literatura

A gestão de ativos (GA) é fundamental para a eficiência e sustentabilidade das organizações, especialmente no setor de saneamento. A norma ISO 55000 define um ativo como qualquer item, bem físico, material, entidade ou algo que detém um valor atual ou potencial para uma organização, sendo esse valor variável entre diferentes empresas e partes interessadas (ABNTa, 2014). A gestão desses ativos pode ser realizada individualmente ou em conjunto, conforme as necessidades específicas, visando obter vantagens adicionais por meio de agrupamentos por tipos, sistemas ou portfólios de ativos.

Os ativos podem ser classificados em duas categorias principais: tangíveis e intangíveis. Ativos tangíveis são bens físicos, como máquinas, equipamentos e infraestruturas, que têm uma presença palpável e podem se depreciar com o tempo. Já os ativos intangíveis incluem itens não físicos, como direitos autorais, marcas, patentes, software e reputação (Embasa, 2022b). A importância de gerenciar esses ativos de forma eficaz é destacada pela ISO 55000, que fornece um arcabouço estruturado para a gestão de ativos, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida, desde a identificação e avaliação até a manutenção, renovação e eventual desativação (ABNTa, 2014).

Aplicado ao contexto empresarial, a GA envolve ações coordenadas para gerar valor e lucro, atendendo às expectativas dos clientes e às exigências dos órgãos reguladores. Para alcançar essa meta, é necessário equilibrar oportunidades, riscos e custos, além de avaliar o desempenho dos ativos por meio de práticas eficazes de monitoramento (ISO, 2018).

No setor de saneamento, a adoção da ISO 55000 não só alinha as operações às melhores práticas internacionais, mas também é uma estratégia para maximizar a eficiência operacional e financeira. A norma ajuda a otimizar o desempenho dos ativos, reduzir custos de manutenção e operação e minimizar riscos, garantindo a entrega de serviços de alta qualidade de forma sustentável (ABNTa, 2014; ABNTb, 2014; ABNT, 2020).

No Brasil, a gestão de ativos ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de estratégias claras e planos documentados para a substituição, reposição ou reabilitação de ativos. Isso é crucial para garantir a qualidade, confiabilidade, eficiência e segurança dos serviços prestados aos usuários. A gestão de ativos surge como uma peça-chave, permitindo às empresas de saneamento otimizar a utilização de seus recursos, melhorar a confiabilidade dos serviços e garantir a sustentabilidade financeira e operacional a longo prazo (Embasa, 2022).

Portanto, a GA é essencial para priorizar investimentos, otimizar recursos e gerenciar riscos, documentando boas práticas de gestão e assegurando a sustentabilidade e responsabilidade social das empresas (Embasa, 2022; ISO, 2018). A adoção de uma gestão de ativos eficaz, conforme orientações da ISO 55000, é um passo importante para as empresas de saneamento atenderem às exigências regulatórias e melhorarem a eficiência e qualidade dos serviços prestados.

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (Embasa) é uma sociedade de economia mista de capital autorizado, com personalidade jurídica de direito privado, tendo como acionista majoritário o Governo do Estado da Bahia. A administração da Embasa segue o princípio da descentralização geográfica, operando por meio de 19 unidades regionais, sendo seis na região metropolitana de Salvador e 13 no interior, além de diversos escritórios locais, sendo responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios onde atua, incluindo captação, tratamento e distribuição de água, bem como coleta, transporte, tratamento e destinação adequada dos esgotos domésticos (EMBASA, 2024). Gerenciando um extenso portfólio de ativos para cumprir seu papel social de maneira sustentável. Atendendo prioritariamente a população urbana de sua área de atuação, bem como uma parcela considerável da população rural.

A Embasa tem um plano de investimentos programado para alcançar as metas de universalização pactuadas pelo novo marco do saneamento, com investimentos previstos de R\$ 20 bilhões até 2033. Em 2022, foram realizados investimentos de R\$ 1,15 bilhões, dos quais R\$ 177,65 milhões foram destinados especificamente à reposição de ativos operacionais. Em 2023, foram programados R\$ 1,30 bilhões, com R\$ 109,11 milhões direcionados à reposição de ativos operacionais (EMBASA, 2021).



A universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário até 2033 exige planos de expansão e captação de novos recursos para financiar a implantação, ampliação de empreendimentos e reposição de ativos. Essas ações têm reflexos legais, econômicos, sociais e ambientais na gestão da Embasa (EMBASA, 2021). A prioridade nos planos de investimento de capital deve ser substituir ou reabilitar ativos com maior risco ou maior probabilidade de falha, definindo as pontuações a partir das quais a empresa deve propor ações específicas.

Em 2022, a Embasa concluiu um contrato com a LMDM Consultoria para o levantamento e precificação da Base de Ativos da Embasa em todo o estado. Esse levantamento revelou o volume e a diversidade de ativos que precisam ser gerenciados, incluindo 4.900 instalações vistoriadas, 500.000 ativos operacionais, 47.000 km de redes de abastecimento de água, 18.000 km de redes de esgotamento sanitário, 37 barragens, 1.119 reservatórios de abastecimento de água, 455 poços, 527 estações elevatórias dos sistemas de abastecimento de água (SAA), 361 boosters nos SAA, 909 estações elevatórias dos sistemas de esgotamento sanitário (SES), 426 estações de tratamento de água (ETA), 406 estações de tratamento de esgotos (ETE) e 286 captações de água bruta (EMBASA, 2022).

3. Metodologia

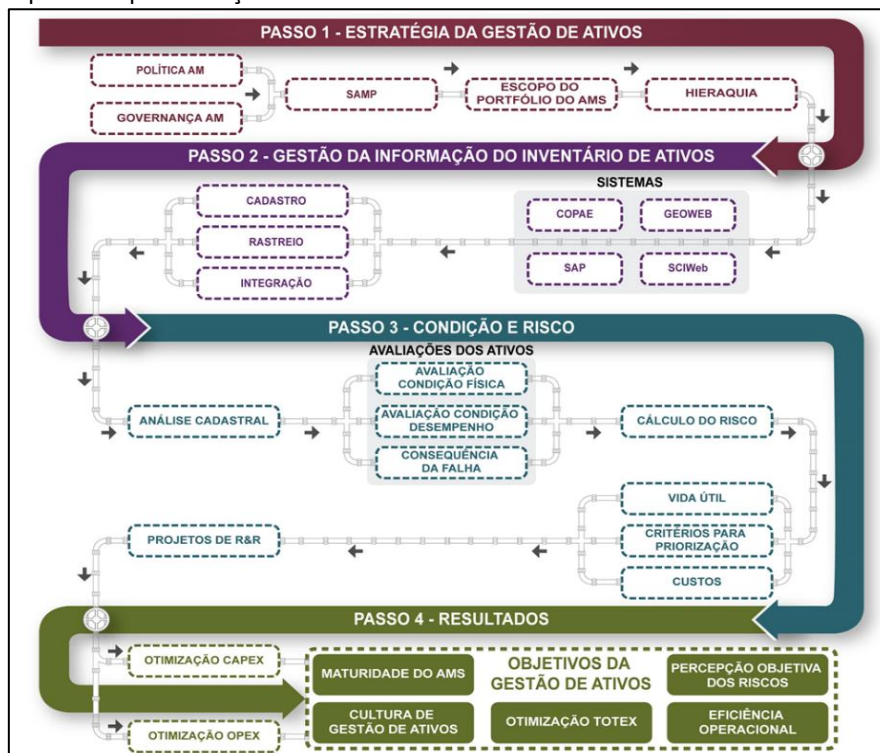
O Sistema de Gestão de Ativos incluirá, assim: planos, processos e procedimentos, fluxos e requisitos de informação e comunicação, funções e responsabilidades (incluindo um comitê interdepartamental de governança para AM), atividades de melhoria, auditoria e avaliação, atividades de capacitação e treinamento e os recursos necessários para sua implementação.

Este estudo se propôs a apresentar a metodologia delineada no "Manual de Gestão de Ativos". O principal objetivo do Manual consiste em guiar as atividades da Embasa rumo a uma gestão mais eficaz de seus ativos, empregando ferramentas que facilitem a tomada de decisões precisas no planejamento de processos, investimentos e recursos financeiros.

Ao longo deste trabalho foi elaborado um *Roadmap* com os quatro principais passos para a implementação do sistema de gestão de ativos (AMS — Asset Management System), conforme pode ser observado na Figura 1. Este documento foca no primeiro passo, que correspondeu a definição da Estratégia da Gestão de Ativos a ser adotada pela Embasa.



Figura 1: Passos para a implementação do Sistema de Gestão de Ativos na Embasa.



No Passo 1 — Estratégia de Gestão de Ativos teve como ponto de partida a implantação de uma gestão de ativos alinhada aos objetivos estratégicos da Embasa. Para isso, o primeiro estágio consistiu na definição do Comitê de Gestão de Ativos responsável pela elaboração da política e do levantamento de requisitos para elaboração do Planejamento Estratégico de Gestão de Ativos da Empresa (SAMP).

Este processo teve início com a definição da Governança de Gestão de Ativos, delineando-se os objetivos do levantamento. Posteriormente, formou-se uma equipe multidisciplinar, composta por representantes de 9 (nove) áreas da Embasa, com o objetivo de elaborar o Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP) e garantir que a gestão de ativos estivesse alinhada aos objetivos estratégicos da empresa.

A transversalidade da equipe marcada pelas percepções diferentes e agregadoras, permitiu em discussões identificar e organizar os requisitos, capaz de proporcionar uma melhor visualização e redução da complexidade de análise das condições dos mesmos no sistema. A integração facilitou ainda mais os debates, aproveitando a vasta gama de conhecimentos nas áreas de Projetos/empreendimentos, Patrimônio, Planejamento, T.I., Manutenção, Operação, Financeiro/Contabilidade, Comercial e Logística.

Assim, o Comitê formado procedeu com a identificação e sistematização das principais lacunas e entregas necessárias para o AMS a ser implantado. Traduzindo posteriormente na elaboração da política com as principais diretrizes e responsabilidades como a cadeia de valor do planejamento estratégico da empresa.

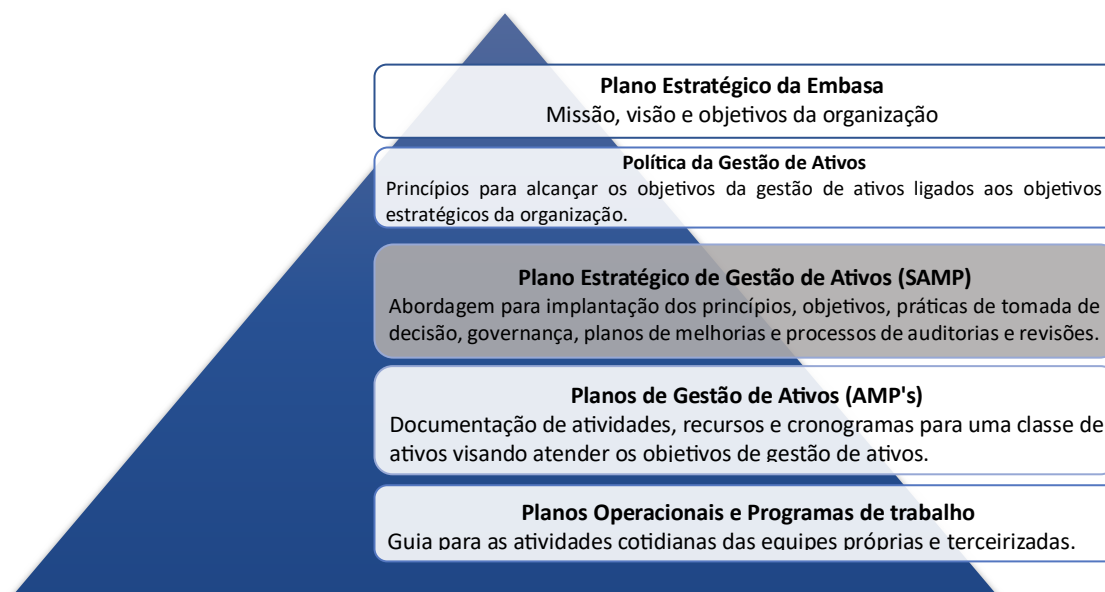
Foram elaborados tanto a política de Gestão de ativos quanto o plano estratégico de Gestão de ativos, no qual foram documentados, dentre outras definições, a Visão, Missão e Objetivos da Gestão de Ativos. O SAMP estabeleceu também o portfólio de ativos do Sistema de Gestão de ativos (AMS) e a hierarquia de ativos do AMS.

4. Análise dos Dados

O diagrama apresentado na Figura 2 ilustra como a visão organizacional, as metas e os objetivos se relacionam através da Política da Gestão de Ativos, SAMP, AMPs e fornecem orientação para as atividades cotidianas das equipes próprias e terceirizadas.



Figura 2: Relação entre o Plano Estratégico, a Política de Gestão de Ativos, o SAMP, os AMPs e os Planos Operacionais.



4.1. Requisitos para elaboração do Planejamento Estratégico da Embasa

Os princípios da gestão estratégica de ativos são:

- Os ativos existem para gerar valor para a organização e apoiar na realização dos objetivos definidos.
- As decisões da gestão de ativos devem considerar o equilíbrio adequado entre custo, risco e performance.
- O planejamento de ativos é uma atividade corporativa chave, que deve ocorrer em conjunto com o planejamento de recursos humanos, sistemas de informação, criação e transferência de conhecimento e finanças.

A gestão estratégica de ativos fornece, portanto, uma estrutura para melhores práticas no planejamento, fornecimento, gerenciamento e eventual alienação ou adaptação de ativos para um novo uso.

4.1.1. Stakeholders

A Tabela 1 mostra os grupos de *stakeholders* mapeados que de alguma forma terão interface com o AMS (*Asset Management System*), relacionando cada um destes *stakeholders* às expectativas e requisitos identificados.

Tabela 1: Expectativas e requisitos sobre a Gestão de Ativos para estes Stakeholders

Stakeholder	Expectativas e requisitos sobre a Gestão de Ativos
Primários para a Gestão de Ativos	
Força de Trabalho	Suporte da liderança e clareza das informações e procedimentos em relação ao sistema de gestão de ativos
Poder Concedente	Universalização dos serviços de água e esgoto e regularidade dos serviços prestados
Governo e acionistas	Excelência da gestão e sustentabilidade econômico-financeira, transparência e objetividade dos processos decisórios e de investimento de capital
Órgão Regulador (Agersa)	Universalização dos serviços, aperfeiçoar a gestão de recursos hídricos e reduzir perdas reais e aparentes
Agências de Fomento	Excelência da gestão e sustentabilidade econômico-financeira
Secundários para a Gestão de Ativos	
Clientes	Regularidade dos serviços prestados e tarifas módicas

Fornecedores	Transparência e objetividade dos processos decisórios e de investimento de capital
Sociedade	Melhoria da qualidade dos serviços prestados nos SAA e SES, maior rapidez nos serviços de manutenção e reparos prestados, maior constância do fornecimento de água e na coleta do esgoto, aumento da qualidade da água fornecida, universalização dos serviços de água e esgoto possibilitando o atendimento de uma parcela da população ainda não atendida e melhoria e sustentabilidade ambiental.
Meio ambiente	Aperfeiçoar a gestão de recursos hídricos, reduzir perdas reais e aparentes, minimizar a possibilidade de acidentes ambientais decorrentes de falta de manutenção adequada.

4.1.2. Portfólio de ativos da Embasa

O portfólio de ativos da Embasa compreende todos os itens, bens materiais, entidades ou algo que possa ter um valor real ou potencial para esta organização.

O Sistema de Gestão de Ativos (AMS) considerou os principais ativos pertencentes às Unidades Operacionais dos Sistemas, considerados críticos para a missão da empresa. Os ativos de uma empresa podem ser tangíveis ou intangíveis. Para compor o escopo do AMS da Embasa, foram considerados exclusivamente os Ativos Tangíveis Operacionais, classificados em ativos horizontais e verticais.

Os Ativos Horizontais referem-se aos componentes físicos das redes de infraestrutura relacionados ao transporte e distribuição de água e esgoto, caracterizados por cobrir vastas áreas geográficas através de traçados lineares.

Já os ativos verticais são estruturas/equipamentos físicos que possuem uma localização definida e pode-se estabelecer as coordenadas geográficas do mesmo. Incluem edificações de captação, elevatórias, estações de tratamento e reservatórios, além de equipamentos hidromecânicos como bombas. Equipamentos elétricos como painéis, motores, subestações e geradores, e equipamentos de controle e instrumentação como sensores, bombas dosadoras e painéis de comando também são considerados.

4.1.3. Hierarquia de Ativos do AMS

Após a definição do Portfólio de Ativos, foi elaborada a estrutura hierárquica com intuito de organizar os ativos com uma série de atributos que facilitam a sua gestão, inclusive dentro dos sistemas de informação. A elaboração de uma proposta unificada como essa desempenha um papel fundamental na otimização da gestão de ativos, uma vez que anteriormente havia múltiplas hierarquias dispersas entre os setores. Essa fragmentação muitas vezes resultava em falta de comunicação e coordenação entre os diferentes departamentos, o que dificultava o processo de monitoramento dos ativos e o gerenciamento eficaz das ordens de serviço.

4.1.4. Avaliação de Maturidade em Gestão de Ativos

A Embasa realizou a Avaliação de Maturidade em Gestão de Ativos inicial utilizando a ferramenta de autoavaliação do *Institute of Asset Management* (IAM SAM+). Essa avaliação teve como objetivo medir o grau de maturidade do programa de AM da Embasa. Ela ajudou a identificar os *gaps* para melhorias que podem ser utilizadas para guiar o desenvolvimento do programa e aprimorar a maturidade. A ferramenta SAM+ avalia a maturidade em relação a 39 aspectos. Na metodologia original do IAM, os aspectos são divididos em 6 grupos. Na Embasa, as questões foram adaptadas e agrupadas em quatro categorias:

- Planejamento e Organização
- Recursos e Capital
- Operação e Manutenção
- Gestão da Informação e Desenvolvimento Sustentável

A avaliação de gestão de ativos foi realizada com 34 colaboradores da Embasa. As respostas às 39 perguntas foram agrupadas em quatro categorias adaptadas pela Embasa:

- Gestão da Informação e Desenvolvimento Sustentável



- Recursos e Capital
- Planejamento e Organização
- Operação & Manutenção

Os resultados dessas respostas foram então calculados separadamente para estas 4 categorias. A Embasa obteve as três melhores notas da avaliação em itens relacionados à Operação & Manutenção, indicando um ponto forte da organização. Por outro lado, três das seis piores notas obtidas pela Embasa se referem à Gestão da Informação e Desenvolvimento Sustentável, apontando ser este um ponto importante a ser fortalecido na organização sob o ponto de vista de gestão de ativos. A Tabela 2 apresenta a média obtida de cada categoria da avaliação.

Tabela 2: Média da avaliação de maturidade por categoria obtida pela Embasa.

Categoria	Média
Gestão da Informação e Desenvolvimento Sustentável	1,37
Recursos e Capital	1,40
Planejamento e Organização	1,49
Operação & Manutenção	1,54

A Embasa se encontra no início da implementação de gestão de ativos, conforme demonstrado nas pontuações da avaliação de maturidade inicial. Obteve pontuação com média geral de 1,46, indicando que a organização se encontra na fase de maturidade Consciente. Com esses resultados, a Embasa pode ser descrita como tendo o nível de maturidade “Consciente” de Nível 1. Isso significa que a organização identificou a necessidade de abordar o gerenciamento de ativos e há evidências da intenção de desenvolvê-lo.

4.2. O Planejamento Estratégico da Embasa

O Planejamento Estratégico que a Embasa adota tem um ciclo de vida de 5 anos, que define a missão, visão, valores organizacionais e as metas a serem atingidas através de estratégias concebidas com base numa avaliação criteriosa e dinâmica dos cenários interno e externo.

O mapa apresentado na Figura 3 foi desenhado olhando-se principalmente para os processos internos através da identificação dos principais *gaps* da empresa. Um dos pontos de partida na elaboração deste foi a identificação da problemática da gestão de ativos, conforme pode ser observado na área denominada de “engrenagem”, onde há dois objetivos diretamente ligados ao tema: **“Realizar os investimentos necessários com assertividade”** e **“Racionalizar custeio e despesas com foco na competitividade”**.

Figura 3: Mapa estratégico da Embasa 2021–2025.





4.3. Valores Organizacionais da Embasa

Os geradores de valores organizacionais de seu Plano Estratégico são:

- **Ética** — Ativo intangível, de difícil mensuração e que a cada dia possui mais importância para a reputação de uma organização.
- **Transparência** — Simplificando, é o desejo de informar. Diz respeito a como as ações são orientadas e comunicadas. A transparência organizacional melhora também o ambiente de trabalho.
- **Sinergia** — Esforço realizado por várias partes da empresa em prol de um bem comum ou um resultado desejado. Representa também a união de diversas características como: cooperação, respeito, lealdade, comprometimento, união e foco coletivo.
- **Valorização das pessoas** — Conjunto de medidas tomadas pela organização a fim de valorizar, prestigiar e estimular o trabalho de seus colaboradores, que se sentem mais satisfeitos, apresentando maior produtividade e qualidade nos resultados gerados.
- **Responsabilidade Socioambiental** — É a responsabilidade social, ambiental e de sustentabilidade junto a todas as áreas da empresa, além das obrigações legais e econômicas. É realizar alterações nas políticas corporativas e culturais da empresa pensando na preservação do meio ambiente para as próximas gerações.
- **Comprometimento** — Profissionais comprometidos e engajados com as metas e objetivos corporativos empenham-se e se dedicam mais, conseqüentemente, produzem com ainda mais qualidade.

Todos os valores acima mencionados foram avaliados e estão correlacionados e convergem para os mesmos objetivos da Gestão de Ativos, ou seja, utilizar boas práticas em seus processos para alcançar resultados desejados e sustentáveis.

4.4. Objetivos do Mapa Estratégico da Embasa 2021–2025

Na Tabela 3 listamos os objetivos do Mapa Estratégico da Embasa de 2021-2025, apresentados anteriormente no relatório R2.1, classificados em:

- Alicerces (que proverão as bases estratégicas),
- Engrenagens (que desenvolverão as metas intermediárias) e
- Resultados (que representam os objetivos finais a serem alcançados no período).

Tabela 3: Objetivos do Mapa Estratégico 2021–2025.

OBJETIVOS DO MAPA ESTRATÉGICO 2021–2025	
Alicerces:	1.1. “Desenvolver as competências requeridas pelas estratégias”
	1.2. “Elevar o nível de desempenho individual e das equipes”
	1.3. “Aprimorar as práticas de governança corporativa”
	1.4. “Desenvolver cultura meritocrática voltada para o alto desempenho”
Engrenagens:	2.1. “Efetivar a contratualização com os titulares”
	2.2. “Realizar os investimentos necessários com assertividade”
	2.3. “Viabilizar recursos para os investimentos demandados”
	2.4. “Maximizar a geração de receita e a eficácia da arrecadação”
	2.5. “Racionalizar custeio e despesas com foco na competitividade”
	2.6. “Otimizar a alavancagem financeira da empresa”
	2.7. “Reduzir e controlar perdas de água”
	2.8. “Melhorar a gestão dos serviços que interferem na infraestrutura urbana”
	2.9. “Gerir as demandas regulatórias e contratuais com maior eficácia”
	2.10. “Garantir a segurança operacional e a continuidade dos serviços”
	2.11. “Assegurar a excelência na comunicação e no relacionamento com os usuários”
	2.12. “Promover a educação sanitária e ambiental dos usuários”
	2.13. “Contribuir para a proteção e recuperação dos mananciais”
	2.14. “Aperfeiçoar a gestão ambiental”



Resultados:	3.1. “Garantir a sustentabilidade econômico-financeira”
	3.2. “Avançar na universalização dos serviços de água e esgoto”
	3.3. “Aprimorar a imagem e a reputação da empresa”
	3.4. “Elevar o patamar do desempenho socioambiental”

Os objetivos estratégicos da Embasa serão a referência para o desenvolvimento dos objetivos estratégicos da gestão de ativos, garantindo assim o alinhamento estratégico entre eles.

4.5. Revisão da análise dos ambientes internos e externos

Existem inúmeros fatores internos e externos que influenciam a organização e ter consciência deles é essencial para o crescimento e planejamento estratégico da empresa. Os fatores internos e externos devem ser levantados pela empresa e avaliados periodicamente. Estes foram a base da matriz SWOT, que serão monitorados pela companhia (Tabela 4).

Tabela 4: Matriz SWOT Atualizada.

FATORES POSITIVOS		FATORES NEGATIVOS	
FORÇAS	Expertise e conhecimento técnico da Embasa na área de saneamento	FRATURAS	Índice de perdas elevado (reais e aparentes)
	A Embasa é uma empresa de grande porte e bem estruturada, o que proporciona uma economia de escala		Falta de priorização do esgotamento sanitário em relação ao abastecimento de água
	Mão de obra comprometida, capacitada e produtiva da Embasa		Ausência de política de gestão de ativos
	Sistema de gestão empresarial (SAP)		Deficiência na gestão de ativos
Foco integral na melhoria da eficiência operacional e redução de despesas	Recursos materiais, equipamentos e ferramentas disponíveis muitas vezes inadequados e obsoletos		
			Dispersão geográfica da empresa, com diversos sistemas pequenos e isolados, notadamente no interior
		Integração entre os diversos sistemas dentro da companhia, o que pode gerar alguma deficiência na base de dados a ser utilizada para o cálculo de indicadores	
FATORES POSITIVOS		FATORES NEGATIVOS	
OPORTUNIDADES	Ampliação das oportunidades do setor de saneamento para novos negócios	AMEAÇAS	Relação contratual precária com o poder concedente
	Legitimar a atuação da EMBASA junto à sociedade		Aumento da concorrência
	Otimização na aplicação dos recursos		Aumento da inadimplência
	Fortalecimento da relação com as partes interessadas		Necessidade de universalização dos sistemas
	Leis e programas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias		Eventos climatológicos adversos
	Imagem da empresa		

4.5.1. Fraqueza (Weakness)

- **Dispersão geográfica da empresa:** A estrutura da organização em forma capilarizada é uma fraqueza que deverá ser superada durante a implantação da Gestão de Ativos. Para suprimir esta fraqueza, a Embasa deverá contar com: um plano de otimização operacional para que as atividades sejam planejadas e os recursos sejam disponibilizados de forma a atender com eficiência e eficácia as principais demandas.
- **Qualificação dos funcionários:** As equipes da Embasa ainda não apresentam uma maturidade e conhecimento suficiente acerca do tema. Para suprir esta fraqueza a Embasa deverá investir na capacitação de seu time de funcionários no decorrer do processo de implantação da Gestão de Ativos.



- **Relacionamento com fornecedores:** A organização deve possuir uma eficiente Gestão de Relacionamento com os Fornecedores, de modo a planejar e gerenciar estrategicamente todas as interações com as empresas terceirizadas para maximizar o valor realizado por meio dessas atividades. Este relacionamento deve ter uma avaliação sistemática, pois os fornecedores devem estar alinhados à estratégia geral dos negócios da organização.
- **Integração entre os diversos sistemas dentro da Companhia (TI):** O setor de TI das empresas é responsável pelo pleno funcionamento de vários departamentos e aspectos da operação. A Embasa possui diversos sistemas legados, cuja integração nem sempre é 100% funcional. Faz-se necessário que os diversos sistemas da empresa possam conversar entre si e que os dados obtidos sejam consistentes para não falsear os indicadores do AMS, que deverão ser criados ao longo de sua implementação.
- **Recursos materiais disponíveis:** Infelizmente, na maioria das vezes, os recursos materiais disponíveis pelas empresas não são os mais adequados para a realização das atividades rotineiras das diversas áreas envolvidas em um AMS. Deverão ser observados os recursos materiais que serão necessários e acionadas as áreas competentes para que possam providenciar os requisitos mínimos necessários.

4.5.2. Força (Strength)

- **Produtividade:** As áreas envolvidas no processo possuem uma produtividade adequada, conforme indicadores operacionais. Desta forma entende-se que este será um aspecto positivo para o processo.
- **Liderança:** A postura proativa das lideranças envolvidas, certamente é um dos principais pontos fortes do processo. O papel das lideranças é fundamental para que todos sejam engajados neste processo.
- **Estrutura organizacional:** A Estrutura Organizacional, pautada na gestão por processos, foi redesenhada há pouco tempo. A atualização propiciou uma boa interlocução entre os diversos departamentos, o que com certeza será um aspecto importante.

4.5.3. Oportunidades (Opportunities)

- **Imagem da empresa:** A imagem é essencial aos negócios e faz com que os clientes tenham confiança na organização. Ela é construída a partir da percepção que o consumidor tem na conduta da empresa com seus clientes, na publicidade, nos valores defendidos e nas repercussões na sociedade. Uma boa imagem corporativa deve refletir os valores e objetivos da organização.

4.5.4. Ameaças (Threats)

- **Aumento da concorrência:** A Lei nº 14.026, exige que os municípios realizem licitações para delegar a prestação dos serviços de saneamento, podendo levar a desfragmentação das empresas estatais através do aumento da concorrência com as operadoras privadas. Se por um lado haverá um aumento da concorrência, por outro lado a implantação do AMS tornará a operação mais eficiente, possibilitando que ela venha aumentar sua vantagem competitiva e desta forma minimizando o risco de perda de alguns de seus sistemas.
- **Necessidade de universalização dos Sistemas:** O Novo Marco propõe ainda que os serviços deverão ser universalizados até 2033, o que exigirá grandes esforços. Entende-se que a implantação de um AMS eficiente e eficaz tornará a exigência de atendimento a esta meta menos árdua.

5. Discussão

5.1. Alinhamento da Política de Gestão de Ativos com o SAMP

O propósito da Política de Gestão de Ativos da Embasa é o de auxiliar o desenvolvimento de um programa de gestão de ativos, que facilite a realização dos objetivos previstos em seu Planejamento Estratégico, a fim de atingir o equilíbrio desejado entre custo, risco e desempenho na entrega de serviços. Estas metas permitirão a Embasa:

- Desenvolver e manter o plano estratégico de gestão de ativos (SAMP);
- Preparar o plano de negócios e relatórios de planejamento;
- Priorização de ações baseadas em dados visando a reabilitação ou renovação de ativos existentes;

- Manter um plano financeiro de longo prazo considerando o ciclo de vida dos ativos com uma análise de demanda dos respectivos sistemas;
- Direcionar a organização para que o menor custo do ciclo de vida de um ativo seja alcançado, mantendo os níveis acordados de serviços e um nível aceitável de exposição ao risco;
- Priorizar o plano de investimento de capital e revisar as estratégias e planos de gestão de ativos;
- Medir, monitorar e revisar os valores e desempenho de gerenciamento de ativos e serviços;
- Garantir a consistência através do uso de sistemas de gestão de ativos, processos de negócios e requisitos de governança com a tecnologia disponível para melhoria contínua; e
- Assegurar o alinhamento à ISO 55.000 como um requisito mínimo para as práticas de gerenciamento de ativos.

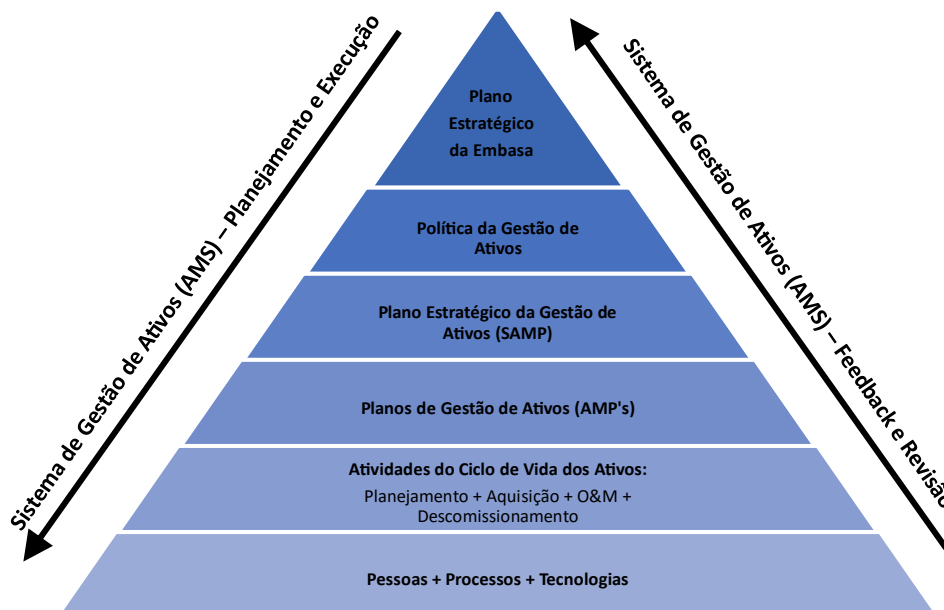
A visão definida pela EMBASA “Ser reconhecida como a melhor opção em serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário para o Estado da Bahia” é também outro fator convergente do plano estratégico para o SAMP, pois busca ser reconhecida como uma empresa de excelência na área em que atua.

Nota-se que muitos dos fatores negativos apontados na análise SWOT poderão ser fortalecidos com a elaboração e implementação do SAMP e da gestão de ativos.

5.2. Sistema de Gestão de Ativos (AMS)

A estrutura do AMS é apresentada na Figura 4. Com base na política de AM e objetivos organizacionais são estabelecidos os objetivos de AM, que por sua vez direcionam as atividades para o ciclo de vida dos ativos considerando o nível de serviço, acessibilidade, sustentabilidade e gestão de riscos. O SAMP determina esses elementos no nível estratégico, a partir de onde serão desenvolvidos os elementos de nível operacional e ferramentas para tomada de decisão de AM.

Figura 4: Elementos Chave do Sistema de Gestão de Ativos (AMS).



Fonte: Adaptado de IAM (2021).

O AMS interage com diversos setores dentro da organização. O AMS tem o objetivo principal de identificar as interfaces e interdependências com os demais sistemas de gestão de toda a organização.

O Sistema de Gestão de Ativos incluirá, assim: planos, processos e procedimentos, fluxos e requisitos de informação e comunicação, funções e responsabilidades (incluindo um comitê interdepartamental de governança para AM), atividades de melhoria, auditoria e avaliação, atividades de capacitação e treinamento e os recursos necessários para sua implementação.



5.3. Visão e Missão da Gestão de Ativos

5.3.1. Visão da Gestão de Ativos

“Atingir uma capacidade de gestão de ativos que permita à Embasa cumprir seus objetivos organizacionais e se tornar uma empresa eficiente, competitiva, rentável e economicamente sustentável, contribuindo para que seja reconhecida como a melhor opção em serviços de água e esgoto do Estado da Bahia.”

5.3.2. Missão da Gestão de Ativos

“Gerenciar de forma eficaz e eficiente todos os ativos da organização baseado em decisões que envolvam custos, riscos, níveis de serviço e expectativas das partes interessadas, favorecendo a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com excelência e sustentabilidade, contribuindo para a universalização e melhorando a qualidade de vida.”

5.4. Objetivos da Gestão de Ativos

Para o plano estratégico de gestão de ativos da Embasa no período 2021-2025, foram definidos os seguintes objetivos:

1. **Desenvolvimento do AMS:** Objetivo voltado para o desenvolvimento da maturidade do sistema de gestão de ativos, através do estabelecimento da governança e estrutura de gestão.
2. **Comunicação do AMS:** Objetivo voltado para o desenvolvimento e implementação de um plano de comunicação eficiente, promovendo o conhecimento e a cultura em gestão de ativos na organização.
3. **Confiabilidade do sistema:** Objetivo voltado para prover a confiabilidade do sistema através da definição dos níveis de serviço, da avaliação da condição dos ativos e da mensuração das consequências das falhas através da abordagem *Triple Bottom Line* (avaliando os aspectos sociais, ambientais e financeiros).
4. **Estratégia:** Objetivo voltado para o desenvolvimento e aplicação dos critérios de tomada de decisão, como a estratégia de Operação e Manutenção, Programa de Investimento de Capital, entre outros.
5. **Eficiência do Sistema:** Objetivo voltado para melhorar a eficiência dos sistemas de abastecimento de água e de coleta de esgoto da Embasa.

A Tabela 5 mostra o alinhamento entre os objetivos estratégicos da gestão de ativos, apresentados acima, e os objetivos do planejamento estratégico da Embasa 2021-2025.

O SAMP visa garantir que o trabalho contínuo de planejamento, projeto, aquisição, construção, operação, manutenção, reparo, reabilitação, reposição e descarte de ativos físicos contribuam para o sucesso organizacional. A Figura 5 ilustra um resumo deste alinhamento do SAMP com o Planejamento da Embasa, a Visão, Missão e os Objetivos propostos por este SAMP.

Tabela 5: Alinhamento entre os objetivos do SAMP e os Objetivos do Planejamento Estratégico da Embasa.

Alinhamento entre os objetivos do plano estratégico e os objetivos do SAMP	Objetivo 1 Desenvolvimento do AMS	Objetivo 2 Comunicação do AMS	Objetivo 3 Confiabilidade do sistema	Objetivo 4 Estratégia	Objetivo 5 Eficiência do Sistema
Alcances	Desenvolver as competências requeridas pelas estratégias	X	X	X	
	Elevar o nível de desempenho individual e das equipes	X	X	X	X
	Aprimorar as práticas de governança corporativa	X	X	X	
	Desenvolver cultura meritocrática voltada para o alto desempenho	X	X	X	
En	Efetivar a contratualização com os titulares				



	Realizar os investimentos necessários com assertividade	X	X	X	X
	Viabilizar recursos para os investimentos demandados			X	
	Maximizar a geração de receita e a eficácia da arrecadação				
	Racionalizar custeio e despesas com foco na competitividade		X	X	X
	Otimizar a alavancagem financeira da empresa	X		X	X
	Reduzir e controlar perdas de água		X	X	X
	Melhorar a gestão dos serviços que interferem na infraestrutura urbana			X	
	Gerir as demandas regulatórias e contratuais com maior eficácia		X	X	X
	Garantir a segurança operacional e a continuidade dos serviços		X	X	X
	Assegurar a excelência na comunicação e no relacionamento com os usuários				
	Promover a educação sanitária e ambiental dos usuários				
	Contribuir para a proteção e recuperação dos mananciais		X		
	Aperfeiçoar a gestão ambiental		X		
Resultados	Garantir a sustentabilidade econômico-financeira		X	X	X
	Avançar na universalização dos serviços de água e de esgoto		X	X	X
	Aprimorar a imagem e a reputação da empresa	X	X	X	X
	Elevar o patamar do desempenho socioambiental	X	X	X	X



Figura 5: Resumo do Alinhamento do SAMP com o Planejamento Estratégico da Embasa; Visão, Missão e Objetivos propostos para o SAMP.

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO EMBASA 2021-2025					
VISÃO: "Ser a melhor opção em serviços de água e esgoto para o Estado da Bahia"					
RESULTADOS:	Garantir a sustentabilidade econômico-financeira	Avançar na universalização dos serviços de água e esgoto	Melhorar a imagem da empresa	Obter um melhor desempenho ambiental	
ENGRENAGENS:	Aumentar a eficácia da arrecadação Otimizar custeio e despesas Reduzir e controlar perdas de água	Efetivar a contratualização com os titulares Realizar os investimentos necessários com assertividade Viabilizar recursos para os investimentos demandados Maximizar o uso da infraestrutura implantada	Aprimorar a gestão dos serviços que interferem na infraestrutura urbana Gerir as demandas regulatórias e contratuais com maior eficácia Garantir a continuidade do abastecimento de água Realizar atendimento resolutivo e eficaz	Promover a educação sanitária e ambiental dos usuários Promover a educação sanitária e ambiental dos usuários Aperfeiçoar a gestão ambiental	
ALICERCES:	Prover as competências requeridas pelas estratégias	Elevar o nível de desempenho individual e das equipes	Desenvolver cultura organizacional para o alto desempenho		
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE GESTÃO DE ATIVOS (SAMP) 2021-2025					
VISÃO: "Atingir uma capacidade de gestão de ativos que permita à Embasa cumprir seus objetivos organizacionais e se tornar uma empresa eficiente, competitiva, rentável e economicamente sustentável, contribuindo para que seja reconhecida como a melhor opção em serviços de água e esgoto do Estado da Bahia."					
MISSÃO: "Gerenciar de forma eficaz e eficiente todos os ativos da organização baseado em decisões que envolvam custos, riscos, níveis de serviço e expectativas das partes interessadas, favorecendo a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com excelência e sustentabilidade, contribuindo para a universalização e melhorando a qualidade de vida."					
OBJETIVOS DE AM:	Desenvolvimento do AMS	Comunicação do AMS	Confiabilidade do sistema	Estratégia	Eficiência do Sistema
	Desenvolvimento da maturidade do sistema de gestão de ativos, através da governança e estrutura de gestão.	Desenvolvimento e implementação do plano de comunicação, promoção da cultura em gestão de ativos na organização.	Garantia dos níveis de serviço, avaliação da condição dos ativos e da gestão dos riscos.	Desenvolvimento de critérios de tomada de decisão, estratégia de O&M e programa de investimento de capital.	Melhorias na eficiência do SAA e SES da Embasa.

6. Conclusão

A metodologia desenvolvida trata do processo de implantação do Sistema de Gestão de Ativos Governança da Gestão de Ativos. A governança da Gestão de Ativos será liderada pelo Comitê de Gestão de Ativos. O Regimento Interno do Comitê de Gestão de Ativos define a natureza, a competência, a composição, o funcionamento e atribuições do Comitê, de forma que ele passa a ser responsável por gerenciar a Política de Gestão de Ativos, supervisionar e acompanhar o SAMP e outros documentos relevantes, coordenar o Plano de Capacitação, estabelecer um Plano de Comunicação, avaliar resultados, propor cronogramas, convocar reuniões e acompanhar tratativas de planos de ação.

A Embasa está implementando um Sistema de Gestão de Ativos Operacionais para melhor planejar suas reposições de ativos operacionais, mas atualmente define o orçamento de investimento em reposição com base em estimativas paramétricas não muito estruturadas. No Plano de Negócios, 10% dos investimentos totais foram definidos para reposições. Ainda, a Embasa já vislumbra a utilização de um percentual médio de reposição anual correspondente à taxa de depreciação regulatória, de reposição anual do valor da base de ativos (de 1,84% ao ano na referência informada), representa a taxa de reposição que, teoricamente, garantiria a reposição dos ativos na mesma proporção da depreciação dos ativos.

A implantação de um Sistema de Gestão de Ativos, no entanto, não é tarefa pontual dentro de uma organização e sim um processo contínuo através de uma longa jornada, dinâmico e gradual, que envolve toda a organização e demanda constante atualização para que os objetivos da gestão de ativos estejam sempre alinhados com os objetivos estratégicos da empresa.

É muito importante ressaltar que uma parte essencial em qualquer implantação de um Sistema de Gestão de Ativos é a gestão da mudança cultural da empresa e de seus colaboradores, que naturalmente estão habituados a uma forma de trabalhar e de gerir os ativos. Por isso, ações como comunicação, capacitação e alinhamento são fundamentais na agenda de atuação do Comitê de Gestão de Ativos.



Nesse sentido, a Embasa se tornou uma das pioneiras empresas prestadoras de serviços de saneamento no Brasil a se mobilizar na implantação de um Sistema de Gestão de Ativos.

Agradecimentos

Agradeço a todos os colegas que trabalharam e trabalham conjuntamente no comitê para a implantação de um sistema de Gestão de Ativos dentro da Embasa, em especial a Rinaldo Camurugy pela parceria e Leonardo Góes, Presidente da Embasa pela liderança e patrocínio em todo esse processo. A família e amigos pelo apoio em todos os momentos da minha vida. Agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste artigo.

Referências

ABNT. (2014a). *Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos (ABNT NBR ISO 55001)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

ABNT. (2014b). *Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia (ABNT NBR ISO 55000)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

ABNT. (2020). *Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001 (ABNT NBR ISO 55002)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. <https://www.abntcatalogo.com.br/>

Alegre, H. (2010). Is strategic asset management applicable to small and medium utilities? *Water Science and Technology*, 62(9), 2051–2058. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.509>

Alegre, H., Amaral, R., Brito, R., & Baptista, J. (2020). Public policies as strategic asset management enablers: The case of Portugal. *H2Open Journal*, 3(1), 428–436.

Alegre, H., Coelho, S. T., Covas, D. I. C., Almeida, M. do C., & Cardoso, A. (2013). A utility-tailored methodology for integrated asset management of urban water infrastructure. *Water Supply*, 13(6), 1444–1451. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.108>

Almeida, M., & Cardoso, M. (2010). *Gestão patrimonial de infraestruturas de águas residuais e pluviais: Uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR e LNEC.

ARCADIS. (2021). *Produto 2.2 — Elaboração do Planejamento Estratégico para a Gestão de Ativos — SAMP. Projeto de Cooperação Técnica (PCT) BRA/IICA/16/003*. Governo do Estado da Bahia.

Brandão, A. M., Furlaneto, E. R., Junior, M. O. F., Conceição, N. S., Monteiro, T., & Tosta, V. (2022). A importância da gestão de ativos no saneamento. *Revista Regulação em Foco*, 2(1), 19–25.

Cardoso, M. A., Almeida, M. C., & Santos Silva, M. (2016). Sewer asset management planning – Implementation of a structured approach in wastewater utilities. *Urban Water Journal*, 13(1), 15–27. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2015.1076859>

Cardoso, M. J., Silva, M. C., Coelho, S. T., Almeida, M., & Covas, D. (2012). Urban water infrastructure asset management – A structured approach in four water utilities. *Water Science & Technology*, 66(12), 2702–2711. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.509>

EMBASA — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2021). *Relatório da Administração, de Sustentabilidade e Demonstrações Financeiras*.

EMBASA — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2022). *COPAE – Controle Operacional de Água e Esgoto*. <https://www.embasa.ba.gov.br/>

EMBASA — Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (2024). Acesso em 18 de Junho 2024, em <https://www.embasa.ba.gov.br/a-embasa/quem-somos/apresentacao>



Halim, M., & Mohammed, A. (2014). Identification of critical level of assets by using analytic hierarchy process for water assets management. *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(2), 54–58. <https://www.ijtra.com/special-issue-download.php?paper=identification-of-critical-level-of-assets-by-using-analytic-hierarchy-process-for-water-assets-management>

IAM — The Institute of Asset Management. (2021). Developing and maintaining a Strategic Asset Management Plan (SAMP). In *The IAM Handbook* (Version 1.1). Londres, Reino Unido.

ISO. (2018). *Asset Management. Achieving the UN Sustainable Development Goals*.

KPMG. (2021). *Quanto custa universalizar o saneamento no Brasil?* <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2020/06/quanto-custa-universalizar-o-saneamento-no-brasil.html>

Leitão, J. P., Caradot, N., Cherqui, F., Tschekner-Gratl, F., Ahmadi, M., Langeveld, J. G., Le Gat, Y., Scholten, L., Roghani, B., Rodríguez, J. P., Lepot, M., Stegeman, B., Heinrichsen, A., Kropp, I., Kerres, K., Almeida, M. do C., Bach, P. M., Moy de Vitry, M., Sá Marques, A., & Simões, N. E. (2019). Sewer asset management – State of the art and research needs. *Urban Water Journal*, 16(9), 662–675. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2020.1713382>

Lombana Cordoba, C., Perez Penalosa, F., Saltiel, G., & Sdik, N. (2021). Utility of the Future: Taking water and sanitation utilities beyond the next level — A methodology to ignite transformation in water and sanitation utilities. *The World Bank*.

Mohammadifardi, H., Knight, M., & Unger, A. (2022). Sustainability assessment of strategic asset management decisions on municipal water infrastructure systems: Framework and application. *AWWA Water Science*, 4(4). <https://doi.org/10.1002/aws2.1297>

SNIS. (2020). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*.

Wied, M., Oehmen, J., & Welo, T. (2019). Conceptualizing resilience in engineering systems: An analysis of the literature. *Systems Engineering*, 23(1), 3–13. <https://doi.org/10.1002/sys.21491>

Yang, Z., Barroca, B., Weppe, A., Bony-Dandrieux, A., Laffrêchine, K., Daclin, N., November, V., Omrane, K., Kamissoko, D., Benaben, F., Dolidon, H., Tixier, J., & Chapurlat, V. (2023). Indicator-based resilience assessment for critical infrastructures — A review. *Safety Science*, 160, 106049–106049. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106049>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da *RAE — Revista de Ativos de Engenharia* é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.



Criação colaborativa de ativos construídos com projeto BIM multidisciplinar: Modelos 3D, 4D e 5D


Collaborative creation of constructed assets with multidisciplinary BIM project: 3D, 4D and 5D models

[10.29073/rae.v2i2.899](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.899)


Recebido: 1 de março de 2024.

Aprovado: 3 de abril de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a 1: Alcinia Sampaio , Universidade de Lisboa e IST, Portugal, zita@civil.ist.utl.pt.

Autor/a 2: Raquel Sarmento, Universidade de Lisboa e IST, Portugal, raquel.sarmento@tecnico.ulisboa.pt.

Autor/a 3: Augusto Gomes , Universidade de Lisboa e IST, Portugal, augusto@civil.ist.utl.pt.

Resumo

A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) constitui actualmente o principal suporte ao desenvolvimento de projetos integrados e colaborativos no âmbito da indústria da Arquitectura, Engenharia, Construção e Operações (AECO), tendo vindo a ser implementada em todos os sectores da atividade e a um nível mundial. O presente estudo pretende divulgar a capacidade colaborativa do projeto BIM multidisciplinar construído a partir de um modelo BIM 3D integrado. O estudo descreve os processos de modelação de distintas disciplinas (arquitetura, estruturas e redes de águas domésticas e de eletricidade), a análise de conflitos entre componentes, o estabelecimento do planeamento da construção (modelo BIM 4D) e, ainda, a obtenção da estimativa de custos (modelo BIM 5D). De forma a abranger em detalhe os diversos procedimentos, o caso de estudo seccionado foi adstrito a uma zona específica de uma moradia, as instalações sanitárias, por apresentar uma suficiente complexidade no processo de modelação, na identificação e temporização de etapas construtivas associadas aos recursos humanos necessários e na estimativa de custos envolvidos por disciplina e componente. A simulação visual do planeamento da construção foi elaborada por recurso a um visualizador BIM. O estudo pretende constituir um contributo positivo na disseminação de um adequado uso dos sistemas de base BIM disponíveis, evidenciando o carácter integrador da metodologia na fase de criação dos ativos e sistemas de ativos construídos. Adicionalmente, o propósito principal é promover a potencialidade de integração de tarefas de planeamento e de orçamentação tradicionalmente desenvolvidas em processos paralelos.

Palavras-Chave: BIM; Modelo BIM Multidisciplinar; Colaboração; Integração; Modelo 4D; Modelo 5D.

Abstract

The Building Information Modelling (BIM) methodology is currently the main support for the development of integrated and collaborative projects within the Architecture, Engineering, Construction and Operations (AECO) industry, having been implemented in all sectors of activity and worldwide. The present study aims to disseminate the collaborative capabilities of multidisciplinary BIM projects building upon an integrated 3D BIM model. The study describes the modelling processes of different disciplines (architecture, structures and networks of domestic water and electricity), the analysis of conflicts between components, the establishment of the construction planning (4D BIM model) and also the obtaining of the cost estimate (5D BIM model). In order to cover in detail, the various procedures, the case study was restricted to a specific area of a house, the sanitary facilities, as it presents a sufficient complexity in the modeling process, in the identification and timing of construction steps associated with the necessary human resources and in the estimation of costs involved by discipline and component. The visual simulation of the construction planning was prepared using a BIM viewer. The study aims to make a positive contribution to the dissemination of an adequate use of the available BIM-based systems, highlighting the integrative character of the methodology for the creation stage of constructed



asset and asset systems. In addition, the main purpose is to promote the potential for integrating planning and budgeting activities tasks that are traditionally elaborated as a parallel process.

Keywords: 4D Model; 5D Model; BIM; Collaboration; Integration; Multidisciplinary BIM Model.

1. Introdução

Seguindo as diretivas governamentais no sentido de incrementar a transformação digital na indústria da Construção, a implementação da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem vindo a ser introduzida como um procedimento apoiado em tecnologias avançadas capazes de agilizar a elaboração de projetos integrados e colaborativos, desenvolvidos em formato digital, contribuindo para a obtenção de produtos finais precisos, sustentados e eficientes. A implementação da metodologia BIM tem contribuído muito positivamente para a otimização da produtividade na elaboração de projetos, gestão e manutenção e no controlo de qualidade da construção (Sampaio, 2017).

A geração de modelos BIM representativos dos projetos em análise, permitem a mitigação de erros de projeto, da repetição de informação e de inconsistência de dados entre fases (Sacks *et al.*, 2018). A sua aplicação em distinto tipo de construção, tem sido registada em inúmeras publicações académicas e de descrição de casos práticos, demonstrando resultados vantajosos (Smith, 2014) (Charef *et al.*, 2018) (Ingram, 2020). A par naturalmente de alguma dificuldade da sua introdução em sectores como o projeto de estruturas ou a simulação energética, devido a um elevado nível de ineficiência na capacidade de interoperabilidade que ainda persiste nos processos de transferência de modelos entre sistemas de base BIM. Com o incremento da evolução da tecnologia subjacente ao BIM, diversos fabricantes de *software* têm vindo a ajustar os seus produtos de modelação digital de forma a incluir a metodologia BIM, baseada numa modelação paramétrica tridimensional (3D) e, adicionalmente, a desenvolver *scripts* específicos, *plug-ins* e extensões, assim como a criar periféricos relacionados, dirigidos às mais distintas aplicações no âmbito da construção. A integração e a colaboração são, assim, promovidas com o recurso a complementos de execução de tarefas normalmente requeridas na elaboração de projetos completos:

- A **colaboração** entre profissionais das diferentes disciplinas pode ser fortemente impulsionada com a geração de diferentes modelos BIM 3D, relativos a cada especialidade, e eventualmente desenvolvidos por técnicos distintos, e localizados em locais remotos, constituindo uma característica fundamental do BIM, mas que na atual prática ainda não é suficientemente aplicada. O presente trabalho, pretende contribuir para um melhor reconhecimento desta potencialidade do BIM;
- No contexto da atividade inerente à indústria falta ainda alguma divulgação dirigida às potencialidades do BIM no **planeamento** do processo de construção com a possibilidade da visualização simulada da obra e da comparação da construção planeada com a real no local (BIM 4D);
- Adicionalmente, ainda subsiste alguma resistência no entendimento de que os modelos 3D completos, em termos de informação associada a cada projeto de especialidade, podem constituir a base adequada ao desenvolvimento de **orçamentos** detalhados por disciplina, componente ou zona de construção (BIM 5D).

A elaboração dos projetos de arquitetura, estruturas e de redes de águas e de eletricidade, alvo de modelação no presente trabalho, permite compreender o procedimento aplicado, a colaboração e a integração de disciplinas, capacidades inerentes à metodologia BIM. Adicionalmente, a quantificação de material aplicado nos diversos projetos de especialidades e o planeamento da construção são igualmente tarefas desenvolvidas sobre o modelo completo. A principal contribuição do presente trabalho é demonstrar, sobre um caso de estudo modelado com um elevado nível de detalhe, como os aspectos de colaboração, planeamento da construção e orçamentação, são tarefas suscetíveis de ser elaboradas de um modo ágil, correto e completo tendo como base o modelo multidisciplinar 3D BIM. Na execução das atividades de planeamento e de orçamentação é necessário incrementar a informação do modelo 3D, nomeadamente, em relação à identificação de tarefas de construção e cálculo do respectivo período temporal de execução assim como à associação de dados relativos a custos

unitários, constituindo uma informação complementar que deve ser acrescentada aos modelos 3D criados por disciplinas. A modelação 3D é insuficiente para a obtenção de modelo 4D e 5D pelo que deve ser acrescentada a informação requerida. Esta característica deve ser entendida como um benefício e não como uma limitação.

2. Revisão de Literatura

A primeira referência ao termo BIM foi mencionada em 1992, por Erik Jan Van Nederveen e Frits Tolman (Eastman, 1999). Desde os anos sessenta, do séc. XX, o conceito de base, uma modelação com informação incorporada, era referida pelo termo *Building Modelling*. Posteriormente foi definido o conceito de *Building Product Model* apresentado como uma nova representação digital para arquitetura, engenharia civil e construção de edifícios apoiado em tecnologia e uma inovadora metodologia baseada no modelo de produto de construção. O objetivo na criação destes modelos era o de permitir extrair informação específica da sua base de dados.

Atualmente, a metodologia BIM tem constituído o modo privilegiado, e mesmo obrigatório por imposição governamental, de trabalho, no âmbito da construção, em diversos países (Al-Mohammad *et al.*, 2022). No entanto, o grande potencial do BIM é fornecer a informação precisa, requeridas e relevantes não apenas durante o projeto e a construção do edifício, mas também durante todo o ciclo de vida de todas as componentes e instalações. A sua implementação na indústria da construção tem contribuído para o estabelecimento de normas de atuação, que propõem regulamentar, uniformizar e facilitar a sua implementação numa fase de transição e de adaptação progressiva para esta metodologia. A ação natural na adoção da metodologia numa empresa ou num projeto interdisciplinar, é a criação de mecanismos que permitam fomentar a sua implementação e o correto uso do *software* disponível, no desenvolvimento de projetos de edifícios, monitorização da sua construção e, posteriormente, na gestão e manutenção relativos ao período de ocupação do edifício (Schley *et al.*, 2016).

A integração destas atividades requer, contudo, o estabelecimento de diversos processos de transferência de modelos entre sistemas de base BIM, ocasionando inconsistências e perda de dados, originadas por falta de conhecimento dos profissionais no uso adequado do *software* disponível e da limitação inerente ao grau de interoperabilidade existente, que deve ser completamente conhecida pelo técnico. Apesar do estabelecimento de padrões de formato genérico, identificados por diversos sistemas BIM, nomeadamente, o formato de dados *Industry Foundation Class* (IFC), criado pelo organismo internacional BuildingSMART (BuildingSMART, 2022), e recentemente definida na normativa ISO 19650 englobando uma série de padrões vinculados ao uso de BIM, não garantem a total correção da informação contida nos modelos, nos processos de transferência entre sistemas (Sampaio *et al.* 2022). A limitação verificada no desenvolvimento de projetos completos, em que tem lugar a transferência de modelos BIM entre sistemas, é a principal causa de resistência na adoção do BIM em sectores da indústria. Contudo, os sistemas BIM disponíveis no mercado permitem o arquivo e a leitura de ficheiros no formato IFC, um formato normalizado que pode ser aberto e editado por qualquer *software* BIM. Mas apesar do constante estabelecimento de versões mais avançadas e abrangentes do padrão IFC, a confiança ainda não é plena, mas é um processo em progresso no sentido de melhorar a garantia na correção dos dados transferidos (Sampaio, 2021).

A fim de incentivar a implementação do BIM na indústria da construção, os governos têm publicado alguma legislação orientada para a promoção da sua adoção no sector. Um número crescente de países já demonstrou iniciativas na sua prática, mas quer a nível empresarial quer governamental existe algum atraso na sua implementação e obrigatoriedade. Os países nórdicos, Finlândia, Noruega, Suécia e Dinamarca, foram os pioneiros na implementação da metodologia e conseqüentemente na elaboração de guias de atuação comuns (buildingSMART Norge, 2024). Em países como os Estados Unidos da América, Reino Unido e Austrália foram igualmente concretizadas normas ou guias de boa conduta assim como estratégias para a sua implementação no sector (Adams, 2018). A entrega de modelos BIM relativa a projetos de obras públicas é uma exigência em diversos países europeus como o Reino Unido, a Holanda e Singapura (Taborda & Cachadinha, 2012). Noutros países como a Austrália, Brasil, Japão, Coreia do Sul e Nova Zelândia foram definidas medidas para acelerar a implementação da metodologia BIM (Smith, 2014). Ao nível nacional a sua adoção foi apontada para o ano



2024, através da Portaria 255/2023, onde é referida pela primeira vez, “dar importante suporte ao CCP — Código dos Contratos Públicos para a contratação pública em BIM, ao introduzir os modelos [...] desenvolvidos com recurso à metodologia BIM na elaboração dos projetos de obra pública” (Portaria, 2023).

Vários registos documentais evidenciam os benefícios da aplicação do BIM no desenvolvimento de modelos paramétricos dos projetos, com características limitadas a uma ou duas disciplinas, nomeadamente, arquitetura, estruturas ou ambos (Rivera *et al.* 2019), (Coelho, 2020), (Merschbrock & Munkvold, 2015), (Baik, 2017). Não é tão recorrente a integração multidisciplinar, podendo, no entanto, ser destacados alguns os trabalhos (Alawad, 2017), (Tang *et al.* 2019), (Terreno *et al.* 2015), (Teng *et al.* 2022). Os modelos BIM 4D e 5D são referidos de um modo complementar, mas não de uma forma integrada plena referindo apenas a adição de informação (Koutamanis, 2020), (Ding *et al.* 2014). O presente trabalho pretende alertar para as potencialidades na agilização e integração do projeto BIM, evitando a repetição de informação e a omissão de dados na obtenção do projeto de construção associado à orçamentação por etapas construtivas.

3. Metodologia

Como metodologia foi adoptada a sequência de atividades, iniciando pela modelação do projeto, seguindo com a obtenção da estimativa ornamental e, finalmente, com o estabelecimento do planeamento da construção (Sarmiento, 2023):

- Sobre um **caso de estudo**, de volume reduzido, mas de complexidade suficiente à ilustração do procedimento integrado, foi desenvolvido um modelo BIM composto por diversas disciplinas, relativo a duas instalações sanitárias de uma habitação unifamiliar, localizada no Algarve. Com base nos desenhos CAD fornecidos representativos dos projetos das especialidades em arquitetura, estruturas, distribuição de água, drenagem de água e rede de eletricidade, foi gerado o respectivo modelo, individualizado por disciplinas. O sistema selecionado para a concepção do modelo global foi o Revit (Autodesk), de acesso académico gratuito;
- Por recurso ao mesmo sistema de modelação, foi obtida a **quantificação** de materiais, equipamentos sanitários, componentes eléctricos e elementos lineares das redes de águas e eletricidade, foram avaliadas as estimativas de **custos** (5D) associados ao projeto;
- Posteriormente, por recurso ao visualizador BIM, o Navisworks (Autodesk), foi desenvolvido o correspondente modelo de **planeamento da construção** (4D) e estimadas as durações de execução de cada componente.

3.1. Geração de Modelos de Arquitetura e de Estruturas

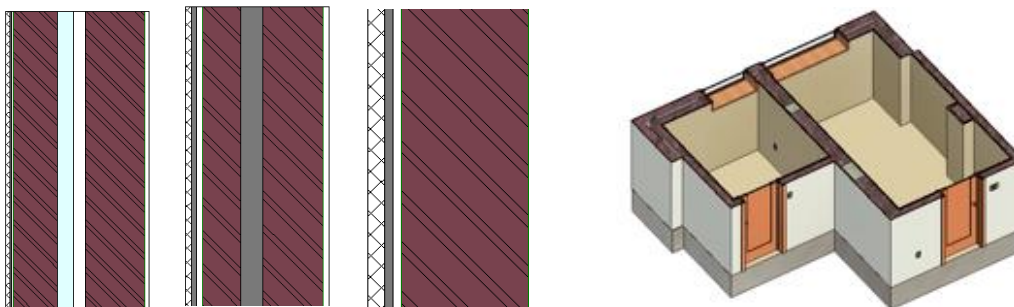
Com o foco apenas nas duas instalações sanitárias destacadas do projeto fornecido, foi possível definir, de um modo completo, o modelo das diversas disciplinas e efetuar a sua análise de conformidade com a possibilidade de sobreposição de modelos (arquitetura, estruturas e redes de águas e eletricidade). O modelo BIM completo e detalhado permite efetuar a deteção de conflitos físicos entre as diversas disciplinas.

A geração de um modelo BIM é iniciada pela seleção do tipo de disciplina a criar, seguido do estabelecimento das unidades de trabalho, da indicação do número de pisos a considerar no modelo, devidamente identificados e associados à respetiva cota, e, ainda, do traçado dos alinhamentos em planta necessários à inserção de componentes verticais. As duas instalações sanitárias são contíguas e estão localizadas no primeiro piso da moradia. Seguindo a informação contida nos desenhos CAD do projeto de estruturas, foi identificada uma grelha de alinhamentos e os níveis relativos ao piso 1 e à cobertura com cotas de valores de 12,65m e 15,85m, respetivamente.

A modelação da arquitetura é iniciada com a modelação das **paredes** envolventes da zona em estudo, tendo sido criados novos objetos paramétricos, representativos das paredes exteriores e interiores e ainda de um murete na envolvente da cobertura em terraço (Figura 1 **Error! Reference source not found.**):

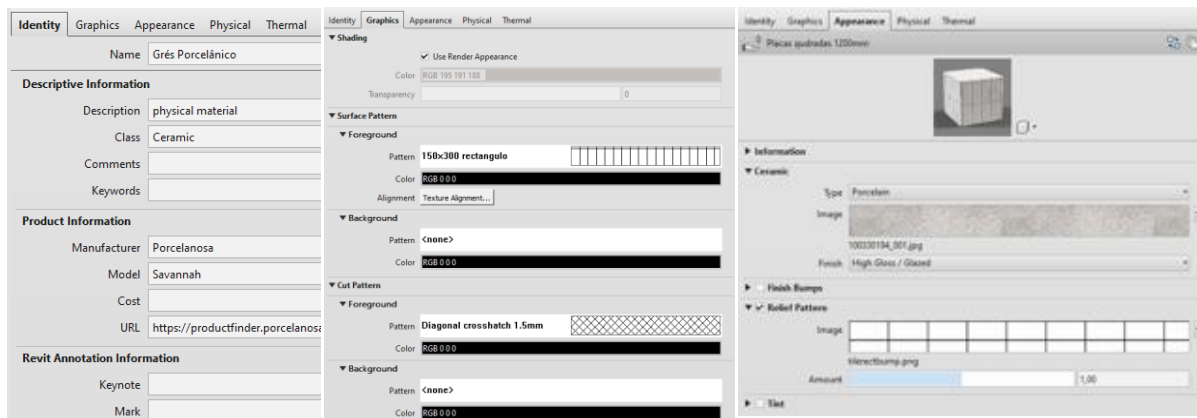
- A **parede exterior** foi definida com as camadas requeridas de distinto material e espessura (azulejo de grés porcelânico, argamassa, estuque, tijolo de 11cm, poliestireno extrudido (XPS), caixa de ar, tijolo de 15cm e reboco);
- As **paredes interiores** consideradas são de três tipos, de 15cm de espessura (painel de tijolo de 11cm revestida a azulejo de grés), de 25cm, partilhada pelas instalações sanitárias e outras divisões (painéis de tijolo de 7cm e de 11cm com revestimentos de reboco e elementos cerâmicos), de 21cm, partilhada pelas duas instalações sanitárias (duplo painel de tijolo de 11cm e de 7cm, com isolamento de lã rocha).

Figura 1: Definição e inserção de paredes no modelo BIM de arquitetura.



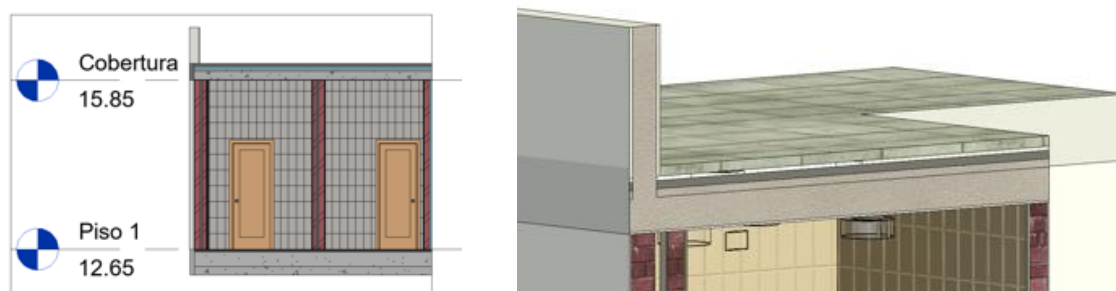
As **portas** e as **janelas** foram colocadas de acordo com o projeto fornecido. A biblioteca de materiais do Revit contém diversos tipos de **materiais**, mas para o modelo foram criados novos materiais referentes ao grés porcelânico e à camada de isolamento XPS, através da opção *Create New Material*, incluída na interface de seleção de materiais. Adicionalmente, foi inserido diverso tipo de informação como o fornecedor, o modelo selecionado, a página *web* do fabricante e guia de aplicação do material (Figura 2). Através da secção *Graphics* é possível selecionar os padrões de representação do material numa vista de frente (placas de 150 x 300mm², com um espaçamento de 0,30m horizontalmente e 0,15m verticalmente), numa vista em corte (reticulado rodado a 45º) e numa representação de cores consistentes (de acordo com as fotografias obtidas no local).

Figura 2: Características do material de revestimento cerâmico aplicado.



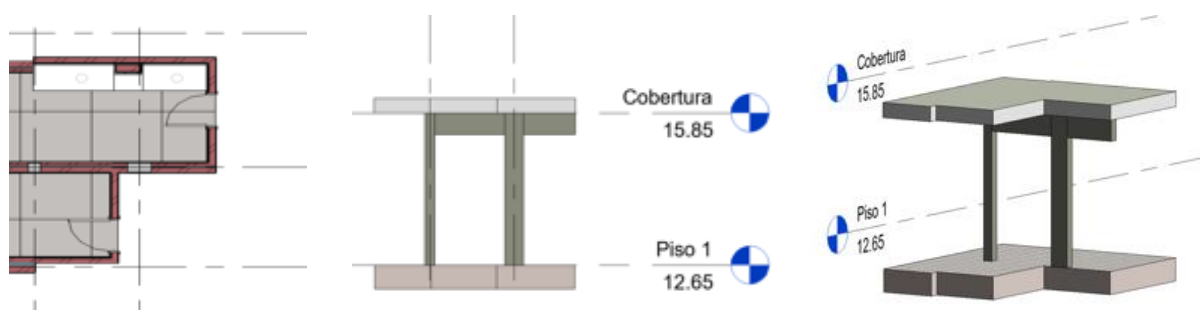
No piso da cobertura em terraço foi modelada inicialmente uma laje de espessura constante, e, em seguida, a sua superfície superior foi ajustada às inclinações de escoamento requeridas (opção *Modify Sub Elements*) (Figura 3).

Figura 3: Representação do pavimento, paredes e cobertura do modelo.



A solução **estrutural** definida como suporte resistente à componente de arquitetura é composta por pilares, vigas e lajes. Os objetos paramétricos criados pertencem às famílias de pilares e da viga de secção retangular de betão, tendo sido estabelecidos os pilares de secção $0.20 \times 0.20 \text{m}^2$ e de $0.20 \times 0.40 \text{m}^2$ e a viga de secção $0.20 \times 0.45 \text{m}^2$. As lajes em betão armado foram modeladas na disciplina de Arquitetura (Figura 4).

Figura 4: Componente de estruturas do modelo.



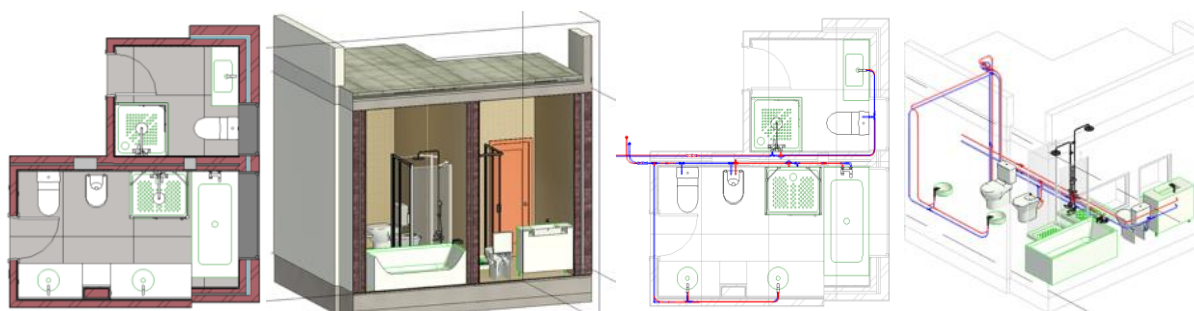
Os elementos estruturais modelados correspondem apenas aos limites da zona de instalações sanitárias, de forma a conseguir, posteriormente, incluir os sistemas de redes de águas e elétrica evitando conflitos. Com o objetivo de se poder obter automaticamente do modelo, uma correta quantificação dos materiais, o volume dos elementos estruturais foi subtraído ao volume das paredes. No menu *Modify*, a opção *Join*, ao ser aplicada sobre o modelo, retira o volume de parede equivalente ao elemento estrutural e funde os dois elementos por forma a deixar de contabilizar as duas geometrias no mesmo espaço.

3.2. Geração do Modelo de Redes de Águas

Os projetos de redes prediais foram igualmente modelados por recurso ao mesmo sistema de modelação BIM. Os objetos paramétricos necessários foram alguns selecionados da biblioteca disponibilizada no sistema e outros elementos foram facilmente acedidos nas páginas *web* disponibilizadas pela Autodesk. Previamente à modelação dos sistemas de águas foram selecionados, através da página *web BimObject*, os equipamentos sanitários requeridos como banheira, chuveiros, lavatórios, torneiras, bidés e sanitas (Figura 5).

A rede de abastecimento de águas estabelece a ligação entre a rede pública e os diversos equipamentos localizados nas instalações sanitárias. Recorrendo novamente à página *web BimObject* foram importados os elementos de tubagem, no material referido no projeto, em multicamada. No modelo, ao ser selecionado um dispositivo que necessite de abastecimento de água, como por exemplo uma torneira de lavatório, são visualizados dois ícones de cor azul e vermelha, correspondentes a águas frias e quentes, respetivamente. Após a seleção de um dos ícones, é gerada a rede de tubagens escolhida, sendo necessário indicar as características do troço de tubo como o diâmetro pretendido e a respetiva cota, informações retiradas dos desenhos CAD (Figura 5).

Figura 5: Dispositivos sanitários inseridos no modelo e rede de distribuição de águas.

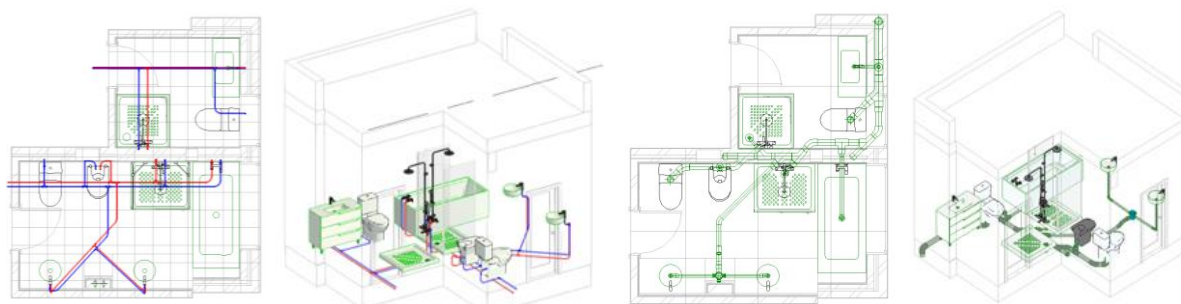


A modelação da rede de águas frias verificou as recomendações e boas práticas expressas no Manual de Redes Prediais da EPAL (2023). De acordo com a regulamentação, as canalizações interiores foram consideradas com um revestimento superior a 2cm, e não se encontram embutidas nem no interior dos elementos estruturais nem das lajes dos pavimentos com função estrutural. Para a modelação da rede de águas quente, foram seguidas as recomendações do Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas (Pedroso, 2008), tendo sido desenvolvidas paralelamente às tubagens de água fria num plano superior a uma distância não inferior a 5cm.

Concluído o processo de modelação das redes de águas é analisado a interferência entre disciplinas. As opções do Revit, *Pipe Accessories*, *Pipe Fittings* e *Pipes* com *Structural Columns*, *Walls*, *Pipe Accessories*, *Pipe Fittings* e *Pipes*, foram acionadas de forma a identificar colisões físicas entre componentes. Foram detectadas e posteriormente ajustadas as colisões físicas entre os tubos e acessórios, dispositivos, paredes e pilares. Na sua resolução foram deslocados alguns troços de tubagem e foram também criados alguns acessórios de passe, como as uniões de cruzamento, de forma a evitar a intersecção entre tubos. O projeto de redes de águas consultado nos desenhos CAD identifica as tubagens no interior das paredes. Contudo, por análise das fotografias realizadas durante a execução da obra, foi possível verificar que as tubagens da distribuição de água tinham sido colocadas no pavimento e não nas paredes. Os tubos de multicamada são constituídos por material maleável, facilmente adaptável ao interior da laje. Assim, foi necessário duplicar o modelo criado e proceder ao seu ajuste por forma a representar a correta colocação da tubagem.

A modelação da rede de tubagens referente à drenagem de água é muito similar à concepção do modelo das redes de distribuição de água. Como indicado no projeto facultado, o material aplicado corresponde a policloreto de vinila (PVC). Este material foi criado, no Revit, como um novo material, sendo o aspeto gráfico e as propriedades associadas adequadamente estabelecidas consultadas do catálogo de produtos relacionado.

Figura 6: Rede de distribuição de águas reajustada e rede de drenagem.

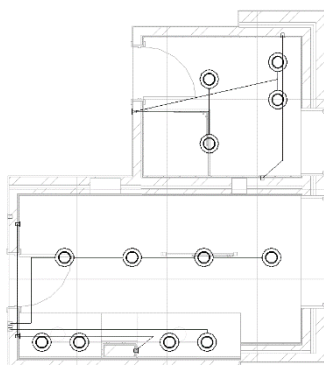


3.3. Geração do Modelo de Rede Elétrica

Para a modelação do projeto de eletricidade foram utilizados os objetos paramétricos representativos de interruptores duplos, pontos de luz e tomadas monofásicas com terra. Através da opção *Space*, foram designadas as duas instalações sanitárias, como “I.S. B”, o espaço de maiores dimensões e como “I.S. C” o de menor área.

Na modelação do projeto foram selecionados os dispositivos de tomada, através da opção *Power*, seguida do ícone *Edit Circuit*, e foram adicionados ao circuito. De seguida, foram colocados, no teto do primeiro piso, os pontos de luz requeridos, e os interruptores nas paredes em cada instalação sanitária. O circuito elétrico tem duas componentes, um referente à energia (*Power*) e a outra relacionada com os interruptores (*Switch*). Para o circuito de interruptores foram apenas selecionadas as iluminações correspondentes a cada instalação sanitária e foram ligadas ao correspondente interruptor. O circuito de energia foi ligado a um painel de eletricidade. Considerando que o modelo criado se refere apenas a duas instalações sanitárias, os dispositivos elétricos não se encontram ligados ao painel, mas apenas entre si. Finalmente, foi colocada a rede de fios elétricos. No presente modelo, foi usada a opção de ligação automática. Contudo, foram considerados alguns ajustes ao traçado dos fios tendo sido removidas linhas e outras adicionadas de acordo com o projeto (Figura 7).

Figura 7: Rede elétrica.



4. Modelo de Planeamento da Construção (4D)

O modelo 3D BIM completo constitui a base de trabalho ao estabelecimento do planeamento da construção, possibilitando a simulação visual do processo e a monitorização da obra real. Para a geração do modelo 4D (modelo 3D + fator tempo), o modelo composto pelas quatro disciplinas foi transferido para um visualizador BIM, o *software* Navisworks (AutoDesk), compatível como Revit. Navisworks permite aplicar diversos tipos de ações sobre o modelo criado, nomeadamente, a análise de conflitos (*clash detection*), a aplicação de funcionalidades de fotorrealismo e a associação de tarefas de construção a componentes construtivas, de forma a definir um modelo BIM 4D.

4.1. Identificação de Atividades e Duração

O modelo Revit foi exportado no formato *nwc* para o *software* Navisworks. É necessário transferir para o Navisworks o mapa de *Gant* das atividades da construção ordenadas sequencialmente, associadas ao respectivo período de execução. A geração do gráfico de *Gant* pode ser obtida por recurso a programas próprios de planeamento como o MS Project (Microsoft) ou o Primavera (Oracle). Contudo, neste trabalho foi selecionado o *software* Excel (Microsoft). No âmbito do estudo académico, desenvolvido numa perspectiva de entender, conhecer e divulgar quais os modos de atuação na elaboração de um projeto multidisciplinar e tarefas associadas, a componente de planeamento foi apoiada na organização de tarefas, cronologia e sequência, obtida na forma de um ficheiro de Excel, suficiente para ilustrar o procedimento subjacente à operação de geração do modelo 4D requerido. Foram consideradas as colunas referentes à ordem das atividades, designação, início e o fim de cada atividade e tipo de tarefa a realizar. Foram consideradas distintas atividades ordenadas cronologicamente: pavimento; pilares e vigas; paredes; cobertura e murete, redes de águas e de eletricidade; janelas e portas; equipamentos sanitários; dispositivos para iluminação.

A obra está concluída, mas todo o processo construtivo foi documentado fotograficamente, possibilitando considerar o mês de setembro de 2014 como o início da obra. Foi estipulada a duração de cada atividade com base em tabelas de rendimentos de mão-de-obra (Branco, 1998). Na execução da obra das instalações sanitárias foram consideradas dois trabalhadores em todas as tarefas.



A **betonagem** da laje maciça do pavimento do piso 1 corresponde a uma taxa Homem-hora de 1,25/m³, taxa que é, posteriormente, multiplicada pelo volume de betão, de 2,6m³, quantidade obtida no Revit, e em seguida o valor do produto é dividido pela quantidade de pessoas que vão executar a operação, tendo sido obtido um valor de 1,60h, que dividido por oito horas de trabalho, resultam em 0,20 dias, correspondendo aproximadamente a 2 horas para um dia de 8 horas de trabalho (Tabela 1).

Tabela 1: Cálculo da duração das atividades associadas à execução da laje do piso.

Atividade	Taxa H- h/uni.	Unidade	Homem	Quantidade	Uni.	Horas
Betonagem	1.250	H x h/m ³	2	2.6	m ³	2
Armadura de D10 mm	0.315	H x h /10kg	2	212.5	kg	3
Armadura de D12 mm	0.283	H x h /10kg	2	118.8	kg	2
Cofragem	2.500	H x h/m ²	2	16.0	m ²	20
Aplicação da camada de forma	1.550	H x h/m ²	2	16.0	m ²	12
Aplicação da betonilha	0.940	H x h/m ²	2	16.0	m ²	8
Colocação de grés porcelânico	1.390	H x h/m ²	2	16.0	m ²	11
TOTAL						58

Para as **armaduras**, foi considerado o corte, a dobragem, a armação e a colocação de varões. Foi identificada uma produtividade distinta associada verificado a varões de 10 e 12 mm de diâmetro, como a taxa homem por hora para a armadura é atribuída por 10kg de aço, foi necessário estimar o peso das armaduras. Foi obtido o peso total de 212,5kg e 118,8kg, correspondentes a 3,35h e 1,68h, para os varões de 10mm e de 12mm, respetivamente;

Adicionalmente, foi ainda calculado o período da atividade da execução da **cofragem**, de molde às lajes, pilares e vigas, de colocação de **betonilha**, uma argamassa hidráulica colocada na base do revestimento com um acabamento por colagem ou cimentação, e de aplicação das **placas de grés porcelânico** efetuada por cimentação e colagem de azulejos de grés fino;

Para o cálculo da duração da execução dos **pilares**, foi considerada a aplicação de betão com consistência normal e o corte, a dobragem, a armação e a aplicação de 10kg de varões de aço de 16mm, 12mm e 6mm de diâmetro. A betonagem das **vigas** e o corte, a dobragem, a armação e aplicação de 10kg de varões de aço de 20mm, 16mm, 12mm, 8mm e 6mm de diâmetro, assim como a execução da cofragem, contabilizam as durações mencionadas na tabela. Finalmente, foram calculados os períodos temporais de execução relacionadas com a **cobertura**, como uma laje maciça de betão armado, com a aplicação de varões de aço de 10mm e 12mm, e do **murete** definido pelas tarefas de cofragem e corte, dobragem, armação e aplicação de varões de diâmetro 6mm e 8mm e betonagem;

Em relação à **parede exterior**, são colocados dois painéis de tijolo, uma placa intermédia de isolamento térmico e a execução do reboco exterior e do interior. No processo foram contabilizadas as tarefas de mestras, projeção e aperto, sarrafado, reparação e um 2.º sarrafado para a execução da parede. Foi ainda aplicada uma pintura, com duas demãos, na superfície exterior, com tintas de emulsão, sobre o reboco. No interior foi colocado o revestimento de paredes por cimentação ou colagem de azulejos cerâmicos. O resultado dos cálculos é listado na Tabela 2. Além das paredes exteriores foi contabilizado o período de execução dos três tipos de paredes interiores.



Tabela 2: Cálculo da duração das atividades associadas à realização das paredes exteriores.

Atividade	Taxa H-h/uni.	Unidade	Homem	Quantidade	Uni.	Horas
Execução de alvenaria de tijolo de 15cm	2.215	H x h/m ²	2	16	m ²	17.7
Execução de alvenaria de tijolo de 11cm	2.923	H x h/m ²	2	16	m ²	23.4
Aplicação de tinta	0.400	H x h/m ²	2	16	m ²	3.2
Colocação de isolamento térmico	0.400	H x h/m ²	2	16	m ²	3.2
Aplicação de reboco, interior e exterior.	2.440	H x h/m ²	2	16	m ²	19.5
Colocação de grés porcelânico	0.900	H x h/m ²	2	16	m ²	7.2
TOTAL						73.2

A definição das atividades associadas à **canalização** é composta por abertura de roços nas paredes de alvenaria de tijolo, colocação de tubagem e fecho dos roços; segurança provisória de tubos em betão assentes no pavimento; instalação de tubos com acessórios de plástico em braçadeiras em betão. As taxas homem-hora das atividades são calculadas por m². A instalação dos equipamentos **sanitários**, com a ligação de três lavatórios, um bidé, duas sanitas, dois polibams e uma banheira. A taxa de homem/hora é dependente da quantidade e do tipo de dispositivo (Tabela 3).

Tabela 3: Cálculo da duração das atividades associadas à instalação dos dispositivos sanitários

Atividade	Taxa H-h/uni.	Unidade	Homem	Quantidade	Uni.	Horas
Instalação do lavatório	1.850	H x h/unid.	2	3	unidade	2.8
Instalação do bidé	1.460	H x h/unid.	2	1	unidade	0.7
Instalação da sanita	1.910	H x h/unid.	2	2	unidade	1.0
Instalação do polibam	2.670	H x h/unid.	2	2	unidade	2.7
Instalação da banheira	2.030	H x h/unid.	2	1	unidade	1.0
TOTAL						8.2

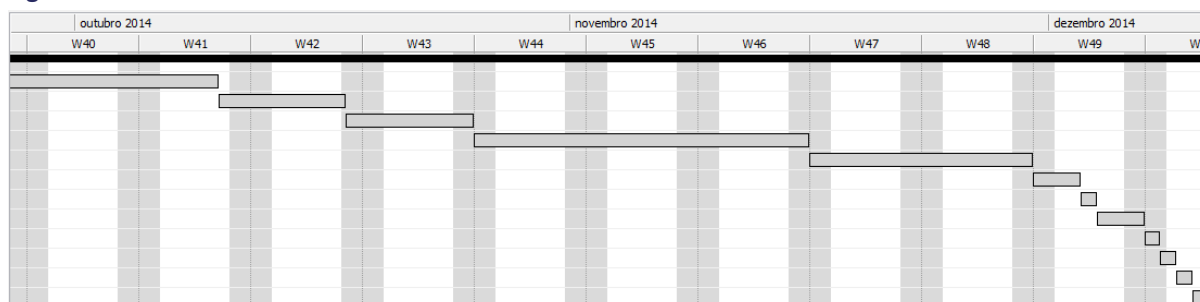
Para os dispositivos **elétricos**, são descritas as atividades de ligação e montagem dos interruptores e das tomadas monofásicas, estando ambos colocados no interior.

Finalmente, foram instaladas as **portas** e as **janelas**. O assentamento é efetivado com buchas de 7 a 9mm de diâmetro, com 25mm de comprimento, sendo colocadas 6 por cad vão guarnecido por alvenaria. Para a instalação dos elementos de vão, foi considerado o escoramento, a fixação, a aplicação de vedantes, a montagem e a afinação.

A identificação das atividades e os cálculos de durações acima descritos são uma entrada importante para prosseguir os procedimentos associados ao planeamento de prazos em obras de construção (estabelecer relações apropriadas entre atividades, desfasamentos, cálculo de diagramas de precedências etc.). Existem ferramentas informáticas que suportam o desenvolvimento destes procedimentos e é possível explorar algumas capacidades de interoperabilidade entre essas ferramentas informáticas tendo em vista produzir um calendário de atividades de modo mais ou menos automático. Contudo, a análise detalhada deste tema está excluída do presente artigo. A Figura 8 simula, de forma muito simplificada e apenas para efeitos de demonstração das potencialidades em estudo, o resultado de um calendário de atividades para o sistema de ativos construídos em análise.



Figura 8: Gráfico de Gant.

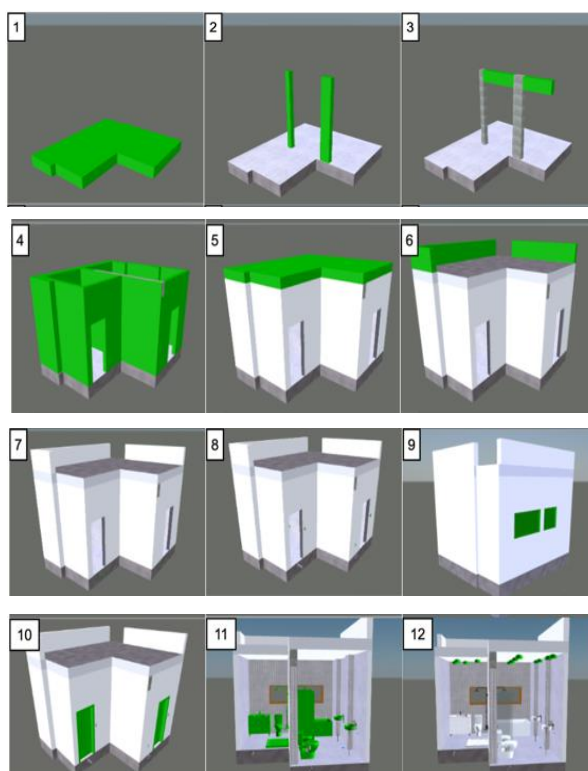


4.2. Geração do Modelo 4D

As componentes, do modelo 3D BIM importado pelo *Navisworks*, devem ser agrupadas e identificadas em função das categorias consideradas no calendário de atividades (gráfico de *Gant*). Esta condição permite selecionar grupos de elementos, cuja categoria corresponde a uma zona ou tipo de componente, de um modo semiautomático ficarem associados a uma determinada atividade. Para outras atividades foi necessário selecionar manualmente os elementos pretendidos, como foi o caso das paredes e do murete pois o sistema considera paredes e muretes num mesmo grupo, embora sejam executados em tempos distintos. Adicionalmente, a categoria relativa à tubagem, requer separação de elementos da distribuição de água e do sistema de drenagem, foram criadas duas condições, um referente a *System Type* com elementos associados à categoria *Piping Systems*, o sistema de tubagem, e a categoria *Plumbing Fixtures*, que considera apenas os dispositivos sanitários. Ambos têm tarefas de execução com ação temporal distinto.

Concluído o processo de associação de elementos por grupo, para cada atividade construtiva, é selecionado, no *Navisworks*, a funcionalidade *TimeLiner*. Na interface é visualizada a lista de atividades definida, apresentada segundo a ordem cronológica estabelecida. Cada atividade da lista é associada ao respectivo grupo de elementos, através da opção *Attach Set*. Posteriormente, foi acionada a animação da simulação da construção podendo ser observada a evolução da obra, sendo apresentada com uma cor verde a componente em processo de execução e a cinzento/branco a componente finalizada (Figura 9).

Figura 9: Sequência da simulação da obra virtual.



5. Modelo de Estimativa de Custos (5D)

A base de dados do modelo BIM multidisciplinar pode ser manipulada de forma a poderem ser obtidas tabelas de quantidades, eventualmente associadas a custos, relativas à diferentes disciplinas do projeto. Este tipo de tarefa é referido, no conceito BIM, de extração de informação do modelo. No sector *Project Browser*, do Revit, ao ser selecionada a opção *New Schedule/Quantities*, são apresentadas as disciplinas modeladas:

- Em relação às **paredes** foram selecionadas as variáveis área, volume, comprimento, espessura, nível de base, nível de topo, altura, função. Em relação às **portas** a informação recolhida corresponde a altura e largura, e para as **janelas** as opções altura e largura, transparência e coeficiente de transmissão térmica;
- Em relação à componente de **estruturas**, foram obtidas as tabelas de quantidades referentes ao volume de betão e de aço por elementos (pilares, vigas e lajes do pavimento e da cobertura);
- Em relação aos sistemas de distribuição de **águas** foi quantificada a tubagem, os acessórios e os dispositivos. Cada lista inclui a distribuição de água e esgotos e a informação referente ao tipo de sistema, diâmetro da secção, comprimento, material principal e material secundário;
- As quantidades do projeto de **eletricidade** foram obtidas para os dispositivos de iluminação, nomeadamente, os interruptores de luz, os acessórios de iluminação (candeeiros) e os acessórios de eletricidade (tomadas).

Para uma estimativa dos custos associados a cada componente foi necessário acrescentar o custo unitário a cada objeto paramétrico utilizado. O custo considerado inclui o valor relacionado com o material, montagem e execução (Manso, [2018](#)):

- Em relação ao **pilar** de betão armado a estimativa de custos considerou as dimensões da secção transversal de 20x20cm² e de 20x40cm², um pé direito entre 3.0 m, a cofragem em madeira e escoras de elementos metálicos, o betão preparado em obra e betonado segundo o processo manual, tendo sido obtido um valor de 853,06€/m³ e 735,21€/m³, respetivamente;
- Os custos da **tubagem** de **abastecimento** de água são atribuídos a cada diâmetro nominal. Foi considerado o material polietileno reticulado/alumínio/polietileno para as tubagens de multicamada (Tabela 4);
- Os custos relativos às **tubagens** de **drenagem** em PVC estão associados igualmente ao diâmetro. As quantidades de elementos são obtidas automaticamente na forma de tabelas de quantidades (Tabela 5). Idêntica associação de custos foi atribuída a todos os componentes.

Tabela 4: Custos de segmentos de tubagem em multicamada.

Diâmetro (mm)	Quantidade	Unidade	Custo (€)/Unidade	Custo Total (€)
D16	7,47	m	3,22	24,05
D20	17,66	m	4,18	73,82
D25	3,95	m	6,22	24,57
			Total (€)	122,44



Tabela 5: Custos de segmentos de tubagem em PVC.

Diâmetro (mm)	Quantidade	Unidade	Custo (€)/Unidade	Custo Total (€)
D32	2	m	5,06	10,12
D40	2,2	m	5,69	12,52
D50	1,26	m	6,73	8,48
D75	1,54	m	8,22	12,66
D90	2,24	m	10,02	22,44
D110	0,99	m	12,6	12,47
			Total (€)	78,70

5. Análise e Discussão

O desenvolvimento de um modelo, possibilitou verificar que a sua modelação é facilmente aprendida por recurso ao sistema de modelação BIM selecionado, e que o nível de detalhe e correção que se pode obter na geração do projeto e das diversas e atividades associadas, é bastante vantajoso:

- Em relação à **modelação** das distintas especialidades é possível detalhar a informação rigorosa dos materiais, fabricantes, dimensões, entre outros, que, deste modo, pode funcionar como base de dados para qualquer técnico envolvido no projeto e construção do edifício desenvolver tarefas complementares.
- O cálculo de **custos** é uma tarefa que deve ser executada com rigor e é adicionado numa etapa posterior à geração do modelo 3D. A opção de adicionar informação ao longo do desenvolvimento do projeto e a elaboração de tarefas complementares, como a orçamentação, é uma característica que ainda não é devidamente reconhecida pelos profissionais da construção. Todos os custos unitários podem ser associados ao modelo através da sua atribuição a parâmetros específicos dos objetos paramétricos utilizados na modelação.
- O desenvolvimento do **planeamento da construção** requer novamente a associação de dados ao modelo 3D, de forma a ser criado um modelo 4D. A tarefa de identificar atividades e o cálculo de rendimentos e custos de execução requer um consumo de tempo considerável. No entanto, quando comparado com o modo tradicional da execução desta tarefa, sobre o desenho digital, a manipulação do modelo 3D é manifestamente mais ágil, uma vez que o trabalho de agrupamento de elementos e a sua associação a atividades e respectivo período temporal, é mais direta que a medição e identificação de componentes sobre o desenho.
- As tabelas de quantidades associadas a custos constituem um adequado suporte à **colaboração** entre profissionais e o entendimento com os promotores, permitindo que facilmente se obtenham tabelas atualizadas após qualquer alteração efetuada ao projeto, pois todas as tabelas têm um carácter dinâmico. A comparação de soluções de qualquer das disciplinas modeladas pode ser facilmente estudada com base no modelo 3D. Durante o processo de modelação das redes de águas foram modeladas duas opções de solução.

6. Conclusões

Com a criação de legislações, promovidas por entidades governamentais, é espetável o incremento do uso de BIM. A partir do uso de ferramentas de base BIM que permitem aumentar o nível de comunicação entre os diversos profissionais e partes interessadas, é previsto a diminuição de erros, inconsistências, atrasos, custos, consequências legais, acidentes e um aumento de novas abordagens, soluções, técnicas, eficiência e empenho.

A sua implementação deve ser alargada a todas as atividades, e não limitada à modelação 3D. Embora uma modelação rigorosa requeira muito detalhe geométrico, e de correção dos materiais a aplicar, as potencialidades do modelo 3D BIM, uma vez criado, é muito vasta. No presente trabalho foram exploradas as perspectivas de planeamento da construção e de estimativa de custos. É também entendido que a geração do modelo 3D não

requer que toda a informação que é posteriormente requerida em tarefas complementares, seja inserida inicialmente no modelo, quando da sua geração. As diversas tarefas que são realizadas sobre o modelo exigem a adição de informação, as quais devem ser inseridas quando necessárias.

O presente trabalho envolveu diversos procedimentos no âmbito BIM desde a modelação à estimativa de custos. No contexto da atividade inerente à indústria falta ainda alguma divulgação dirigida às potencialidades do BIM no planeamento do processo de construção com a possibilidade da visualização simulada da obra e da comparação da construção planeada com a real no local. Na execução dos modelos 4D e 5D é necessário adicionar informação ao modelo 3D de forma a poderem ser elaboradas as tarefas de planeamento (identificação de tarefas e cálculo de período de execução) e de estimativa de custos (do material e de recursos humanos), característica complementar à modelação que deve ser entendida pelo utilizar BIM como um benefício e não como uma limitação. O presente trabalho contribui para o reconhecimento da importância do BIM aplicado a estes sectores.

Referências

Adams, J. (2018). CPD: A Guide to Level 2 BIM. Royal Charter — BIM Portal. <https://www.bimplus.co.uk/explainers/continuing-professionaldevelopment-guide-level-2/>

Alawad, A. (2017). Using the architectural style of heritage buildings as a tool to avoid health risks-an analytical study of Rowshan in traditional houses in the city of Jeddah. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 604–613. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.047>

Al-Mohammad, M.S., Haron, A., Esa, M., Aloko, M. N., Alhammadi, Y., Anandh, K. S., & Rahman, R.A. (2022). Factors affecting BIM implementation: evidence from countries with different income levels. *Construction Innovation*, 23(3), 683–710. doi: 10.1108/CI-11-2021-0217

Baik, A. (2017). From point cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House — case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 4, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.02.001>

BIM: Portaria 255/2023. Retrieved from <https://aipor.pt/bim-publicada-a-portaria>

Branco, P. (1998). *Rendimentos de mão-de-obra, materiais e equipamento em edificação e obras públicas*. Texto Editores. ISBN 978-972-47-0295-7.

BuildingSMART Norge. (2024). <https://buildingsmart.no/>

BuildingSMART. (2022). Industry Foundation Classes (IFC) — buildingSMART Technical. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>

Charef, R., Emmitt, S. & Alaka, H. A. (2018). Beyond the third dimension of BIM: a systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>

Coelho, E. S. (2020). *Tecnologia BIM: conceitos, processos de implementação e relações com o princípio da sustentabilidade*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 23, 114–121. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/principio-da-sustentabilidade>

Ding, L., Zhou, Y. & Akinci, B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 46, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009>

Eastman, C. M. (1999). *Building product models: computer environments, supporting design and construction*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781315138671>

- Ingram, J. (2020). *Understanding BIM: the past, present and future* (1.^a ed.). <https://www.routledge.com/Understanding-BIM-The-Past-Present-and-Future/Ingram/p/book/9780367244187>
- Koutamanis, A. (2020). Dimensionality in BIM: why BIM cannot have more than four dimensions? *Automation in Construction*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103153>
- Manso, A.C. (2018). Informação sobre custos: fichas de atualização, 1.^a edição, 2. Lisboa: LNEC, 1997.
- Manual de Redes Prediais da EPAL (2023), Ed. 9. <https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/clientes/novos-abastecimentos/manual-de-redes-prediais.pdf?sfvrsn=26>
- Merschbrock, C. & Munkvold, B. E. (2015). Effective digital collaboration in the construction industry: a case study of BIM deployment in a hospital construction project. *Computers in Industry*, 73, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.003>
- Pedroso, V. M. R. (2008). *CED 7, Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. LNEC. <https://pt.slideshare.net/imadeconstruo/manual-sistemas-prediais-drenagens-aguas-eng-vitor-pedrosopdf>
- Rivera, F. M.-L., Vielma, J. C., Herrera, R. F., & Carvallo, J. (2019). Methodology for Building Information Modeling (BIM) Implementation in Structural Engineering Companies (SECs). *Advances in Civil Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1155/2019/8452461>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (3.^a ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Sampaio, A. Z., Gomes, A. & Farinha, T. (2022). *Interoperability in BIM: limitations, inconsistencies and strategies*. SIMULTECH 2022 — International Conference on Simulation and Modelling Methodologies, Technologies and Applications, Lisbon, Portugal. <https://simultech.scitevents.org>
- Sampaio, A. Z., Novais, J. N. & Diniz, J. P. (2019). *Analysis of BIM implementation in structural projects*. CMN 2019 — Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia, Guimarães, Portugal. www.civil.uminho.pt/cm2019, www.cmn2019.pt
- Sampaio, A.Z. (2021). Maturity of BIM implementation in the construction industry: Governmental Policies. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(7), 92–100. 10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214
- Sampaio, A.Z., (2017). BIM as a Computer-Aided Design methodology in Civil Engineering. *The Journal of Software Engineering and Applications*, 10, 194–210. <https://doi.org/10.4236/jsea.2017.102012>
- Sarmiento, R. S. (2023). *BIM implementation in the development of the multidisciplinary project: 4D and 5D models and VR integration* [MSc thesis in Construction, University of Lisbon]. University of Lisbon.
- Schley, M., Haines, B., Roperm, K. & Williams, B. (2016). *BIM for facility management*, Version 2.1. https://it.ifma.org/wp-content/uploads/2019/04/BIM-FM-Consortium-BIM-Guide-v2_1.pdf
- Smith, P. (2014). BIM Implementation: global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- Taborda, P. & Cachadinha, N. (2012). *BIM nas obras públicas em Portugal: Condicionantes para uma implementação com sucesso*. Congresso Construção 2012 — 4.^o Congresso Nacional, Ed. ITECons. <http://hdl.handle.net/10362/10012>



Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., -Bozorgi, P. P., Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>

Teng, Y., Xu, J., Pan, W. & Zhang, Y. (2022). A systematic review of the integration of building information modelling into life cycle assessment. *Building and Environment*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109260>

Terreno, S., Anumba, C. J., Gannon E. & Dubler, C. (2015). The Benefits of BIM Integration with Facilities Management: A Preliminary Case Study. *Computing in Civil Engineering 2015*. <https://doi.org/10.1061/9780784479247.084>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anónima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.

Bridge infrastructure in Ecuador: challenges and solutions *Infraestrutura de pontes no Equador: desafios e soluções*


[10.29073/rae.v2i2.927](https://doi.org/10.29073/rae.v2i2.927)

Recebido: 28 de junho de 2024.

Aprovado: 16 de setembro de 2024.

Publicado: 20 de setembro de 2024.

Autor/a 1: Estefanía Cervantes , Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, ecervantes@usfq.edu.ec.

Autor/a 2: José Matos , Universidade do Minho, Portugal, jmatos@civil.uminho.pt.

Autor/a 3: Eva Lantsoght, Universidad San Francisco de Quito; Delft University of Technology, Ecuador, elantsoght@usfq.edu.ec.

Abstract

Bridges are critical components of a nation's infrastructure, vital for efficient transportation and economic stability. However, they are susceptible to aging, increased traffic load, inadequate maintenance, and natural disasters, causing significant human and economic losses. Therefore, it is imperative to take measures to ensure the safety and longevity of the bridges. Developed countries have successfully implemented bridge management systems (BMS) for decades, while developing nations, such as Ecuador, still lack comprehensive systems and regulations. Through an extensive literature review and analysis of bridge collapses in the United States, China, Colombia, and Ecuador, this research highlights the predominant human factors that contribute to bridge failures in Ecuador, such as overloading, impact, and maintenance deficiencies. Additionally, a comprehensive content analysis of national regulations is performed to evaluate how they address and regulate critical aspects related to the causes of bridge collapses. Additionally, the study examines the current state of Ecuadorian bridges, revealing significant deficiencies in data, inspection, and maintenance practices. The results identify the need for a robust bridge management system and regulatory reforms adapted to local conditions to improve the safety, durability, and functionality of bridge infrastructure in Ecuador and similar developing countries.

Keywords: BMS; Bridges; Collapse; Ecuador; Regulations.

Resumo

As pontes são componentes críticos da infraestrutura de uma nação, vitais para um transporte eficiente e para a estabilidade econômica. No entanto, são suscetíveis ao envelhecimento, ao aumento da carga de tráfego, à manutenção inadequada e a catástrofes naturais, causando perdas humanas e econômicas significativas. Portanto, é imperativo tomar medidas para garantir a segurança e longevidade das pontes. Os países desenvolvidos implementaram com sucesso sistemas de gestão de pontes (BMS) durante décadas, enquanto nações em desenvolvimento como o Equador ainda carecem de sistemas e regulamentações abrangentes. Através de uma extensa revisão da literatura e análise de colapsos de pontes nos Estados Unidos, China, Colômbia e Equador, esta pesquisa destaca os fatores humanos predominantes que contribuem para falhas de pontes no Equador, como sobrecarga, impacto e deficiências de manutenção. Além disso, é realizada uma análise abrangente do conteúdo das regulamentações nacionais para avaliar como elas abordam e regulam aspectos críticos relacionados com as causas dos colapsos de pontes. Além disso, o estudo examina o estado atual das pontes equatorianas, revelando deficiências significativas em dados, inspeção e práticas de manutenção. Os resultados identificam a necessidade de um sistema robusto de gestão de pontes e de reformas regulamentares adaptadas às condições locais para melhorar a segurança, a durabilidade e a funcionalidade da infraestrutura de pontes no Equador e em países em desenvolvimento semelhantes.

Palavras-Chave: BMS; Colapso; Equador; Pontes; Regulamentos.

1. Introduction

Bridges constitute a fundamental part of a country's infrastructure heritage due to their fundamental role in transport networks within the modern economy. Today, bridges can be affected by aging, increased traffic load, deficiencies in maintenance practices, and natural disasters (Weise et al., 2023). Therefore, the deterioration

and collapses of these structures are of great interest today because they entail enormous human and economic losses and require significant repair costs (Omar & Nehdi, 2018).

To ensure the safety, durability, and optimal functionality of bridges, as well as to make efficient use of resources and minimize the risks of collapse or deterioration, many countries have implemented preventive and corrective measures by implementing bridge management systems (BMS). A BMS includes the complete record of all bridges, which serves as a database compiled from information collected during periodic inspections and maintenance activities. This toolkit allows stakeholders to access detailed information about the condition of bridges and make decisions about their maintenance and operation (Ryall, 2001).

Developed countries such as the United States, Canada, Germany, Netherlands, Spain, Switzerland (Mirzaei, 2014), China (Deng et al., 2016), among others have successfully used BMSs for many decades. In contrast, some developing countries have focused mainly on the construction of new bridges and have only implemented BMS in the last decade (Tyvoniuk et al., 2024). However, other developing countries, like Ecuador, still lack a BMS and this situation is aggravated by the absence of comprehensive regulations that address all the necessary aspects to guarantee the safety, maintenance, and adequate planning of these structures (Cervantes et al., 2024).

To improve bridge management in a country, it is imperative that government agencies, engineering experts, and infrastructure planners collaborate effectively. This collaboration should focus on integrating existing BMS practices with emerging technologies and simplified methods of data collection, and optimization in maintenance strategies (Pregolato, 2019). Furthermore, through the joint efforts of these entities, it can be guaranteed that the resources allocated for the maintenance of the bridges are used appropriately, thus safeguarding both the structural integrity of the bridges and the safety of their users (Pregolato, 2019).

This research aims to address deficiencies in bridge management practices in Ecuador. To this end, the causes of bridge collapses and the implementations of BMSs in several countries are analyzed. Additionally, the current state of Ecuadorian bridges is evaluated, and a comprehensive analysis of national regulations is carried out to evaluate how they address and regulate critical aspects related to the causes of bridge collapses. The study seeks to identify the need for a robust BMS, and regulatory reforms adapted to local conditions, to improve the safety, durability, and functionality of bridge infrastructure in Ecuador.

2. Literature Review

2.1. BMSs Around the World

Throughout history, studying the causes and mechanisms behind bridge collapses has been a priority for bridge engineers. Bridge collapses can be classified into two types: total collapse and partial collapse. Total collapse refers to the failure of all major components, resulting in the complete destruction of the bridge and requiring total reconstruction (Fu et al., 2012). Partial collapse, on the other hand, involves the failure of some major components, affecting traffic safety but allowing for possible repairs. However, repairing a partially collapsed bridge can be a challenge (Fu et al., 2012).

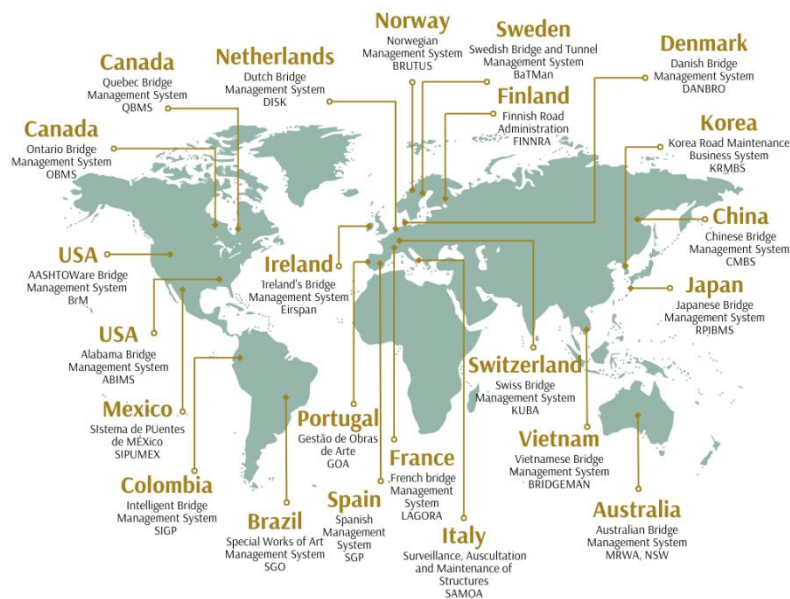
It has been found that the collapse of a bridge is usually the result of a complex process influenced by the combination of multiple factors, such as deficiencies in design or construction, poor maintenance practices, overload, use of defective and substandard materials, and inadequate consideration of external events (Wardhana & Hadipriono, 2003). However, the main causes of collapses can be classified into two groups: those caused by natural factors and those caused by human factors. Natural factors include events such as earthquakes, floods, scour, debris flows, hurricanes, and landslides. On the other hand, human factors include errors in design and construction, overloading of vehicles, lack of inspection and maintenance, and terrorist attacks (Deng et al., 2016).

To address these problems, numerous countries have implemented BMSs for the control, maintenance, and preservation of bridges, guaranteeing both safety and efficiency (Cervantes et al., 2024; Quirk et al., 2018), as shown in Figure 1. Some of these systems allow a comprehensive management that considers both natural and



human factors, ensuring that appropriate preventive and corrective maintenance strategies are taken to mitigate the risk of collapses and prolong the useful life of the bridges. Unlike the countries shown in Figure 1, Ecuador lacks a comprehensive BMS that addresses all aspects necessary to ensure proper bridge safety, maintenance, and planning. This deficiency is reflected in the poor condition of 45% of the country's road network (Telégrafo, 2023), and in the poor or fair condition of more than 70% of the bridges in provinces such as Bolívar, Carchi and Cotopaxi, thus evidencing the precarious state of roads and bridges nationwide (CONGOPE & Banco Interamericano de Desarrollo — BID, 2019b, 2019d, 2019f). Furthermore, bridge maintenance in Ecuador has been inconsistent and there is limited information available about them (Flores & Lantsoght, 2016).

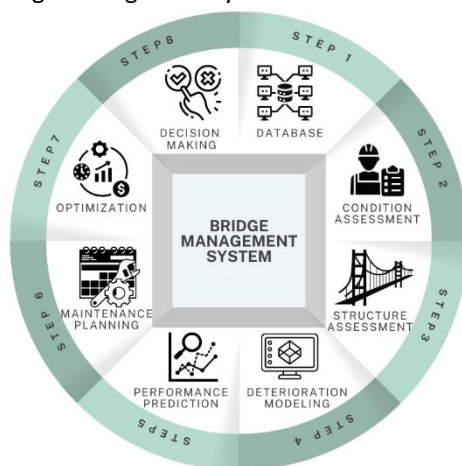
Figure 1: Bridge management systems around the world.



Source: Adapted from (Cervantes et al., 2024).

The fundamental elements of a BMS consist of database components, structural evaluation, deterioration prediction, life cycle cost and maintenance optimization (Omar & Nehdi, 2018) as explained in Figure 2. However, it is important to note that not all countries have systems that are this elaborate. The BMS database is used to store inventory. The condition evaluation and deterioration prediction components evaluate the current and future condition of the bridges, respectively. The life cycle cost component estimates the costs of different maintenance scenarios. Finally, the optimization component determines the most cost-effective maintenance strategies (Omar & Nehdi, 2018).

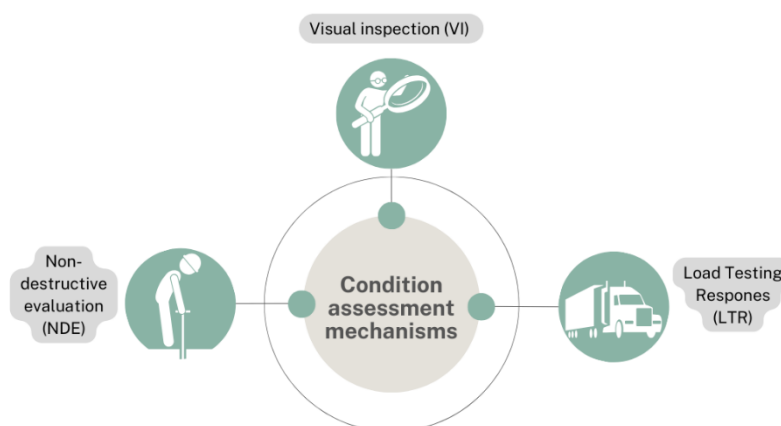
Figure 2: Basic components of a bridge management system.



Source: Adapted from (Messervey, 2009).

Given the importance of accurate assessment within a BMS, many countries have developed different bridge condition assessment methods to monitor the extent and severity of any existing defects or deterioration and identify the appropriate timing for repairs or maintenance necessary to maintain the condition of the structure within acceptable limits (Woodward et al., 2000). The purpose of the assessment of an existing bridge is to determine whether it can operate safely for a specified remaining useful life (Omar & Nehdi, 2018), and the ultimate goal of structural condition assessment will always be the prevention of bridge collapses (Figueiredo et al., 2013). In recent years, techniques for assessing the condition of bridges have evolved independently through two complementary approaches: Structural Health Monitoring (SHM) and BMSs (Figueiredo et al., 2013). Therefore, considering the BMS approach, the condition assessment methods can be classified into three categories, as detailed in Figure 3.

Figure 3: Condition assessment methods of reinforced concrete bridges.



Source: Adapted from (Omar & Nehdi, 2018).

2.2. Methodology in the USA and Ecuador

Visual inspection (VI) is the most conventional method for gathering information about the current condition of a bridge and the primary component of all existing BMSs. It is carried out by qualified inspectors, who prepare their assessments based on direct observation of the structure, and it is relatively inexpensive, as it does not require testing or cause traffic disruptions (Beltrami et al., 2021). The results of these bridge inspections are subjective and qualitative, influenced by several factors, such as the individual perspectives of the experts involved (Graybeal et al., 2002; Omar & Nehdi, 2018).

In the United States, the Federal Highway Act of 1968 established the National Bridge Inspection Program (NBIP), which requires states to inventory and inspect all highway bridges to ensure safety and compliance (Phares et al., 1999). In 1971, the National Bridge Inspection Standards (NBIS) were established as safety inspection standards for highway bridges on public roads throughout the United States. These standards require periodic inspections and specify the qualifications and training required for inspectors. It also includes a standardized condition rating system to prioritize maintenance and rehabilitation efforts, load capacity assessments to verify safe traffic support, and comprehensive documentation and data management for all bridges (Federal Highway Administration, 2022). These standards help identify potential problems early, allowing for timely repairs and reducing the risk of bridge failure.

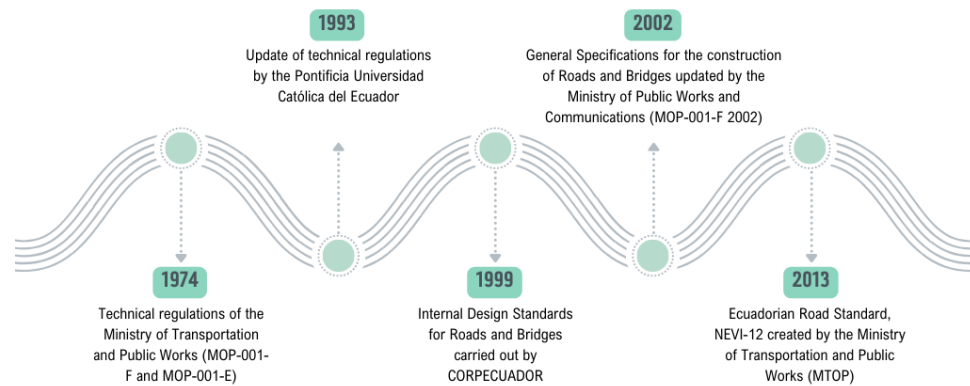
Highway bridge inspections generally fall into two categories: routine inspections and in-depth inspections. Routine inspections are scheduled periodically, at least every 24 months, to evaluate the physical and functional condition of bridges and ensure they meet serviceability requirements (Federal Highway Administration, 2022). These inspections must satisfy the requirements of the NBIP for frequency, inspector qualifications and documentation. On the other hand, in-depth inspections involve a practical and detailed examination of specific bridge elements using specialized equipment to identify less visible deficiencies (American Association of State



Highway and Transportation Officials Subcommittee on Bridges and Structures, 1994) and are less frequent than routine inspections but more thorough to detect specific defects (Graybeal et al., 2002).

Unlike the United States, where there is an established regulation that defines the recommended procedures and frequencies for bridge inspections and maintenance, Ecuador lacks such similar regulations (Cervantes et al., 2024). Figure 4 illustrates the evolution of the country's regulations from 1974 to the present.

Figure 4: Ecuadorian standards over time.



Source: Adapted from (Cervantes et al., 2024).

3. Methodology

This research compiled and analyzed previous studies on the analysis of bridge collapses in the United States, Colombia, China and Ecuador. The selected studies included the analysis of 503 bridge collapses in the United States between 1989 and 2000 (Deng et al., 2016; Wardhana & Hadipriono, 2003), 63 bridge collapses in Colombia between 1986 and 2001 (Diaz et al., 2009), 157 bridge collapses in China between 2000 and 2012 (Fu et al., 2012), and 72 bridge collapses in Ecuador between 2000 and 2022 (Guzmán & Noboa, 2022). Data from these studies were adapted and synthesized from (Cervantes et al., 2024) to ensure consistency and comparability across different regions and time periods. The analysis focused on identifying and analyzing the causes of bridge collapses due to natural and human factors. Additionally, the time periods during which the research was conducted were examined to contextualize differences in bridge collapse rates between countries.

Data from the 'Road Development Plan' were used to determine the total number of bridges in Ecuador and their condition. Additionally, the reliability of the results provided in these plans was discussed through a practical example of visual inspection of a bridge in Ibarra using international guidelines from Costa Rica due to the lack of specific local regulations. Furthermore, an in-depth review of the current Ecuadorian road standards was carried out to assess how they address and regulate critical aspects related to the causes of bridge collapses. This analysis covered all Ecuadorian Road Standard NEVI-12 volumes. The goal was to identify strengths, weaknesses, and gaps in the regulatory framework concerning bridge safety and maintenance practices in Ecuador.

4. Analysis and Results

4.1. Causes of Bridge Collapse

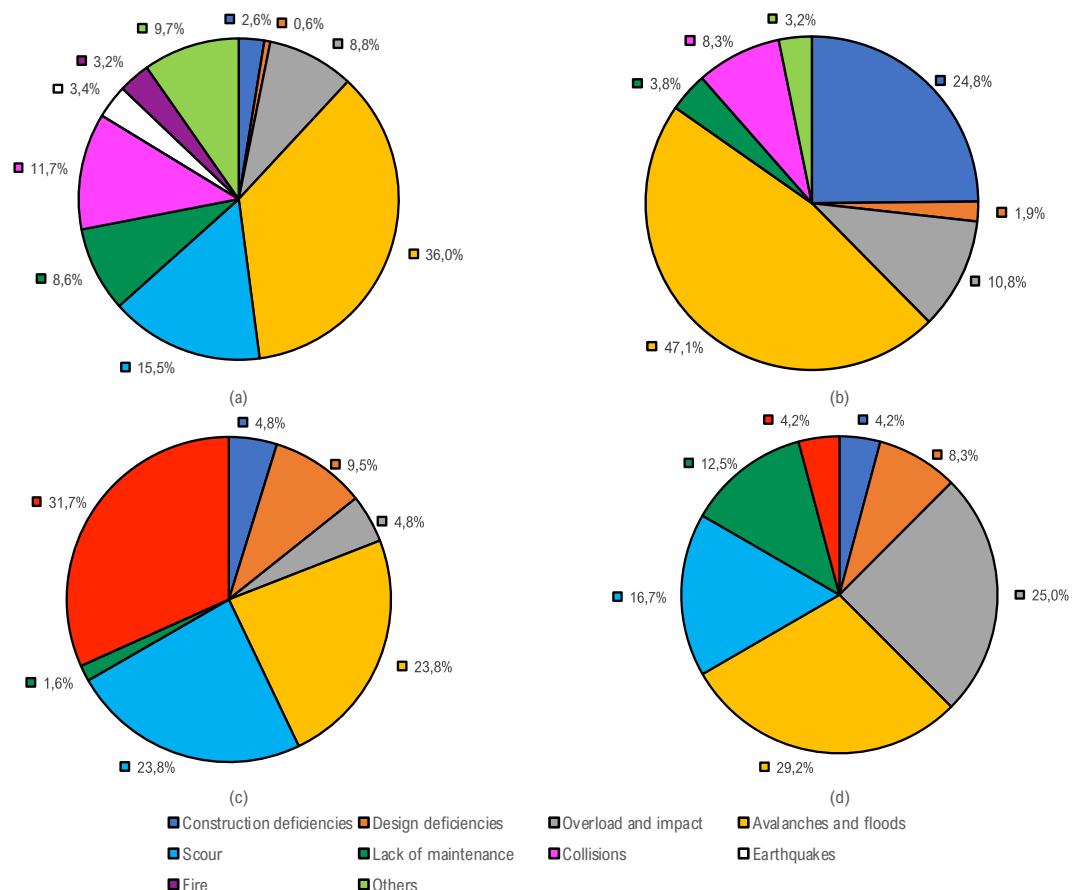
Several studies have been carried out in different countries to identify the causes of bridge collapses. The principal causes of bridge collapses were categorized as deficiencies in design and construction, overload and impact, lack of maintenance, collisions, avalanches and floods, scour, earthquakes, and fire. The first five causes of collapse are associated with human factors. The remaining causes are associated with natural factors. Figure 5 shows the distribution of the results of these studies.

It is important to recognize that these deficiencies may be interrelated, although such connections may not be immediately obvious (Wardhana & Hadipriono, 2003). An example of this interrelationship is the collapse of the I-35W bridge over the Mississippi River in Minneapolis, which was caused by multiple factors. The bridge's



original design included overly thin reinforcement plates, and subsequent renovations and additions significantly increased its weight without considering its structural impact (Salem & Helmy, 2014). At the time of the collapse, the bridge was carrying additional dynamic loads due to traffic and heavy machinery related to maintenance work. Additionally, corrosion and wear had weakened the structure, and inspections failed to detect all critical deficiencies, including undersized plates (Salem & Helmy, 2014). This combination of factors caused the bridge to collapse. In this study only the most probable primary cause in each case was considered.

Figure 5: Causes of bridge collapses in (a) the United States, (b) China, (c) Colombia, and (d) Ecuador.

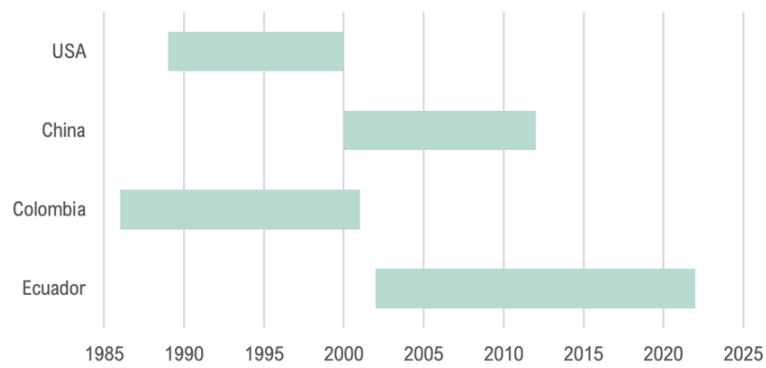


Source: Data from (Diaz et al., 2009; Fu et al., 2012; Guzmán & Noboa, 2022; Wardhana & Hadipriono, 2003). Adapted from (Cervantes et al., 2024).

The time periods in which each investigation was conducted, as shown in Figure 6, indicate that the data from the Ecuadorian study is more recent compared to two of the other countries. This temporal difference suggests that bridges in Ecuador were likely built with more up-to-date regulations and standards, as well as more advanced construction practices relative to the United States and Colombia (Cervantes et al., 2024). On the other hand, China and Ecuador carried out the studies in similar time periods. However, despite this similarity, collapses in China represent about 0.1% of all its bridges (Tang et al., 2022), while in Ecuador it is estimated that collapses represent approximately 1.5%, based on the total number of bridges identified in this study and the number of collapses presented in (Guzmán & Noboa, 2022). This large difference may be due to China having a BMS, as shown in Figure 1. However, it is also necessary to consider the age of the structures at the time of collapse to better understand these discrepancies. However, no information on the age of collapsed Ecuadorian bridges is available to make this comparison due to the lack of a BMS or national bridge inventory.



Figure 6: Time periods of investigations on causes of bridge collapses

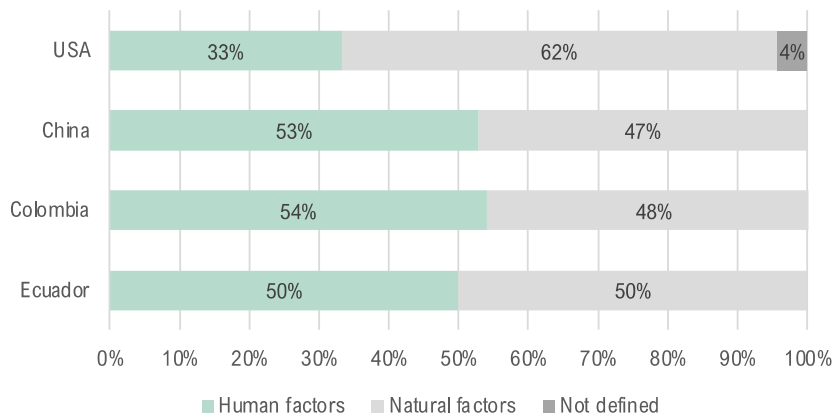


Source: Data from (Diaz et al., 2009; Fu et al., 2012; Guzmán & Noboa, 2022; Wardhana & Hadipriono, 2003).

4.2. Natural and Human Factors of Collapses

Bridges are vulnerable to a variety of natural and human-induced factors that can cause serious damage or even collapse. Natural factors include phenomena such as floods, scour, earthquakes, landslides, debris flows and hurricanes. Human factors include improper design and construction methods, collisions, vehicle overloading, fires, terrorist attacks, and inadequate inspection and maintenance (Deng et al., 2016). It is observed that only in the USA the causes of natural collapses are considerably greater than those produced by human factors, as shown in Figure 7. Understanding these various threats is crucial to developing effective mitigation strategies that ensure the safety and durability of bridges.

Figure 7: Collapses due to natural factors vs. human factors.

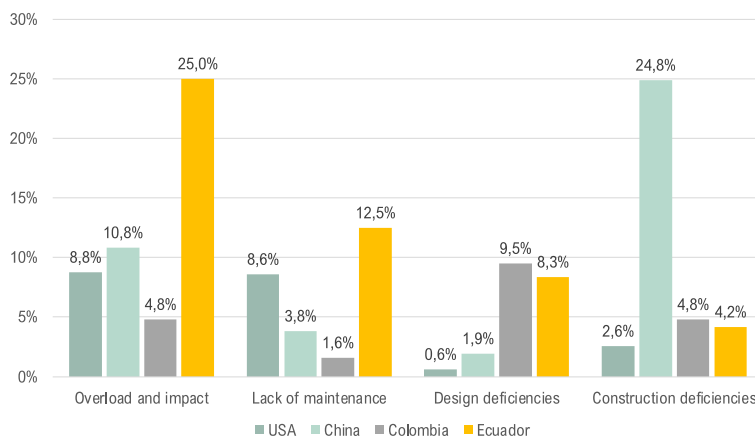


Source: Data from (Diaz et al., 2009; Fu et al., 2012; Guzmán & Noboa, 2022; Wardhana & Hadipriono, 2003).

Regarding collapses caused by human factors, in Ecuador there is a significantly higher incidence of causes such as overload, impact and lack of maintenance, as shown in the Figure 9. This suggests that it is necessary to strengthen regulatory measures regarding load limits that transit the road network. In addition, an analysis of the country's maintenance protocols is necessary, and a significant improvement is suggested. Furthermore, the highest percentage of collapses in all the countries analyzed occurs during the service stage of the bridge, as shown in the Figure 10 (Cervantes et al., 2024). This highlights the critical need for continuous maintenance, monitoring and timely repairs to ensure the structural integrity of bridges throughout their operational life.

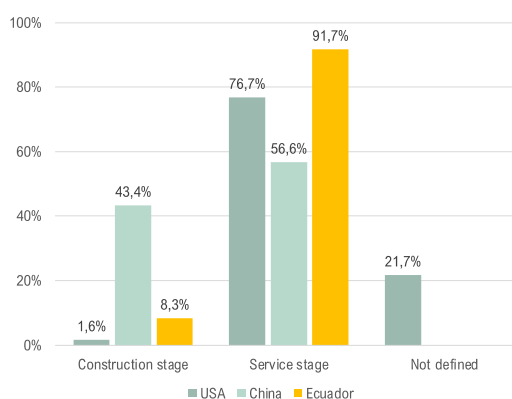


Figure 9: Causes of collapses due to human factors in bridges in the United States, Colombia, China and Ecuador.



Source: Data from (Diaz et al., 2009; Fu et al., 2012; Guzmán & Noboa, 2022; Wardhana & Hadipriono, 2003).

Figure 10: Phase of occurrence of collapses in bridges in the United States, Colombia, China and Ecuador.



Source: Data from (Diaz et al., 2009; Fu et al., 2012; Guzmán & Noboa, 2022; Wardhana & Hadipriono, 2003).

4.3. Ecuadorian Road Standard (NEVI-12) Content Analysis

The causes mentioned above are closely linked to codes, standards, and regulations that establish the framework and requirements for the design, construction, and maintenance of bridges and roads. Ensuring compliance with these regulations is crucial for maintaining the safety and structural integrity of bridges. For this reason, a detailed analysis of the current regulations in Ecuador was carried out, as shown in Table 1. This analysis aims to provide a comprehensive understanding of how current regulations address and regulate critical aspects related to the causes of bridge collapses.

Table 1: Ecuadorian Road Standard (NEVI-12) content analysis.

Standard	Scope	Content	Bridge references
Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), Procedures for road projects	Approaches and methodology for the development of road projects	General information, introduction to road projects, general procedures, approaches to the development and methodology of road projects	Preliminary bridge design (section 1.304.3.5), topography for bridges (section 1.304.5.4), and hydraulic data (section 1.304.5.7)
Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), Standard for road studies and designs	Regulatory principles for road studies	General information, geometric layouts, geodesy and topography studies, plans, reports, and study documents	Clear height (section 2a.204.6.3), and agricultural crossings (section 2a.204)



Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), General specifications for construction of roads and bridges	Regulatory technical specifications for the construction of roads and bridges	General specifications, general specifications for environmental control, earthworks, pavement structure, structures, drainage, sewage and drinking water facilities, facilities for traffic control and use of the road area, sampling methods, testing and control	Piles (section 501), concrete structures (section 502), reinforcing steel (section 504), and steel structures (section 505)
Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), Environmental studies and criteria for road projects	Specific regulatory legal framework for road environmental studies	Environmental and general legal framework applied to road projects, environmental considerations in studies of new layout projects	Environmental impact assessment (sections 4.404.4.1 and 4.404.4.2), environmental impact of bridges (section 4.403.5.3)
Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), Operation procedure and road safety	Regulations and specifications for safety and road operation	Legal and institutional framework for road safety, road safety during the life cycle of a road project, traffic signage, traffic signage for road works, pedestrians on the road, speeds, advertising on road routes, use of the side area of the roadway, lighting	Bridges (section 5.904.4.1), marking of artwork and drainage (section 5.903.3), and containment barriers (section 5.903.2)
Ecuadorian Road Standard (NEVI-12), Road maintenance operations	Standards and specifications for road maintenance	Maintenance operations, study manual for scheduling road pavement conservation works	Bridge restoration and conservation techniques (section 6.108)

Source: Data from (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f).

Volume 1 of the Ecuadorian Road Standard (NEVI-12) contains information on the preliminary design of the bridge, specifying that a detailed hydrological and topographic study of the bridge site must be carried out. It also highlights the need to determine the frequency and duration of extraordinary floods and the times of year in which they occur. Based on this information, the bridge design will include a safety section to facilitate the passage of floating debris during flooding. Volume 2 specifies that the clear height of bridges must be at least 6 meters above the total width of the road, including auxiliary lanes and shoulders, and establishes that bridges will be constructed to maintain connectivity without compromising road safety in agricultural areas. Volume 3 describes the functions of piles, sheet piles, reinforced and pre-compressed concrete beams, and covers the use, installation requirements and specifications for steel and reinforced steel structures. Volume 4 addresses the environmental impacts of bridge construction, focusing on modifications to the natural landscape and potential disturbances to local ecosystems, and includes a detailed assessment of the environmental impacts caused by bridge structures. Volume 5 covers the aesthetic aspects of bridges, including specific signage for artwork and drainage, and the location and design of lighting units and highway containment barriers. Finally, Volume 6 details the methods and materials necessary to repair railings, pavements, load-bearing structural elements, wooden components, concrete surfaces, and cracks, as well as concrete compromised by reinforcement corrosion. It also describes the processes for replacing corner posts, drainage pipes, and wooden platforms, and

provides instructions for assembling modular bridges used temporarily during emergencies or for repairs to existing bridges.

The content of the Ecuadorian Road Standard (NEVI-12) reveals important deficiencies in several crucial guidelines for the preservation of bridges. First, this regulation lacks detailed specifications for inspections and maintenance, including the frequency with which these activities must be performed, resulting in inefficient management of the bridge infrastructure. Furthermore, the lack of a structured program for the training and certification of bridge inspectors in Ecuador shows a notable discrepancy compared to international programs, such as those adopted by the National Highway Institute in the United States (U.S. Department of Transportation, 2024). This deficiency prevents Ecuadorian professionals from acquiring the necessary skills to perform comprehensive and effective evaluations, essential to guarantee the integrity and safety of bridges.

Another important aspect to consider is that the standards do not adequately reflect country-specific vehicle loads but are adaptations of US standards. Vehicle overload can reduce the useful life of the structural components of a bridge due to the fatigue effect, accelerate pavement wear and, in extreme situations, cause the sudden collapse of the bridge (Deng et al., 2016). Imposing vehicle weight regulations and incorporating local vehicle loads aligned to the specific traffic conditions in each country has been shown to be an effective method to mitigate these problems (Diaz et al., 2009). In this context, it is crucial to develop more detailed regulations adapted to local conditions to ensure safety and structural integrity. These improvements should include regulations on which design vehicles should be used, as well as establishing overload controls. This will make it possible to comprehensively address everything related to vehicle loads on bridges.

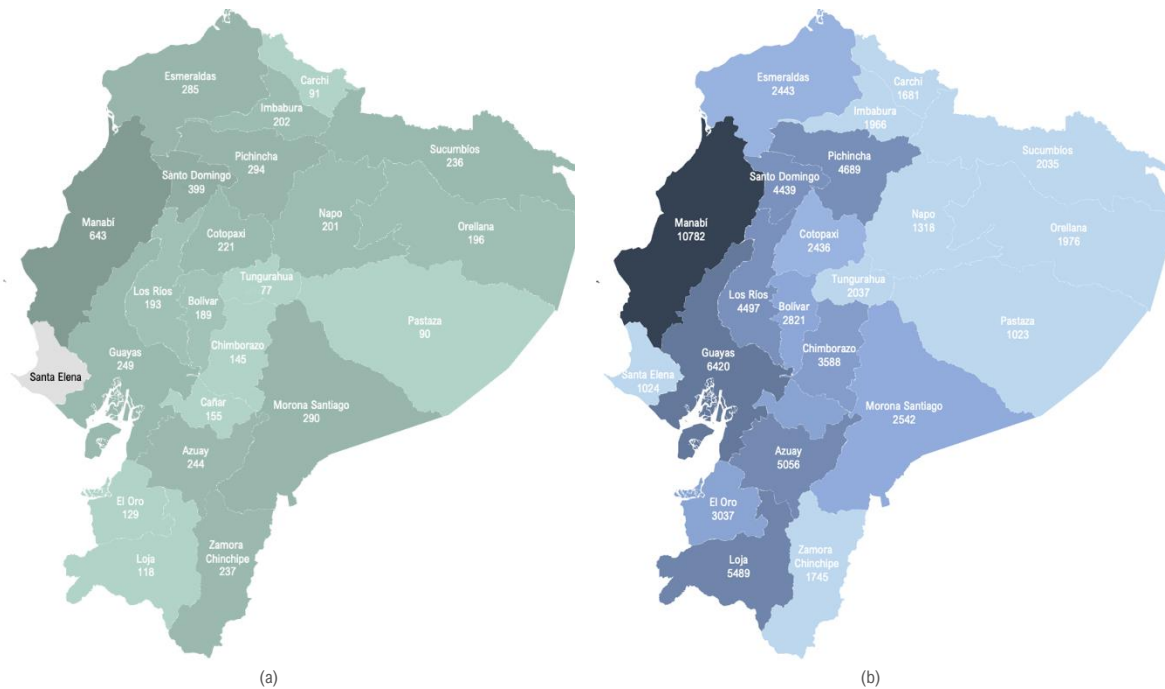
Finally, the absence of a structured system dedicated to the planning and management of these critical structures aggravates the situation. This lack of a proper management structure can lead to numerous operational and security issues, as well as significant economic costs. Among the most notable consequences are accelerated deterioration of bridge infrastructure, increased repair costs, and significantly increased risks to public safety. Frequent interruptions in communication routes are also observed, which can have a considerable negative economic impact, as evidenced by various studies (Cervantes et al., 2024; Vargas-Alas & Villalobos-Vega, 2019).

4.4. Ecuadorian Bridges Analysis

Everything mentioned above is reflected in the current state of the bridges in Ecuador. At the moment, the country does not have an inventory updated to 2024 that details the total number of bridges. However, the 'Road Development Plan' (CONGOPE & Banco Interamericano de Desarrollo — BID, 2019a) prepared by government entities of each province, provides information that has been processed to determine the total number of bridges in Ecuador, as shown in Figure 11a, and the kilometers of highway roads per province, as depicted in Figure 11b. It should be noted that there is no information available on the bridges of the provinces of Galapagos and Santa Elena. The absence of information highlights the need for an updated and detailed inventory to effectively manage and maintain the country's bridge infrastructure.

The data obtained allows a comparative analysis to be carried out between the different provinces. For example, Manabí is the province with the highest number of bridges, a total of 643, and has the most extensive road network in the country, with 10,781.54 kilometers of roads. On the other hand, Tungurahua, which is the province with the smallest number of bridges, has only 77 bridges distributed over 2,036.87 kilometers of roads. As for Pichincha and Guayas, these provinces have 294 and 249 bridges, and their road networks extend for 4,688.78 kilometers and 6,419.57 kilometers, respectively. These differences underscore the importance of adapting the 'Road Development Plan' to serve not only regions with high infrastructure density but also those with fewer assets but equally critical needs.

Figure 11: Inventory of Ecuadorian bridges and roads by 2019.



Source: Data from (CONGOPE & Banco Interamericano de Desarrollo — BID, 2019a, 2019b, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2019h, 2019i, 2019j, 2019k, 2019l, 2019m, 2019n, 2019o, 2019p, 2019q, 2019r, 2019s, 2019t, 2019u, 2019v, 2019w, 2019c).

The 'Road Planning Plans' of each province provide data on the state of their bridges, classifying them as good, bad, or fair (CONGOPE & Banco Interamericano de Desarrollo — BID, 2019a). However, some provinces such as Cotopaxi, Pichincha and Zamora Chinchipe carry out this classification considering only the state of the surface layer, while others such as Esmeraldas, Guayas and Napo consider the state of the superstructure. Therefore, the results presented in these plans do not necessarily reflect the true condition of the bridges. To illustrate this possible inaccuracy, data from a visual inspection of a reinforced concrete bridge located in Ibarra were used.

The elements of a bridge can have different degrees of damage and structural relevance, thus contributing independently to the damage condition of the structure (Muñoz Barrantes, 2017). For example, as shown in Figure 12, the wearing course has numerous cracks, potholes, and signs of deterioration, which compromises its functionality. Therefore, it is in poor condition. On the other hand, the bridge piers, represented in Figure 13, show significant damage, including cracks, holes, and poor-quality concrete, which may also represent a poor condition of the element. On the other hand, the vehicle barrier, represented in Figure 14, presents minor deterioration that does not affect its integrity, so it can be categorized as fair condition. This analysis demonstrates a lack of correlation between the state of the elements of the same bridge. Different elements can present different states of deterioration or damage, and relying on a single element as the sole indicator of the overall condition of the bridge would be incorrect. Therefore, a comprehensive evaluation of all components is essential for accurate assessment of its condition and correctly plan the necessary maintenance actions. This example also demonstrates the need to implement appropriate regulations for the evaluation, inspection, and maintenance of these structures.

Figure 12: Visual inspection of the wearing course of an Ecuadorian RC bridge.



Figure 13: Visual inspection of the piers of an Ecuadorian RC bridge



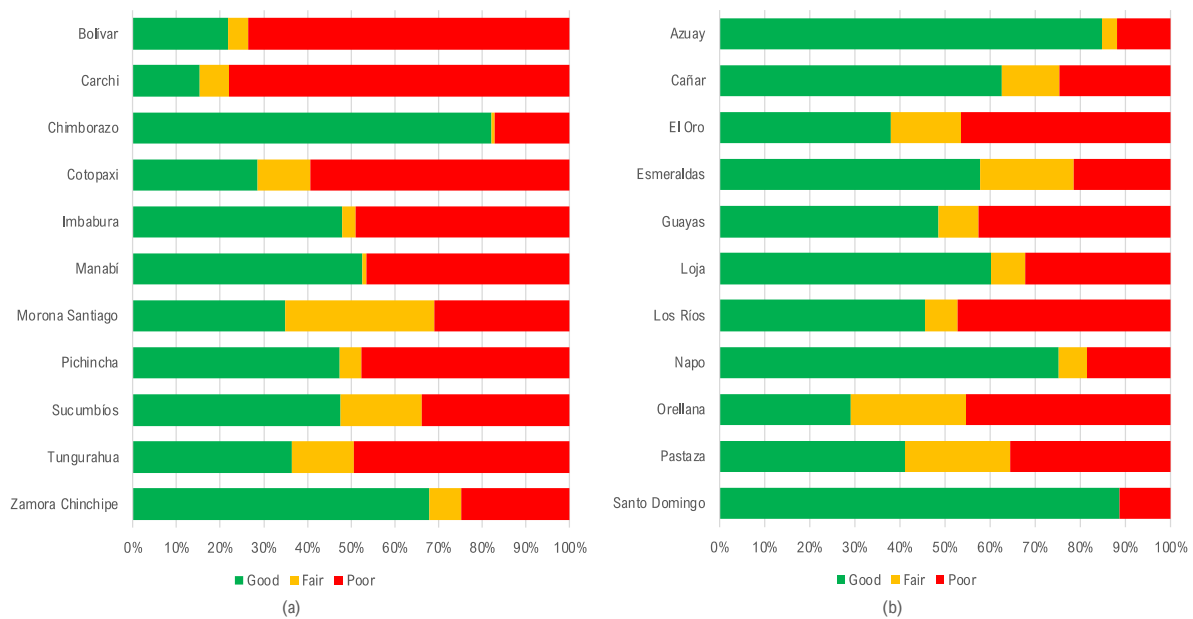
Figure 14: Visual inspection of the vehicle barriers of an Ecuadorian RC bridge



Figure 15 shows the evaluation of the state of reinforced concrete bridges in Ecuador. Figure 15a shows the results obtained considering only the condition of the bridge wearing course, while Figure 15b considers only the superstructure. From the analysis of these data, it is observed that approximately 54% of the country, or 13 of the 24 provinces, have more than 50% of their bridges in poor or fair condition, thus evidencing the precarious state of the roads nationwide. It is important to mention that, due to the way in which the results were obtained, it can be inferred that the budgets assigned by the entities of each province to these activities are probably lower than necessary.



Figure 15: Condition assessment of Ecuadorian reinforced concrete bridges.



Source: Data from (CONGOPE & Banco Interamericano de Desarrollo — BID, 2019a).

The results in Figure 15 are alarming and reveal that much of the national infrastructure is in fair or poor condition. This not only harms the reliability of road infrastructure, but also poses serious risks to public safety and economic stability. With more than half of provinces reporting that most of their bridges are rated in less than satisfactory condition, the problem appears to be systemic and extend beyond individual cases of neglect. Consequently, an immediate and comprehensive review and modification of the country's regulations is required to incorporate or improve aspects of the design, inspection and maintenance of bridges and thus extend their useful life and guarantee long-term safety and functionality. To achieve this, it is essential to develop international collaborations, which allow coordinating efforts and facilitating the exchange of ideas and best practices at a global level (Lantsoght, 2024). Furthermore, it is necessary to implement a more rigorous and systematic approach by integrating a bridge management system that allows continuous monitoring of structural integrity, early identification of structural damage, and effective planning of maintenance interventions. Additionally, it would be beneficial to implement network-level analysis to identify those bridges in poor condition that, if failed, would have the greatest negative impact. This strategic assessment would allow necessary interventions to be prioritized, ensuring that resources are allocated first to those structures whose deterioration could most significantly compromise road safety and have substantial impacts on public safety and the local economy.

5. Discussion

The results indicate that bridge collapses are influenced by a large number of factors broadly categorized into natural and human-induced causes. In Ecuador, collapses are generated mainly by human causes, which suggests a significant deficiency in the existing regulatory and management frameworks in the country. This is why the study establishes the need for a comprehensive reform in bridge management and maintenance practices in Ecuador. The absence of a robust BMS, as seen in more regulated environments such as USA, where National Bridge Inspection Standards govern inspection and maintenance schedules and practices, shows a clear path that Ecuador could consider replicating to reduce bridge collapses significantly.

While the study provides detailed information on the causes of bridge collapses, focusing primarily on Ecuador could limit the generalizability of the findings found. Future studies could expand to comparative analyzes with countries that have robust BMS implementations to further validate the effectiveness of such systems.

Additionally, the role of advanced technologies, such as drone inspections and real-time monitoring systems in other regions, could provide valuable information on innovative practices that could be adapted in Ecuador. Finally, it is imperative to analyze in greater depth the quantification of risks and vulnerabilities in regions prone to natural disasters, as well as the analysis of the economic impact derived from the collapse or interruption of these structures.

6. Conclusion

This study has exhaustively explored the causes of bridge collapses, with a particular focus on the effectiveness of BMSs in several countries, placing special emphasis on the situation in Ecuador. Results highlight that, in Ecuador, the predominant causes of bridge collapses are due to human factors, unlike countries with strong management systems such as the United States, where natural factors play a larger role.

The lack of a comprehensive BMS in Ecuador represents a critical vulnerability, which is reflected in the poor conditions of much of its bridge infrastructure. The implementation of a BMS is not only imperative to prevent future collapses, but also to establish a standard in infrastructure management that could serve as a model for other developing countries. This review is crucial to ensure the longevity, functionality and safety of the bridges, thus protecting economic interests and human lives.

The current regulatory framework, particularly the NEVI-12 standards, does not adequately meet the needs for regular and systematic inspections and maintenance. This study highlights the urgent need for corrective actions and regulatory updates to ensure the safety, integrity and efficiency of road infrastructure in Ecuador. These improvements are essential to achieve the safety and reliability criteria necessary for the country's infrastructure. Regarding vehicle overloading, the need to review and adapt current regulations is identified to more accurately reflect local vehicle loads, implementing more rigorous measures to control and sanction overloading.

Acknowledgement

The authors wish to express their gratitude and sincere appreciation to Universidad San Francisco de Quito USFQ for financing this research work.

References

American Association of State Highway and Transportation Officials Subcommittee on Bridges and Structures. (1994). *Manual for condition evaluation of bridges, 1994* (2nd ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.

Beltrami, C., Bianchi, S., Cervio, M., Anghileri, M., Felicetti, R., Quattrone, A., Chiara, M., Salza, B., & Masala, D. (2021). Bridge visual inspections: Experience of local authorities and the case study of the Corso Grosseto viaduct. In H. Yokota & D. M. Frangopol (Eds.), *bridge maintenance, safety, management, life-cycle sustainability and innovations* (1st ed., pp. 3358–3364). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429279119-456>

Cervantes, E., Matos, J., & Lantsoght, E. O. L. (2024). *Estudio de causas y soluciones para la gestión de puentes en Ecuador*.

CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019a). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Azuay*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>

CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019b). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Bolívar*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>

CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019c). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Cañar*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>

CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019d). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Carchi*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>

- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019e). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Chimborazo*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019f). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Cotopaxi*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019g). *Plan de desarrollo vial integral provincia de El Oro*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019h). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Esmeraldas*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019i). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Guayas*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019j). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Imbabura*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019k). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Loja*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019l). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Los Ríos*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019m). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Manabí*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019n). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Morona Santiago*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019o). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Napo*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019p). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Orellana*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019q). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Pastaza*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019r). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Pichincha*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019s). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Santa Elena*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019t). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019u). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Sucumbíos*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019v). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Tungurahua*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo — BID. (2019w). *Plan de desarrollo vial integral provincia de Zamora Chinchipe*. <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>

- Deng, L., Wang, W., & Yu, Y. (2016). State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(2). <https://trid.trb.org/View/1340318>
- Diaz, E. E. M., Moreno, F. N., & Mohammadi, J. (2009). Investigation of common causes of bridge collapse in Colombia. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14(4), 194–200. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000006](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000006)
- Federal Highway Administration. (2022). *National bridge inspection standards*. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis.cfm>
- Figueiredo, E., Moldovan, I., & Marques, M. (2013). *Condition assessment of bridges: Past, present and future. A complementary approach*.
- Flores, K., & Lantsoght, E. (2016, January 6). Failure analysis and maintenance proposal for the bridge over “Quebrada de Tambura” (Imbabura-Ecuador).
- Fu, Z., Ji, B., Cheng, M., & Maeno, H. (2012). Statistical analysis of the causes of bridge collapse in China. *Forensic Engineering 2012*, 75–83. <https://doi.org/10.1061/9780784412640.009>
- Graybeal, B. A., Phares, B. M., Rolander, D. D., Moore, M., & Washer, G. (2002). Visual inspection of highway bridges. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 21(3), 67–83. <https://doi.org/10.1023/A:1022508121821>
- Guzmán, C. R. M., & Noboa, J. S. M. (2022). Estudio de las causas del colapso de puentes en Ecuador (2000–2022). *MQRInvestigar*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.368-395>
- Lantsoght, E. O. L. (2024). Assessment of existing concrete bridges by load testing: Barriers to code implementation and proposed solutions. *Structure and Infrastructure Engineering*, 20(7–8), 1002–1014. <https://doi.org/10.1080/15732479.2023.2264825>
- Messervey, T. (2009). *Integration of structural health monitoring into the design, assessment, and management of civil infrastructure*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3919.2968>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013a). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 1, Procedimientos para proyectos viales*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013b). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 2, Norma para estudios y diseños viales*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013c). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 3, Especificaciones generales para construcción de caminos y puentes*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013d). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 4, Estudios y criterios ambientales para proyectos viales*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013e). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 5, Procedimientos de operación y seguridad vial*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013f). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 6, Operaciones de mantenimiento vial*.
- Mirzaei, Z. (2014). *Overview of existing bridge management systems—Report by the IABMAS Bridge Management Committee*.
- Muñoz Barrantes, J. (2017). *Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/931>
- Omar, T., & Nehdi, M. L. (2018). Condition assessment of reinforced concrete bridges: Current practice and



- research challenges. *Infrastructures*, 3(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/infrastructures3030036>
- Phares, B. M., Washer, G., & Moore, M. (1999, February). Introducing FHWA's NDE validation center. *Public Roads*, 62(4). <https://highways.dot.gov/public-roads/janfeb-1999/introducing-fhwass-nde-validation-center>
- Pregnotato, M. (2019). Bridge safety is not for granted – A novel approach to bridge management. *Engineering Structures*, 196, 109193. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.035>
- Quirk, L., Matos, J., Murphy, J., & Pakrashi, V. (2018). Visual inspection and bridge management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(3), 320–332. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1352000>
- Ryall, M. J. (2001). *Bridge management*. Elsevier.
- Tang, R., Wei, Q., Zhang, K., Jiang, S., Shen, Z., Zhang, Y., & Chow, C. W. K. (2022). Preparation and performance analysis of recycled PET fiber reinforced recycled foamed concrete. *Journal of Building Engineering*, 57, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104948>
- Telégrafo, E. (2023, December 19). El 45% de la red vial del Ecuador está en mal estado. *El Telégrafo*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/nacionales/44/el-45-de-la-red-vial-del-ecuador-esta-en-mal-estado>
- Tywniuk, V., Trach, R., & Wierzbicki, T. (2024). Bridge management systems: An overview and comparison. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 23, 112–120. <https://doi.org/10.22630/ASPA.2024.23.8>
- U.S. Department of Transportation. (2024). National Highway Institute. *US Department of Transportation*. <https://www.transportation.gov/grants/dot-navigator/national-highway-institute>
- Vargas-Alas, L. G., & Villalobos-Vega, E. (2019). Condición estructural y de conservación de los puentes en rutas estratégicas de la red vial nacional costarricense: Estado, causas y enfoques para atender el problema.
- Wardhana, K., & Hadipriono, F. (2003). Analysis of recent bridge failures in the United States. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 17. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2003\)17:3\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:3(144))
- Weise, M., Böhm, M., Allaix, D., Sánchez-Rodríguez, A., & Rigotti, M. (2023). Importance of digitalization and standardization for bridge and tunnel monitoring and predictive maintenance. *Ce/Papers*, 6(5), 592–599. <https://doi.org/10.1002/cepa.2144>
- Woodward, R. J., Vassie, P. R., & Godart, M. B. (2000). Bridge management in Europe (BRIME): Overview of project and review of bridge management systems. In *Bridge management 4* (pp. 12–19). Thomas Telford Publishing. <https://doi.org/10.1680/bm4.28548.0002>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla revisão anônima por pares.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.



Revista de Ativos de Engenharia