

Gestão de ativos e a otimização da eficiência em laboratórios de ensaios de materiais

Asset management and efficiency optimisation in materials testing laboratories

[10.29073/rae.v3i2.956](https://doi.org/10.29073/rae.v3i2.956)

Recebido: 2 de novembro de 2024.

Aprovado: 8 de abril de 2026.

Publicado: 8 de abril de 2026.

Autor/a: Eduardo Ganilho , ISLA Santarém, Portugal, edugan@zonmail.pt.

Resumo

Este artigo aborda a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, um tópico crítico, dada a sua influência nas indústrias. O problema central abordado é a necessidade de otimizar a eficiência desses laboratórios, considerando o papel crucial que desempenham em diversas áreas. O objetivo desta investigação é analisar a integração estratégica da gestão de ativos, destacando os custos associados e os investimentos necessários para otimizar o desempenho. A metodologia usada envolve uma revisão da literatura, analisando contribuições cruciais dos laboratórios de ensaios de materiais em diferentes indústrias. Além disso, investiga-se como a gestão de ativos pode ser integrada estrategicamente, considerando os custos envolvidos e os investimentos necessários para manter e melhorar as operações. Os laboratórios de ensaios de materiais emergem como componentes vitais em diversos setores como a indústria transformadora, construção civil ou investigação. A gestão eficaz dos ativos envolvidos é essencial para garantir a precisão dos resultados e a conformidade com normas e regulamentações. A integração estratégica da gestão de ativos é explorada como uma abordagem para melhorar a eficiência operacional, destacando os benefícios e desafios associados. Ao analisar os custos e investimentos relacionados com a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, identificam-se áreas de otimização que podem resultar em melhorias significativas. A discussão abrange considerações práticas e estratégicas, proporcionando considerações valiosas para gestores, investigadores e outros profissionais envolvidos na operação e gestão desses laboratórios. Em conclusão, este estudo destaca a importância da gestão eficiente de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, oferecendo uma análise abrangente que contribui para a otimização dos processos e, por conseguinte, para o avanço nas diversas indústrias dependentes dessas instalações.

Palavras-Chave: Fiabilidade; Gestão de Ativos; Laboratórios de Ensaios de Materiais; Manutenção Preditiva; Sistemas de Monitorização.

Abstract

This article addresses asset management in materials testing laboratories, a critical topic given its influence across industries. The central problem addressed is the need to optimise the efficiency of these laboratories, considering the crucial role they play in several areas. The objective of this research is to analyse the strategic integration of asset management, highlighting the associated costs and investments necessary to optimise performance. The methodology used involves a literature review, analysing crucial contributions from materials testing laboratories in different industries. Furthermore, it investigates how asset management can be strategically integrated, considering the costs involved and the investments necessary to maintain and improve operations. Material testing laboratories are emerging as vital components in various sectors such as manufacturing, construction or research. Effective management of the assets involved is essential to ensure the accuracy of results and compliance with rules and regulations. Strategic integration of asset management is explored as an approach to improving operational efficiency, highlighting the associated benefits and challenges. By analysing the costs and investments related to asset management in materials testing laboratories, areas of



optimization are identified that can result in significant improvements. The discussion covers practical and strategic considerations, providing valuable considerations for managers, researchers and other professionals involved in the operation and management of these laboratories. In conclusion, this study highlights the importance of efficient asset management in materials testing laboratories, offering a comprehensive analysis that contributes to process optimization and, therefore, advancement in the diverse industries dependent on these facilities.

Keywords: Asset Management; Materials Testing Laboratories; Monitoring Systems; Predictive Maintenance; Reliability.

1. Introdução

A gestão eficiente de ativos¹ em laboratórios de ensaios de materiais é um desafio vital, dada a importância desses laboratórios em diversas indústrias. Desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade e conformidade de materiais, a otimização da eficiência por meio da gestão estratégica de ativos permanece pouco explorada na literatura.

O problema de investigação reside na integração estratégica da gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, considerando não apenas os custos, mas também investimentos necessários para maximizar a eficiência. Este estudo visa preencher essa lacuna, explorando as contribuições cruciais desses laboratórios nas diversas indústrias.

Os pontos-chave incluem as contribuições fundamentais dos laboratórios, a integração estratégica da gestão de ativos, os custos e os investimentos associados. Além disso, são abordadas estratégias avançadas de otimização de custos e investimentos.

Com base nesse panorama abrangente, pretende-se oferecer orientações práticas e estratégicas para gestores, investigadores e profissionais ligados à operação desses laboratórios. Esperamos contribuir para a compreensão do papel crucial da gestão de ativos na otimização da eficiência dos laboratórios de ensaios de materiais, proporcionando entendimentos valiosos para a melhoria contínua dessas instalações essenciais.

2. Revisão da Literatura

Nesta seção, exploramos os laboratórios de ensaios de materiais, abordando as suas contribuições essenciais, integração estratégica da gestão de ativos e os custos envolvidos. Destacamos desafios e inovações em estratégias avançadas de otimização financeira. Essa visão holística constrói uma narrativa coesa sobre a eficiência desses laboratórios.

2.1. Laboratórios de Ensaios de Materiais: Contribuições Cruciais para Diversas Indústrias

A vitalidade dos laboratórios de ensaios de materiais ultrapassa fronteiras setoriais, desempenhando um papel crucial no avanço tecnológico e na garantia da qualidade. Essas instalações são fundamentais na indústria automotiva, assegurando a segurança e durabilidade de componentes críticos, especialmente nas mudanças impulsionadas pela transição ecológica e transformação digital (Zupancic, Pavlek & Erjavec, 2021). Nos setores da construção e da engenharia civil², garantem a conformidade com padrões estruturais e a durabilidade de materiais em projetos de infraestrutura (Mouritz, 2012), por exemplo, os Eurocódigos Estruturais; os Eurocódigos

¹ Baseando-nos na norma internacional ISO 55000 (International Organization for Standardization, 2014a), um ativo é um bem, uma coisa ou uma entidade, que tem um valor potencial para o laboratório de ensaios de materiais. O valor variará conforme os diferentes laboratórios e partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro e não financeiro.

² Por exemplo, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), entidade independente de Investigação & Desenvolvimento (I&D), focaliza-se em Ciência para contribuir nos domínios da engenharia civil, incluindo obras públicas, barragens, portos, aeroportos, infraestruturas rodoviárias, edifícios, habitação, urbanismo, recursos hídricos, orla costeira, ambiente e transportes, bem como em materiais e produtos para construção.

Estruturais constituem um conjunto de Normas Europeias (EN) relativas ao projeto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil, realizadas com diferentes materiais.

A indústria aeroespacial beneficia significativamente dessas instalações, conduzindo ensaios³ meticolosos para garantir que os materiais satisfaçam os rigorosos padrões de segurança e desempenho (Mouritz, 2012). Nos setores da energia, a contribuição dos laboratórios é essencial para garantir a eficiência e fiabilidade de materiais em ambientes extremos (Materials Research Society, 2010; U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

As contribuições cruciais desses laboratórios estendem-se a múltiplos setores, desde a investigação de novos materiais, por exemplo os nanomateriais⁴ (Naito, Yokoyama, Hosokawa & Nogi, 2018), materiais compósitos (Chawla, 2012) e nanocompósitos (Chand, Dixit & Arpita, 2024), até à avaliação de materiais existentes sob condições operacionais simuladas. É apreciável a riqueza e diversidade que os laboratórios de ensaios de materiais trazem para as diversas indústrias, proporcionando bases sólidas para o avanço tecnológico e a sustentabilidade a longo prazo.

A aplicação da inteligência artificial⁵ nos ensaios de materiais representa uma evolução significativa na indústria, conferindo uma abordagem mais eficiente e precisa. Integrando algoritmos avançados (Gupta, 2020; Rocca, 2021), a inteligência artificial (Goswami, Deka & Roy, 2023) automatiza a análise de dados complexos, otimizando a eficiência dos laboratórios e melhorando a compreensão do comportamento dos materiais em diversas condições. Essa inovação⁶ promove uma investigação mais rápida e inteligente, reforçando a relevância dos laboratórios de ensaios de materiais nas indústrias modernas.

A interligação entre a ciência dos materiais⁷, os laboratórios de ensaio de materiais, os ensaios de materiais e a gestão de ativos, tanto físicos como não físicos, desempenha um papel essencial na compreensão, avaliação e otimização dos recursos. Unindo o conhecimento sobre as propriedades dos materiais aos processos de ensaio e à gestão estratégica de ativos (Institute of Asset Management, 2021)⁸, cria-se uma abordagem abrangente que visa a excelência na análise de materiais, bem como a eficácia na gestão e valorização de todos os recursos envolvidos.

2.2. Integração Estratégica da Gestão de Ativos nos Laboratórios de Ensaios de Materiais

³ Pode-se recorrer à norma ISO/IEC 17000 (*Conformity assessment - Vocabulary and general principles*) para a definição de ensaio: «*determination of one or more characteristics of an object of conformity assessment, according to a procedure*» (International Organization for Standardization, 2020a, p. 4), isto é, determinação de uma ou mais características de um objeto de avaliação da conformidade, de acordo com um procedimento.

⁴ As instalações de produção de componentes à micro (milésima parte do milímetro) e nano (bilionésimos do metro, 10^{-9} de um metro) escala são complementadas com uma rede de laboratórios dedicados aos domínios da eletrónica, física, química e materiais, disponibilizando serviços de caracterização de microscopia eletrónica de varrimento, microscopia eletrónica de transmissão, espectroscopia e análise de raios X, caracterização elétrica e caracterização morfológica.

⁵ A inteligência artificial (IA) constitui uma família de tecnologias em constante evolução, exigindo novos modelos de supervisão regulamentar e um ambiente seguro para experimentação. Este contexto visa assegurar uma inovação responsável, integrando simultaneamente salvaguardas e medidas adequadas de mitigação de riscos (Comissão Europeia, 2021). A norma internacional ISO/IEC 42001 (*Information technology – Artificial intelligence – Management systems*) proporciona requisitos para o desenvolvimento de sistemas de IA, para utilizar, desenvolver, monitorizar ou fornecer produtos ou serviços que utilizem IA (International Organization for Standardization, 2023, p. 1). O "*Handbook on ethical issues related to algorithms, automation and AI*", da *European Labour Authority* (2023), aborda questões éticas no contexto de algoritmos, automação e inteligência artificial (IA), constituindo um recurso para compreender e abordar as complexas questões éticas associadas às tecnologias emergentes (European Labour Authority, 2023).

⁶ No contexto de «Uma nova Agenda Europeia para a Inovação», a inovação de tecnologia profunda, baseada em avanços científicos e tecnológicos de ponta nas esferas física, biológica e digital, tem potencial para oferecer soluções transformadoras para os desafios globais (Comissão Europeia, 2022, p. 1).

⁷ A Ciência dos materiais investiga a interligação entre a estrutura, o processamento e as propriedades dos materiais, estabelecendo os fundamentos científicos para a escolha de materiais existentes e o avanço no desenvolvimento de novos materiais.

⁸ Esta publicação fornece conselhos práticos para o desenvolvimento de um Plano Estratégico de Gestão de Ativos (*Strategic Asset Management Plan*) (SAMP).

A integração estratégica da gestão de ativos nos laboratórios de ensaios de materiais é uma abordagem essencial para otimizar a eficiência e sustentabilidade dessas instalações cruciais. Ao unir a *expertise*⁹ técnica da ciência dos materiais (Callister & Rethwisch, 2018) com práticas avançadas de gestão de ativos, os laboratórios podem alcançar uma operação mais eficiente e impactante.

2.2.1. Criação e Percepção de Valor a Partir dos Ativos nos Laboratórios de Ensaios de Materiais

A criação e a percepção de valor a partir dos ativos nos laboratórios de ensaios de materiais não são estáticas, pelo contrário, são dinâmicas e evolutivas. Estes conceitos dependem de uma série de fatores internos e externos que mudam ao longo do tempo.

Criação de valor: um processo dinâmico

Nos laboratórios de ensaios de materiais, a criação de valor a partir dos ativos envolve a maximização da eficiência e eficácia dos ativos físicos, como equipamentos e instalações, bem como dos ativos intangíveis, como o conhecimento técnico, a imparcialidade e a reputação entre outros. Esta criação de valor é dinâmica porque depende de fatores como: (i) atualização e manutenção de ativos físicos: a manutenção regular e a atualização dos equipamentos de ensaio são essenciais para garantir a precisão e a fiabilidade dos resultados (Brooker & Gerrand, 2021). Este processo de criação de valor está em constante evolução à medida que novas tecnologias e métodos de ensaio são desenvolvidos (Mobley, 2002); (ii) desenvolvimento de competências e conhecimento: os ativos intangíveis, como o conhecimento técnico dos profissionais do laboratório, requerem formação contínua e desenvolvimento de competências¹⁰ (International Organization for Standardization, 2019b). A criação de valor a partir destes ativos depende da capacidade do laboratório para inovar e adaptar-se a novas normas e métodos; (iii) gestão de riscos e resiliência¹¹: a capacidade de um laboratório de gerir riscos, tais como falhas de equipamentos ou erros humanos, contribui para a criação de valor (International Organization for Standardization, 2014a) através da minimização de interrupções e manutenção da qualidade dos ensaios.

Percepção de valor: um conceito evolutivo

A percepção de valor pelos clientes¹² e outras partes interessadas¹³ também é um conceito evolutivo e pode mudar com base em vários fatores: (i) satisfação do cliente¹⁴ e reputação: a percepção de valor dos clientes está ligada à sua satisfação com os resultados dos ensaios e com a experiência global de interação com o laboratório, isto é, a percepção do cliente quanto ao grau de satisfação das suas expectativas (International Organization for Standardization, 2018b). Esta percepção pode ser afetada por fatores como a rapidez de resposta, a transparência dos processos e a capacidade de cumprir normas internacionais; (ii) adaptação às exigências do mercado: à medida que as exigências do mercado e das regulamentações mudam, a percepção de valor de um laboratório também pode evoluir. Laboratórios que demonstram a capacidade de se adaptar rapidamente e de cumprir

⁹ Perícia, competência, conhecimentos próprios de perito.

¹⁰ A gestão das competências e o desenvolvimento das pessoas estão ligadas entre si; são necessárias a nível organizacional, de equipa, de grupo e individual para que os laboratórios de ensaios sejam bem-sucedidos. A norma internacional ISO 10015 proporciona orientações para tratar de questões relacionadas com a gestão das competências e com o desenvolvimento das pessoas.

¹¹ Mais à frente voltaremos ao assunto.

¹² Recorrendo à norma internacional ISO 9000 (International Organization for Standardization, 2015), cliente, em termos gerais, refere-se à pessoa ou organização que poderia receber ou de facto recebe um produto ou serviço que se destina a, ou é requerido por essa pessoa ou organização. São exemplos, o consumidor, o cliente propriamente dito, o utilizador final, o retalhista, o recetor do produto ou o serviço proveniente de um processo interno, o beneficiário e o comprador. Um cliente pode ser interno ou externo à organização.

¹³ Parte interessada, ou *stakeholder* em língua inglesa, segundo a norma internacional ISO 9000 refere-se a pessoa ou organização que pode afetar, ser afetada por, ou considerar-se como sendo afetada por uma decisão ou atividade. São exemplos, os clientes, os proprietários, as pessoas numa organização, os fornecedores, as entidades bancárias, os reguladores, os sindicatos, os parceiros ou sociedade, onde se podem incluir os competidores ou os grupos de pressão opostos.

¹⁴ Percepção do cliente quanto ao grau de satisfação das suas expectativas.

rigorosamente as novas exigências, são percebidos como mais valiosos (Nelson & Stout, 2022); (iii) inovação e desenvolvimento tecnológico: a introdução de novas tecnologias e métodos de ensaio pode alterar significativamente a percepção de valor de um laboratório. Claro que é expectável que clientes e parceiros tendam a valorizar os laboratórios que estão na vanguarda da inovação tecnológica e que oferecem os métodos mais precisos e eficazes.

Portanto, tanto a criação como a percepção de valor a partir dos ativos nos laboratórios de ensaios de materiais são processos dinâmicos, influenciados por uma combinação de práticas de gestão internas, fatores de mercado e mudanças tecnológicas. Para maximizar a criação de valor, os laboratórios devem continuamente avaliar e adaptar as suas estratégias de gestão de ativos, mantendo um foco na inovação¹⁵, na eficiência operacional e na satisfação do cliente.

Além disso, o valor dos ativos do laboratório de ensaios de materiais e o valor gerado por esses ativos são conceitos distintos, mas inter-relacionados. O primeiro refere-se ao valor¹⁶ intrínseco dos ativos, enquanto o segundo diz respeito ao valor que esses ativos criam na operação do laboratório, como eficiência operacional e satisfação do cliente. Estes conceitos ilustram a complexidade da gestão de ativos e a necessidade de uma abordagem estratégica para otimizar o desempenho e a sustentabilidade dos laboratórios de ensaios de materiais (International Organization for Standardization, 2014a)¹⁷.

2.2.2. A Imparcialidade como Ativo Intangível dos Laboratórios de Ensaios de Materiais

A imparcialidade nos laboratórios de ensaios de materiais pode ser entendida como um ativo intangível, bem como a confidencialidade¹⁸ (Daum, 2003)¹⁹. O conceito de imparcialidade refere-se à capacidade do laboratório de realizar ensaios de forma independente e sem influências externas que possam comprometer a objetividade dos resultados.

Um ativo intangível é algo que não possui uma forma física, mas que proporciona valor significativo a uma organização. No caso de laboratórios de ensaios de materiais, a imparcialidade pode ser considerada um ativo intangível por diversos motivos, entre os quais a reputação e a confiança, a conformidade com normas e creditações, a mitigação de riscos e o valor competitivo entre outros.

A imparcialidade é um elemento fundamental para a reputação de um laboratório de ensaios de materiais. Clientes e parceiros confiam nos resultados dos ensaios quando têm a certeza de que estes são conduzidos de forma justa e sem vieses. Este nível de confiança é um ativo intangível valioso que pode *atrair* novos negócios e parcerias, aumentando o valor e a competitividade do laboratório no mercado.

Além disso, a imparcialidade é frequentemente um requisito nas normas internacionais e creditações, como a norma internacional ISO/IEC 17025 (International Organization for Standardization, 2017a). Cumprir esses padrões é essencial para manter a creditação, o que permite ao laboratório operar em mercados regulados e

¹⁵ Diversos documentos normativos internacionais sobre inovação desenvolvidos no seio da *International Organization for Standardization* (ISO) estão disponíveis, nomeadamente os seguintes: ISO 56000, ISO 56002, ISO 56003, e ISO/TR 56004. Outros documentos no âmbito da inovação encontram-se em desenvolvimento, como sejam: ISO 56005, ISO 56006, ISO 56007 e ISO 56008. Os documentos em vigor e os que se encontram em desenvolvimento têm como referência o Oslo Manual (OECD/Eurostat, 2018) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

¹⁶ O valor económico é definido pelo preço de mercado, derivado da interação entre oferta e procura, ou pela utilidade para o consumidor, conforme Alfred Marshall (Marshall, 1920) e Adam Smith (Smith, 2014). Smith distingue entre valor de uso e valor de troca. Joseph Schumpeter (Schumpeter, 2012) destacou a inovação e o empreendedorismo como fontes de criação de valor. Na contabilidade, o valor de um ativo é registado pelo custo histórico, ajustado por depreciação, conforme as normas IFRS (Machado, 2000; Kieso, Weygandt & Warfield, 2001).

¹⁷ Note-se que este documento normativo é aplicável a todos os tipos de ativos e de organizações.

¹⁸ A confidencialidade não é apenas uma obrigação ética e regulamentar, mas também um recurso estratégico que pode diferenciar um laboratório da concorrência, reforçando o seu valor e a sua posição no mercado.

¹⁹ No contexto de laboratórios de ensaios de materiais, as ideias de Daum sobre a valorização e gestão de ativos intangíveis podem ser aplicadas à gestão de conhecimentos técnicos, à reputação de imparcialidade e à confidencialidade, que são cruciais para a manutenção da credibilidade e eficiência desses laboratórios.



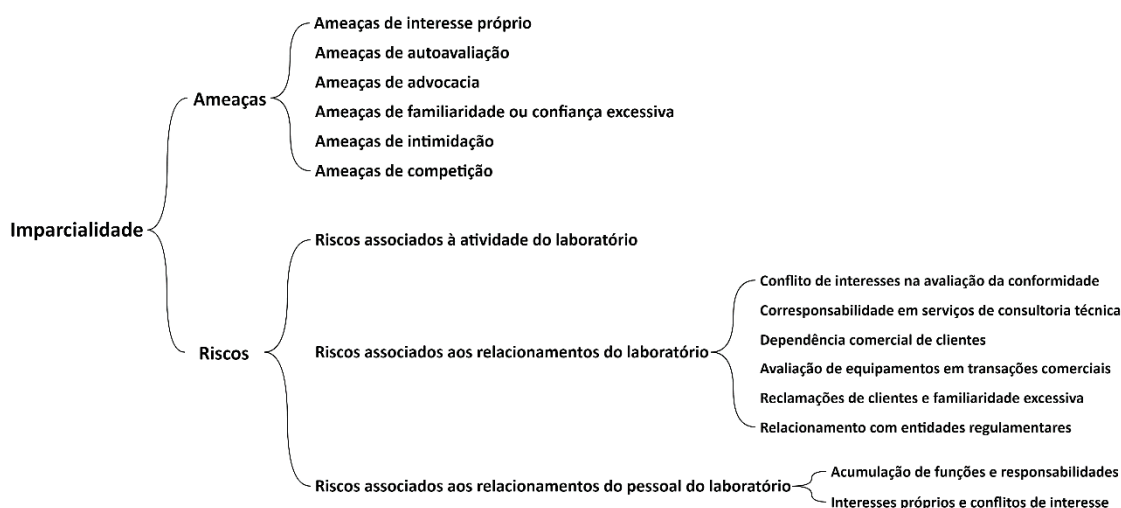
em condições de concorrência equitativa. Este cumprimento não é apenas uma exigência legal, mas também um fator que agrega valor ao funcionamento do laboratório, assegurando a sua credibilidade e fiabilidade.

A manutenção da imparcialidade também contribui para a mitigação de riscos associados a conflitos de interesse, fraudes ou manipulação de resultados. Uma gestão eficaz destes riscos, cuja finalidade é a criação e proteção de valor (International Organization for Standardization, 2018c), protege o laboratório de potenciais escândalos ou sanções legais, preservando a sua viabilidade e sustentabilidade a longo prazo.

Um laboratório reconhecido pela sua imparcialidade possui uma vantagem competitiva significativa em relação a outros que possam enfrentar questionamentos sobre a integridade dos seus resultados. Embora esta vantagem seja difícil de quantificar diretamente, representa um valor intangível considerável, que pode traduzir-se em novas oportunidades de negócio e expansão, fortalecendo ainda mais a sua posição no mercado.

O esquema da figura 1 mostra dois aspetos relevantes, as ameaças e os riscos associados à imparcialidade (IPAC, 2018). A seguir debatemos estes aspetos²⁰.

Figura 1: Ameaças e riscos associados à imparcialidade.



As ameaças de interesse próprio ocorrem quando uma pessoa ou o próprio laboratório toma decisões que favorecem os seus interesses em detrimento da objetividade dos ensaios. Este tipo de ameaça é comum quando há uma dependência excessiva de um cliente específico, o que pode levar à manipulação dos resultados para manter o relacionamento comercial ou evitar dificuldades financeiras.

As ameaças de autoavaliação surgem quando uma pessoa ou o laboratório é responsável por avaliar o seu próprio trabalho, o que pode introduzir um viés inconsciente. Isto é particularmente problemático se os técnicos tiverem previamente realizado consultoria ou prestado suporte técnico nos produtos ou processos que estão a ser avaliados, comprometendo a imparcialidade dos resultados.

As ameaças de advocacia manifestam-se quando o laboratório defende os interesses de um cliente, colocando em risco a sua neutralidade. Esta situação pode acontecer quando o laboratório tenta manter uma boa relação com o cliente, levando a um favorecimento deliberado nas disputas relacionadas com os resultados dos ensaios.

As ameaças de familiaridade ou confiança excessiva resultam de uma proximidade excessiva entre o laboratório e os seus clientes ou fornecedores. Relações de longa duração podem dificultar a capacidade de manter um

²⁰ Baseamo-nos no guia que incorpora interpretações, explicações e exemplos de implementação da norma internacional ISO/IEC 17025 considerando, entre outros, documentos elaborados pela *European co-operation for Accreditation* (EA) e pela *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) bem como a experiência acumulada pelos laboratórios e pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC).

juízo crítico e independente, resultando numa avaliação menos rigorosa e em práticas de controlo da qualidade menos exigentes.

As ameaças de intimidação ocorrem quando os técnicos ou gestores se sentem pressionados a tomar decisões que favorecem o cliente, devido ao receio de perderem o emprego ou um contrato significativo. Esta pressão pode vir de superiores hierárquicos ou de influências externas, comprometendo a integridade dos ensaios.

As ameaças de competição emergem quando o laboratório é responsável pela avaliação de produtos ou serviços de um concorrente direto. Esta situação pode gerar resultados tendenciosos, com o laboratório a favorecer os seus próprios interesses ou os interesses dos seus clientes preferenciais, em detrimento de uma avaliação justa e imparcial.

Quanto aos riscos, os laboratórios de ensaios de materiais enfrentam vários riscos que podem comprometer a sua imparcialidade e objetividade na avaliação da conformidade, os quais vamos abordar de seguida²¹ (IPAC, 2018).

Riscos associados às atividades do laboratório

Os riscos associados às atividades do laboratório estão ligados a pressões indevidas originadas por objetivos de natureza comercial, a pedidos de entrega de resultados com prioridade e a reduzido número de clientes.

Riscos associados aos relacionamentos do laboratório

Um dos principais riscos é o conflito de interesses. Este surge quando o laboratório avalia produtos que são concebidos, fabricados, vendidos, mantidos ou reparados pela mesma entidade a que pertence. Esta proximidade pode comprometer a imparcialidade dos resultados devido a potenciais conflitos de interesse.

Além disso, a corresponsabilidade em serviços de consultoria técnica também representa um risco significativo. Quando a entidade a que o laboratório pertence presta serviços de consultoria, como a elaboração de projetos, e valida a sua adequabilidade através de ensaios realizados pelo próprio laboratório, a objetividade pode ser comprometida devido à ligação direta entre as fases de projeto e de ensaio (International Organization for Standardization, 2017b).

A dependência comercial de clientes é outro fator que pode afetar a imparcialidade. Quando o laboratório avalia a conformidade de produtos de clientes que também adquirem outros produtos ou serviços do laboratório ou da entidade a que este pertence, cria-se uma dependência mútua que pode gerar pressões para favorecer resultados, comprometendo a integridade dos ensaios.

Também existe o risco associado à avaliação de equipamentos em transações comerciais. Este risco manifesta-se quando o laboratório é responsável pela avaliação de conformidade de equipamentos envolvidos em transações comerciais, nas quais o próprio laboratório, ou a entidade a que pertence, tem interesse direto. Tal envolvimento pode introduzir, enviesamentos, que afetam a credibilidade das avaliações.

As reclamações de clientes e a familiaridade excessiva entre o laboratório e os seus clientes representam riscos adicionais. Relações demasiado próximas podem levar a uma perda de imparcialidade, enquanto reclamações frequentes (International Organization for Standardization, 2018d) podem pressionar o laboratório a ajustar os resultados para evitar conflitos, comprometendo assim a objetividade dos ensaios (International Organization for Standardization, 2018e).

²¹ Assim, como anteriormente, seguimos o guia que oferece interpretações, esclarecimentos e exemplos práticos para a implementação da norma internacional ISO/IEC 17025. Tal guia, como referimos, inspira-se em documentos elaborados em particular pela European Co-operation for Accreditation (EA) e pela International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), e na experiência adquirida pelos próprios laboratórios e pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC).

Por fim, o relacionamento com entidades regulamentares também apresenta riscos. Qualquer influência externa ou pressão exercida por estas entidades pode afetar a independência e imparcialidade dos ensaios, comprometendo a conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis.

Deste modo, para garantir a integridade dos resultados e a confiança no processo de avaliação, é crucial que os laboratórios de ensaios de materiais mantenham uma gestão rigorosa destes riscos, assegurando a imparcialidade e a objetividade em todas as suas operações.

Riscos associados aos relacionamentos dos colaboradores do laboratório

A acumulação de funções e responsabilidades pelos colaboradores²² do laboratório, seja internamente ou em nome de terceiros, pode gerar conflitos de interesse. A sobreposição de papéis compromete a objetividade e a imparcialidade, afetando a qualidade e a credibilidade dos ensaios realizados.

O risco de interesses próprios surge quando os colaboradores do laboratório têm uma dependência excessiva de contratos ou teme perder o emprego. Estas pressões podem levar a decisões influenciadas por interesses pessoais, comprometendo a integridade e a imparcialidade necessárias. Além disso, relações familiares ou pessoais entre membros dos colaboradores, especialmente em diferentes níveis hierárquicos, podem afetar a transparência e a equidade nas operações do laboratório.

Em síntese, a imparcialidade é um ativo intangível crucial para os laboratórios de ensaios de materiais, sendo essencial para estabelecer confiança, garantir a conformidade com as normas, mitigar riscos e manter uma vantagem competitiva. Proteger este ativo é fundamental para o sucesso e sustentabilidade do laboratório a longo prazo.

A gestão de riscos e a construção de resiliência são igualmente vitais para a estratégia de gestão de ativos nos laboratórios. Através da identificação e avaliação rigorosa dos riscos, do desenvolvimento de planos de contingência eficazes e da monitorização contínua dos ativos, os laboratórios não apenas mitigam os riscos, mas também constroem a resiliência necessária para enfrentar futuros desafios com confiança.

2.2.3. Gestão de Riscos e Resiliência nos Laboratórios de Ensaios de Materiais

Nos laboratórios de ensaios de materiais, a gestão de riscos e a construção de resiliência são cruciais para garantir a continuidade das operações²³ (International Organization for Standardization, 2019a), a qualidade dos resultados e a segurança dos ativos. Estes laboratórios dependem de uma combinação de ativos físicos, como equipamentos e instalações, e ativos não físicos, como o conhecimento técnico, processos operacionais, dados e a reputação entre outros. Uma gestão eficaz de riscos e uma abordagem estratégica para aumentar a resiliência são essenciais para proteger ambos os tipos de ativos e, por extensão, a própria viabilidade do laboratório.

Segundo a norma internacional ISO 31000²⁴ (International Organization for Standardization, 2018c), a finalidade da gestão do risco é a *criação e proteção de valor*; a *criação e percepção de valor* estão diretamente relacionadas tanto com os ativos físicos quanto com os ativos não físicos no caso de um laboratório de ensaios de materiais²⁵.

A figura 2 mostra o processo de gestão de risco²⁶, o qual envolve a aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas nas atividades de comunicação e consulta, estabelecimento do contexto e na

²² Indivíduos de ambos os sexos. Em linguagem jurídica é comum o uso dos termos *trabalhador* e *trabalhadora*.

²³ Capacidade de um laboratório para continuar a fornecer serviços dentro de prazos aceitáveis com a capacidade predefinida durante uma interrupção.

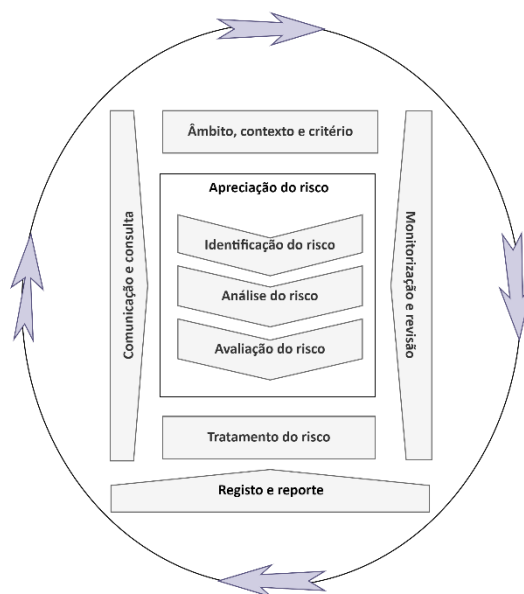
²⁴ O documento fornece linhas de orientação na gestão do risco a que as organizações têm de fazer face. A aplicação destas linhas de orientação pode ser adaptada a qualquer organização e ao seu contexto.

²⁵ A gestão do risco melhora o desempenho, encoraja a inovação e suporta a consecução de objetivos do laboratório. A gestão do risco é baseada em princípios, estrutura e processo.

²⁶ A gestão do risco deverá considerar os contextos externo e interno do laboratório, incluindo o comportamento humano e os fatores culturais.

apreciação, tratamento, monitorização, revisão, registo e reporte do risco²⁷. O processo da gestão do risco deverá ser uma parte integrante da gestão e tomada de decisão e integrado na estrutura, nas operações e nos processos do laboratório de ensaios de materiais, podendo ser aplicado ao nível estratégico, operacional, em programas ou em projetos.

Figura 2: Processo de gestão de risco.



Fonte: Adaptado da norma internacional ISO 31000.

Qual a importância da gestão de riscos? A gestão de riscos envolve a identificação, avaliação e mitigação de ameaças que possam impactar a operação dos laboratórios de ensaios de materiais, desde falhas de equipamentos a erros humanos²⁸, obsolescência tecnológica²⁹ (Ma, 2021) e incumprimento de regulamentações. Os ativos físicos, como máquinas de ensaio, instrumentos de medição e infraestruturas, são essenciais para as operações diárias. Riscos associados a esses ativos incluem avarias, manutenção inadequada e desgaste, que podem comprometer projetos importantes³⁰ (International Organization for Standardization, 2017b) e afetar a qualidade dos resultados, prejudicando a credibilidade do laboratório. Da mesma forma, os ativos não físicos, como o conhecimento técnico e os processos internos, enfrentam riscos significativos, como a perda de técnicos qualificados, falhas na gestão de dados³¹ ou na transferência de conhecimento (Williams, 2020; Yada, 2024). Adicionalmente, a perda de reputação devido a resultados imprecisos ou falta de conformidade

²⁷ Note-se que, o processo de gestão do risco é frequentemente apresentado como sequencial, no entanto, na prática, é iterativo.

²⁸ Há uma diferença subtil entre erro humano e falha humana, embora os termos sejam frequentemente usados de forma intercambiável. Erro humano refere-se a ações ou decisões específicas, enquanto falha humana engloba uma gama mais ampla de condições que podem levar ao fracasso na execução de uma tarefa. Esta distinção é importante em áreas como segurança no trabalho (Instituto Superior Técnico, 2016; International Organization for Standardization, 2018f), operações laboratoriais e gestão de riscos, pois implica diferentes abordagens de mitigação e prevenção. A obra *"New Technology and Human Error"*, editada por Jens Rasmussen, Keith Duncan e Jacques Leplat (1987), é uma referência no estudo das interações entre novas tecnologias e erros humanos, especialmente em contextos de trabalho e operações complexas. O livro analisa como a introdução de novas tecnologias pode aumentar a ocorrência de erros e como esses erros podem ser mitigados, reunindo perspetivas multidisciplinares que discutem o *design* de sistemas mais seguros.

²⁹ Segundo um Parecer do Comité Económico e Social Europeu, é possível fazer uma distinção entre diferentes formas de obsolescência: obsolescência programada em sentido restrito, obsolescência indireta, obsolescência por incompatibilidade e obsolescência psicológica. A obsolescência por incompatibilidade, é o caso, por exemplo, dos programas informáticos que deixam de funcionar quando da atualização do sistema de exploração.

³⁰ A norma internacional ISO 21505, poderá ser útil dado que descreve o contexto e as linhas de orientação do governo de projetos, programas e portefólios.

³¹ Os dados operacionais são vitais para a eficiência, rastreabilidade e reputação do laboratório.

com normas internacionais pode ser devastadora (Honey, 2017). Para mitigar esses riscos, é essencial implementar políticas de manutenção preventiva, assegurar formação contínua dos técnicos e estabelecer protocolos rigorosos para a gestão de dados e cumprimento das normas de qualidade.

Como integrar a resiliência nos laboratórios de ensaios de materiais? A resiliência³², refere-se à capacidade do laboratório de se adaptar a mudanças e recuperar rapidamente de eventos adversos, sendo um atributo vital para manter a competitividade e eficácia no ambiente dinâmico dos ensaios de materiais. Para fortalecer a resiliência dos ativos físicos, é essencial investir em equipamentos modernos, tecnologicamente avançados, e em sistemas redundantes para operações críticas. A integração de tecnologias de monitorização em tempo real (por exemplo da temperatura) também contribui para prever falhas e reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos. No que respeita aos ativos não físicos, a resiliência pode ser reforçada promovendo uma cultura de inovação e aprendizagem contínua, investindo na formação dos técnicos e assegurando a continuidade do conhecimento por meio de uma base de dados sólida. Além disso, manter relações fortes com clientes e fornecedores (não contrariando a imparcialidade) ajuda a mitigar o impacto de perturbações nos processos de negócio.

Quais as estratégias de mitigação de riscos e aumento da resiliência possíveis? Para gerir riscos e construir resiliência, os laboratórios de ensaios de materiais devem adotar uma abordagem holística que inclua: (i) análise de riscos abrangente: avaliar regularmente os riscos associados a todos os ativos, tanto físicos como não físicos. Isto pode envolver auditorias internas (International Organization for Standardization, 2018a)³³, avaliações de desempenho e revisões de processos; (ii) planos de contingência e continuidade de negócios: desenvolver e testar planos para garantir que o laboratório pode continuar a operar mesmo em situações de crise, como desastres naturais, falhas de energia ou ciberataques (Craigen, Diakun-Thibault & Purse, 2014; International Organization for Standardization, 2020b); (iii) inovação e adaptação contínuas: manter-se atualizado com as novas tecnologias e métodos de ensaio, e ser proactivo na adaptação a mudanças regulamentares e de mercado.

Resumindo, a gestão eficaz de riscos e a construção de resiliência são essenciais para os laboratórios de ensaios de materiais que desejam proteger os seus ativos, manter a sua reputação e garantir a continuidade e qualidade das suas operações. A capacidade de gerir tanto ativos físicos como não físicos de forma integrada e estratégica permite ao laboratório enfrentar desafios e aproveitar novas oportunidades num ambiente cada vez mais complexo e exigente.

2.2.4. Impacto da Gestão de Ativos no Desempenho dos Laboratórios de Ensaios de Materiais

A gestão de ativos é uma disciplina estratégica que visa maximizar o valor obtido a partir dos ativos de uma qualquer organização, assegurando que estes contribuem eficazmente para o cumprimento dos seus objetivos. Nos laboratórios de ensaios de materiais, a implementação de uma gestão de ativos estruturada pode ter um impacto significativo em diversas áreas, desde a eficiência operacional até à satisfação dos clientes. A norma internacional ISO 55000, que proporciona uma visão global da gestão de ativos e dos sistemas de gestão de ativos, isto é, sistemas de gestão para a gestão de ativos, identifica vários benefícios que podem ser aplicados neste contexto (International Organization for Standardization, 2014a) tais como, a melhoria do desempenho financeiro, as decisões fundamentadas de investimento em ativos, a gestão do risco, a melhoria dos serviços e dos resultados, a demonstração de responsabilidade social (International Organization for Standardization, 2010), a demonstração da conformidade, a melhoria da reputação, a melhoria da sustentabilidade do laboratório de ensaios e a melhoria da eficácia e da eficiência.

³² Recorrendo à Dicionária (https://www.infopedia.pt/), resiliência, em sentido figurado, refere-se à capacidade de reagir e superar contrariedade ou situação de crise; faculdade de quem consegue lidar de forma positiva com fatores ou condições adversas.

³³ Esta norma proporciona orientações sobre auditorias a sistemas de gestão, todavia pode ser aplicada a outros tipos de auditoria, desde que se tenha em conta a competência específica necessária.

A gestão de ativos oferece diversos benefícios significativos para os laboratórios de ensaios de materiais, destacando-se pela capacidade de melhorar o desempenho financeiro e operacional. Um dos principais benefícios é a otimização da utilização dos recursos e a redução dos custos operacionais. Através de práticas como a manutenção preditiva e a monitorização contínua dos equipamentos (Moblely, 2002), os laboratórios conseguem minimizar o tempo de inatividade e prevenir falhas dispendiosas, reduzindo, assim, os custos associados à substituição e reparação de equipamentos. Estas práticas prolongam a vida útil dos equipamentos, contribuindo para uma gestão financeira mais eficiente.

Além disso, a gestão de ativos proporciona uma base sólida para a tomada de decisão informada. Ao implementar um sistema estruturado de gestão de ativos (International Organization for Standardization, 2014a, 2018g, 2024), os laboratórios de ensaios de materiais podem aceder a dados precisos e em tempo real sobre o estado e desempenho dos seus ativos. Esta informação permite aos gestores tomar decisões fundamentadas sobre investimentos em novos equipamentos, estratégias de manutenção e alocação de recursos, garantindo que estas decisões estão alinhadas com os objetivos estratégicos do laboratório.

A norma ISO 55000 destaca a melhoria da gestão de riscos como um benefício essencial. Nos laboratórios de ensaios de materiais, a identificação e mitigação de riscos relacionados com os ativos, como obsolescência tecnológica, falhas em equipamentos críticos ou não conformidade regulatória, são cruciais para garantir a continuidade e a qualidade das operações. A gestão de ativos fornece metodologias para gerir esses riscos de forma proativa, aumentando a resiliência do laboratório³⁴.

A gestão eficaz de ativos assegura que os equipamentos funcionam adequadamente³⁵ e os processos são consistentes, garantindo resultados fiáveis e de alta qualidade. Isto reforça a confiança dos clientes, incrementa a sua satisfação e fortalece a reputação do laboratório.

A conformidade com normas como a ISO 17025 é outro aspeto crítico. A gestão de ativos facilita a manutenção de registos precisos sobre o uso e manutenção dos equipamentos, simplificando auditorias e inspeções externas³⁶. Além disso, promove uma cultura de responsabilidade e transparência, alinhando as práticas do laboratório aos padrões internacionais. Esta abordagem contribui também para a sustentabilidade, reduzindo emissões de gases com efeito de estufa e preservando recursos, evidenciando responsabilidade social e conduta ética (IPCC, 2023; Nelson & Stout, 2022).

A gestão de ativos contribui igualmente para a sustentabilidade dos laboratórios, promovendo o uso eficiente de recursos e a redução do desperdício³⁷. Ao implementar políticas de sustentabilidade, como a reutilização de materiais e a gestão eficiente da energia (International Organization for Standardization, 2014b, 2018h), os laboratórios podem não só reduzir os seus custos operacionais, mas também melhorar a sua pegada ecológica. A eficiência operacional resultante da otimização dos processos e da maximização da utilização dos ativos disponíveis assegura que cada componente do laboratório contribui para o seu desempenho global.

Um laboratório de ensaios de materiais que adota uma gestão eficaz de ativos melhora significativamente a sua reputação no mercado. A capacidade de garantir a fiabilidade dos serviços, o cumprimento rigoroso das normas e a gestão proativa de riscos posiciona-o como uma referência no setor. Esta reputação positiva *atrai* novos clientes e parcerias, fortalecendo a competitividade e a sustentabilidade a longo prazo.

³⁴ Capacidade de adaptação do laboratório de ensaios num ambiente complexo e em mudança.

³⁵ Segurança de funcionamento (disponibilidade, fiabilidade, manutibilidade, logística da manutenção) como refere a norma internacional ISO 55000 já referida anteriormente.

³⁶ Por exemplo, em Portugal, o Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto, aprova o Regulamento de Instalação e de Funcionamento de Recipientes sob Pressão Simples e de Equipamentos sob Pressão, o qual estabelece as condições a observar para a inspeção periódica obrigatória, destinada a verificar a aptidão de recipientes ou equipamentos abrangidos, bem como se as condições da instalação se mantêm.

³⁷ Medir o progresso é útil para assegurar a utilização eficaz dos recursos e atingir os objetivos ambientais do laboratório de ensaios (International Organization for Standardization, 2016).

A gestão estratégica de ativos, alinhada com a norma ISO 55000, oferece múltiplos benefícios, desde a otimização financeira até à resiliência e conformidade. Ao integrar essas práticas, os laboratórios aumentam a eficiência, promovem a inovação, a qualidade e asseguram a sua sustentabilidade futura.

2.3. Custos e Investimentos na Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais

A gestão eficaz de ativos em laboratórios de ensaios de materiais requer uma análise meticulosa dos custos associados e dos investimentos necessários, fundamentais para assegurar operações eficientes e contribuir para a sustentabilidade financeira destas instalações. Os custos diretos, como manutenção de equipamentos de ensaio (Shimadzu Corporation, 2016) e aquisição de tecnologias de ponta, são fatores-chave que impactam o orçamento operacional desses laboratórios. A negligência na gestão desses custos pode resultar em equipamentos desatualizados e, conseqüentemente, na obsolescência tecnológica (Ma, 2021).

Além dos custos diretos, salienta-se que os custos indiretos, incluindo formação contínua dos colaboradores e colaboradoras e despesas associadas à conformidade legal e regulatória, devem ser cuidadosamente considerados. Estes custos indiretos têm um papel crucial na manutenção da competência da equipa e no cumprimento das normas e regulamentações da indústria [por exemplo, a norma internacional ISO/IEC 17025 “*General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*” (Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração) (International Organization for Standardization, 2017a)].

Os investimentos necessários na gestão de ativos englobam não apenas a aquisição de tecnologias avançadas, mas também a implementação de sistemas de monitorização e manutenção preditiva (Lima, 2017)³⁸, manutenção centrada na fiabilidade, conforme destacado por Moubrey (1999). Tais investimentos visam aumentar a eficiência operacional, reduzir custos a longo prazo e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Ao considerar os investimentos, é fundamental discutir o potencial retorno desses investimentos³⁹. Poder-se-á argumentar que a modernização da infraestrutura e a implementação de práticas avançadas de gestão de ativos podem resultar em melhorias significativas na precisão dos ensaios e, conseqüentemente, na reputação⁴⁰ e na competitividade do laboratório.

Em síntese, a gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais exige uma abordagem estratégica para equilibrar custos e investimentos. Uma análise abrangente, como proposta nesta investigação, é essencial para garantir a eficiência operacional, a conformidade regulatória e o sucesso contínuo dessas instalações cruciais.

2.3.1. Otimização de Custos e Investimentos: Estratégias Avançadas de Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais

Num contexto onde a eficiência operacional e a gestão eficaz de recursos são fundamentais, a otimização de custos e investimentos torna-se uma abordagem essencial na gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais. Esta estratégia avançada visa maximizar o retorno sobre os investimentos, mantendo ou melhorando a qualidade das operações laboratoriais. Para atingir este objetivo, é crucial implementar práticas avançadas de gestão de ativos. Isso inclui a avaliação cuidadosa das necessidades específicas do laboratório, a identificação de áreas onde os investimentos podem ser mais eficazes e a implementação de medidas para garantir a durabilidade e eficiência dos ativos adquiridos.

A otimização de custos não implica simplesmente cortes orçamentais, mas sim uma alocação inteligente de recursos. Isso pode envolver a escolha estratégica de equipamentos que ofereçam o melhor desempenho ao

³⁸ Inspirando-nos em iniciativas bem-sucedidas na indústria da aviação, como evidenciado no trabalho de Lima (2017), que desenvolveu um programa de monitorização da *saúde* de aeronaves para a frota da Embraer ERJ-190/195 da Portugália Airlines, reconhecemos a aplicabilidade da implementação de sistemas de monitorização e manutenção preditiva em contextos específicos. A investigação destacou a eficácia desses programas na deteção precoce de degradação em sistemas críticos, proporcionando argumentos valiosos para a gestão eficiente de ativos.

³⁹ Normalmente calcula-se o indicador “retorno do investimento” ou *return on investment* (ROI) em língua inglesa.

⁴⁰ Um dos benefícios da gestão de ativos referidos na ISO 55000.

longo do tempo, evitando custos recorrentes de manutenção ou substituição. Além disso, a implementação de tecnologias de monitorização e manutenção preditiva pode contribuir para evitar falhas inesperadas, reduzindo os custos associados a paragens não planeadas (Smith & Hinchcliffe, 2004).

No que diz respeito aos investimentos, a estratégia avançada de gestão de ativos considera não apenas o custo inicial de aquisição, mas também o ciclo de vida completo. Avaliar os custos operacionais, manutenção e eventuais atualizações ao longo do tempo é crucial para tomar decisões informadas.

Assim, a otimização de custos e investimentos através de práticas avançadas de gestão de ativos não só permite um uso mais eficiente dos recursos financeiros, mas também contribui para a sustentabilidade e longevidade dos laboratórios de ensaios de materiais, garantindo a qualidade contínua das suas atividades.

3. Metodologia

Este artigo adota uma abordagem teórica, assente numa revisão de literatura e numa análise crítica das práticas de gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais, com o objetivo de investigar a relação entre a gestão de ativos e a eficiência operacional. A metodologia envolve, numa primeira fase, uma revisão de publicações científicas, normas internacionais (como a ISO 55000 e ISO 17025) e relatórios técnicos, visando identificar práticas e desafios específicos na gestão de ativos.

Seguidamente, procede-se a uma análise crítica das práticas identificadas, com a categorização dos ativos em físicos e intangíveis e uma avaliação do impacto da sua gestão na eficiência operacional e conformidade com normas de acreditação, nomeadamente a ISO 17025. A partir desta análise, é proposto um modelo teórico piloto que relaciona a gestão de ativos com a eficiência operacional, evidenciando práticas como a manutenção preditiva e a calibração regular.

Apesar de este estudo se basear em dados teóricos, sugere-se que futuras investigações validem o modelo piloto proposto através de estudos empíricos. Esta metodologia oferece uma base sólida para compreender o contributo da gestão de ativos na otimização da eficiência em laboratórios de ensaios de materiais, propondo um modelo piloto aplicável a futuras investigações.

4. Análise e Discussão

Este artigo teórico explorou a gestão de ativos como estratégia essencial para otimizar a eficiência em laboratórios de ensaios de materiais. Foram destacados aspetos-chave como o papel central dos laboratórios em diversas indústrias, a importância da gestão de riscos e resiliência, o impacto da gestão de ativos no desempenho global e o equilíbrio entre custos e investimentos.

Os laboratórios de ensaios são cruciais para garantir a conformidade, o desenvolvimento de materiais e a inovação tecnológica. Dada a crescente exigência regulatória e competitiva, uma gestão eficaz de ativos torna-se vital para assegurar a precisão, fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, além de uma operação eficiente. A gestão estratégica de ativos permite aos laboratórios, independentemente da sua dimensão, responder às exigências do mercado, mantendo a sua relevância.

A abordagem holística da gestão de ativos abrange tanto os ativos físicos (por exemplo, os equipamentos laboratoriais) como os não físicos (por exemplo, o conhecimento técnico, a reputação e a imparcialidade). A manutenção e calibração dos ativos físicos garantem a fiabilidade dos ensaios, enquanto a formação contínua e as políticas da qualidade asseguram a gestão eficaz dos ativos intangíveis. A imparcialidade, em particular, emerge como um ativo crítico, indispensável para a credibilidade dos laboratórios, especialmente no cumprimento de normas como a ISO 17025.

A gestão de riscos desempenha um papel essencial ao assegurar que os laboratórios possam mitigar falhas operacionais, tanto nos ativos físicos como nos processos. Estratégias como a manutenção preditiva e a redundância de equipamentos críticos são fundamentais para manter a resiliência e a continuidade das operações.

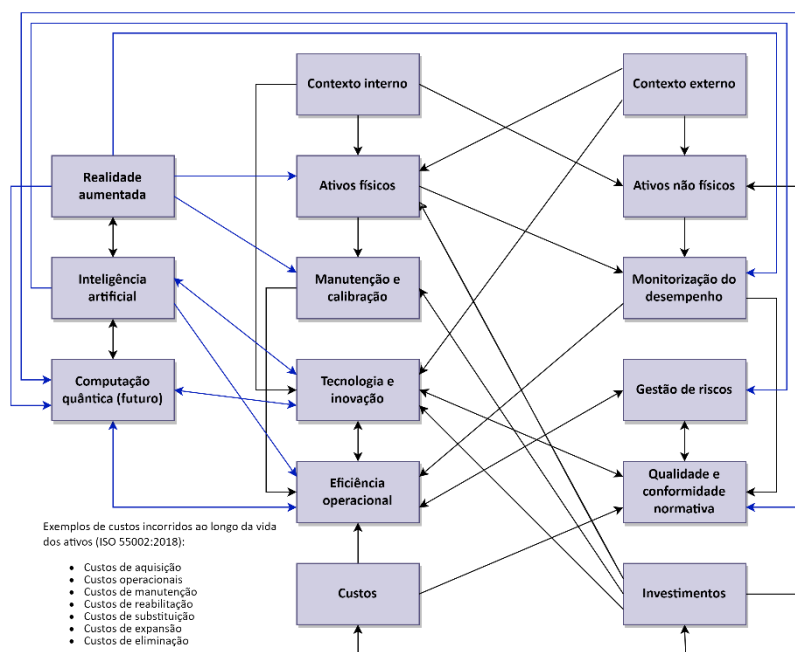
A implementação de uma gestão de ativos bem estruturada tem impactos diretos no desempenho dos laboratórios, otimizando recursos, reduzindo custos operacionais e assegurando a conformidade normativa. Além disso, os investimentos em ativos físicos e intangíveis, incluindo a formação do pessoal e os sistemas de gestão, são essenciais para a competitividade e sustentabilidade dos laboratórios. A análise custo-benefício torna-se especialmente relevante para laboratórios de menor dimensão, onde os recursos são limitados.

O uso de tecnologias avançadas no laboratório do futuro (Shute & Lynch, 2021), como a inteligência artificial (IA), a realidade aumentada (RA) (IGI Global, 2018) e, futuramente, a computação quântica (CQ) (kaku, 2023), revolucionará a gestão de ativos. A IA permitirá uma análise mais precisa de dados e apoio à tomada de decisões, enquanto a RA melhorará a monitorização e a interação com os equipamentos. A computação quântica poderá transformar significativamente a capacidade de processamento de grandes volumes de dados, potenciando ainda mais a eficiência operacional dos laboratórios.

4.1. Modelo de Gestão de Ativos em Laboratórios de Ensaios de Materiais

O modelo piloto proposto na figura 3 visa representar a interligação entre as principais variáveis envolvidas na gestão de ativos. O diagrama inclui as seguintes variáveis principais: ativos físicos, ativos não físicos, manutenção e calibração⁴¹, monitorização do desempenho, tecnologia e inovação, gestão de riscos, eficiência operacional, qualidade e conformidade normativa, custos e investimento. Estas variáveis são influenciadas pelos contextos interno e externo, que afetam a gestão de ativos e o desempenho global dos laboratórios.

Figura 3: Modelo de gestão de ativos em laboratórios de ensaios de materiais



Além disso, o modelo integra a RA, IA e CQ como tecnologias que interagem com as demais variáveis, melhorando a eficiência e a capacidade de adaptação dos laboratórios. As interações são representadas por setas unidirecionais, que indicam influência direta, e bidirecionais, que representam relações de retroação entre as

⁴¹ Operação que estabelece, sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação (International Organization of Legal Metrology, 2013). É relevante não confundir a calibração com o ajuste de um sistema de medição.

variáveis. A introdução destas novas tecnologias oferece um potencial significativo para melhorar a gestão de ativos e garantir uma resposta adaptativa às mudanças tecnológicas e de mercado.

Este modelo⁴² apresenta, de forma dinâmica, as inter-relações entre variáveis críticas, sublinhando a importância de uma abordagem integrada para garantir a sustentabilidade e a competitividade dos laboratórios a longo prazo.

5. Conclusão

As conclusões do artigo destacam a vital importância dos laboratórios de ensaios de materiais, ressaltando o seu papel crucial em diversas indústrias. A integração estratégica da gestão de ativos nesses laboratórios emerge como uma necessidade para assegurar a eficiência operacional e contribuir positivamente para os resultados dos ensaios.

A análise aprofundada sobre custos e investimentos na gestão de ativos destaca a complexidade desse processo, enfatizando a importância de considerar o ciclo de vida completo dos ativos. A otimização de custos e investimentos através de estratégias avançadas de gestão de ativos revela-se como uma abordagem valiosa para garantir a durabilidade e a eficácia.

No contexto de investigação futura, sugere-se uma exploração mais profunda da implementação prática dessas estratégias, avaliando o seu impacto real na eficiência operacional e na qualidade dos resultados dos ensaios. Além disso, incentiva-se a investigação no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para monitorização e manutenção preditiva em laboratórios de ensaios de materiais, promovendo uma abordagem proativa na gestão de ativos.

Em síntese, o artigo sublinha a importância vital dos laboratórios de ensaios de materiais, defende a integração estratégica da gestão de ativos, explora estratégias avançadas de otimização de custos e investimentos, e aponta para áreas de investigação futura que podem contribuir para melhorar continuamente esses ambientes laboratoriais essenciais.

Referências

- Brooker, D., & Gerrand, M. (2021). *Practical reliability data analysis for non-reliability engineers*. Artech House.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Chand, V., Dixit, R., & Arpita, K. (2024). The current scenario in nanocomposite and nanohybrid materials. In R. K. Verma, D. K. Singh, & J. P. Davim (Eds.), *Nanocomposite and nanohybrid materials: Processing and applications*. De Gruyter.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials* (3rd ed.). Springer.
- Comissão Europeia. (2021). *Proposta de regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho* [COM(2021) 206 final].
- Comissão Europeia. (2022). *Uma nova agenda europeia para a inovação* [COM(2022) 332 final].
- Craigien, D., Diakun-Thibault, N., & Purse, R. (2014). Defining cybersecurity. *Technology Innovation Management Review*, 4(10), 13–21. <http://doi.org/10.22215/timreview/835>
- Daum, J. H. (2003). *Intangible assets and value creation*. Wiley.
- Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto. (2019). *Diário da República: 1.ª série, n.º 166*.

⁴² No caso dos laboratórios de ensaios de materiais, um modelo piloto de gestão de ativos será um projeto experimental que visa testar e validar as metodologias e práticas propostas para a gestão eficiente dos ativos físicos e não físicos (como equipamentos, infraestruturas, conhecimento técnico, dados). O propósito será observar o desempenho do modelo num laboratório específico, analisar os resultados e ajustar as abordagens de acordo com as lições aprendidas.

European Labour Authority. (2023). *Artificial intelligence and algorithms in risk assessment: Addressing bias, discrimination and other legal and ethical issues*.

Goswami, L., Deka, M. K., & Roy, M. (2023). Artificial intelligence in material engineering: A review on applications of artificial intelligence in material engineering. *Advanced Engineering Materials*, 25(13). <https://doi.org/10.1037/ppm0000185>

Gupta, A. (2020). *Advanced algorithms*. Carnegie Mellon University.

Honey, G. (2017). *A short guide to reputation risk*. Routledge.

IGI Global. (2018). *Virtual and augmented reality: Concepts, methodologies, tools, and applications*.

Institute of Asset Management. (2021). *Developing and maintaining a strategic asset management plan (SAMP)* (Version 1.1).

Instituto Superior Técnico. (2016). *Manual de segurança para laboratórios*.

International Organization for Standardization. (2010). *Guidance on social responsibility* (ISO Standard No. 26000:2010).

International Organization for Standardization. (2014a). *Asset management: Overview, principles and terminology* (ISO Standard No. 55000:2014).

International Organization for Standardization. (2014b). *Energy audits—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 50002:2014).

International Organization for Standardization. (2015). *Quality management systems—Fundamentals and vocabulary* (ISO Standard No. 9000:2015).

International Organization for Standardization. (2016). *Environmental management systems—General guidelines on implementation* (ISO Standard No. 14004:2016).

International Organization for Standardization. (2017a). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (ISO/IEC Standard No. 17025:2017).

International Organization for Standardization. (2017b). *Project, programme and portfolio management—Guidance on governance* (ISO Standard No. 21505:2017).

International Organization for Standardization. (2018a). *Guidelines for auditing management systems* (ISO Standard No. 19011:2018).

International Organization for Standardization. (2018b). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for monitoring and measuring* (ISO Standard No. 10004:2018).

International Organization for Standardization. (2018c). *Risk management—Guidelines* (ISO Standard No. 31000:2018).

International Organization for Standardization. (2018d). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for complaints handling in organizations* (ISO Standard No. 10002:2018).

International Organization for Standardization. (2018e). *Quality management—Customer satisfaction—Guidelines for dispute resolution external to organizations* (ISO Standard No. 10003:2018).

International Organization for Standardization. (2018f). *Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 45001:2018).

- International Organization for Standardization. (2018g). *Asset management—Management systems—Guidelines for the application of ISO 55001* (ISO Standard No. 55002:2018).
- International Organization for Standardization. (2018h). *Energy management systems—Requirements with guidance for use* (ISO Standard No. 50001:2018).
- International Organization for Standardization. (2019a). *Security and resilience—Business continuity management systems—Requirements* (ISO Standard No. 22301:2019).
- International Organization for Standardization. (2019b). *Quality management—Guidelines for competence management and people development* (ISO Standard No. 10015:2019).
- International Organization for Standardization. (2020a). *Conformity assessment: Vocabulary and general principles* (ISO/IEC Standard No. 17000:2020).
- International Organization for Standardization. (2020b). *Information technology—Cybersecurity—Overview and concepts* (ISO/IEC TS No. 27100:2020).
- International Organization for Standardization. (2023). *Information technology—Artificial intelligence—Management system* (ISO/IEC Standard No. 42001:2023).
- International Organization for Standardization. (2024). *Asset management—Asset management system—Requirements* (ISO Standard No. 55001:2024).
- International Organization of Legal Metrology (OIML). (2013). *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)*.
- IPAC. (2018). *Guia para a aplicação da NP EN ISO/IEC 17025 (OGC001)*.
- IPCC. (2023). Summary for policymakers. In H. Lee & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report* (pp. 1–34). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Kaku, M. (2023). *Quantum supremacy: How the quantum computer revolution will change everything*. Penguin Random House.
- Kieso, D. E., Weygandt, J. J., & Warfield, T. D. (2001). *Intermediate accounting* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Lima, N. A. F. S. (2017). *Development of an aircraft health monitoring program for predictive maintenance* [Master's thesis, Universidade de Lisboa]. http://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997258174/ExtendedAbstract_73733.pdf
- Ma, S. (2021). *Technological obsolescence*. National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29504/w29504.pdf
- Machado, J. R. B. (2000). *Contabilidade financeira: Da perspectiva da determinação dos resultados* (2.ª ed.). ProTOContas.
- Marshall, A. (1920). *Principles of economics* (8th ed.). Macmillan.
- Materials Research Society. (2010). *Advanced materials for our energy future*. <https://www.tms.org/portal/downloads/publications/studies/MaterialsandEnergyEfficiency/1005AdvMatsforEnergy.pdf>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Elsevier Science.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-centred maintenance*. Elsevier Science & Technology.
- Mouritz, A. P. (2012). *Introduction to aerospace materials*. Woodhead Publishing.



Naito, M., Yokoyama, T., Hosokawa, K., & Nogi, K. (Eds.). (2018). *Nanoparticle technology handbook* (3rd ed.). Elsevier.

Nelson, J. S., & Stout, L. A. (2022). *Business ethics: What everyone needs to know*. Oxford University Press.

OECD/Eurostat. (2018). *Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing.

Rasmussen, J., Duncan, K., & Leplat, J. (Eds.). (1987). *New technology and human error*. John Wiley & Sons.

Rocca, M. L. (2021). *Advanced algorithms and data structures*. Manning Publications.

Schumpeter, J. (2012). *Teoria do desenvolvimento económico: Um estudo sobre lucro empresarial, capital, crédito, juro e ciclo da conjuntura*. Fundação Calouste Gulbenkian.

Shimadzu Corporation. (2016). *Application handbook: Materials testing*. https://www.shimadzu.cz/sites/shimadzu.seg/files/seg_3385_apphb_testing_all.compressed.pdf

Shute, R., & Lynch, N. (2021). The next big developments: The lab of the future. In K. Zupancic, T. Pavlek, & J. Erjavec (Eds.), *Digital transformation of the laboratory: A practical guide to the connected lab*. Wiley-VCH.

Smith, A. (2014). *Inquérito sobre a natureza e as causas da riqueza das nações* (Vol. 1, 7.ª ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.

Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM: Gateway to world class maintenance*. Elsevier.

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Laboratories for the 21st century: An introduction to low-energy design*.

Williams, R. (2020). *Data management and data description*. Taylor & Francis.

Yada, A. (2024). Introduction to data processing: Understanding the core concepts of data modeling. In P. Whig et al. (Eds.), *Practical applications of data processing, algorithms, and modeling* (pp. 1–15). IGI Global.

Zupancic, K., Pavlek, T., & Erjavec, J. (Eds.). (2021). *Digital transformation of the laboratory: A practical guide to the connected lab*. Wiley.

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.