O contributo da manutenção para os resultados da empresa. A interpretação dos fatores da função de custo na manutenção

The contribution of maintenance to company results. Interpreting cost function factors in maintenance

10.29073/rae.v4i1.1041

Recebido: 3 de janeiro de 2026.
Aprovado: 3 de junho de 2026.
Publicado: XX de mês de 20XX.

Autor/a: Mário Coelho, ISQ Academy, Portugal, mario.aguiam@gmail.com.

Resumo

Vivemos num mundo cada vez mais competitivo. A sobrevivência das empresas baseia-se sobretudo em dois fatores principais - o custo e a diferenciação. Competir pelo custo significa conseguir fornecer produtos e serviços a melhores preços que os concorrentes, já a oferta de diferenciação implica o desenvolvimento das suas funcionalidades, qualidade, entrega, reputação e confiabilidade. A manutenção pode afetar tanto o custo e a qualidade, como o prazo de entrega, a confiabilidade e a satisfação dos clientes; não é, pois, de espantar que seja tão importante.

Infelizmente, a manutenção é frequentemente encarada apenas como um "mal necessário", um objeto de eliminação, sempre que nos debruçamos em mais uma campanha de redução de custos. Mas, em realidade, medir o desempenho da manutenção apenas pelos seus custos diretos pode levar-nos a considerar que a única otimização possível é a sua minimização e a abstermo-nos de a executar.

O objeto do presente estudo é a abordagem da função custo na manutenção na visão mais ampla da contribuição dos fatores de esforço para os resultados da organização e a sua aplicabilidade à realidade da avaliação do desempenho e dos seus sistemas de informação envolvidos.

Palavras-Chave: Avaliação do Desempenho da Manutenção; Função Custo na Manutenção; Maturidade da Manutenção.

Abstract

We live in an increasingly competitive world. The survival of companies is based mainly on two key factors—cost and differentiation. Competing on cost means being able to deliver products and services at better prices than competitors, while differentiation involves developing features such as functionality, quality, delivery, reputation, and reliability. Maintenance can affect cost, quality, delivery timelines, reliability, and customer satisfaction; it's no surprise, then, that it plays such an important role.

Unfortunately, maintenance is often viewed merely as a "necessary evil"—something to be eliminated whenever yet another cost-cutting campaign comes along. But in reality, measuring maintenance performance solely by its direct costs can lead us to believe that the only possible optimization is minimizing those costs, and even refraining from performing maintenance at all.

The purpose of this study is to examine the cost function in maintenance from a broader perspective—considering how cost drivers contribute to organizational results—and to explore its applicability to performance evaluation and the related information systems.

Keywords: Maintenance Cost Function; Maintenance Maturity; Maintenance Performance Evaluation.

1. Introdução

O modo como as empresas encaram a manutenção tem vindo a evoluir desde a resignação com "um mal necessário" até à presente evidência do seu papel como função essencial para criação de valor e a rentabilidade a longo-prazo das organizações [1] [2] [3] [4].

Estudos realizados por Thomas e Weiss, do NIST - National Institute of Standards and Technology, com base nos dados recolhidos dos fabricantes nos Estados Unidos, apontam para perdas e custos anuais relacionados com a manutenção superiores a 200 mil milhões de dólares americanos [5]. O peso da manutenção nos custos do fabrico de bens de equipamento é estimado superior a 15%, podendo, em alguns casos, ultrapassar os 50% [6]. Estes valores atestam a importância que a manutenção tem sobre a competitividade das empresas.

Contudo, apesar da crescente consciência das perdas totais originadas pela ausência ou ineficácia da manutenção, são ainda muitas as organizações que se limitam a encarar a manutenção apenas como um centro de custo [7] [8]. Esta perspetiva, associada ao elevado peso dos custos, coloca frequentemente os gestores da manutenção sobre a ameaça da sua redução [8].

A causa da perenidade desta visão redutora do papel da manutenção nas empresas deriva fundamentalmente da dificuldade que os gestores têm em quantificar os benefícios resultantes dos investimentos e melhorias na manutenção [8], designadamente, em determinar quanto representa para a organização eliminar uma determinada avaria, ou qual o impacto da paragem de um determinado ativo para o todo da produção. Será que os indicadores que usamos estão devidamente associados aos resultados? É assim que se justifica a preservação do *status quo* da manutenção como centro de custo. Os custos, pelo menos os diretos, são relativamente fáceis de calcular.

Mas, mais do que apurar os custos, o que necessitamos é de determinar o contributo da manutenção para o negócio, o valor que esta gera. A proposta de abordagem que aqui se apresenta não visa ser apenas mais modelo de determinação de custos ou de seleção de indicadores de desempenho, mas uma proposta de abordagem de apuramento da contribuição da manutenção para os resultados da organização. Para isso, na Secção 2, formulamos o problema; faz-se uma revisão sumária aos métodos existentes, na Secção 3; apresenta-se a proposta de abordagem, na Secção 4; testa-se a sua aplicabilidade em casos concretos, na Secção 5; comentam—se os resultados e apresentam-se conclusões, na Secção 6; e, finalmente, identificam-se limitações, dificuldades e oportunidades de desenvolvimentos, na Secção 7.

2. Formulação do Problema

Os modelos tradicionais da contabilidade analítica baseados no custo, focados na sua classificação por natureza, têm-se revelado incapazes de reproduzir o processo da manutenção como fator contributivo para os resultados da empresa e enviesam as medidas de desempenho da manutenção. Restringir a avaliação da manutenção através dos custos pode levar as empresas ao limite de se considerar que a única forma de otimizar é a sua eliminação, ou seja, deixar de fazer manutenção.

Campbell [9] recorda que é perfeitamente possível maximizar o desempenho de uma área em detrimento de outra e alerta para o risco de nos focarmos demasiado nos custos da manutenção, ao invés de reconhecer que esses custos se encontram diretamente ligados à geração de proveitos na empresa.

"O objetivo de uma empresa é fazer dinheiro" [10]. Tudo o que esta faz deve estar subordinado a esse objetivo. Numa perspetiva mais alargada, uma organização existe para acrescentar valor para as partes interessadas. Neste contexto, tentar encontrar o custo é limitativo, é afastar-se do objetivo. A manutenção não existe para reparar o equipamento, do mesmo modo que um equipamento não é adquirido apenas para lá estar. Adquirimos um equipamento, contratamos operadores, compramos matérias-primas, produzimos produtos porque alguém precisa deles para qualquer utilização e está disposto a pagar por eles para os usar e obter o benefício que eles lhe possam conferir. Da mesma forma, a manutenção não serve para reparar, mas para garantir que o equipamento, de que necessitamos para produzir, funcione sempre que precisamos, tenha a capacidade de o

fazer na quantidade e com a qualidade exigida e a necessária segurança. É este o seu contributo, o valor que queremos obter desta função – a garantia de funcionamento. Por isso, devemos concentrar-nos no benefício mensurável, encontrar a contribuição, identificar o valor acrescentado da atividade, investimento, estratégia.

No entanto, como atestam autores como Knights [8], Alsyouf [7], Campbell [9], Dwight [11] [12], Tsang [13], apurar o benefício de uma função técnica como a manutenção em termos de proveitos não tem sido tarefa fácil. É frequente descrever o processo da manutenção e o desempenho dos ativos através de indicadores técnicos, como a disponibilidade, a fiabilidade, a manutenibilidade e a consequente eficiência global do equipamento (OEE), como apresentado por Campbell [9], Dwight [11], Kumar, Galar, Parida, Stenstrom e Berges [4], Pintelon, Pinjala e Vereecke [14], Weber e Thomas [15] e tantos outros. Contudo, o seu impacto sobre o negócio e os resultados acaba por ser difuso e de difícil identificação, mesmo quando tentamos o seu alinhamento com os objetivos estratégicos do negócio através de *balanced scorecards* (BSC), como proposto por Kaplan e Norton [16] e adaptados por Liyanage e Kumar [2], Muchiri, Pintelon, Gelders e Martin [17], Kumar, Galar, Parida, Stenstrom e Berges [4], Tsang [13], Visser [18] e tantos mais. Paralelamente, a armadilha do apuramento do desempenho através dos custos, presente na maioria das empresas, conduz à sua classificação por natureza em custos de mão de obra, serviços e materiais, cuja agregação dificulta imensamente a utilização destes indicadores para fundamentar medidas de intervenção. Já o modo como se avalia o desempenho do processo da manutenção conduz à utilização de indicadores de melhores práticas (*benchmarks*), como o rácio de custos da manutenção sobre o valor de reposição dos ativos, índice de trabalhos de emergência ou paragens de produção, peso do trabalho planeado ou preventivo, ou mesmo número de ordens de trabalho, cuja relação com os resultados é penosa de demonstrar (Kamonen [19]).

Muchiri, Pintelon, Gelders e Martin [17], Kumar, Galar, Parida, Stenstrom e Berges [4] apresentam abordagens que recorrem a medidas de desempenho do equipamento, dos custos e do processo da manutenção utilizando indicadores qualitativos (*soft*) e quantitativos (*hard*), de resultado (*lagging*) e de processo (*leading*). Neste caso, destaca-se o problema do desfasamento entre o momento em que são apurados e quando se observa o seu impacto sobre os resultados, demonstrando, deste modo, a dificuldade de os integrar de forma consistente.

A complexidade da função manutenção releva ainda o contributo do alinhamento estratégico, do fator humano, da cultura e da maturidade para o desempenho da manutenção. Infelizmente, os modelos que propõem a utilização da metodologia de *balanced scorecard* (BSC) ou suas aplicações adaptadas à manutenção que atrás citamos, não resolvem totalmente a avaliação do contributo destes indicadores de processo, indutores intangíveis de resultados, que se mantém elusivos, de difícil cálculo e avaliação.

É, assim, evidente que ainda não está encontrada uma abordagem que permita associar e avaliar, de forma consistente e suficientemente simples de operacionalizar, todos os fatores da função custo na manutenção, designadamente, o contexto do negócio, as estratégias, técnicas, funções e atividades da manutenção, a cultura e o fator humano e toda a multidimensionalidade envolvida no impacto sobre o valor acrescentado e os resultados.

3. Modelos de Avaliação da Função Manutenção

3.1. Avaliar o Desempenho

O conceito de avaliação do desempenho está relacionado com a determinação do sucesso em atingir objetivos. A forma como as organizações devem avaliar o seu desempenho tem levantado desafios, sobretudo relacionados com a necessidade de substituir os sistemas tradicionalmente baseados nos custos. Isto deve-se fundamentalmente a 5 necessidades: monitorizar o desempenho, identificar oportunidades, potenciar a motivação, melhorar a comunicação e fortalecer a responsabilização. Para além disto, a avaliação do desempenho deve ainda permitir o alinhamento das estratégias com os requisitos do mercado, a coordenação do uso eficaz dos recursos e o seu acompanhamento (Pun e White [20]).

3.2. Classificar os Modelos de Avaliação

Os diversos modelos de avaliação da manutenção podem ser agrupados em três grandes categorias conforme se diferenciam pelo conceito que lhes é subjacente, pelas grandezas em avaliação e o foco da ação resultante: (1) MAC – Modelos de Avaliação do Custo; (2) MAD – Modelos de Avaliação do Desempenho; (3) MAV – Modelos de Avaliação do Valor.

Esta classificação tem por base o conceito de produtividade de um sistema como função da sua eficiência, eficácia e da satisfação das partes interessadas alcançada, isto é, uma função do valor apercebido. Deste modo, os modelos evoluem em termos de aprofundamento da forma como se alinham com a persecução dos objetivos da organização, desde os MAC, com foco nos custos, centrados no esforço e na utilização dos recursos, os MAD, que integram os objetivos e as estratégias das organizações, passando, finalmente, para os MAV, em cuja essência de encontra o valor acrescentado pela organização e o foco na satisfação das partes interessadas (Fig.1, Tab.1).

A revisão das diferentes abordagens encontradas na literatura, apresentada no Anexo 1, foi realizada com base na utilização dos elementos característicos apresentados na Tab.2, agrupados em custos diretos, custos indiretos, benefícios, ferramentas, alinhamento estratégico e maturidade da organização.

Não é surpresa constatar a consistência da forma como todas as abordagens dedicam especial atenção aos custos diretos da manutenção. Muito embora inúmeros trabalhos deem um destaque considerável aos objetivos estratégicos do negócio, as naturais dificuldades de integrar o contributo dos aspetos mais intangíveis do negócio, a organização da manutenção e a sua maturidade, revelam-se na raridade com estas são incluídas nas metodologias de avaliação. De assinalar é igualmente o facto que, salvo raras exceções, como é o caso de Knights, Jullien e Jofre [8], a maioria dos autores não dão especial relevância à avaliação do custo do ciclo de vida dos ativos como um fator contributivo para o desempenho da função manutenção. Por fim, pode-se concluir que nenhuma das avaliações analisadas resolve de forma consistente a integração do impacto dos diversos fatores da função custo na manutenção.

Figura 1: Produtividade de um Sistema como Função da Eficiência e Eficácia, Aguiam Coelho [18]

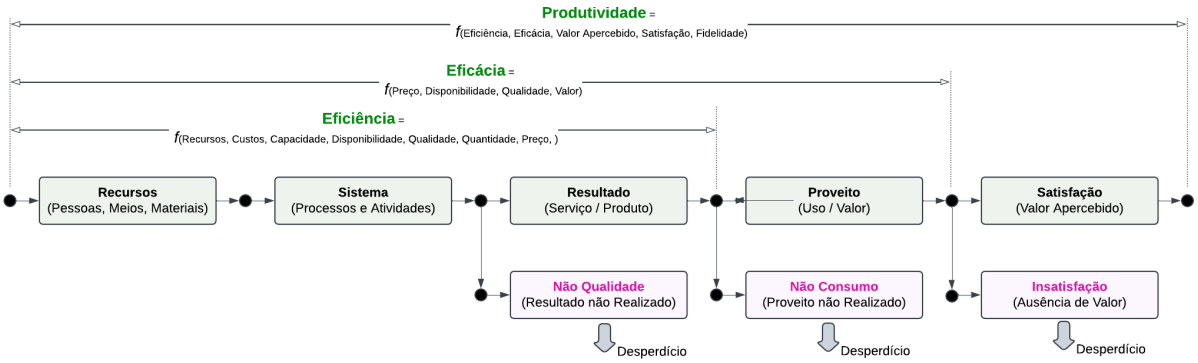


Tabela 1: Critérios de Classificação dos Modelos de Avaliação da Função Manutenção.

Abreviatura	Modelo	Gestão	Controlo	Grandezas Avaliadas	Conceito Subjacente
MAC	Avaliação do Custo	Atividade	Eficiência	Custos	Esforço
MAD	Avaliação do Desempenho	Negócio	Eficácia	Proveitos	Margem
MAV	Avaliação do Valor	Continuidade	Produtividade	Retorno	Satisfação

Tabela 2: Elementos Característicos dos Modelos de Avaliação da Função Manutenção.

Custos Diretos	Custos Indiretos	Benefícios	Ferramentas	Alinhamento Estratégico	Maturidade Organização
Mão de Obra	Paragens	Ciclo de Vida	Função custo	Disponibilidade	CMMS
Materiais	Perdas	Meios Libertos	Meios Libertos	Fiabilidade	Conhecimento
Peças	Oportunidade	Segurança	Benefícios	Manutenibilidade	Sistemas QAS
Serviços	Posse	Ambiente	Benchmarking	Segurança	Qualificações
	Sobre	Risco	Auditoria	Negócio	RH
Ativos	investimento	Flexibilidade	Valor	Ambiente	Gestão
Intensidade	Stocks	Dinâmica	Desempenho	Qualidade	Estrutura
	Qualidade	Extensão de Vida	Ciclo de Vida	Satisfação	Cultura
Estratégias	Imagem		Investimentos	Partes Interessadas	Mudança
Tarefas	Ambiente		Produtividade	Competitividade	
	Segurança			Produtividade	
	Risco			Sustentabilidade	
	Lucros			Continuidade	
				Risco	
				OEE	
				BSC	
				LCC	

4. Abordagem Metodológica

4.1. Revisitar os Fatores da Função Custo na Manutenção

Função Manutenção

A missão da manutenção pode-se definir como garantia do funcionamento dos ativos físicos, para que estes possam satisfazer os objetivos para que foram adquiridos e, na eventualidade desta função principal não conseguir ser cumprida, garantia de reparação, para que estes sejam repostos em funcionamento tão rapidamente quanto possível.

Consequentemente, os objetivos da manutenção, suas estratégias, recursos empregues, estrutura organizativa, pessoas e competências devem ser alinhados com os objetivos e estratégias do negócio, sobretudo com o seu contributo para a capacidade, a flexibilidade, a qualidade e os prazos de entrega.

Qualquer atividade, recurso empregue ou custo em que a manutenção incorra deve ser sempre encarado como realizado ”por procuração” e com a finalidade de satisfazer e otimizar os objetivos da empresa cuja atividade suporta, o que, em última análise, é produzir resultados para satisfazer as partes interessadas.

Custo do Ciclo de Vida (LCC)

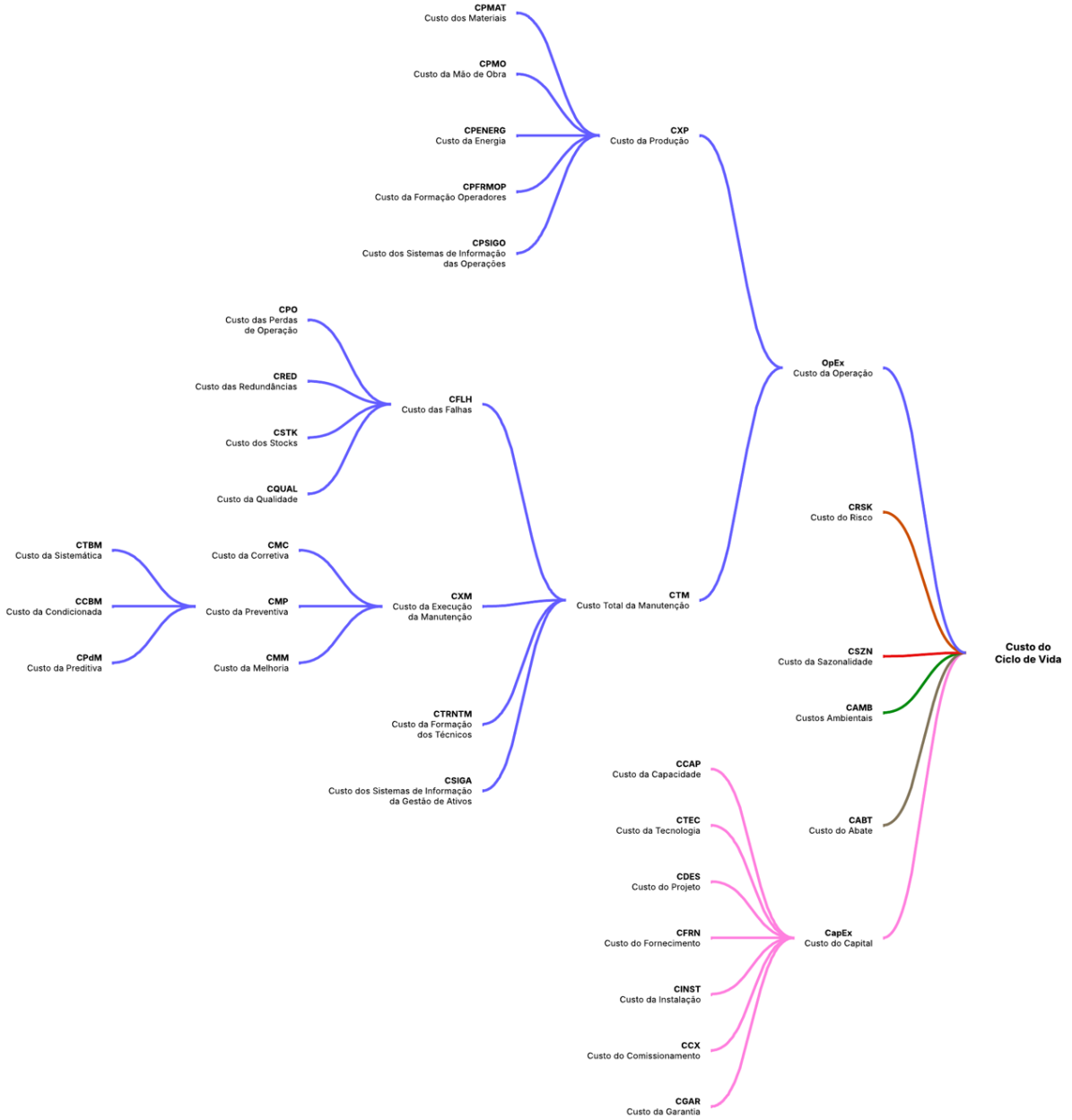
O papel da análise do ciclo de vida dos ativos tem vindo a ganhar cada vez mais adesão, dado o incremento da consciência dos gestores que, em termos de investimento, comprar o mais barato nem sempre é a opção mais eficaz, nem a mais económica, na perspetiva da vida útil total do ativo (Galar, Sandborn e Kumar [21]).

Simplificadamente, os custos do ciclo de vida de um ativo físico podem-se dividir em duas fases: os custos relacionados com a aquisição, custo do capital investido ou CapEx (*Capital Expenditure*) e os custos da operação ou OpEx (*Operational Expenditures*), também conhecidos como custos de posse que ocorrem ao longo da sua vida útil. Em realidade, quando observamos mais em detalhe, como representado na Fig.2, o número de fatores que contribuem para o custo do ciclo de vida pode ser muito mais elevado. Desde logo, ao nível do custo de aquisição, o custo do capital (CapEx), teremos de considerar: os custos relacionados com a tecnologia (CTEC); a capacidade requerida (CCAP); a execução do projeto (CDES); o fornecimento (CFRN); o comissionamento (CCX); e os custos da garantia (CGAR). Associados a esta decisão inicial, teremos os custos relacionados com o risco da atividade, a proteção de bens e pessoas, ou lucros cessantes (CRSK); a sazonalidade do negócio (CSZN); os impactos ambientais (CAMB); e o custo do abate do ativo, no final da sua vida útil (CABT). Por fim, mas certamente não por último, temos os custos de operação (OpEx), associados a toda a vida útil do ativo e à sua

exploração. Nestes, incluem-se os custos de exploração (CXP) e os custos totais da manutenção (CTM). Os custos de exploração (decompõem-se em materiais (CPMAT); mão de obra (CPMO); água e energia (CPENERG); formação dos operadores (CPFRMOP); e sistemas de informação das operações (CPSIGO). Os custos totais da manutenção (CTM) podem-se dividir em custos das falhas ou avarias (CFLH); custos da execução da manutenção (CXM); custos da formação dos técnicos da manutenção (CTRNTM); e custos dos sistemas de informação e gestão de ativos (CSIGA. Os custos das falhas (CFLH) decompõem–se em perdas de operação ou paragens (CPO); redundâncias de equipamentos ou sistemas (CRED); stocks de peças e materiais de armazém (CSTK); e custos da qualidade (CQUAL). Os custos da execução da manutenção (CXM) podem-se decompor em execução da corretiva (CMC); execução da preventiva (CMP); introdução de melhorias (CMM). Pelo seu lado, os custos da execução da preventiva (CMP) podem ainda subdividir-se em custos da execução da manutenção preventiva sistemática (CTBM); da condicionada (CCBM); e da preditiva (CPdM).

Como se pode constatar, as decisões associadas ao ciclo de vida são determinantes para o desempenho e os custos associados à sua garantia.

Figura 2: Elementos do Custo do Ciclo de Vida dos Ativos Físicos.



Custo da Maturidade dos Sistemas da Manutenção (SXM)

Para que seja possível otimizar eficazmente a gestão da manutenção e dos ativos, temos de ter os sistemas e processos controlados (Aguiam Coelho [23]). Campbell [24] considera quatro níveis de maturidade: (i) liderança, estratégias e gestão; (ii) controlo, dados, informação, planeamento, programação e gestão de materiais; (iii) melhoria contínua, fiabilidade, e manutenção autónoma; (iv) redesenho dos processos, remoção dos modos de falha. Bicen [25] enquadra as estratégias da manutenção à luz da sua evolução histórica e adequação aos desafios que lhe são colocados. A evolução destas estratégias apresenta-se na sequência: reagir, antecipar, prevenir, evitar, eliminar (Aguiam Coelho [26]).

Destacando a importância dos dados e do conhecimento para o controlo e a maturidade da manutenção, Campbell sublinha que o sucesso da implementação de sistemas de informação de gestão da manutenção (SIGM/CMMS) não pode ser entendido como uma solução tecnológica única e isolada de outros fatores, designadamente os processos, a formação das pessoas, a gestão da mudança, a cultura e a maturidade de toda a organização para a sua aceitação. Um CMMS deve ser 60% orientado para as pessoas, 25% para os processos e apenas 15% para as tecnologias [24], donde deriva a importância da gestão da mudança.

McNair [27] considera determinante o comportamento da organização para a adoção das melhores práticas da manutenção e otimizar o seu desempenho, designadamente uma cultura que suporte a existência de processos, documentação, competências e retenção do conhecimento na organização.

Nesse sentido, os custos associados à maturidade dos sistemas da manutenção refletem a importância atribuída pela organização através da dotação de recursos e capacidade para a execução de funções que permitam assumir os papéis estratégicos da manutenção: a garantia da qualidade de execução, acompanhamento e recepção dos trabalhos pelos supervisores (CSPV); o zelo pela eficiência da utilização da capacidade de execução disponível através de um correto planeamento, preparação e programação das intervenções pelos planificadores (CPLN); a identificação, análise e eliminação dos modos de falha críticos pelos engenheiros da fiabilidade (CEFM); o conhecimento, competência e capacidade de decisão pelos gestores da manutenção, de forma permitir a otimização do resultado dos esforços da manutenção (CGM); e, por fim, mas não por último; garantir a capacidade de execução dos técnicos através do desenvolvimento das suas competências, conhecimento, aptidões e atitudes (CFRM) e suportá-los a todos com sistemas e tecnologias de informação e comunicação à altura (CSTIC).

Custo da Produção (CXP)

É frequente as organizações esquecem a importância que a manutenção tem para as operações. Não intervir atempadamente sobre as pequenas degradações ou não prestar cuidados básicos essenciais, como a lubrificação, pequenas afinações, reapertos e limpezas pode acelerar a degradação, reduzir a vida útil dos equipamentos e conduzir ao aumento das avarias e perdas, ao incremento dos consumos de energia e à perda de eficiência material, ritmo de produção e, tantas vezes, à degradação da qualidade dos produtos.

Uma correta interação entre as operações e a manutenção permite a implementação de estratégias de manutenção autónoma e a melhoria dos fatores de custo de produção como os custos de mão de obra (CPMO), os consumos de materiais (CPMAT), a eficiência energética (CPENERG) e a qualidade (CPQUAL).

Custo Anualizado do Capital (CXC)

Atrás foi referido o custo do ciclo de vida dos ativos físicos e assinalado o impacto sobre o custo do ciclo de vida dos fatores de custo incluídos no CapEx. A anualização dos investimentos concretiza-se dividindo a soma do custo do capital, o valor do investimento, aqui representado pelo valor de reposição do ativo a valores atuais (ERV), e das redundâncias (CRED) pelo número de anos de vida útil estimada (XUL), acrescido do custo do capital circulante associado ao valor das existências de materiais e peças em armazém (CSTK).

4.2. Fatores de Proveito da Manutenção

Capacidade Instalada e Utilizada

Os proveitos de uma empresa ou volume de negócio potencial (VXNP) dependem da capacidade efetivamente utilizada. Esta resulta do produto da capacidade instalada (CINST) pela eficiência global do equipamento (OEE) que, como definido por Nakajima [28], é o produto da intensidade de utilização que o mercado absorve (Ci), que é o rácio entre as horas previstas de trabalho ou tempo de carga (TC) e o total de horas disponíveis (TD); da disponibilidade operacional dos ativos (Ai), que, por um lado, é igual ao rácio entre as horas efetivas de operação (TO) e as horas de carga previstas (TC) e, por outro, é igual ao rácio entre o tempo médio entre falhas (TMBF) e a soma do tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparação (MTTR); o índice do ritmo de trabalho (Ri), correspondente ao rácio entre o tempo necessário para realizar a produção ao rimo standard ou tempo efetivo de operação (TEO) e tempo despendido para realizar a produção, ou seja, o tempo de operação (TO); e, por fim, o índice de qualidade (Qi) que relaciona o tempo de operação de valor acrescentado (TOVA), isto é, o tempo que seria necessário para produzir a produção aprovada e o tempo efetivo de operação (TEO); sendo o resultado multiplicado pelo preço unitário de venda (PVU) do produto.

Valor Acrescentado (VA) ou Margem Operacional Potencial (MXO)

O valor acrescentado da operação (VA) num qualquer determinado período, isto é, a margem operacional potencial (MXO) é igual ao volume potencial de negócio (VXNP) deduzido do custo anualizado do capital (CXC), do custo da produção (CXP), do custo da execução da manutenção (CXM) e do custo da maturidade dos sistemas da manutenção (SXM)

Este valor acrescentado (VA) pode ser considerado como o resultado potencial da operação no período em questão e, assim, traduzir o impacto global da operação (incluindo a manutenção).

$$MXO = VXNP - CXC - CXP - CXM - SXM$$

Onde, MXO é a margem operacional ou de contribuição, VXNP o volume de vendas ou proveitos, CXP, o custo anualizado do capital, CXM, o custo da execução da manutenção e SXM, o custo da maturidade dos sistemas da manutenção, podendo-se ainda expressar cada um destes fatores da forma como se segue:

$$VXNP = CINST \times Ci \times Ri \times Qi \times \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

Onde, CINST é a capacidade instalada, $Ci = \frac{TC}{TD} \times 100\%$, Ci, o índice de carga, TC o tempo de carga previsto e o TD, o tempo total disponível (normalmente a totalidade do tempo de calendário, isto é 365 das x 24 dias); $Ri = \frac{TEO}{TO} \times 100\%$, Ri índice de ritmo de trabalho ou cadência de produção, TEO, o tempo efetivo de operação à cadência standard e TO, o tempo real de operação; $Qi = \frac{Produção\ Aprovada}{Produção\ Total} \times 100\%$, Qi, o índice da qualidade, o rácio $\frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)} = Ai = \frac{TO}{TC}$, e a Ai, disponibilidade operacional técnica, que é igual ao rácio do TO, tempo de operação, pelo TC, tempo de carga.

$$CXC = \frac{(ERV + CRED)}{XUL} + CSTK$$

Onde, ERV é o custo de reposição dos ativos; CRED o custo das redundâncias; XUL, os anos de vida útil estimada para o ativo; CSTK, o custo do imobilizado em armazém.

$$CXP = CPMO + CPMAT + CPENERG + CPFRMOP + CPQUAL$$

Onde, CPMO é o custo da mão de obra empregue na produção; CPMAT, o custo dos materiais utilizados na produção; CPENERG, o custo da energia, água, combustíveis; CPFRMOP, o custo da formação dos operadores; CPQUAL, o custo da qualidade.

$$CXM = CMC + CMP + CMM$$

Onde, CMC é o custo da manutenção corretiva; CMP, o custo da manutenção preventiva, que pode ser desagregada em $CMP = CTBM + CCBM + CPdM$, CTBM, custo da sistemática; CCBM, custo da condicionada; CPdM, custo da preditiva; e CMM, custo das melhorias.

$$SXM = CPLN + CSPV + CEFM + CGM + CFRM + CSTIC + CHSE$$

Onde, CPLN é o custo da planificação; CSPV, o custo da supervisão; CEFM, o custo da engenharia da fiabilidade; CGM, o custo da gestão da manutenção; CFRM, o custo da formação dos técnicos; CSTIC, o custo dos sistemas e tecnologias de informação e comunicação e CHSE, o custo da segurança, saúde e ambiente

4.3. Fatores de Desfasamento Temporal das Ações e seus Impactos

Indicadores de Desempenho

Muchiri *et al.* [17] dividem os indicadores de desempenho em indicadores de processo (*leading*) e indicadores de resultado (*lagging*). Kumar *et al.* [4] adicionam a essa categorização uma divisão dos indicadores em quantitativos (*hard*) e qualitativos (*soft*).

Numa primeira abordagem, a maior diferença entre estes indicadores reside em dois aspetos. O primeiro, a capacidade de serem quantificados (*hard e soft*). O segundo, o momento em que ocorre o impacto que eles representam. Neste último caso, independentemente do facto de serem ou não quantificáveis, os indicadores de processo são observados antes do resultado se verificar, pelo que o seu papel é sobretudo atestar que o processo se encontra no bom caminho para a obtenção futura de resultados, ou, pelo contrário, alertar para desvios futuros a esses resultados. Já os indicadores de resultado (*lagging*) representam factos ocorridos, isto é resultados presentes e existentes, não potenciais, nem futuros.

As ações de gestão na função manutenção caracterizam-se por possuírem frequentemente uma elevada inércia, ou seja, os resultados da implementação de estratégias num determinado período somente se vêm a observar em períodos futuros. Como se pode depreender, os benefícios dos recursos que estas consomem não conseguem ser medidos de imediato, o que pode constituir uma forte barreira para promover a obtenção de resultados futuros, com as respetivas consequências para a sustentabilidade e o futuro da competitividade do negócio.

A Coexistência dos Indicadores de Resultado e de Processo na Avaliação do Desempenho

A abordagem que desenvolvemos utiliza somente indicadores quantitativos (*hard*). Existe, contudo, promiscuidade entre indicadores de processo e de resultado.

São indicadores de processo aqueles que dependem do fator humano, como é o caso da maturidade dos sistemas da manutenção (SXM) ou indicadores que refletem ações estratégicas cujos resultados somente poderão a ser concretizados mais tarde. Este é o caso dos custos da execução da manutenção (CXM) que refletem a correlação das estratégias corretiva, preventiva e de melhoria. O valor acrescentado apurado através da margem operacional potencial (MXO) é um indicador do resultado real obtido no período corrente e que beneficia das ações assumidas e realizadas em períodos anteriores.

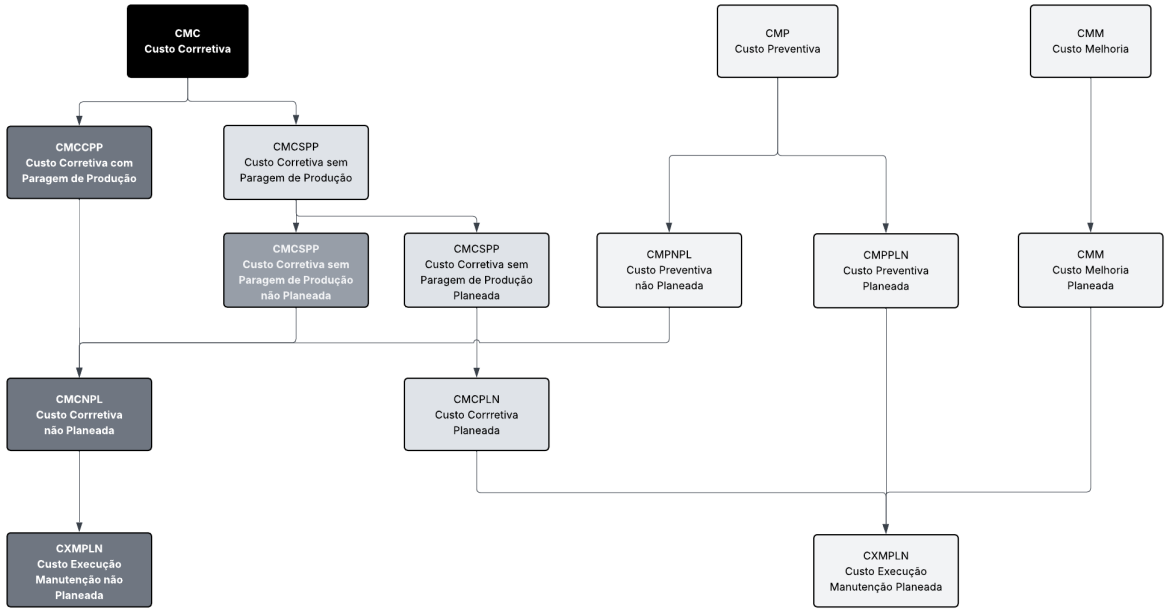
Como atrás referido, o custo da execução manutenção (CXM) é um indicador de resultado, no entanto, depende de fatores, como o custo da corretiva (CMC), da preventiva (CMP) e das melhorias (CMM), que são indicadores de processo. A execução de mais preventiva ou de melhorias pode e deve refletir-se, mais tarde, em resultado, produzido por uma redução da corretiva em, espera-se, maior volume que o acréscimo de custos em preventiva e melhoria.

Por outro lado, a capacidade e a eficiência, da utilização da capacidade de execução vai depender fortemente da maturidade dos sistemas, designadamente, do volume e da qualidade da planificação. O seu esforço é medido através dos custos da planificação (CPLN), da supervisão (CSPV), da engenharia da fiabilidade (CEFM), da gestão (CGM), da formação dos técnicos (CFRM) e da existência e da maturidade dos próprios sistemas (CSTIC). Parte desse esforço, provavelmente, apenas produzirá resultados em períodos futuros.

De facto, como se pode ver na Fig. 4, para além da existência de capacidade de planificação, o rácio de trabalho planeado e não planeado dependerá do volume de emergências e de corretiva e da eficácia do trabalho preventivo e de melhoria planeado e executado.

Este fator de promiscuidade pode ser tido em consideração através da identificação destes custos como custos diferidos e, portanto, excluídos do exercício e adicionados como acréscimos de custos em exercícios futuros em que os seus impactos sejam esperados.

Figura 3: Indicadores de Planificação e os Rácios de Custo da Corretiva, Preventiva e Melhoria.



5. Aplicabilidade

A análise da aplicabilidade da abordagem é realizada através de casos reais de empresas com base nos sistemas de informação que estas possuem atualmente, interpretando as classificações que em uso, de modo a serem enquadradas nos vários fatores identificados na metodologia atrás exposta.

5.1. Caso 1. Conjunto de Fábricas da Indústria do Processo

Analisa-se aqui um conjunto de unidades industriais do mesmo grupo internacional dedicadas à produção de painéis de madeira – aglomerados de partícula (PB) e painéis de fibra de média densidade (MDF). A sua caracterização e a análise do desempenho das manutenções encontra-se na Tab. 3. Na tabela podemos encontrar: o nível de maturidade de cada unidade fabril, obtido com recurso a auto–avaliação e avaliação cruzada (*self* e *cross–assessment*); a produção anual em m3 (Prod, m3); o volume de negócios (VN, k€), em milhares de euros; a indisponibilidade técnica (Ait%), calculada pelas paragens associadas à manutenção preventiva e corretiva, divididas pelo tempo orçamentado para a produção; a capacidade instalada (CINST, m3), considerando o mix médio de produção do ano em análise; o preço médio unitário de venda observado (PVU, €/m3); o volume máximo potencial de negócio, considerando a capacidade instalada (VXNP, k€); o volume de produção adicional potencialmente possível produzir (Δm3), considerando o nível de disponibilidade libertada, isto é, (1 – Ait%); o volume de negócio adicional potencialmente possível obter (ΔVXNP, k€), considerando o acréscimo de produção potencial (Δm3); a soma do custo da execução da manutenção corretiva e da manutenção preventiva (CMC+CMP, k€); o custo das melhorias (CMM, k€); o custo da execução da manutenção no período (CXM, k€), que soma a manutenção corretiva, preventiva e melhorias; a margem de contribuição adicional potencialmente possível de libertar devido ao desempenho da manutenção em euros (ΔMXO, k€) e em % de acréscimo ao volume de vendas (ΔMXO, %).

Uma vez que as melhorias não podem ter impacto no período a que se refere esta análise, ou seja, os custos das melhorias (CMM, k€) são efetivamente indicadores de processo e o seu proveito somente poderá a vir ter lugar em períodos futuros, estes deverão ser diferidos, devendo o seu impacto em períodos futuros ser considerados acréscimos, para determinação da contribuição da manutenção nesses exercícios. Deste modo, o custo das melhorias, na Tab.4, são consideradas como custos da execução da manutenção diferidos (CXMD, k€, Diferidos) e os custos da manutenção do exercício passam a agregar apenas a manutenção corretiva e preventiva realizada (CXM, k€, Exercício), excluindo assim o efeito da sobrecarga representada por ações (melhorias) cujo impacto não se regista neste exercício.

Os níveis de maturidade apurados por autoavaliação e avaliação cruzada são puramente qualitativos (*soft indicators*). A estrutura da contabilidade analítica em funcionamento não permite refletir o esforço corrente em maturidade através de indicadores com impacto sobre o contributo da manutenção.

Deste modo, podemos apurar o desempenho das manutenções em função da contribuição que estas poderiam dar em termos de acréscimo de volume de negócio potencial que o nível de disponibilidade libertada (1 – Ait%) poderia gerar, deduzido do custo associado em esforço de manutenção, simplificando-se, assim, a expressão da margem operacional (MXO), nos casos da Tab.3, considerando as melhorias como impacto no exercício, e Tab.4, excluindo as melhorias, respetivamente:

$$\Delta MXO = \Delta VXNP - CXM = \ CINST \ \times \ PVU \ (1 - Ait) - (CMC + CMP + CMM)$$ (com melhorias, Tab.3)

$$\Delta MXO = \Delta VXNP - CXM = \ CINST \ \times \ PVU \ (1 - Ait) - (CMC + CMP)$$ (sem melhorias, Tab.4)

$$MXO, \% = \frac{\Delta MXO, k€}{VN, k€} \times 100\%$$

Tabela 3: Caso 1. Unidades de Produção de Painéis de Madeira. Desempenho Comparado das Manutenções com Melhorias levadas a Custo do Exercício.

Fábrica	Nível de Maturidade	Prod, m3	Ait%	VN, k€	VXNP, k€	CINST, m3	Δm3	PVU, €/m3	Δ VxNP, k€	(CMC+CM), k€	CMM, k€	CXM, k€	ΔMXO, k€	ΔMXO %
A	2 - Preventiva	343,000	5.3%	€ 88,000	€ 99,000	383,000	20,000	€ 258	€ 5,000	€ 3,400	€ 1,000	4,400	€ 600.00	0.7%
B	3 - Condicionada	250,000	5.0%	€ 78,000	€ 99,000	316,000	50,000	€ 312	€ 16,000	€ 4,200	€ 1,200	5,400	€ 10,600.00	13.6%
C	2 - Preventiva	335,000	9.1%	€ 69,000	€ 78,000	377,000	8,000	€ 207	€ 2,000	€ 4,800	€ 1,800	6,600	€ (4,600.00)	-6.6%
D	3 - Condicionada	137,000	6.0%	€ 48,000	€ 52,000	148,000	2,000	€ 351	€ 1,000	€ 3,400	€ 1,100	4,500	€ (3,500.00)	-7.3%
E	2 - Preventiva	522,000	6.7%	€ 122,000	€ 132,000	562,000	2,000	€ 234	€ -	€ 10,700	€ 2,500	13,200	€ (13,200.00)	-10.8%
F	2 - Preventiva	939,000	7.7%	€ 210,000	€ 254,000	1,135,000	109,000	€ 224	€ 24,000	€ 12,800	€ 3,000	15,800	€ 8,200.00	3.9%
G	3 - Condicionada	258,000	3.8%	€ 70,000	€ 76,000	283,000	14,000	€ 269	€ 4,000	€ 3,400	€ 1,200	4,600	€ (600.00)	-0.9%
H	2 - Preventiva	310,000	8.0%	€ 72,000	€ 88,000	375,000	35,000	€ 234	€ 8,000	€ 5,200	€ 1,800	7,000	€ 1,000.00	1.4%

Tabela 4: Caso 1. Unidades de Produção de Painéis de Madeira. Desempenho Comparado das Manutenções com Melhorias consideradas a Custos Diferidos.

Fábrica	Nível de Maturidade	Prod, m3	Ait%	VN, k€	VXNP, k€	CINST, m3	Δm3	PVU, €/m3	Δ VXNP, k€	(CMC+CM), k€	CMM, k€	CXMD, k€ Diferidos	CXM, k€ Exercício	ΔMXO, k€ Exercício	ΔMXO % Exercício
A	2 - Preventiva	343,000	5.3%	€ 88,000	€ 99,000	383,000	20,000	€ 258	€ 5,000	€ 3,400	€ 1,000	€ 1,000	3,400	€ 1,600.00	1.8%
B	3 - Condicionada	250,000	5.0%	€ 78,000	€ 99,000	316,000	50,000	€ 312	€ 16,000	€ 4,200	€ 1,200	€ 1,200	4,200	€ 11,800.00	15.1%
C	2 - Preventiva	335,000	9.1%	€ 69,000	€ 78,000	377,000	8,000	€ 207	€ 2,000	€ 4,800	€ 1,800	€ 1,800	4,800	€ (2,800.00)	-4.0%
D	3 - Condicionada	137,000	6.0%	€ 48,000	€ 52,000	148,000	2,000	€ 351	€ 1,000	€ 3,400	€ 1,100	€ 1,100	3,400	€ (2,400.00)	-5.0%
E	2 - Preventiva	522,000	6.7%	€ 122,000	€ 132,000	562,000	2,000	€ 234	€ -	€ 10,700	€ 2,500	€ 2,500	10,700	€ (10,700.00)	-8.7%
F	2 - Preventiva	939,000	7.7%	€ 210,000	€ 254,000	1,135,000	109,000	€ 224	€ 24,000	€ 12,800	€ 3,000	€ 3,000	12,800	€ 11,200.00	5.3%
G	3 - Condicionada	258,000	3.8%	€ 70,000	€ 76,000	283,000	14,000	€ 269	€ 4,000	€ 3,400	€ 1,200	€ 1,200	3,400	€ 600.00	0.9%
H	2 - Preventiva	310,000	8.0%	€ 72,000	€ 88,000	375,000	35,000	€ 234	€ 8,000	€ 5,200	€ 1,800	€ 1,800	5,200	€ 2,800.00	3.9%

5.2. Caso 2. Unidade de Produção de Especialidades Farmacêuticas

Este caso foi construído a partir de uma referência apresentada por Pintelon, Pinjala e Vereecke [14] e encontra—se caracterizado e analisado na Tab.5. Esta empresa apresentava um volume de negócios (VXN, k€) de 800 milhões de euros e uma indisponibilidade de 16%, um custo de produção da ordem dos 170 milhões de euros e custos da execução da manutenção de 30 milhões de euros divididos em 21 milhões de corretiva e 9 milhões de preventiva. Após a realização de um conjunto de investimentos em manutenção preventiva no valor de 3 milhões, foi possível melhorar estes rácios, reduzindo a indisponibilidade dos seus equipamentos em 6%, e, correspondentemente os custos de reparação em 8 milhões. O tempo adicional de disponibilidade permitiu a utilização desta capacidade para aumentar as vendas em 57 milhões.

Adaptando a abordagem apresentada, podemos apurar a contribuição da manutenção em cada um dos anos referidos e o seu incremento.

$$MXO = VXN - CXM = VXN - (CMC + CMP)$$

Onde, MXO é a margem de contribuição; CMC, o custo da manutenção corretiva; CMP, o custo da manutenção preventiva.

Tabela 5: Caso 2. Unidade de Produção de Especialidades Farmacêuticas. Evolução do Desempenho da Manutenção.

Variante	Disponibilidade	Indisponibilidade	VXN, k€	CXP, k€	CMC, k€	CMP, k€	CXM, k€	MXO, k€
Situação Atual	84%	16%	€ 800,000	€ 170,000	€ 21,000	€ 9,000	€ 30,000	€ 600,000
Sitaução Futura	90%	10%	€ 857,000	€ 182,000	€ 13,000	€ 12,000	€ 25,000	€ 650,000
Δ	6%	-6%	€ 57,000	€ 12,000	€ (8,000)	€ 3,000	€ (5,000)	€ 50,000

6. Conclusões e Discussão dos Resultados

O modelo de avaliação da contribuição da manutenção apresentado no presente trabalho é um modelo de avaliação do valor acrescentado potencial da persecução da missão da manutenção ao longo da vida útil dos ativos. Para isso, num primeiro momento, analisaram-se os fatores intervenientes no ciclo de vida dos ativos e o seu custo total (LCC), de onde se destaca que as decisões associadas ao ciclo de vida são determinantes para o desempenho e os custos associados à execução da manutenção e persecução da sua missão. De seguida, decompôs-se a função dos ativos em termos dos custos anualizados do capital (CXC), da produção ou operação (CXP), custos de execução da manutenção (CXM) e da maturidade dos sistemas da manutenção (SXM). Por fim, avaliaram-se os proveitos potencialmente libertados pelos ativos, traduzidos em termos de capacidade instalada (CINST) multiplicada pelo preço de venda unitário médio PVU) e pela eficiência global do equipamento (OEE) traduzida pelo produto dos vários índices de carga (Ci), de ritmo ou cadência (Ri), qualidade (Qi) e disponibilidade operacional (Ai). O valor libertado pelo ativo é, assim, obtido pelo diferencial entre os proveitos e os custos necessários para os produzir.

Assinalou-se, no entanto, que nem todos os fatores de custo produzem resultados no período em que ocorrem, pelo que é necessário diferir ou acrescer custos e proveitos, de forma a relacionar temporalmente o esforço e os respetivos proveitos.

A aplicação desta abordagem a casos reais colocou em evidência a realidade dos sistemas de informação das empresas e a dificuldade para obter dados suficientemente desagregados que permitam suportar a avaliação. Contudo, prescindindo de alguns dos fatores, para os quais não havia suficiente detalhe, foi possível calcular o valor acrescentado e avaliar a contribuição potencial da manutenção. Pode-se testar a aplicação do método do diferimento dos custos no caso das melhorias, o que permitiu retirar o efeito da contabilização do esforço em períodos em que este não produzia resultados no próprio exercício. Dada a ausência de dados temporais, não se conseguiu validar a avaliação do efeito nos proveitos do exercício do acréscimo de custos relativos a esforços

diferidos de outros períodos. Contudo, o método é extremamente eficaz a demostrar a potencial contribuição de melhorias e investimentos e permitir a sua fundamentação.

Muito embora um dos casos contemplasse a avaliação da maturidade da manutenção, não existiam dados para estabelecer uma correlação entre o desempenho das organizações e a sua maturidade, provavelmente devido ao considerável desfasamento temporal entre os critérios de avaliação do nível de maturidade e o momento da obtenção do seu impacto e à ausência de informação do peso dos esforços para esse fim, de modo ser possível diferi-los correspondentemente.

6.1. Dificuldades e Oportunidades de Desenvolvimentos Futuros

O modelo de avaliação proposto apresenta vantagens e limitações. Desde logo, permite integrar os proveitos libertados pelos ativos e relacioná-los com os esforços despendidos para os obter e isolar ou conjugar os efeitos e os esforços consoante a informação disponível, adaptando os fatores de forma correspondente, como se pode observar nos casos de aplicação. Mas, como todos os modelos que se baseiam na informação disponível nas empresas, é apenas tão eficaz quanto rigorosos forem os dados que existam. Em realidade, nos exemplos dos casos apresentados, a excessiva agregação dos dados limita francamente a obtenção de resultados fiáveis para o suporte à decisão. Um exagerado primado da contabilidade nos sistemas de informação não detalha suficientemente a atividade e não representa convenientemente a função manutenção.

Muito embora o sistema lide com facilidade com indicadores de processo e consiga ter em consideração o desfasamento temporal dos seus efeitos, tais como o peso da planificação nos esforços e o seu impacto, é frequente os sistemas de informação da gestão de ativos não possuírem detalhe suficiente para que isso seja possível. Uma oportunidade para desenvolvimentos futuros é a construção de uma classificação e hierarquia da informação que contribua para a reconfiguração dos sistemas de gestão, um detalhe adequado e a otimização das abordagens de avaliação do valor acrescentado da função manutenção.

Paralelamente, o aprofundamento da avaliação dos fatores culturais e comportamentais da maturidade da organização da manutenção e da sua relação com o seu desempenho revestir-se-ia de extrema utilidade para todos aqueles que lidam com a gestão da mudança na manutenção e gestão de ativos.

7. Bibliografia

[1] Al-Sultan, K., & Duffuaa, S. O. (1995). Maintenance control via mathematical programming. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 1*(3), 36–46.

[2] Liyanage, J. P., & Kumar, U. (2003). Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 9*(4), 333–350.

[3] Parida, A., & Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12*(3), 239–251.

[4] Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C., & Berges, L. (2013). Maintenance performance metrics: A state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 19*(3), 233–277.

[5] Thomas, D. S., & Weiss, B. (2021). Maintenance costs and advanced maintenance techniques in manufacturing machinery: Survey and analysis. *International Journal of Prognostics and Health Management, 12*(1).

[6] Thomas, D. S. (2018). *Advanced maintenance in manufacturing: Costs and benefits*. In *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society*.

[7] Alsyouf, I. (2006). Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12*(2), 135–151.

[8] Knights, P., Jullian, F., & Jofre, L. (2005). Assessing the size of the prize: Developing business cases for maintenance improvement projects. In *Australian Mining Technology Conference*.

[9] Campbell, J. D., & Reyes-Picknell, J. (2015). *Uptime: Strategies for excellence in maintenance management* (3rd ed.). CRC Press.

[10] Goldratt, E. M., & Cox, J. (2004). *The goal: A process of ongoing improvement* (3rd ed.). North River Press.

[11] Dwight, R. (1995). Concepts for measuring maintenance performance. In *Maintenance performance analysis: A practical approach* (pp. 109–125). Moret Ernst & Young Management Consultants.

[12] Dwight, R. (1999). Searching for real maintenance performance measures. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 15*(3), 258–275.

[13] Tsang, A. H. C., Jardine, A. K. S., & Kolodny, H. (1999). Measuring maintenance performance: A holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management, 19*(7), 691–715.

[14] Pintelon, L., Pinjala, S. K., & Vereecke, A. (2006). Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 12*(1), 7–20.

[15] Weber, A., & Thomas, R. (2005). *Key performance indicators: Measuring and managing the maintenance function*. Ivara Corporation.

[16] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.

[17] Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics, 131*, 295–302.

[18] Visser, J., & Pretorius, M. W. (2003). The development of a performance measurement system for maintenance. *SA Journal of Industrial Engineering, 14*(1), 83–97.

[19] Kamonen, K. (2002). A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking. *International Journal of Production Economics, 79*, 15–31.

[20] Pun, K. F., & White, A. S. (2005). A performance measurement paradigm for integrating strategy formulation: A review of systems and frameworks. *International Journal of Management Reviews, 7*(1), 49–71.

[21] Galar, D., Sandborn, P., & Kumar, U. (2017). *Maintenance costs and life cycle cost analysis*. Taylor & Francis.

[22] Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence: Optimizing life-cycle decisions*. Marcel Dekker.

[23] Aguiam Coelho, M. J. (2023). *A contribuição da manutenção baseada no conhecimento para o desempenho da gestão de ativos e fiabilidade: Um estudo de corte transversal das unidades fabris da Sonae Arauco* [Dissertação]. Universidade de Coimbra.

[24] Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset management excellence: Optimizing equipment life-cycle decisions* (3rd ed.). CRC Press.

[25] Bicen, Y. (2019). Reorganization of the maintenance strategies and predominant features of predictive maintenance strategy. In *Third International Engineering Research Symposium (INERS 2019)*, Düzce, Turkey.

[26] Aguiam Coelho, M. J. (2021). Da conservação da avaria para a eliminação do modo de falha. In *16.º Congresso Nacional de Manutenção*, Aveiro, Portugal.

[27] McNair, S. (2011). *Budgeting for maintenance: A behavior-based approach*. Life Cycle Engineering. Retrieved November 1, 2022, from http://www.lce.com

[28] Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press.

[29] Peimbert-García, R. E. (2012). *A cost of quality modelling for maintenance* (Doctoral dissertation). Texas Tech University.

[30] Barraza-Barraza, D., Limón-Robles, J., & Beruvides, M. G. (2014). Maintenance-related costs in maintenance management. In *American Society for Engineering Management 2014 Annual Conference*.

[31] Dwight, R. (1999). *Frameworks for measuring the performance of the maintenance system in a capital intensive organization* (Doctoral dissertation). University of Wollongong.

[32] Al-Najar, B., & Alsyouf, I. (2004). Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: A case study. *European Journal of Operational Research, 157*, 643–657.

[33] Al-Najar, B. (2007). The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company business. *International Journal of Production Economics, 107*(1), 260–273.

[34] Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Apêndice 1: Caracterização dos Modelos de Avaliação do Desempenho da Manutenção.

Fonte	Custos Diretos	Custos Indiretos	Benefícios	Ferramentas	Alinhamento Estratégico	Maturidade Organização	Tipo de Modelo
Peimbert Garcia RE [2012] [29] Barraza-Barraza D, Limón - Robles J, Beruvides MG [2014] [30]	Mão de Obra Materiais Mortalidade Infantil Probabilidade de Falha	Paragens Perdas Oportunidade Posse, Stocks Mortalidade Infantil Qualidade Lucros Cessantes	Custo de Oportunidade	Função custo	Disponibilidade Qualidade		**MAC**
Knights P, Jullian F, Jofre L [2005] [8]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre investimento Stocks Qualidade	Ciclo de Vida Meios Libertos	Função custo Meios Libertos Benefícios Ciclo de Vida Investimentos Produtividade			**MAC**
Komonen K [2002] [19]	Ativos Intensidade	Paragens Perdas Stocks Lucros		Função custo Benchmarking	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança Qualidade Satisfação OEE		**MAC**
Parida A, Kumar U [2006] [3]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços		Ciclo de Vida Meios Libertos Segurança Ambiente Risco Flexibilidade Dinâmica Extensão de Vida	Valor Investimentos Produtividade	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança Negócio Ambiente Qualidade Satisfação Partes Interessadas Competitividade Produtividade Sustentabilidade. Continuidade OEE	CMMS	**MAD**
Campbell JD, Reyes-Picknell JV, Kim HS [2015] [9]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços Ativos Intensidade			Benchmarking Desempenho - Equipamento - Custo - Processo Produtividade	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança Qualidade Satisfação Competitividade. Produtividade Sustentabilidade. Continuidade OEE		**MAD**
Dwight R [1999] [12] [31] Dwight R	Mão de Obra Materiais Peças Serviços	Paragens Perdas Oportunidade Posse	Ciclo de Vida Meios Libertos Segurança Ambiente	Benchmarking Auditoria Valor Desempenho	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança	CMMS Conhecimento Sistemas QAS Qualificações	**MAV**

[1995] [11]		Sobre investimento Stocks Qualidade Imagem Ambiente Segurança Lucros	Risco Flexibilidade Dinâmica Extensão de Vida		Negócio Ambiente Qualidade Satisfação Partes Interessadas Competitividade. Produtividade Sustentabilidade. Continuidade Risco OEE	RH Gestão Estrutura Cultura Mudança	
Tsang, AHC, Jardine AKS, Kolodny H [1999] [13]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre investimento Stocks Qualidade Imagem Ambiente Segurança Lucros	Ciclo de Vida Meios Libertos Segurança Ambiente Risco Flexibilidade Dinâmica Extensão de Vida	Benchmarking Auditoria Valor Desempenho	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade Segurança Negócio Ambiente Qualidade Satisfação Partes Interessadas Competitividade. Produtividade Sustentabilidade. Continuidade Risco OEE BSC	CMMS Conhecimento Sistemas QAS Qualificações RH Gestão Estrutura Cultura Mudança	**MAV**
Al-Najjar B, Alsyouf I [2004] [32] Al-Najar B [2007] [33]	Ativos Intensidade Estratégias Tarefas	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre investimento Stocks Qualidade Imagem Ambiente Segurança Risco Lucros	Ciclo de Vida Meios Libertos Segurança Ambiente Risco	Meios Libertos Benefícios Desempenho Ciclo de Vida Investimentos	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade Segurança Negócio Ambiente Qualidade Satisfação OEE LCC	CMMS Conhecimento Sistemas QAS Qualificações	**MAV**
Thomas DS [2018] [6] Thomas DS, Weiss BA [2021] [5]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços Estratégias Tarefas	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre investimento Stocks Qualidade Imagem Ambiente Segurança Risco Lucros	Ciclo de Vida Meios Libertos Segurança Ambiente Risco Flexibilidade Dinâmica Extensão de Vida	Função custo Meios Libertos Benefícios Valor Desempenho Ciclo de Vida Investimentos Produtividade	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Negócio Qualidade Satisfação Competitividade. Produtividade OEE	CMMS	**MAV**
Mobley RK [2002] [34]	Estratégias Tarefas	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre	Meios Libertos	Função custo Meios Libertos Benefícios Desempenho	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Negócio Produtividade	CMMS	**MAC**

		investimento Stocks		Investimentos Produtividade			
Visser JK, Pretorius MW [2003] [18]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços Ativos Intensidade Estratégias Tarefas	Paragens Perdas Qualidade	Segurança Ambiente Qualidade Flexibilidade Dinâmica	Função custo Meios Libertos Benefícios Desempenho Produtividade	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança Negócio Ambiente Qualidade Competitividade. Produtividade Sustentabilidade. Continuidade BSC	CMMS Conhecimento Sistemas QAS Qualificações RH Gestão Estrutura	**MAD**
Pintelon L, Pinjala SK, Vereecke A [2006] [14]	Mão de Obra Materiais Peças Serviços Ativos Intensidade Estratégias Tarefas	Paragens Perdas Oportunidade Posse Sobre investimento Stocks Qualidade Imagem Lucros	Meios Libertos Segurança Ambiente Risco Flexibilidade	Função custo Meios Libertos Benefícios Desempenho Investimentos Produtividade	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade. Segurança Negócio Qualidade Satisfação Competitividade. Produtividade Sustentabilidade.	CMMS	**MAV**
Muchiri P, Pintelon L, Gelders L, Martin H [2011] [30]	Custos da Manutenção		Desempenho Equipamento Alinhamento Resultados	Benchmarking Desempenho Alinhamento Estratégico Indicadores de Processo (Leading) Indicadores de Resultados (Lagging)	Disponibilidade Fiabilidade Manutenibilidade Qualidade BSC OEE		**MAD**
Kumar U, Galar D, Parida A, Stenstrom, Berges L [2014] [4]	Custos da Manutenção - Materiais - Mão Obra - Serviços		Disponibilidade Resultados Meios Libertos Desempenho - Quantidade - Preço - Velocidade - Rigor - Função - Serviço - Estética	Indicadores - Processo Leading - Resultados Lagging - Quantitativos Hard - Qualitativos Soft	Desempenho - Operação - Qualidade - Fiabilidade - Vida útil - Segurança - Custos - Eficácia Resultados Fator Humano RAMS CSF BSC	Indicadores - Posse - Objetivos - Prazo temporal Dados - Custo - Propósito - Quantidade - Rigor EficáciaTrabalho	**MAV**
Weber A, Thomas R [2005] [15]	Custos da Manutenção		Práticas: - Projeto - Operação - Manutenção	Utilização Ativos	Desempenho Cliente - Qualidade - Entrega - Preço Disponibilidade Fiabilidade BSC	Ordem Trabalho Preventiva Planeamento Programação Revisão Seguimento Wrench Time	**MAD**

Liyanage JP, Kumar U, [2003] [2]	Custos operacionais	Proveitos Custos Capital Capital Circulante Produtividade dos Ativos	Valores - Económicos - Sociais - Ambientais ROI Vol. Negócios Custos Ambiente SST	Desempenho Baseado no Valor Alinhamento - Estratégico - Curto prazo - ML prazo Gestão Verde: - Operações - Tecnologias - Pessoas	Alinhamento Estratégico - Conformidade - Condição - Capacidade - Recursos & Competências Alinhamento Vertical - Negócio - Condição - Operação Processo (Leading) Resultados (Lagging) BSC	CMMS Competências Gestão da Mudança	**MAV**

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla-cega.

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