

Contributos das cadeias de Markov na disponibilidade dos ativos físicos e da economia circular

1.^a Parte

A. Simões, J. T. Farinha, I. Fonseca

assimoes@isec.pt, tfarinha@isec.pt, inacio@isec.pt

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), Portugal

RESUMO

É amplamente reconhecido que, no século XXI, o aumento exponencial dos sistemas de informação digitais, com consequentes impactos na inovação podem criar novas e significativas fontes de valor para os cidadãos e para as economias, criando também novos desafios para os reguladores e para os decisores políticos. Neste contexto, a Indústria 4.0 surge como uma evolução dos sistemas produtivos industriais que garante benefícios, como a redução de custos, de energia, do aumento da segurança e da qualidade, e a melhoria da eficiência dos processos. Compreender e aproveitar o potencial desta "Quarta Revolução Industrial", para a sociedade, a economia e o meio ambiente é determinante para o sucesso empresarial.

A disponibilidade de ativos fixos refere-se à disponibilidade de um ativo tangível para ser utilizado. Um recurso é considerado disponível quando está pronto para usar. Um recurso é considerado indisponível por motivos de desativação, por estar em manutenção ou reparação, estar em transporte ou devido a um erro de ligação à rede de Internet. A disponibilidade de ativos é uma parte importante do negócio. Quando os ativos estão disponíveis, os processos de trabalho podem operar de forma mais eficiente e económica. Manter os ativos operacionais e reduzir atrasos de inoperacionalidade é fundamental para o sucesso de uma empresa.

A economia circular é um conceito nascido na China como base do futuro crescimento económico do país. Independentemente da origem do termo, a economia circular contém ideias oriundas de diferentes escolas de pensamento e é possível traçar as suas raízes até ao século XVIII e às primeiras teorias económicas surgidas nessa altura. "Circular" opõe-se a "linear". Isto equivale a condenar o atual modelo económico, enquanto o processo de conversão de recursos em resíduos. A economia circular, pelo contrário, corresponde a um modelo capaz, não apenas de produzir valor sem destruir a natureza, mas também de a restaurar e proteger.

A economia circular passa muito pelo prolongamento da vida dos ativos, pela manutenção de melhores estados de condição e pela reutilização de materiais após o abate.

A monitorização de condição está associada a algoritmos de previsão que permitem a melhoria do desempenho, aumentando os intervalos entre as intervenções e ajudando a manter elevados níveis de fiabilidade. Existem muitos tipos de variáveis que podem ser usadas para medir a condição do equipamento, como é o caso de vários tipos de efluentes com impacto ambiental. Este é um problema típico que pode

ser resolvido através de Modelos Escondidos de Markov (HMM), levando em consideração a especificidade desse tipo de equipamento.

Palavras-Chave: Economia Circular, Disponibilidade, Ativos Fixos, Manutenção Preditiva Ecológica, Modelos Escondidos de Markov (HMM).

1. INTRODUÇÃO

Nas fábricas, como noutras áreas da nossa vida, os dados, a informação, e o conhecimento suportados em papel passam a ser secundários, sendo dada primazia absoluta aos suportes digitais. O conceito de ativo inteligente tornou-se uma característica chave da quarta revolução industrial. A Indústria 4.0 não é um conceito futurista, é já hoje uma realidade que começa a ter efeitos nos indicadores operacionais das empresas. Os produtos, as máquinas e as pessoas estão ligados em rede, cada vez em maior número, através de plataformas digitais que disponibilizam informação em tempo real.

Para além das oportunidades de lucro para as empresas, há uma oportunidade para a sociedade redefinir a sua relação com os ativos fixos.

A perspetiva aqui apresentada oferece uma visão convincente para ativos inteligentes numa economia circular [1].

O objetivo deste artigo é aplicar o conceito de HMM na monitorização da condição de manutenção de um ativo fixo. O impacto desta monitorização está associado à capacidade de fazer intervenções antes que qualquer variável de controlo do estado de saúde atinja o seu valor limite.

A manutenção preditiva ecológica [2] preconizada baseia-se em indicadores de condição de cariz ecológico.

A manutenção de ativos fixos através de metodologias de monitorização da condição de manutenção, permitindo o planeamento de um tempo de intervenção mais eficiente [3], realizada com base em variáveis de condição ecológicas, tais como Consumo, Eficiência Energética, Ruído, Vibração, Emissões poluentes (NO_x , CO_2 , HC, PM_{10}).

Para planejar a manutenção com tais variáveis, foi desenvolvido e aplicado um Modelo Escondido de Markov (HMM), o qual se mostrou adequado para gerir a complexidade associada a essas variáveis. O modelo usa os algoritmos Baum-Welch e Viterbi.

É importante detetar, facilmente e economicamente, os valores dos indicadores, que estão fortemente correlacionados com os níveis de degradação física de um ativo.

2. ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular é um imperativo económico e ambiental, mas há uma enorme lacuna entre um grande conceito e uma realidade prática. A *Internet das Coisas* é a corrente de ligação entre os enormíssimos bens que consumimos todos os anos globalmente, com as mudanças no comportamento diário do consumidor, recuperação do produto, separação de materiais e a remanufatura.

A economia circular pode fornecer benefícios de curto prazo e oportunidades estratégicas de longo prazo face a desafios, tais como:

- Volatilidade no preço das matérias-primas e limitação dos riscos de fornecimento;
- Novas relações com o cliente, programas de retoma, novos modelos de negócio;
- Competitividade da economia e vantagens da iniciativa empreendedora;
- Redução de emissões e resíduos, e combate às alterações climáticas.

Uma maior cooperação no interior das cadeias de abastecimento e entre estas pode reduzir os custos, os resíduos e os danos ambientais. Os avanços realizados no domínio da eco-inovação proporcionam novos produtos, processos, tecnologias e estruturas organizacionais. Algumas empresas encontrarão novos mercados ao prescindirem da venda de produtos para passarem a vender serviços e desenvolver modelos empresariais baseados na partilha, reutilização ou reciclagem de componentes individuais.

Estima-se que as medidas de prevenção dos resíduos, conceção ecológica, reutilização e outras ações "*circulares*" possam gerar poupanças líquidas de cerca de 600 mil milhões de euros às empresas da UE (cerca de 8% do total do seu volume de negócios anual), criando 170 000 empregos diretos no setor da gestão de resíduos e, ao mesmo tempo, viabilizando uma redução de 2% a 4% das emissões totais anuais de gases de efeito de estufa. Em termos gerais, a implementação de medidas adicionais para aumentar a produtividade dos recursos em 30% até 2030 poderá aumentar o PIB em cerca de 1%, criando, simultaneamente mais de 2 milhões de postos de trabalho em comparação com um cenário de manutenção da situação atual [1].

A economia circular é, assim, apresentada como um catalisador para a competitividade e inovação, protegendo as empresas contra a escassez dos recursos e a volatilidade dos preços, ajudando a criar novas oportunidades empresariais e formas inovadoras e mais eficientes de produzir e consumir. Por exemplo, as medidas que levem a uma recolha de cerca de 95% dos telemóveis na EU equivaleriam a uma poupança de mais de mil milhões de euros em custos de materiais de fabrico.

Acreditamos que Portugal também pode e deve beneficiar do potencial associado a esta mudança de paradigma económico, já que dispõe do conhecimento e dos recursos para fazê-lo.

3. DISPONIBILIDADE DE ATIVOS FIXOS

Sendo um conceito inovador, a Gestão de Ativos Industriais é hoje adotada por um número crescente de indústrias em todo o mundo, para enfrentar novos desafios colocados pela economia globalizada, pois permite que uma empresa industrial optimize o seu desempenho técnico e económico acelerando o período de recuperação e criando alto valor agregado.

A gestão de ativos industriais lida com ferramentas de produção em que se integra:

- O custo do ciclo de vida completo do equipamento - Este começa com os primeiros estágios de pesquisa e desenvolvimento, projeto e *design*, depois nas etapas de compra, construção e instalação, antes de chegar à fase de operação e gestão e, finalmente, de desmantelamento de equipamentos;

- A gestão integrada dos aspetos plurais do funcionamento industrial - compras e provisões de peças substitutivas, políticas de gestão de manutenção preventiva e corretiva, modificações ou substituições de equipamentos - visando uma otimização global de custos;
- Controlo total da inter-relação entre os custos e os riscos envolvidos nessas operações;
- A prática de gestão industrial com a vertente económica, combinada com a vertente técnica.

Em suma, a conceptualização da gestão de ativos pode ser sintetizada tal como ilustra a Figura 1.

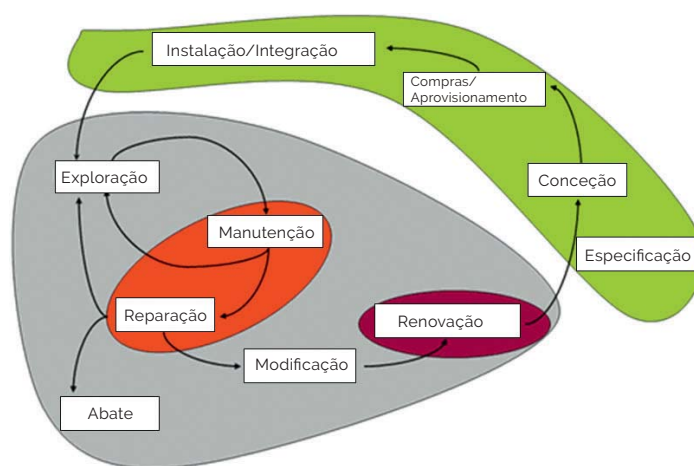


Figura 1. Conceptualização da gestão de ativos.

A gestão de ativos baseia-se nas metodologias mais contemporâneas nos domínios da gestão industrial, engenharia de serviços e cálculo de probabilidade do tempo de bom funcionamento, com consequente impacto na fiabilidade.

As boas práticas e as boas práticas de gestão de ativos correspondem ao mais elevado patamar de padrões de fiabilidade na escala de opções disponíveis (Figura 2).

As opções adotadas incluem várias ferramentas de otimização, em que se incluem:

- Gestão baseada no risco;
- Avaliação da interação entre custos/riscos de produção;
- Gestão da incerteza;
- Cálculo do Ciclo de Vida (LCC);
- Manutenção Produtiva Total (TPM);
- Fiabilidade operacional;
- Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM).

Reliability Stable Domains

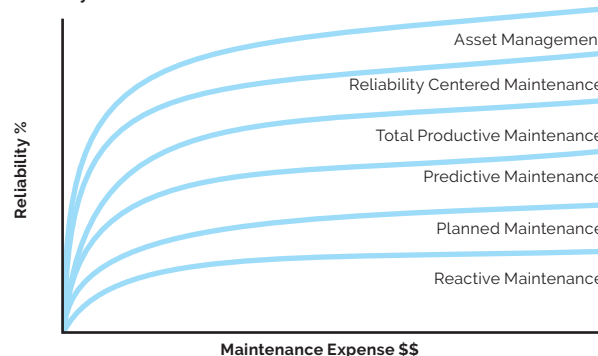


Figura 2. Opções adotadas na gestão de ativos.

A aplicação da Gestão de Ativos Industriais baseia-se em cálculos de simulação do desempenho técnico e económico em diversas problemáticas e cenários operacionais. A título de exemplo, no caso da compra de um equipamento, uma série de opções são avaliadas, pois é possível simular os custos anuais de manutenção e operação e, portanto, decidir sobre quais dessas opções são as mais adequadas aos objetivos definidos.

Os problemas relacionados com as políticas de manutenção preventiva, com o dimensionamento de peças substituídas, com as modificações e revalorizações de equipamentos ou a substituição de equipamentos em declínio, entre outros temas, podem ser simulados e analisados minuciosamente.

Através do uso de ferramentas e cálculos de simulação, a gestão de ativos industriais permite a tomada de decisões técnicas coerentes com os objetivos económicos da indústria, bem como decisões económicas que preservam o desempenho técnico do equipamento. Consequentemente, a gestão de ativos assegura uma maior rentabilidade e disponibilidade dos equipamentos ao longo de seu ciclo de vida.

A aplicação dos conceitos de Gestão de Ativos oferece aos atores industriais elementos objetivos de decisão sobre os seguintes problemas:

- Como se pode garantir o acompanhamento dos materiais do equipamento ao longo de todo o ciclo de vida?
- Quem é responsável pela gestão do equipamento como um bem (capital fixo)?
- Como escolher entre alternativas de investimento com critérios objetivos?
- Como otimizar as políticas de manutenção com critérios de fiabilidade e rentabilidade?
- Como se pode decidir o momento mais oportuno para realizar grandes paragens de manutenção?
- Em que medida as recomendações do fabricante podem ser consideradas confiáveis?

A curva de degradação do estado de um ativo físico é uma ferramenta importante para avaliar a sua condição. Muitos modos de falha ou de disfunção mostram sinais de aviso (sintomas), quando estão prestes a ocorrer. Se durante uma inspeção, a estrutura organizacional responsável pela manutenção encontrar evidências de que qualquer um dos ativos está a aproximar-se do fim da sua vida, então é possível intervir prontamente e evitar a falha [4] [5] [6].

Na curva de degradação do estado de um ativo, o método de Weibull é a abordagem estatística mais comum para descrever o comportamento de falha (para estimar o intervalo PF, ou seja, o intervalo de tempo entre o ponto de deteção de sintomas (P) e o ponto de ocorrência de falha (F)). A Figura 3 mostra uma curva que ilustra esse comportamento de um equipamento.

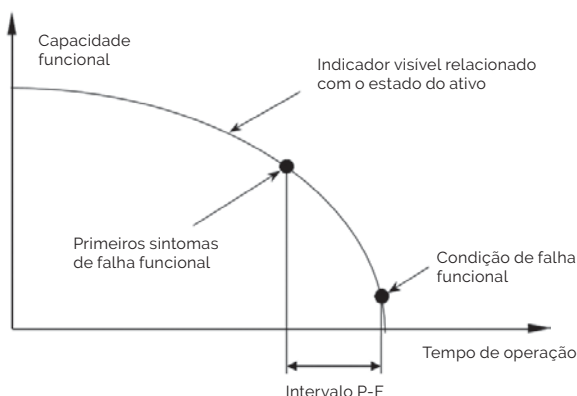


Figura 3. Curva de degradação, P-F, do estado de um ativo.

A Figura 4 ilustra como num intervalo P-F de oito semanas e um intervalo de inspeção de duas, disponibiliza um intervalo P-F líquido que, no mínimo, tende para as seis semanas, quando a deteção da disfunção ocorre com quase duas semanas decorridas após o início da disfunção. Daí que, algumas vezes, este intervalo P-F líquido seja conhecido como intervalo P-F disponível.

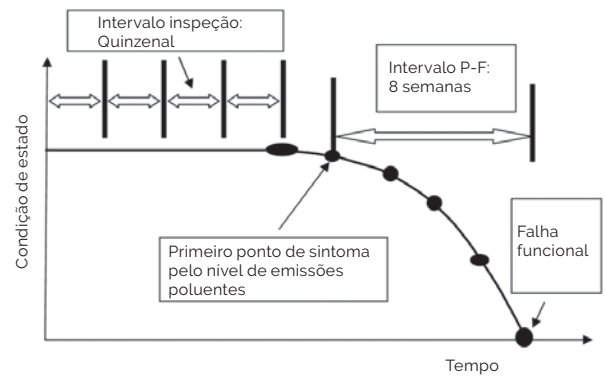


Figura 4. Intervalos de inspeção e de diferimento na manifestação de falha.

A CBM (*Condition Based Maintenance*) ecológica ou manutenção preditiva ecológica constitui um meio de melhorar as condições ambientais, a produtividade, a qualidade de um produto ou serviço e a eficiência global de uma linha de fabrico ou capacidade de produção de um centro empresarial. A CBM não se confina à monitorização de efluentes, mas também ao mapeamento térmico da imagem, à análise de óleo lubrificante ou qualquer outra técnica de teste não destrutiva. É uma filosofia ou atitude que utiliza a condição operacional atual do equipamento ou sistema para otimizar o seu desempenho. Tem como suporte a correlação entre indicadores ecológicos e o estado de degradação (Figura 5).

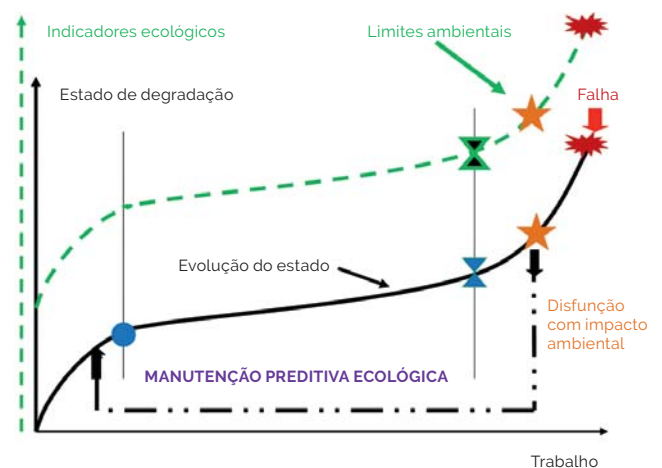


Figura 5. Correlação entre indicadores ecológicos e estado de degradação de um sistema.

A monitorização dos indicadores ambientais pode auxiliar a deteção de peças com resíduos, bronzes ou rolamentos deteriorados ou com defeitos, folgas em ajustes mecânicos ou nas engrenagens, ou ainda ocorrências de fraturas.

A Manutenção Preditiva Ecológica é apoiada na correlação entre indicadores ecológicos que são indicadores visíveis e o estado de degradação que corresponde a indicadores ocultos. Essas correlações são identificadas na Figura 5. No desenho, os indicadores visíveis ambientais são representados pela linha a tracejado e a evolução contínua do estado é representada pela linha a cheio. M