

Gonçalo Garganta¹, Henrique Piqueiro² e Paulo M. Rebelo³¹Infinite Foundry²Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência - INESC TEC³Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) - Escola de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharias

Gémeos Digitais: revolução na simulação e otimização

A tecnologia dos Gémeos Digitais (*Digital Twins*) está a transformar a forma como as empresas planeiam, produzem e otimizam os seus sistemas.

Ao criar réplicas virtuais altamente precisas de produtos, processos e recursos físicos, é possível simular cenários, prever falhas, reduzir custos e aumentar a eficiência. Neste artigo, exploramos o impacto desta tecnologia na robótica industrial, na simulação de *layouts* e gestão de recursos, bem como na monitorização em tempo real para tomada de decisão inteligente. Por fim, abordamos as potencialidades da sua integração no contexto da Indústria 4.0.

Keywords - Gémeo Digital, Otimização, Robótica, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos sistemas industriais, aliada à procura constante por maior eficiência, flexibilidade e sustentabilidade, tem impulsionado a adoção de tecnologias digitais avançadas no setor produtivo. Entre essas tecnologias emergentes, os *Digital Twins* (DTs) destacam-se como uma das mais impactantes. Inicialmente desenvolvidos na indústria aeroespacial, os Gémeos Digitais rapidamente se expandiram para diversas áreas - da saúde à engenharia civil - e, mais recentemente, assumiram um papel de destaque na indústria transformadora e na robótica industrial.

Um Gémeo Digital é uma representação virtual dinâmica de um objeto, processo ou sistema físico, continuamente atualizado com dados do mundo real. Esta ligação bidirecional entre o físico e o digital permite não apenas visualizar e monitorizar operações em tempo real, mas também simular cenários futuros, prever falhas, testar alterações e otimizar o desempenho [6]. Assim, os Gémeos Digitais possibilitam uma gestão inteligente e baseada em dados, potenciando decisões mais rápidas, informadas e com menor margem de erro.

A aplicação desta tecnologia na robótica industrial tem vindo a revelar-se particularmente vantajosa. Através da criação de réplicas digitais de células robotizadas, equipamentos e *layouts* de produção, é possível antecipar comportamentos, testar interações entre componentes, e até treinar algoritmos de inteligência artificial em ambientes virtuais seguros e controlados. Isto contribui para a redução de custos operacionais, aumento da produtividade e melhoria da qualidade, pilares fundamentais da Indústria 4.0 [2].

De acordo com Kritzinger [5], a aplicação dos *Digital Twins* no setor industrial pode ser classificada em cinco áreas principais: modelação, simulação, monitorização, controlo e otimização. Esta categorização demonstra a versatilidade e o alcance desta tecnologia, reforçando o seu papel como ferramenta transversal para a melhoria contínua dos sistemas de produção.

Além disso, a integração dos Gémeos Digitais com sistemas de simulação avançada e análise de dados em tempo real permite a monitorização contínua dos processos industriais, promovendo ajustes automáticos e manutenção preditiva. Esta evolução tecnológica alinha-se com a tendência para fábricas inteligentes (*smart factories*), altamente conetadas, resilientes e capazes de se adaptar rapidamente às exigências do mercado.

Neste artigo, exploramos como os Gémeos Digitais estão a revolucionar os produtos, processos e sistemas industriais, com especial enfoque na robótica, no desenho e otimização de *layouts* produtivos e na gestão de recursos. Abordamos também as potencialidades desta tecnologia no contexto nacional e internacional, com o objetivo de mostrar como a digitalização pode impulsionar a inovação e a competitividade das indústrias portuguesas.

2. ROBÓTICA INDUSTRIAL, PRODUTOS E PROCESSOS

A robótica industrial tem evoluído significativamente nas últimas décadas, acompanhando a transição para a Indústria 4.0, marcada pela digitalização, automação inteligente e conetividade em tempo real. Neste novo paradigma, os Gémeos Digitais surgem como uma tecnologia de suporte essencial, ao permitirem o desenvolvimento de modelos virtuais detalhados de equipamentos robóticos, processos produtivos e sistemas completos de fabrico.

A criação de um ambiente de simulação de um *robot* ou de uma célula de produção permite que investigadores, engenheiros e operadores simulem operações, testem alterações e façam otimizações antes de implementações físicas, o que se traduz numa redução significativa de custos e riscos. Este processo de validação virtual é particularmente útil no desenho de novos produtos e linhas de montagem, onde alterações estruturais ou lógicas podem ser avaliadas em ambiente digital ou de simulação [7].

Além disso, a robótica industrial moderna não se limita à execução de tarefas repetitivas, os *robots* atuais são cada vez mais autónomos, colaborativos e adaptáveis. Estas características exigem níveis elevados de integração com sistemas digitais e uma abordagem baseada em dados, o que torna o conceito de Gémeo Digital ainda mais relevante. Por exemplo, num sistema de manufatura inteligente, o Gémeo Digital de um *robot* pode receber dados em tempo real, ajustar os seus parâmetros operacionais e comunicar com outros elementos da cadeia de produção - criando um ecossistema produtivo interligado e autossuficiente [4].

A modelação digital de produtos também beneficia da utilização de Gémeos Digitais durante o ciclo de vida do produto - desde a sua conceção até à sua utilização pelo cliente final - é possível simular o desempenho mecânico, térmico ou estrutural do objeto, prever falhas e planear manutenções. Em muitos casos, os produtos físicos incorporam sensores que alimentam continuamente o seu Gémeo Digital, permitindo ajustes mesmo após a produção. Esta prática é já comum em indústrias como a automóvel e a aeroespacial.