

ENGENHARIA DE MATERIAIS

OS TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVELS) COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA

LUÍS GIL¹, MARIA HERMÍNIA ANDRADE², MARIA DO CÉU COSTA³

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENERGIA E GEOLOGIA I.P. | NÚCLEO DE QUALIDADE, AVALIAÇÃO, PROSPETIVA E FORMAÇÃO

¹ Investigador Principal Habilitado (luis.gil@lneg.pt), ² Investigador Principal (herminia.andrade@lneg.pt), ³ Investigador Principal com Agregação (ceu.costa@lneg.pt)

RESUMO

Descreve-se uma ferramenta de avaliação tecnológica designada por Níveis de Prontidão Tecnológica (do inglês, Technology Readiness Levels – TRL), apresentando o início da sua aplicação, pela NASA, e adaptando-a a uma nova tecnologia, na área dos materiais, desenvolvida num Laboratório Nacional, que funciona como caso de estudo e exemplo de aplicação.

ABSTRACT

A new technological assessment tool is herein described, the TRL (Technological Readiness Levels), showing the beginning of its application, by NASA, and adapting it to a new technology in the materials field, developed in a National Laboratory, which can be used as study case and example of application.

INTRODUÇÃO

Uma das ferramentas disponíveis para a avaliação de tecnologias que permite definir o seu nível de maturidade designa-se por TRL (*Technology Readiness Levels*), Níveis de Prontidão Tecnológica (Mankins, 1995). Segundo o Plano Tecnológico da NASA, tecnologia é definida como a aplicação prática do conhecimento para criar a capacidade de fazer algo inteiramente novo de forma inteiramente nova. Isto é diferente da pesquisa científica que engloba a descoberta de novo conhecimento do qual a tecnologia é derivada, e da engenharia que utiliza tecnologia derivada deste conhecimento para resolver problemas técnicos específicos. E porquê fazer a avaliação das tecnologias? Porque se estas não forem avaliadas pode ficar comprometida a respetiva aplicação e orçamentação. A avaliação da tecnologia deve ser feita iterativamente até os requisitos e os recursos estarem alinhados den-

tro de um risco aceitável. A avaliação das tecnologias pode assim constituir uma componente da gestão do risco e da avaliação técnica global.

O QUE SÃO OS TRL?

A ideia de descrever os níveis de maturidade das tecnologias foi primeiro apresentada no documento "*The NASA technology push towards future space mission systems*" (Saden, 1989). Os TRL são a primeira das ferramentas de avaliação das tecnologias, que pode ter dois passos, em que o segundo passo

é a determinação da Dificuldade do Grau de Avanço (AD, da sigla em inglês).

De acordo com Mankins (1995), por definição, os TRL são um sistema de medição sistemática que auxilia as avaliações da maturidade de uma tecnologia particular e a comparação de maturidade entre diferentes tipos de tecnologia. Os TRL foram concebidos, como seguidamente se apresenta:

- TRL 1 – Observação e registo dos princípios básicos;
- TRL 2 – Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada;
- TRL 3 – Função crítica analítica e experimental e/ou prova do conceito característico;
- TRL 4 – Validação do componente e/ou equipamento em ambiente laboratorial;
- TRL 5 – Validação do componente e/ou equipamento em ambiente relevante;
- TRL 6 – Modelo de sistema/subsistema ou protótipo de demonstração em ambiente relevante (no solo ou no espaço);
- TRL 7 – Demonstração do protótipo do sistema num ambiente espacial;



Figura 1 – Projeto em desenvolvimento na NASA

TRL 8 – Sistema completado e “qualificado para voo” através de testes e demonstração (no solo ou no espaço);

TRL 9 – Sistema “aprovado em voo” em operações de missões sucessivas.

Faz-se seguidamente a descrição, incluindo um exemplo do tipo de atividades:

TRL 1 – Nível mais baixo da maturidade tecnológica. Neste nível a pesquisa científica começa a ser transferida para a investigação aplicada e desenvolvimento. Ex: estudos das propriedades básicas dos materiais.

TRL 2 – Início da atividade inventiva. Por exemplo, a seguir à observação de uma determinada característica de um material, podem ser definidas potenciais aplicações. Neste nível a aplicação é ainda especulativa; não existe uma prova ou uma análise detalhadas que suportem a conjectura. Ex: estudos analíticos.

TRL 3 – Início da atividade de investigação e desenvolvimento. Estudos analíticos para ajustar a tecnologia a um certo contexto e estudos laboratoriais para validar fisicamente se as previsões baseadas nos resultados analíticos estão corretas. Estes estudos e experiências devem constituir uma validação do tipo “prova do conceito” das aplicações/conceitos formulados no nível anterior. A concretização das ideias pode depender de um certo material ou constituinte. Ex: integração de novos componentes que não existiam previamente.

TRL 4 – Devem ser integrados elementos tecnológicos básicos até serem atingidos os níveis de desempenho desejados. Esta validação, de “baixa fidelidade” deve suportar o conceito formulado anteriormente e deve também ser consistente com os requisitos das potenciais aplicações do sistema. Ex: ensaio de algoritmos correspondentes ao comportamento de um material.

TRL 5 – Neste passo, a fidelidade do componente testado tem que aumentar significativamente. As aplicações totais devem ser testadas num ambiente simulado ou de algum modo realístico. Várias tecnologias novas podem estar envolvidas na demonstração. Ex: um novo tipo de material com

melhores capacidades utilizado numa determinada aplicação em ambiente simulado.

TRL 6 – Passo importante no que se refere à fidelidade da demonstração da tecnologia em que um modelo representativo ou um modelo/protótipo do sistema será testado num ambiente laboratorial de alta-fidelidade ou ambiente operacional simulado, que pode ser real.

TRL 7 – Passo significativo que requer demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para utilização. O protótipo deve estar próximo do caso real ou à escala do sistema operacional planeado e a demonstração tem que ser realizada no ambiente previsto. Pretende-se assegurar a confiança na engenharia e de gestão do sistema. Apenas será realizado para tecnologias ou sistemas que sejam críticos ou de alto risco. Ex: confirmação do funcionamento de um componente em alto vácuo.

TRL 8 – Este nível constitui geralmente o final do desenvolvimento tecnológico do sistema. Prova-se que a tecnologia funciona na sua forma final e nas condições esperadas. Pode incluir a integração de uma nova tecnologia num sistema existente. Ex: teste de um novo algoritmo de controlo num computador que monitoriza um sistema.

TRL 9 – Todas as tecnologias a serem apli-

cadas passam por este passo. Em quase todos os casos é o final dos últimos acertos do verdadeiro desenvolvimento do sistema. Este passo permite melhorar o produto para além da programação inicial.

Estes níveis de desenvolvimento das tecnologias constituem uma ferramenta estratégica de gestão de projetos ao identificarem a fase de maturidade atingida, permitindo aos investigadores e à gestão superior supervisionar a sua evolução, programar o trabalho a desenvolver e respetiva orçamentação.

ADAPTAÇÃO DOS TRL A UM CASO ESPECÍFICO

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia I. P. (LNEG) tem uma atividade que envolve o desenvolvimento de novas tecnologias, processos e produtos. Face ao tipo de atividade e de “produtos” desenvolvidos no LNEG, e tendo como base a aplicação da metodologia dos TRL já definidos, procedeu-se a uma adaptação das diferentes fases de desenvolvimento da tecnologia que é a apresentada na primeira coluna da Tabela 1 (fases N1 a N8).

De forma a poder validar a aplicação da metodologia a uma tecnologia específica, selecionou-se um processo patenteado desenvolvido no LNEG, na área dos materiais. Trata-se do “Processo para a limpeza/decapagem de materiais expostos à poluição



Figura 2 – Conjunto de isoladores em vidro antes e após limpeza pelo novo processo

Tabela 1 – Caso de estudo para adaptação de TRL

ADAPTAÇÃO DOS TRL AO PROCESSO PARA A LIMPEZA/DECAPAGEM DE MATERIAIS EXPOSTOS À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA AMBIENTAL		
Nível de Prontidão	Evidência	Observações
N1 – Estado da arte e necessidades tecnológicas setoriais	Necessidade tecnológica identificada pela empresa que contactou os investigadores. Caracterização do estado da arte e do problema: custo e dificuldade em limpar os isoladores cerâmicos elétricos dos postes de alta e média tensão.	Os investigadores analisaram o material usado (mistura de cascas de frutos secos) identificando as suas vantagens, desvantagens e limitações.
N2 – Ideia de tecnologia e definição dos princípios básicos para o seu desenvolvimento	Foram estudados comparativamente os materiais existentes no mercado e os novos e testada a sua aplicação.	Com base na informação recolhida em N1 os investigadores, especialistas no domínio da cortiça, tiveram a ideia de utilizar resíduos da indústria corticeira que apresentavam vantagens múltiplas, utilizando o mesmo método de aplicação.
N3 – Desenvolvimento e experimentação	Plano de recolha e análise de amostras de diferentes proveniências das partículas dos resíduos de cortiça. Estudadas as características destes materiais de forma a aproximá-las às do material usado anteriormente, utilizando equipamento corrente de projeção de partículas, para garantir operacionalidade, foram planeados e efetuados ensaios de limpeza em instalações da rede elétrica.	Otimização das condições conducentes ao melhor resultado (melhor limpeza, menor deposição de sujidades após limpeza, menores custos, maior facilidade de obtenção do material).
N4 – Patenteamento / proteção da propriedade industrial	O processo foi objeto de pedido de patente nacional. Efetuada a cessão desta tecnologia à empresa que a iria explorar, nesta fase.	A empresa responsabilizou-se por eventual posterior patenteamento internacional nos prazos estabelecidos na lei.
N5 – Divulgação dos resultados	A divulgação dos resultados obtidos só foi efetuada após a respetiva proteção obtida em N4.	As duas empresas envolvidas (a detentora dos direitos da patente e a fornecedora do material de limpeza) organizaram uma demonstração para os <i>media</i> e possíveis interessados nos serviços proporcionados
N6 – Validação da tecnologia	Acompanhado e documentado trabalho de limpeza/decapagem de isoladores elétricos em postes de alta tensão em operação.	Foram acompanhadas experiências de limpeza de fachadas e de estátuas, com degradação provocada pelo mesmo tipo de fatores ambientais.
N7 – Reação dos utilizadores e transferência de tecnologia	Esta fase ocorreu paralelamente a N5 e N6.	Os detentores da patente demonstraram satisfação pela utilização da tecnologia e pelo negócio gerado.
N8 – Monitorização da exploração da tecnologia	A monitorização da exploração da tecnologia foi o passo menos conseguido, devido a mudanças na estrutura da empresa detentora dos direitos que levaram a uma maior dificuldade no contacto.	

atmosférica ambiental" (Gil, 1996). Compreende a utilização de resíduos da trituração da cortiça como material de limpeza/decapagem, através da projeção das partículas com o auxílio de ar comprimido.

Na Tabela 1 é descrito o percurso do desenvolvimento desta tecnologia, identificando os vários passos com os oito níveis atrás definidos de TRL. Esta tecnologia atravessou todas as fases de maturidade.

LIMITAÇÕES E ALTERNATIVAS AOS TRL

Embora os TRL tenham encontrado aceitação como medida de maturidade da tecnologia, têm algumas deficiências. Uma falha é que o TRL dá um instantâneo sobre o estágio da tecnologia na escala de prontidão num determinado momento. O TRL, por si só, não nos informa sobre as dificuldades na progressão para os níveis superiores ou para melhorar um dado nível. Uma segunda desvantagem é que a avaliação de TRL está incompleta. Os TRL por si só não dão uma imagem completa do estado de uma tecnologia, ou dos riscos na adoção de uma

determinada tecnologia para as necessidades de um dado programa de aquisição. A escala TRL, conforme definida pela NASA, mede a maturidade ao longo de um único eixo, o eixo da capacidade de demonstração da tecnologia. Uma medida total da maturidade da tecnologia, ou da maturidade do produto no mundo comercial, seria uma métrica multidimensional. Há referências a 12 ou mais dimensões de maturidade de um produto ou tecnologia.

Voltando à avaliação da tecnologia *per se*, embora os TRL sejam úteis para avaliar o desempenho de uma tecnologia, tal como demonstrado no laboratório ou num ambiente de teste, não medem se a tecnologia pode efetivamente ser produzida de uma maneira acessível. Em geral, as tecnologias nos níveis TRL 1 e 2 não estão suficientemente evoluídas para definir um processo de fabrico.

CONCLUSÕES

Evidenciou-se a aplicabilidade dos TRL como auxiliar de gestão e programação. Em simultâneo, foram constatadas as suas limi-

tações e referidos métodos alternativos e/ou complementares que poderão colmatá-las. O caso em estudo permitiu essa identificação.

Se o TRL tivesse sido aplicado em tempo real, e não *a posteriori*, seria evidente, das fases de trabalho descritas na coluna Evidência da Tabela 1, qual o Nível de Prontidão. Por exemplo, não se podia ter passado para a fase N5 sem ter passado pela fase N4, pois a patenteabilidade do processo careceria assim de novidade. Por outro lado, saber que se está na fase N4 permite aferir das disponibilidades orçamentais para o processo de patenteamento.

BIBLIOGRAFIA

- John C. Mankins, Technology Readiness Levels – A white paper, Advanced Concepts Office – Office of Space Access and Technology (1995)
- Sadin Stanley T.; Povinelli, Frederick P.; Rosen, Robert, "NASA technology push towards future space mission systems", Space and Humanity Conference Bangalore, India, selected Proceedings of the 39th International Aeronautical Federation Congress, Acta Astronautica, p. 73-77, V 20, 1989.
- Gil, L., Patente PT101915 – "Processo para a limpeza/decapagem de materiais expostos à poluição atmosférica ambiental", pedido de depósito 13-09-1996