

Modelos para analisar níveis de prontidão de inovação

Eduardo Amadeu Dutra MORESI (moresi@ucb.br)

Jair Alves BARBOSA (jairab@yahoo.com.br)

Mário de Oliveira BRAGA Filho (braga@ucb.br)

Curso de Ciência da Computação, Universidade Católica de Brasília
Brasília, DF 71966-700, Brasil

RESUMO

A medida de níveis de prontidão visa alinhar os requisitos de projeto com os recursos planejados, levando em conta níveis aceitáveis de riscos. As tecnologias são medidas pela metodologia desenvolvida pela NASA e denominada *Technology Readiness Level* (TRL), em uma escala de nove níveis. Entretanto, para a gestão da inovação, a literatura ainda não possui muitas propostas de verificação dos níveis de prontidão de inovação. Portanto, este artigo apresenta dois modelos para avaliar níveis de prontidão de inovação (*Innovation Readiness Level* – IRL). O primeiro separa o ciclo de vida da inovação em seis níveis de prontidão e aborda a gestão do processo, considerando cinco aspectos-chave. O segundo resulta de uma interpretação dos nove níveis de TRL em uma proposta de IRL, que pode ser aplicado em modelos de negócios ou em áreas funcionais de uma organização.

Palavras-Chave: Inovação Tecnológica, Níveis de Prontidão Tecnológica, Níveis de Prontidão de Inovação.

1. INTRODUÇÃO

O conceito geral de medida de níveis de prontidão tecnológica teve origem a partir de diversos estudos realizados nos Departamentos de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA), do Reino Unido, do Canadá e da Austrália. Na área aeroespacial, a NASA foi pioneira na obrigatoriedade de tal mensuração em seus projetos, o que foi seguido por outras agências espaciais [1, 2, 3].

Segundo o Plano Tecnológico da NASA [4], tecnologia é definida como a aplicação prática do conhecimento para criar a capacidade de fazer algo novo de forma inteiramente nova. É diferente da pesquisa científica, porque engloba um novo conhecimento do qual a tecnologia é derivada para resolver problemas técnicos específicos.

A avaliação de tecnologias é necessária para evitar o comprometimento da aplicação e do orçamento, devendo ser feita iterativamente até que os requisitos e os recursos estejam alinhados e dentro de um risco aceitável. A avaliação das tecnologias pode assim construir uma componente de gestão de riscos e de avaliação técnica global.

Como resultado desse esforço, alguns diferentes conceitos e sistemas foram criados com a finalidade de mensurar a prontidão sistêmica, funcional ou tecnológica de equipamentos/sistemas, especialmente daqueles desenvolvidos para aplicações militares e espaciais [1,2]. Podem-se citar os seguintes modelos: *Technology Readiness Levels* (TRL), *Interface Maturity Levels* (IML), *System Readiness Levels* (SRL), *Integration Readiness Levels* (IRL), *Design Maturity Levels* (DML), *Manufacturing Readiness Levels* (MRL), *Programmatic Readiness Levels* (PRL) e *Technology Maturity Level* (TML), além de processos e ferramentas associados ao conceito em estudo [1, 3].

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar alternativas de modelos para analisar os níveis de prontidão de produtos e serviços inovadores, a partir de conceitos e modelos consolidados de TRL e SRL.

2. TRL – *Technology Readiness Level*

A escala de prontidão tecnológica (*Technology Readiness Level* - TRL) foi desenvolvida com o intuito de prover uma medida relativa ao estado de uma nova tecnologia em relação ao seu uso para futuros sistemas espaciais. Consolidou-se como uma métrica de uso mundial importante não apenas para avaliar a prontidão tecnológica, mas como método para analisar riscos inerentes ao processo de desenvolvimento tecnológico e fornecer bases para a tomada de decisão e orientações para gestores voltados à área de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação [5, 6, 10].

A escala TRL foi inicialmente concebida em 1974 por Stan Sadin, pesquisador da NASA [7]. Em 1989, esta escala foi formalizada, ainda com sete níveis de prontidão [8] e em 1995 foi reforçada com mais dois níveis, em um espectro de um a nove, conforme ilustra a Figura 1 [6, 8, 10].

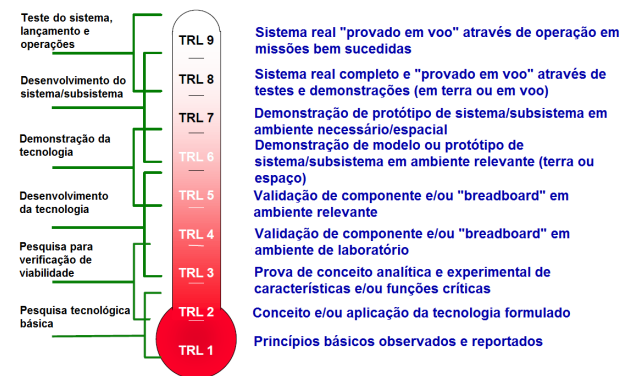


Figura 1 – Esquema da escala de níveis de prontidão tecnológica - TRL [4].

Os nove níveis atuais têm a seguinte descrição [4]:

- TRL 1 (Princípios básicos observados e reportados): nível mais baixo da prontidão tecnológica, em que a pesquisa científica começa a ser transferida para a investigação aplicada e o desenvolvimento. Ex: estudos das propriedades básicas dos materiais;
- TRL 2 (conceito e/ou aplicação da tecnologia formulado): início da atividade inventiva. Neste nível a aplicação é ainda especulativa, não existe uma prova ou uma análise detalhadas que suportem a conjectura. Por exemplo, a seguir à observação de uma determinada característica de um material podem ser definidas potenciais aplicações, em forma de estudos analíticos.
- TRL 3 (prova de conceito analítica e experimental de características e/ou funções críticas): 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 novo material. Ex: integração de novos componentes que não existiam previamente;

- TRL 4 (validação de componente e/ou “breadboard” em ambiente de laboratório): devem ser integrados elementos tecnológicos básicos até serem atingidos os níveis de desempenho desejados. Esta validação, ainda considerada de baixa fidelidade, deve suportar o conceito formulado anteriormente e ser consistente com os requisitos das potenciais aplicações do sistema. Ex: ensaio de algoritmos correspondentes ao comportamento de um material;

- TRL 5 (validação de componente e/ou “breadboard” em ambiente relevante): neste nível, 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 em uma determinada aplicação em ambiente simulado;

- TRL 6 (demonstração de modelo ou protótipo de sistema/subsistema em ambiente relevante – terra ou espaço): nível importante no que se refere à fidelidade da demonstração da tecnologia em que um modelo representativo ou um modelo/protótipo do sistema será testado em ambiente laboratorial de alta fidelidade ou em ambiente operacional simulado ou real;

- TRL 7 (demonstração de protótipo de sistema/subsistema em ambiente necessário/espacial): nível significativo que requer demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para utilização. O protótipo deve estar próximo do caso real ou na escala do sistema operacional planejado e a demonstração tem que ser realizada no ambiente previsto. Pretende-se assegurar a confiança na engenharia e na 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 (sistema real completo e provado em voo através de testes e demonstrações - em terra ou em voo): 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 controle num computador que monitora um sistema;

- TRL 9 (sistema real provado em voo através de operação em missões bem sucedidas): todas as tecnologias a serem aplicadas passam por este nível. 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 tecnológico constituem uma ferramenta estratégica de gestão de projetos ao permitirem a identificação da fase de prontidão atingida, possibilitando aos investigadores e à gestão superior supervisionar a sua evolução, programar o trabalho a ser desenvolvido e a respectiva orçamentação. Os níveis 1, 2 e 3 se referem ao conceito da nova tecnologia. Os níveis 4, 5 e 6 avaliam o desenvolvimento de componentes, enquanto os níveis 7, 8 e 9 verificam se a tecnologia está completa [7].

Em relação a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, os 9 níveis de TRL da NASA possuem os seguintes agrupamentos:

- pesquisa da tecnologia básica: abrangendo TRL1 e TRL2;
- pesquisa para a comprovação da viabilidade e da praticidade da tecnologia: abrangendo TRL2, TRL3 e TRL4;
- desenvolvimento da tecnologia: abrangendo TRL3, TRL4, TRL5 e TRL6;
- demonstração da aplicabilidade da tecnologia: TRL5, TRL6 e TRL7;

- desenvolvimento dos subsistemas e sistemas com a aplicação da tecnologia: TRL6, TRL7 e TRL 8;

- testes de sistemas, operações e uso em lançamentos de naves espaciais: TRL8 e TRL9.

O TRL tem como objetivo tornar a avaliação e a comunicação do nível de prontidão em novas tecnologias mais efetiva e facilitar o entendimento dos *stakeholders* e dos colaboradores envolvidos em desenvolvimento de projetos da NASA. Ainda, prevê um índice de avaliação de prontidão que pode ser comparado entre diferentes tecnologias. Entre as vantagens do TRL, pode-se mencionar:

- fornecer uma compreensão comum do status em que se encontra o desenvolvimento da tecnologia;

- a gestão de riscos tem relação direta com o status da tecnologia, uma vez que não são ainda conhecidos todos os potenciais de falhas, propagações e repercussões de suas anomalias;

- o TRL é usado para se tomar decisões de financiamento do desenvolvimento da tecnologia em função do seu status;

- o TRL também é usado para se tomar decisões sobre a transição da tecnologia entre seus possíveis níveis de aprontamento.

Todavia, também pode-se citar algumas das características que limitam a sua utilidade:

- o aprontamento da tecnologia muitas vezes não está adequado para uma aplicação válida em sistemas reais;

- um produto maduro - tecnologicamente pronto - pode possuir um maior ou menor grau de aptidão, para o uso em um contexto de um sistema especial de menor maturidade e/ou menos perigoso;

- é necessário considerar os numerosos fatores presentes nos sistemas reais, incluindo a relevância do ambiente de operações para os produtos do sistema em questão.

A escala TRL foi normalizada pela ISO 16290:2013 [9], sendo desenvolvida por meio da análise de documentos relacionados à aplicação do TRL pela NASA, pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e por instituições da Agência Espacial Europeia.

3. SRL – System Readiness Level

Embora os componentes TRLs sejam necessários para avaliar o risco e o potencial do sistema, geralmente são insuficientes. Para solucionar essa insuficiência, uma nova métrica composta, denominada Nível de Prontidão de Sistema (*System Readiness Level* - SRL), foi definida como um quantificador para avaliar a prontidão de um sistema potencial em função do TRL atual para componentes tecnológicos individuais e da complexidade da integração ou da compatibilidade entre componentes [11].

TRL é um método útil para medir a prontidão tecnológica, mas não aponta os aspectos negativos que as tecnologias imaturas podem introduzir em um sistema. Consequentemente, apesar de sua utilidade e de seu valor, como uma métrica para determinar a prontidão da tecnologia antes da transição para um sistema, o seu emprego não aborda a integração sistêmica ou indica que a tecnologia resultaria em um desenvolvimento bem-sucedido de um sistema [12]. Portanto as seguintes premissas devem ser consideradas:

- TRL é apenas uma medida de uma tecnologia individual e não da prontidão de sistemas;

- não há nenhum método para integrar TRLs;

- não há um índice comprovado, testado e sistemático de prontidão dos sistemas.

O SRL é um índice aplicado ao conceito de nível de sistema com o objetivo de relacionar essa indexação aos princípios de gerenciamento de engenharia de sistemas, que são mais apropriados [13]. O Ministério da Defesa do Reino Unido introduziu o SRL para avaliar a prontidão de sistemas, que se baseia na função e na escala do TRL juntamente com uma escala de integração [14].

A tecnologia e o desenvolvimento de sistemas seguem caminhos semelhantes de evolução ou de maturação. Uma tecnologia é inserida em um sistema baseado na maturidade, funcionalidade, prontidão e capacidade de integração ao sistema pretendido. Contudo, muitos dos fatores, que podem determinar o sucesso de um sistema em seu ambiente operacional, nem sempre são efetivamente implementados durante o ciclo de vida do desenvolvimento [15].

O SRL é definido pelo estado atual de desenvolvimento de um sistema em relação às fases do Ciclo de Desenvolvimento do Departamento de Defesa dos Estados Unidos [16]. O SRL tem os seguintes níveis de prontidão:

- SRL 1 - refinamento do conceito: refinar o conceito inicial. Desenvolver estratégia de desenvolvimento de sistemas/tecnologias;
- SRL 2 - desenvolvimento tecnológico: reduzir os riscos tecnológicos e determinar o conjunto adequado de tecnologias para integrar o sistema completo;
- SRL 3 - desenvolvimento de sistemas e demonstração: desenvolver um sistema ou incremento de sua capacidade; reduzir o risco de integração e fabricação; assegurar o suporte operacional; reduzir a pegada logística; implementar a integração de sistemas humanos; design para redutibilidade; assegurar a acessibilidade e a produção de informações críticas do programa; e demonstrar integração de sistemas, interoperabilidade, segurança e utilidade;
- SRL 4 - desenvolvimento e produção: alcançar capacidade operacional que satisfaça as necessidades da missão;
- SRL 5 - operações e apoio: executar um programa de apoio que atenda os requisitos de desempenho do suporte operacional e sustente o sistema com a melhor relação custo/benefício ao longo de todo o seu ciclo de vida.

4. IRL – Innovation Readiness Level

Conforme evidenciado referencial teórico acima, as pesquisas existentes sobre TRL e SRL ignoram o papel da gestão da inovação. Para ajudar a preencher essa lacuna de conhecimento, Lee, Chang e Chien [17] desenvolveram um modelo explícito que pode ser usado como uma ferramenta para gerenciar processos de inovação [18, 25], que é sintetizado no Quadro 1. O *framework* proposto, que separa o ciclo de vida da inovação em seis fases (níveis de prontidão) e aborda a gestão do seu processo, considera os cinco aspectos-chave:

- Tecnologia: é o processo pelo qual os seres humanos modificam a natureza para satisfazer as suas necessidades e desejos. A tecnologia define como os seres humanos produzem artefatos materiais e efeitos [19]. Pensa-se em tecnologia em termos de seus artefatos, como computadores e software, telefones celulares, automóveis, aeronaves e dispositivos médicos. Mas esta é mais do que esses produtos tangíveis, pois inclui toda a infraestrutura e os conhecimentos necessários para a concepção, a fabricação, a operação e a reparação de artefatos tecnológicos, desde as sedes corporativas e escolas de engenharia até as fábricas e instalações de manutenção;

- Mercado: tem como principal responsabilidade estratégica a relação cliente-fornecedor. O termo mercado se refere aos grupos de consumidores ou organizações que estão interessadas em tecnologia ou em produtos inovadores; têm os recursos para comprá-los; e há permissão legal e outras regulamentações para aquisição do produto [20, 21];

- Organização: fornece uma medida sistemática e consistente da prontidão da organização de uma empresa que é necessária para desenvolver uma tecnologia para o respectivo nível de prontidão tecnológica. Refere-se, de fato, às partes da organização envolvidas no processo de inovação, cujo objetivo é implementá-la, gerar serviços específicos e/ou produzir bens ao longo do ciclo de vida;

- Parceria: é um tipo de entidade empresarial em que os parceiros partilham uns com os outros os lucros ou as perdas da empresa. Exemplos incluem fornecedores, revendedores e parceiros de pesquisa;

- Risco: as formas de avaliar os riscos devem figurar na lista das técnicas de gestão dos projetos de inovação [23]. Risco se refere a um conceito combinado que denota um potencial de impacto negativo sobre a inovação em nível empresarial. Na gestão do processo de inovação, este conceito integra riscos tecnológicos, de mercado e organizacionais [20], que são considerados ou avaliados nos respectivos níveis de IRL.

As fases de IRL são assim definidas [20]:

- conceito: os princípios científicos básicos da inovação foram observados e relatados, e as funções e/ou características críticas foram confirmadas através de experiências (equivalente a TRL 1-3);

- componentes: os componentes foram desenvolvidos e validados e um protótipo foi obtido para demonstrar a tecnologia (equivalente a TRL 4-6);

- conclusão: o desenvolvimento tecnológico foi concluído e a funcionalidade completa do sistema comprovada no campo (equivalente a TRL 7-9);

- abismo: no quadro IRL, abismo se refere aos desafios e às dificuldades que a inovação pode encontrar quando introduzida pela primeira vez no mercado (fase inicial). O termo é mais amplo do que a definição de Moore [24]: o abismo entre os primeiros adeptos da alta tecnologia e o produto (os entusiastas e visionários) e a maioria inicial (os pragmáticos);

- concorrência: Esta é a fase madura do mercado, quando atinge um estado de equilíbrio marcado pela ausência de crescimento significativo ou inovação [24]. A principal missão nesta fase é manter e reforçar a posição da inovação e lidar com a concorrência;

- mudança/encerramento: estas são as duas opções na fase de declínio do mercado. Mudança se refere a um novo ciclo de inovação da tecnologia, inaugurando novos mercados, transformando o modelo de negócios e reinventando a corporação, a fim de buscar e desenvolver vantagem competitiva. Por outro lado, encerramento significa que a inovação veio à obsolescência e deve ser encerrada.

Em outra abordagem, Evans e Johnson [26] apresentam uma ampliação do conceito de TRL, oferecendo uma alternativa para avaliar as capacidades de uma organização em relação a um modelo de negócios específico. Eles sugerem que o IRL proposto pode ser aplicado nas diversas áreas funcionais de uma organização tais como Finanças, Recursos Humanos, Operação e assim por diante.

O resultado de todas as áreas avaliadas pode ser representado em um diagrama do tipo radar, em que um pequeno círculo no

centro indicaria que um trabalho de desenvolvimento significativo é necessário. À medida que a ideia for sendo amadurecida, os IRLs irão aumentar e o círculo crescerá até que o modelo de negócios seja totalmente implementado e o diagrama totalmente preenchido.

O Quadro 2 apresenta a interpretação dos nove níveis do TRL para a prontidão de inovação. É importante notar que os IRLs se destinam a medir o grau de alcance das capacidades necessárias para que uma empresa ou uma área funcional possa passar de seu modelo de negócios atual para uma nova situação que foi planejada ou prevista.

5.CONCLUSÃO

Gerenciar a inovação em estágio inicial é um desafio. As decisões de alocação de recursos devem ser feitas com base em dados escassos e carregados de incerteza. A decisão de coletar mais dados é, em si, uma alternativa de alocação de recursos. Decidir pedir mais informações sobre todas as ideias é equivalente a optar em investir em todas elas, o que é uma estratégia de eficácia duvidosa. O artifício é utilizar um conjunto limitado de perguntas que forneça os subsídios necessários para a tomada de decisões sobre investimentos, com maior expectativa de assertividade.

O IRL é uma opção possível, pois as estimativas aproximadas de rendimento em um futuro próximo, podem ser facilmente evidenciadas. Da mesma forma, a avaliação dos IRLs fornece uma estimativa rápida tanto da dificuldade quanto da despesa com a implementação de um modelo de negócio, bem como a incerteza e o risco associado ao implementá-lo.

O dois modelos apresentados para medir os IRLs possibilitam uma avaliação abrangente das capacidades que a empresa precisa desenvolver para capitalizar uma ideia ou projeto. O uso do IRL possibilita uma expectativa de melhoria na capacidade de uma empresa concentrar sua atenção corporativa e garantir o sucesso de um conjunto de ideias com chances reais de impactar um modelo de negócios planejado ou previsto.

Contudo, este trabalho deve ser prosseguido para coletar avaliações de projetos de inovação que possibilitem calibrá-lo para a realidade brasileira.

REFERENCIAS

- [1] CANADA. **Defence Research and Development Canada**. A Technology Maturity Measurement System for the Department of National Defence: The TML System. DRDC Atlantic CR 2005-279. 2006.
- [2] ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**, Washington, D.C., 2005.
- [3] LARGENT, M. C. **A Probabilistic Risk Management Based Process for Planning and Management of Technology Development**. A Thesis presented in Partial Fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology, 2003.
- [4] NASA, National Aeronautics and Space Administration. **HRST Technology Assessments**. 2000. Disponível em: < <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trlchrt.pdf> >. Acesso em: 18 dez 2016.
- [5] ALTUNOK, T.; CAKMAK, T. A Technology Readiness Levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. **Advances in Engineering Software**, v. 41, n. 5, 9 p., 2010.
- [6] MARKINS, J. C. **Technology Readiness Levels**. Office of Space Access and Technology NASA, 1995.
- [7] NASA. **Technology Readiness Levels Demystified**. 2010. Disponível em: <http://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/trl_demystified.html>. Acesso em: 18 dez 2016.
- [8] SADIN, S. R.; POVINELLI, F. P.; ROSEN, R. The NASA technology push towards future space mission systems. **Acta Astronautica**, v. 20, n. 0, 4 p., 1989.
- [9] ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16290:2013 - Space systems - Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment**. 2015.
- [10] MARKINS, J. C. Technology readiness assessments: A retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, 7 p., 2009.
- [11] SAUSER, B.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.; HENRY, D.; DIMARZIO, D.; ROSEN, J. **Methods for Estimating System Readiness Levels**. School of Systems and Enterprises White Paper, 2007.
- [12] MANDELBAUM, J. **Technology readiness assessments for systems of systems**. The proceedings of the Technology Maturity Conference. Virginia Beach, VA: AFRL, 2008.
- [13] TETLAY, MA.; JOHN, P. **Determining the Lines of System Maturity, System Readiness and Capability Readiness in the System Development Lifecycle**, 7th Annual Conference on System Engineering Research (CSER 2009), 2009.
- [14] UK MoD. **SMART Acquisition Handbook**. 5 Ed, UK Ministry of Defence, 2004.
- [15] PARSONS, V. S. Project performance: How to assess the early stages. **Engineering Management Journal**, v. 18, n. 4, p. 11-15, 2006.
- [16] DoD. **Systems Engineering - DoD Directive 5000.2**. Washington, DC, 2005.
- [17] LEE, M.; CHANG, T.; CHIEN, W. C. An approach for developing concept of Innovation Readiness Levels. **International Journal of Managing Information Technology (IJMIT)**, v. 3, n. 2, p. 18-37, 2011.
- [18] TAO, L.; PROBERT, D.; PHAAL, R. Towards an integrated framework for process of innovation. **R&D Management**, v. 40, n. 1, p. 19-30, 2010.
- [19] ALEGRE, J.; CHIVA, R.; LAPIEDRA, R. A literature-based innovation output analysis: implications for innovation capacity. **International Journal of Innovation Management**, v. 9, n. 4, p. 385-399, 2005.
- [20] DOYLE, P. **Marketing Management and Strategy**. 3 Ed, Harlow: Financial Times/Prentice Hall, 2002.
- [21] PERREAULT, W. D. **Base Marketing: a Global-managerial Approach**. 15 Ed, London: McGraw-Hill, 2005.
- [22] GOFFIN, K.; MITCHELL, R. **Innovation Management**, Palgrave Macmillan, New York, 2005.
- [23] MOORE, G. **Crossing the chasm**. New York: Harper Business, 1999.
- [24] TAO, L. **Developing the Concept – Innovation Readiness Levels (IRL)**. Centre for Technology Management. University of Cambridge, 2010.
- [25] EVANS, J. D.; JOHNSON, R. O. Tools for managing early-stage Business Model Innovation – Innovation readiness levels provide a key measure of the stress a business-model innovation is likely to inflict on an organization. **Research-Technology Management**, September-October, 2013.