
Uma visão geral da literatura sobre prospecção de tecnologias futuras: características, desafios e tendências

Donizeti Leandro de Souza

Mestre e doutorando em Administração pela Universidade Federal de Lavras. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Três Corações.
souza.doni@yahoo.com.br

André Luiz Zambalde"

Professor na Universidade Federal de Lavras, Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação, Pós-Doutorado em Ciência da Computação e Sistemas e Tecnologias de Informação.
zambaufla@gmail.com

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 29.11.2017
Aprovado em 19.07.2018



Este trabalho foi licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição – Não Comercial 3.0 Brasil

Resumo

O objetivo deste ensaio é sistematizar os estudos sobre prospecção de tecnologias futuras por meio de análises bibliométricas e semânticas. Foram analisadas as principais características, os desafios e as tendências dos estudos, tendo como referência os artigos indexados na base *Web of Science*. Os resultados indicam um crescente interesse sobre a temática, sendo emergentes em diversas áreas do conhecimento, o que contribui para novas tendências de estudos. No entanto, as pesquisas se mostram fragmentadas, com predomínio de estudos qualitativos e pequenos grupos de pesquisadores dedicados à temática, o que contribui para o surgimento de novos desafios. Tais compreensões poderão contribuir para o avanço de pesquisas no campo da estratégia e da inovação, seja em perspectivas macro, como: políticas de CT&I, sistemas de inovação e desenvolvimento socioeconômico, ou em perspectivas micro, como nas estratégias para o planejamento de tecnologias e inovações em universidades e empresas.

Palavras-Chave: Estudos do futuro; Tecnologias futuras; Revisão da literatura.

An overview of the literature on prospecting for future technologies: characteristics, challenges and trends

Abstract

The aim of this paper is to systematize the studies related on prospecting for future technologies through bibliometric and semantic analyzes. The main characteristics, challenges and trends of the studies were analyzed based on papers indexed in the Web of Science database. The results indicate a growing interest of the literature on the subject in several areas of knowledge, which contributes to new trends of studies. However, the research is fragmented, with a predominance of qualitative studies and small groups of researchers dedicated to the theme, which contributes to the emergence of new challenges. Such understandings may contribute to the advancement of research in the field of strategy and of innovation, both in the macro perspective, as in ST&I policies, innovation systems and socioeconomic development, or in the micro perspective, as in strategies for planning of technologies and innovations by universities and companies.

Keywords: Future studies; Future technologies; Literature review.

Una visión general de la literatura sobre la prospección de tecnologías futuras: características, desafíos y tendencias

Resumen

El objetivo de este ensaio es sistematizar los estudios sobre prospección de tecnologías futuras por medio de análisis bibliométricos y semánticos. Se analizaron las principales características, desafíos y tendencias de los estudios, teniendo como referencia los artículos indexados en la base Web of Science. Los resultados indican un creciente interés en la temática, siendo emergentes en diversas áreas del conocimiento, lo que contribuye a nuevas tendencias de estudios. Sin embargo, las investigaciones se muestran fragmentadas, con predominio de estudios cualitativos y pequeños grupos de investigadores dedicados a la temática, lo que contribuye al surgimiento de nuevos desafíos. Estas comprensiones pueden contribuir al avance de investigaciones en el campo de la estrategia y la innovación, sea en una perspectiva macro,

como en políticas de CTI, sistemas de innovación y desarrollo socioeconómico, o en la perspectiva micro, como en las estrategias de planificación de tecnologías e innovaciones en universidades y empresas.

Palabras clave: Estudios del futuro; Tecnologías futuras; Revisión de literatura.

1 Introdução

As mudanças geradas pela sociedade do conhecimento intensificaram não somente os níveis de incerteza, como também a complexidade de informações nos processos de tomadas de decisão. Questões relacionadas ao desenvolvimento científico e tecnológico, incluindo a análise de políticas relacionadas à alocação de recursos, estratégias de P&D, avaliação de novos produtos, processos, tecnologias e a identificação de oportunidades futuras têm se tornado cada vez mais complexas (Miles, Keenan & Kaivo-Oja, 2003).

Além de complexas, decisões estratégicas sobre tecnologias emergentes e suas implicações na sociedade se mostram vitais para governos, empresas e demais instituições envolvidas nos sistemas de inovação (Porter *et al.*, 2004). Neste sentido, diversos métodos de prospecção têm contribuído para que gestores, pesquisadores e decisores políticos explorem, criem ou avaliem eventos futuros para apoiar processos decisórios (Coelho, 2003; Reis, Vincenzi & Pupo, 2016).

No âmbito da inovação os métodos de prospecção têm sido utilizados como ferramentas capazes de orientar os esforços empreendidos nas atividades de CT&I. A partir da década de 1980, diversos autores perceberam que o fenômeno da inovação implicava em mudanças de métodos e propósitos nas atividades de prospecção, emergindo novas propostas, metodologias e definições para a análise de tecnologias futuras (Amparo, Ribeiro & Guarieiro, 2012; Loyarte *et al.*, 2015). Tais estratégias têm considerado os fatores externos, como: mudanças tecnológicas e as demandas da sociedade, e os fatores internos, como: disponibilidade de infraestrutura, *know-how* técnico, recursos humanos e recursos financeiros para o desenvolvimento da capacidade tecnológica nos ambientes micro (organizações), meso (setores econômicos) e macro (sistemas de inovação).

Apesar do crescente interesse de gestores e especialistas pela análise de tecnologias futuras, algumas lacunas ainda persistem. Dentre os pontos cruciais, Coelho (2003) destaca a confusão de terminologias da área, as conexões com processos políticos e sociais mais amplos e a ligação entre as atividades de prospecção com outras ferramentas e metodologias da gestão

estratégica. Porter *et al.* (2004) afirmam que existem muitas formas sobrepostas de análise sobre tecnologias futuras, representadas por uma diversidade de práticas e modelos. No entanto, os estudos sobre a temática têm sido desenvolvidos de forma isolada, atendendo objetivos específicos e com pouca troca de experiências e informações.

Neste sentido, o objetivo deste ensaio é sistematizar os estudos relacionados à prospecção de tecnologias futuras por meio de análises bibliométricas e semânticas, com o propósito de identificar as principais características dos estudos e apontar os desafios e as tendências de pesquisas para o avanço da temática no âmbito acadêmico e empresarial. Tais compreensões poderão contribuir para o avanço de pesquisas no campo da estratégia e da inovação, tanto na perspectiva macro (políticas de CT&I, sistemas de inovação e desenvolvimento socioeconômico), como na perspectiva micro (estratégias de planejamento de tecnologias e inovações).

2 Abordagens de estudos orientados para a prospecção de tecnologias futuras

Em seu sentido mais amplo, os estudos do futuro (*future studies*) se referem a qualquer atividade relacionada à melhoria de compreensão sobre resultados futuros, considerando as escolhas e as ações no presente (Amara & Salancik, 1972). Desta perspectiva emerge uma diversidade de abordagens, taxonomias e metodologias em diferentes estágios de evolução, contribuindo para uma crise de identidade sobre o significado das diferentes terminologias existentes (Sardar, 2010; Kuosa, 2011).

Entre os termos mais utilizados na literatura internacional, Coelho (2003) destaca o emprego de “*forecast(ing)*”, “*foresight(ing)*” e “*future studies*” no idioma inglês e o emprego de “*futuribles*” e “*la prospective*” no idioma francês. No Brasil tem sido comum o uso de “prospecção”, “prospecção tecnológica” e “estudos de futuro”. Tendo em vista a quantidade de interpretações possíveis, tais termos se tornaram denominações genéricas e não isentas de controvérsias, seja no que se refere às tecnologias e seus impactos ou às questões sociais da atualidade (Coelho, 2003).

No campo da ciência e da tecnologia, Porter *et al.* (2004) destacam que a literatura sobre prospecção de tecnologias futuras apresenta formas sobrepostas de análise, incluindo: “*technology forecasting*”, “*technology foresight*”, “*technology roadmapping*”, “*technology intelligence*”, dentre outras abordagens e metodologias. Isso tem gerado considerável confusão e fragmentação dos estudos, dificultando a consolidação de metodologias e abordagens (Porter *et al.*, 2004; Kuosa, 2011).

Por *Technology Forecasting* compreendem-se os processos sistemáticos capazes de descrever a emergência, o desempenho, os recursos ou os impactos de uma tecnologia no futuro. Geralmente os estudos relacionados ao *Technology Forecasting* se concentram em tecnologias emergentes ou específicas, assim como processos de inovações incrementais ou disruptivos. Esta abordagem visa identificar os esforços necessários para “prever” tendências tecnológicas futuras e fornecer informações detalhadas para a gestão de P&D e processos de inovações (Coelho, 2003; Porter *et al.*, 2004; Yoon & Park, 2007; Jun, Sung Park & Sik Jang, 2012).

Os estudos relacionados ao *Technology Foresight* têm como objetivo identificar áreas estratégicas para o desenvolvimento de políticas ou ações de CT&I capazes de produzir um futuro desejável. Na literatura é comum o conceito de “*foresight*” se confundir com o conceito de “*forecast*”. No entanto, representa uma visão de futuro menos previsível e determinista, como geralmente são atribuídos os estudos da abordagem “*forecast*” (Coelho, 2003; Miles *et al.*, 2003).

No campo da ciência e da tecnologia, o *Technology Roadmapping* (TRM) tem se destacado como um dos principais métodos de prospecção sobre tecnologias futuras, assumindo dois propósitos principais: (i) inovação, incluindo tecnologia, gestão, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e (ii) níveis de estratégias organizacionais. Os estudos relacionados ao TRM visam mapear tendências de um campo científico e antecipar oportunidades de negócios nos mais variados setores econômicos, políticos ou sociais, impulsionando o desenvolvimento de produtos, plataformas de negócios, tecnologias e inovações (Phaal, Farrukh & Probert, 2004; Rinne, 2004; Walsh, 2004; Lee & Park, 2005; Carvalho, Fleury & Lopes, 2013).

Por fim, compreendem-se por *Technology Intelligence* as atividades relacionadas com a coleta, gestão, análise e disseminação de informações sobre tendências tecnológicas. Geralmente os estudos sobre a temática incluem estratégias de monitoramento e análise de tecnologias, mercados, inovações, concorrência, dentre outros fatores estratégicos (Coelho, 2003; Lichtenthaler, 2003; Yoon, 2008; Veugelers, Bury & Viaene, 2010; Yoon & Kim, 2012; Chen, Zhang, Zhu & Lu, 2015).

O principal foco dos estudos sobre *Technology Intelligence* se refere à possibilidade de identificar tendências tecnológicas e inovações por meio de grandes volumes de informações criadas pela internet ou por sistemas empresariais, algo que não seria possível em outras metodologias que geralmente utilizam informações baseadas na opinião de especialistas para

atividades de prospecção (Lichtenthaler, 2003; Yoon, 2008; Veugelers *et al.*, 2010; Yoon & Kim, 2012; Chen *et al.*, 2015).

Na tentativa de propor um quadro orientador sobre as diferentes terminologias existentes, Porter *et al.* (2004) apresentam o conceito “guarda-chuva” denominado de “*Technology Futures Analysis*”. Tal proposta busca relacionar os estudos sobre prospecção de tecnologias futuras e suas interações com a sociedade, tendo como propósitos: (i) identificar ações destinadas a produzir um futuro desejável, (ii) produzir julgamentos sobre tecnologias emergentes, (iii) desenvolver rotas tecnológicas e (iv) avaliar os potenciais impactos de uma tecnologia no futuro (Porter *et al.*, 2004).

Segundo Porter *et al.* (2004), as diferentes terminologias apresentam uma diversidade de métodos de prospecção, com objetivos e características específicos. Tais métodos podem ser agrupados em nove categorias, são eles: (1) Opinião de especialistas; (2) Cenários; (3) Análise de tendências; (4) Avaliação e decisão; (5) Modelagem e simulação; (6) Criatividade; (7) Métodos descritivos e matrizes; (8) Métodos estatísticos e (9) Monitoramento e sistemas de inteligência.

Alguns métodos visam coletar informações, enquanto outros buscam entender interações entre eventos, tendências e ações. Os métodos podem assumir julgamentos “*hard*” (quantitativo e numérico) ou “*soft*” (qualitativo e baseado em conhecimentos tácitos), além de processos normativos (início do processo com a percepção das necessidades futuras) ou exploratórios (início do processo com a extrapolação das capacidades tecnológicas atuais). Assim, os diferentes métodos apresentam vantagens e desvantagens (Porter *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2016).

Diante da diversidade de terminologias, abordagens e metodologias apresentadas, surge a necessidade de uma revisão sistemática da literatura com o propósito de identificar características e apontar desafios e tendências para o avanço dos estudos orientados para a prospecção de tecnologias futuras, especialmente no campo da estratégia e da inovação.

3 Procedimentos metodológicos

Para sistematizar os estudos sobre prospecção de tecnologias futuras, a estratégia metodológica adotada envolve abordagens híbridas de investigação. Buscou-se identificar os periódicos e as áreas de pesquisas mais frequentes, os pesquisadores, países e as instituições mais relevantes, além das metodologias e os níveis de análise predominantes, de forma a identificar as principais características e apontar os desafios e as tendências de pesquisas futuras. Para isso adotou-se os seguintes procedimentos metodológicos:

1ª Etapa – Estratégia de busca: Os artigos foram pesquisados na coleção principal da *Web of Science* (WoS), sendo esta uma das principais bases de pesquisas no cenário internacional. A WoS fornece um conjunto de metadados essencial para análises sistemáticas,

incluindo áreas de estudos, lista de pesquisadores, instituições, dentre outras informações. Com base no estudo de Porter *et al.* (2004), os artigos foram selecionados pelos termos: “*Technology Forecast*”, “*Technology Foresight*”, “*Technology Future*”, “*Technology Roadmap*” e “*Technology Intelligence*”, sendo utilizado o caractere de truncagem (*) para ampliar a busca por termos similares. Optou-se por pesquisar os termos por meio dos “títulos”, valorizando a relevância dos resultados em relação à temática investigada. Por fim, optou-se por selecionar os artigos publicados até o ano de 2015, sendo identificado um total de 713 registros.

2ª Etapa – Refinamento e seleção dos estudos: Em um primeiro momento os registros foram refinados com base nos seguintes critérios: (i) tipo de documentos (397 registros excluídos), sendo considerados apenas os registros classificados como “artigos”; (ii) veículo de publicação (21 registros excluídos), sendo excluídos os registros publicados em “conferências”; (iii) idioma (10 registros excluídos), sendo considerados apenas os registros publicados em inglês e (iv) disponibilidade de acesso (98 registros excluídos), sendo considerados apenas os registros com a disponibilidade dos resumos para facilitar a coleta dos metadados necessários para a análise bibliométrica. Em um segundo momento, foram lidos e analisados os resumos dos 187 artigos resultantes da primeira etapa de refinamento para avaliar o alinhamento dos mesmos quanto ao escopo da temática pesquisada. Nesta fase foram eliminados oito registros por não tratarem de assuntos relacionados à prospecção. A seleção final foi então composta por 179 artigos.

3ª Etapa – Análise bibliométrica: Definida a seleção dos artigos, procedeu-se a análise bibliométrica com base nos seguintes tópicos: (i) evolução de publicações e citações; (ii) principais pesquisadores, países e instituições; (iii) principais periódicos e (iv) principais áreas de pesquisa. O objetivo desta etapa é descrever as principais características, desafios e tendências dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras, utilizando a bibliometria como elemento da comunicação do conhecimento.

4ª Etapa - Codificação e tabulação dos artigos (análise semântica): Devido à necessidade de uma análise mais profunda, nesta etapa foram considerados apenas os artigos com disponibilidade de textos na íntegra (64 registros excluídos). Os 115 artigos selecionados foram codificados e tabulados por meio de planilhas eletrônicas, sendo analisados com base nas seguintes variáveis: (i) tipos de pesquisa (simulação, qualitativa, quantitativa ou teórica); (ii) níveis de análise (foco dos estudos); (iii) principais aplicações empíricas e (iv) principais métodos utilizados.

Para análise dos dados foi utilizado o software Sitkis (Schildt, 2002) para importar metadados a partir da base WoS e os softwares UCINET[®] (Borgatti, Everett & Freeman, 2002) e NetDraw[®] (Borgatti, 2002) para o desenvolvimento de redes de citação (principais pesquisadores) e áreas de pesquisa.

4 Resultados e discussão

A análise dos resultados foi organizada em duas etapas. A primeira etapa se refere à descrição dos resultados da análise bibliométrica, destacando a evolução das publicações e citações, os principais pesquisadores, países, instituições e periódicos e as principais áreas de pesquisa. A segunda etapa se refere aos resultados da análise semântica, destacando os tipos de pesquisa, os níveis de análise, as principais aplicações empíricas e os principais métodos de prospecção utilizados na literatura.

4.1 Análise bibliométrica dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras

Ao analisar a frequência de publicações é possível identificar um crescimento constante dos estudos, especialmente nos últimos anos, período em que as publicações acadêmicas aumentaram, consideravelmente, em virtude do recente interesse das empresas e da academia em avaliar os resultados dos métodos de prospecção de tecnologias futuras (Amer & Daim, 2010; Carvalho *et al.*, 2013).

O crescimento do interesse pelos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras pode ser analisado pelos dados da Figura 1, no qual indica um aumento expressivo no número de publicações e citações nos últimos anos, alcançando 75 publicações e 1.821 citações, respectivamente, apenas no período de 2011 a 2015.

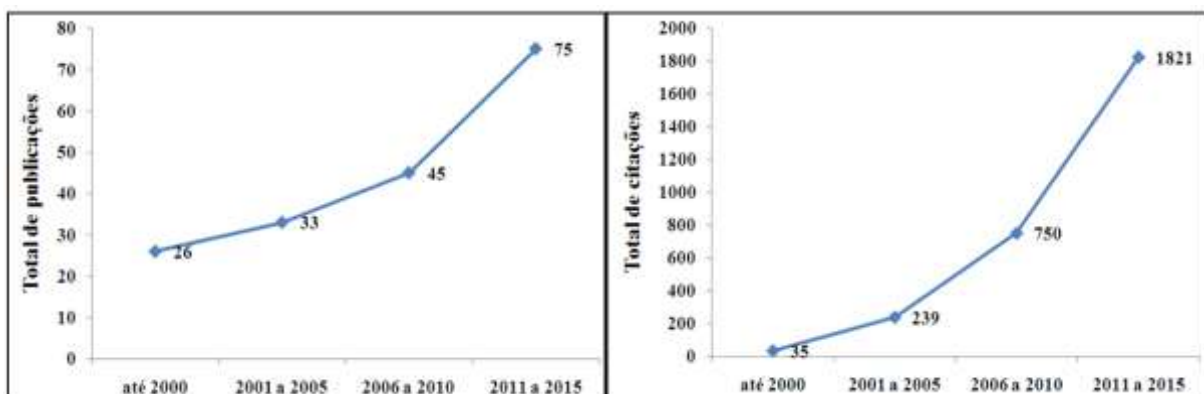


Figura 1. Evolução das publicações e citações sobre prospecção de tecnologias futuras

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise bibliométrica identificou um total de 401 pesquisadores, de 208 empresas ou instituições de pesquisas, aos quais 347 (86,53%) tiveram apenas um único artigo publicado. Pelos resultados é possível notar um crescente interesse da academia nas pesquisas sobre o tema, uma vez que foi evidenciado um número expressivo de pesquisadores e instituições. No entanto, os resultados indicam que os estudos se mostram fragmentados, com pequenos grupos de pesquisadores e instituições, o que contribui para uma crise de identidade nos estudos relacionados à prospecção de tecnologias futuras (Porter *et al.*, 2004; Sardar, 2010; Kuosa, 2011).

Entre os países com o maior número de publicações, destaque para Estados Unidos com 44 artigos (24,58%), Coreia do Sul com 32 artigos (17,88%) e Inglaterra com 27 artigos (15,08%). Juntos, estes países representam 57,54% dos artigos analisados. Em relação às instituições com maior número de publicações, destacam-se a Seoul National University (Coreia do Sul), presente em 20 artigos, a Universidade de Cambridge (Inglaterra), presente em 14 artigos, a Oregon University System e a Portland State University, presentes em 13 artigos (Estados Unidos), respectivamente.

Para identificar os principais periódicos sobre prospecção de tecnologias futuras foi desenvolvido um índice de classificação por meio da seguinte equação: $IP = NP \times JCR$, em que IP indica o impacto de cada periódico a partir de duas informações centrais: (i) número de publicações (NP) entre os artigos analisados e (ii) o fator de impacto do periódico, obtido a partir do *Journal Citation Report* (JCR).

Percebe-se que o periódico “Technological Forecasting and Social Change”, com 47 publicações e fator de impacto de 2,06, representa o principal periódico sobre prospecção de tecnologias futuras tanto em relação à quantidade de publicações, como em relação ao fator de impacto (JCR). Tal resultado pode ser complementado pela frequência de citações identificadas, revelando um total de 820 citações entre os artigos analisados, resultado muito superior aos demais periódicos sobre o tema.

Em relação aos pesquisadores mais citados, destaque para Robert Phaal, com um total de 186 citações, Ronald N. Kostoff, com um total de 113 citações, e Alan L. Porter, com um total de 54 citações. Já os artigos mais citados se referem ao estudo de Phaal *et al.*, (2004), intitulado “*Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution*”, com 220 citações na WoS (até 2015), seguido pelo estudo de Kostoff e Scaller (2001), intitulado “*Science and technology roadmaps*”, com 198 citações, e pelo estudo de Kani *et al.* (2009), intitulado

“Next-Generation PON-Part I: Technology Roadmap and General Requirements”, com 103 citações.

Entre os pesquisadores com maior frequência de publicações, destacam-se: Robert Phaal com 14 artigos publicados e Yongtae Park com 13 artigos publicados. Outros pesquisadores também se destacam pela quantidade de publicações e números de citações, conforme apresentado na rede de citação da Figura 2. A rede de citação representa os dez pesquisadores com o maior número de publicações entre os artigos analisados, considerando o grau de centralidade (tamanho dos nós) de cada pesquisador e a frequência das citações (espessura dos laços). Os círculos claros indicam os pesquisadores que fizeram citações a outros pesquisadores da rede (*out degree*), enquanto os círculos escuros indicam os pesquisadores que foram citados (*in degree*) por outros pesquisadores da rede.

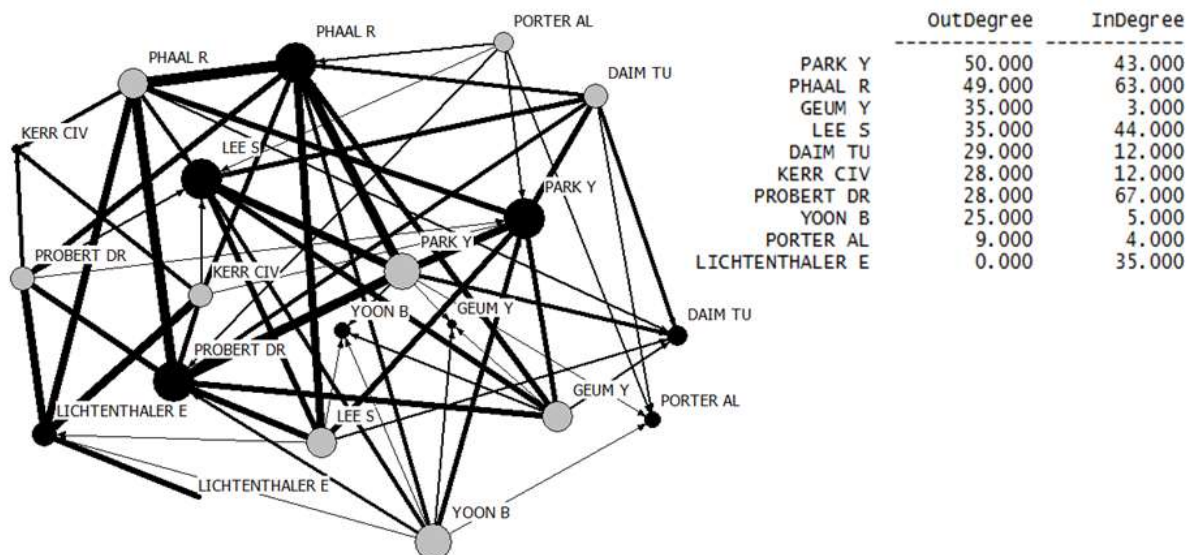


Figura 2. Rede de citação dos dez pesquisadores com maior frequência de publicações
Fonte: Dados da pesquisa.

Percebe-se que Yongtae Park e Robert Phaal apresentam os maiores níveis de centralidade de saída (*out degree*), sendo os pesquisadores que mais citaram os demais pesquisadores da rede (não considerando as autocitações). Por outro lado, os pesquisadores David R. Probert e Robert Phaal apresentam os maiores níveis de centralidade de entrada (*in degree*), sendo os pesquisadores mais citados na rede analisada (não considerando as autocitações). Tais métricas se mostram importantes para representar os principais pesquisadores com influência na rede, tanto em relação ao número de publicações, como em relação à relevância dos pesquisadores mencionados (Borgatti & Foster, 2003).

Em relação às principais áreas de pesquisa, percebem-se que os estudos se mostram multidisciplinares (Miles *et al.*, 2003). No entanto, três áreas de pesquisa têm se mostrado predominantes: (i) negócios e economia, presente em 116 artigos analisados, (ii) engenharia, presente em 73 artigos analisados e (iii) administração pública, presente em 59 artigos analisados.

Os estudos na área de negócios e economia têm se concentrado nas estratégias de planejamento e tomadas de decisão para a gestão de tecnologias, inovações e políticas de CT&I (foco em governos e empresas). Nas engenharias os estudos têm se concentrado na identificação de tecnologias emergentes para os processos de P&D e no desenvolvimento de novos produtos (foco em empresas). Por fim, os estudos na área de administração pública têm se concentrado em programas de CT&I e planejamento prospectivo em diversos países (foco em governos). A Tabela 1 apresenta as áreas mais frequentes de estudos sobre a temática.

Tabela 1

Principais áreas dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras

Áreas de pesquisa	Até 2000	2001 a 2005	2006 a 2010	2011 a 2015	Total
Negócios e Economia	17	26	30	43	116
Engenharia	10	15	21	27	73
Administração Pública	11	11	17	20	59
Ciências da Computação	1	3	4	12	20
Gestão de Operações	2	4	7	4	17
Outros tópicos de C&T	1	2	3	8	14

Nota. A *Web of Science* pode classificar um mesmo estudo em mais de uma área.

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados indicam que as principais áreas de pesquisas apresentam tendências de altas, sem alterações significativas no período analisado. Destaca-se o crescimento dos estudos na área de ciências da computação, com tendência de alta nos últimos anos. O crescimento desta área deu-se, principalmente, pela incorporação de novos métodos de prospecção derivados de sistemas computacionais, entre eles a bibliometria, a Triz (teoria da resolução inventiva de problemas) e a lógica *Fuzzy*.

Conforme apresentado na Figura 3, o estímulo ao surgimento e fortalecimento de estudos em outras áreas de pesquisa pode ser explicado pela comunicação e influência da área de engenharia com outras áreas de pesquisa, como energia e combustíveis, telecomunicações e ciências ambientais e ecologia, as quais têm se mostrado áreas emergentes nos últimos anos. No entanto, tais áreas de pesquisa ainda se mostram incipientes, representando novos desafios para o avanço dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras.

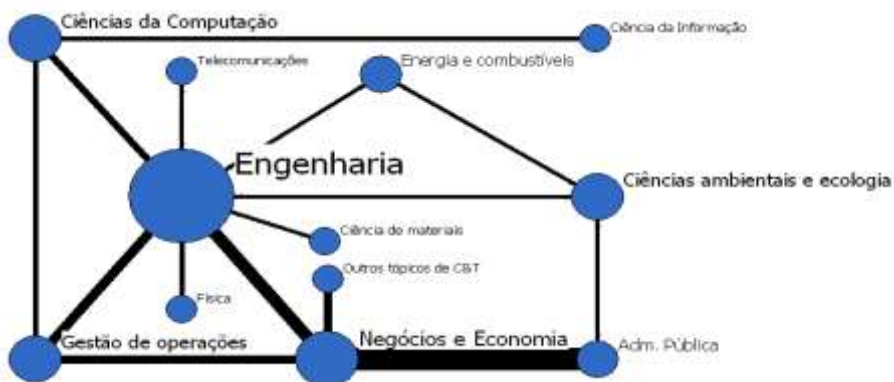


Figura 3. Relações entre as principais áreas de pesquisa
Fonte: Dados da pesquisa.

Ademais, ressalta-se a forte relação dos estudos relacionados à área de negócio e economia com as áreas de administração pública e engenharia, abrangendo tanto estudos focados em governos e programas de CT&I, como estudos focados em empresas e atividades de P&D para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, contribuindo para o fortalecimento dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras.

4.2 Análise semântica dos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras

Em relação aos tipos de pesquisas adotados, os resultados indicam que a maioria dos estudos utilizam abordagens qualitativas, sendo predominante o uso de estudos de casos para avaliar resultados práticos dos métodos de prospecção (36,52% do total) ou a proposição de novas formas de prospecção por meio de modelos teóricos e simulação (27,83% do total), conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4. Tendências dos tipos de pesquisas sobre prospecção de tecnologias futuras
Fonte: Dados da pesquisa.

A predominância por estudos qualitativos que pode ser explicada por dois fatores principais: (i) a maioria das publicações está associada às pesquisas exploratórias, indicando que os estudos se encontram incipientes e em fase de consolidação (Porter *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2013) ou (ii) existe uma preferência dos pesquisadores por metodologias qualitativas, especialmente por métodos de prospecção apoiados em julgamentos de especialistas e conhecimentos tácitos (Miles *et al.*, 2003; Porter *et al.*, 2004; Zolfani, Salimi, Maknoon & Kildiene, 2015).

Pela Figura 4 é possível identificar que os estudos de casos, os métodos de simulação ou modelo teórico e os estudos quantitativos (*survey*) apresentaram tendências de alta nos últimos anos, especialmente a partir de 2006. Já os estudos teóricos ou de revisão apresentaram uma leve tendência de queda, possível de ser explicada pelo maior interesse das empresas e da academia em avaliar os resultados práticos dos métodos de prospecção (Amer & Daim, 2010; Carvalho *et al.*, 2013).

Percebe-se, ainda, uma crescente tendência por estudos focados em contribuições metodológicas, por meio de novas metodologias, modelos teóricos ou estratégias de prospecção baseados na combinação de métodos novos ou já existentes. A combinação de métodos tem se mostrado uma tendência emergente, em virtude da necessidade de melhorar a eficácia dos estudos prospectivos por meio de abordagens híbridas de investigação, o que tende a ampliar vantagens e reduzir desvantagens de métodos aplicados de forma isolada (Porter *et al.*, 2004; Postma, Alers, Terpstra & Zuurbier, 2007; Yoon & Park, 2007; Popper, 2008; Zhang, Zhou, Porter & Gomila, 2014; Stelzer, Meyer-Brötz, Schiebel & Brecht, 2015; Li, Zhou, Xue & Huang, 2015; Vishnevskiy, Karasev & Meissner, 2015; Reis *et al.*, 2016).

Entre os níveis de análise, os estudos podem ser traduzidos em três importantes aspectos de investigação: (i) gestão de tecnologias (40% do total), (ii) processos de P&D e desenvolvimento de novos produtos (30,43%) e políticas de C&T (29,57%), conforme apresentado na Figura 5.

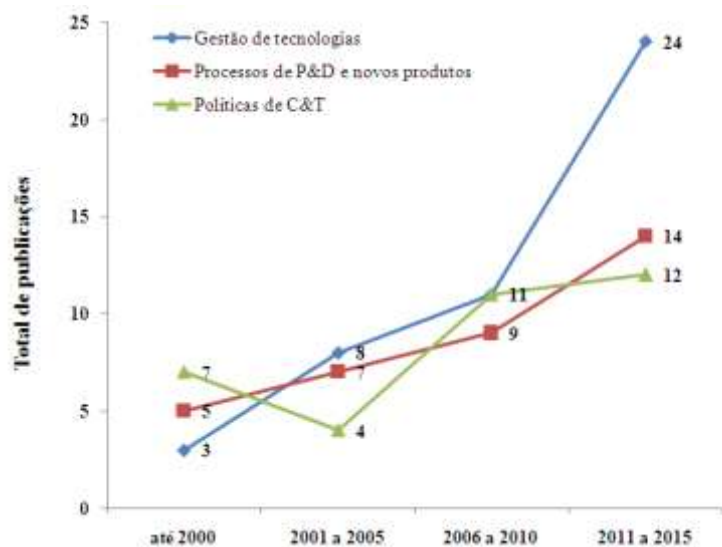


Figura 5. Tendências de análises nos estudos sobre prospecção de tecnologias futuras

Fonte: Dados da pesquisa.

Até o ano de 2000 a maioria dos estudos se concentrava nas atividades de prospecção de governos, por meio de programas de CT&I em países como Japão, Reino Unido, Austrália, Nova Zelândia, dentre outros. No entanto, o interesse por estudos relacionados à gestão de tecnologias e atividades de P&D e desenvolvimento de novos produtos tem crescido nos últimos anos, em virtude do maior interesse de indústrias e centros de pesquisa (Amer & Daim, 2010; Carvalho *et al.*, 2013).

Enquanto os estudos sobre políticas de CT&I estão mais relacionados à abordagem *Technology Foresight*, os estudos relacionados à gestão de tecnologias e processos de P&D e desenvolvimento de novos produtos estão mais relacionados às abordagens *Technology Forecasting*, tendo como foco o mapeamento de tecnologias futuras e a busca por informações detalhadas para a gestão de P&D e processos de inovações (Porter *et al.*, 2004; Phaal *et al.*, 2004; Rinne, 2004; Walsh, 2004; Lee & Park, 2005; Yoon & Park, 2007; Jun *et al.*, 2012).

As aplicações empíricas mais frequentes dos estudos se referem às indústrias de base tecnológica (55,65%), nos ramos da eletrônica, telecomunicações, informática, dispositivos médicos, farmacêutico, biotecnologia, automotivo, aeroespacial e de energia e combustíveis. Destacam-se ainda os estudos prospectivos em governos (29,57%) e empresas de setores tradicionais (14,78%), como serviço, comércio e indústria em geral.

Considerando que a universidade desempenha um importante papel na dinâmica da inovação ao contribuir para o desenvolvimento de pesquisas científicas, favorecer o desenvolvimento e a transferência de tecnologias, dentre outras atividades (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Etzkowitz, 2003; Haase, Araújo & Dias, 2005), é possível identificar um

importante gargalo, já que não foram identificados estudos relacionados às universidades, surgindo novos desafios para a aplicação de métodos de prospecção em grupos de pesquisa, núcleos de inovação tecnológica, incubadoras de empresas, dentre outros setores da academia. Tais ações poderiam contribuir para o direcionamento mais eficiente de pesquisas científicas e otimizar recursos financeiros em atividades de CT&I (Zackiewicz, Bonacelli & Salles, 2005).

Por fim, com o propósito de identificar os métodos de prospecção em construtos amplos e analisar tendências de aplicações nos estudos prospectivos, os métodos mencionados nos artigos analisados foram agrupados segundo as categorias definidas por Porter *et al.* (2004), conforme apresentado na Figura 6.

Categorias	Métodos identificados	Abordagem predominante	Processo predominante
Métodos descritivos e matrizes	Análise morfológica; Analogia; Análise organizacional; Análise de portfólios; Decisão de múltiplos critérios (<i>Data Envelopment Analysis – DEA</i>); QFD (Desdobramento da Função Qualidade) e <i>Roadmapping</i> .	Qualitativa	Exploratório
Opinião de especialistas	Delphi (pesquisa interativa); <i>Workshops</i> (especialistas), Entrevistas.	Qualitativa	Normativo / Exploratório
Modelagem e simulação	Simulação de cenários; Lógica Fuzzy (difusa); Rede Bayesiana; Redes Neurais e simulação de sistemas.	Quantitativa	Exploratório
Métodos estatísticos	Bibliometria (análise de patentes / <i>text mining</i>); Curva S e Séries temporais.	Quantitativa	Normativo / Exploratório
Monitoramento e Sistemas de inteligência	Bibliometria (análise de patentes / <i>text mining</i>) e monitoramento ambiental.	Qualitativa	Exploratório
Criatividade	<i>Workshops</i> (especialistas) e TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas).	Quali-Quanti	Normativo / Exploratório
Cenários	Simulação de cenários.	Qualitativa	Normativo / Exploratório
Avaliação / Decisão	<i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP); QFD (Desdobramento da Função Qualidade); Decisão de múltiplos critérios (<i>Data Envelopment Analysis – DEA</i>).	Quantitativa	Normativo
Análise de tendências	Curva S e Séries temporais	Quantitativa	Normativo / Exploratório

Figura 6. Métodos de prospecção identificados

Fonte: Adaptado de Porter, A. L. et al. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(3), 287-303.

Os resultados indicam que a categoria de “métodos descritivos e matrizes” se mostrou a mais frequente nos estudos analisados (80 no total). Em geral, esta categoria representa métodos com abordagens, predominantemente, qualitativas e processos exploratórios, oferecendo visões

de consenso (ou de futuro) por meio de mapas tecnológicos para os tomadores de decisão. Uma vantagem importante no uso desses métodos é que eles podem reduzir a dependência da crença em modelos ou análises teóricas enganosas nas tomadas de decisões (Reis *et al.*, 2016).

Pela Tabela 2 é possível notar um crescimento recente na utilização dos “métodos descritivos e matrizes”. Tal crescimento pode ser explicado pelo aumento de utilização do método *roadmapping*, presente em 46,96% dos artigos analisados. O *roadmapping* tem sido muito utilizado para mapear tendências de um campo científico ou antecipar oportunidades de negócios por meio de relações entre mercados, produtos e tecnologias, impulsionando o desenvolvimento de novos produtos, plataformas de negócios e inovações (Phaal *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2013).

Tabela 2:

Tendências de categorias dos métodos de prospecção identificados (até 2015)

Categorias	Até 2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	Total
Métodos descritivos e Matrizes	5	9	28	38	80
Opinião de especialistas	13	16	11	15	55
Modelagem e simulação	10	4	12	12	38
Métodos estatísticos	0	4	13	19	36
Monitoramento e sistemas de inteligência	0	3	10	16	29
Criatividade	4	10	5	9	28
Cenários	8	2	9	8	27
Avaliação / Decisão	0	0	4	7	11
Análise de tendências	0	1	3	5	9

Fonte: Dados da pesquisa.

A categoria relacionada à “opinião de especialistas” também se destaca pela frequência de métodos identificados (55 no total). Em geral esta categoria representa métodos, predominantemente, qualitativos e normativo-exploratórios. Apesar de antigos nos estudos de prospecção, os métodos relacionados à “opinião de especialistas” têm sido amplamente utilizados até os dias atuais. Além de métodos tradicionais, como Delphi e entrevistas, painéis de especialistas e grupos focais também têm sido utilizados. Esses métodos se mostram importantes quando os eventos futuros são complexos, as informações disponíveis não são quantificáveis e as atividades futuras são especializadas (Miles *et al.*, 2003; Zolfani *et al.*, 2015).

Entre os métodos de “opinião de especialistas” mais frequentes, destacam o uso de *workshops* (20,87% do total), como na elaboração de mapas tecnológicos (Phaal *et al.*, 2004; Walsh, 2004), e o uso do método Delphi (9,13% do total), comum em estudos sobre eventos

futuros por meio de julgamentos de especialistas em processos interativos e estruturados de comunicação e aprendizagem (Miles *et al.*, 2003).

As categorias de “métodos estatísticos” e de “monitoramento e sistemas de inteligência” também se destacam pelo crescimento de utilização nos últimos anos. Segundo Reis *et al.* (2016), estas categorias têm sido utilizadas para monitorar fontes de informações relevantes em determinados campos do conhecimento, além de avaliar elementos capazes de influenciar determinados fenômenos. Nestas categorias, destaca-se o método da bibliometria (presente em 23,48% dos artigos), que consiste na aplicação de técnicas estatísticas capazes de monitorar e avaliar padrões de conhecimentos em publicações científicas e/ou pedidos de patentes, tendo sido utilizada para identificar tecnologias emergentes nos processos de inovação (Yoon, Phaal & Probert, 2008).

Apesar de terem sido criados há muito tempo, os métodos *roadmapping* e bibliometria têm emergido recentemente nos estudos de prospecção, motivados pelos avanços das tecnologias de informação e comunicação e pelo crescente interesse dos pesquisadores por novas abordagens metodológicas capazes de combinar métodos (novos e existentes) e aumentar a eficácia dos resultados desejados (Postma *et al.*, 2007; Yoon & Park, 2007; Popper, 2008; Zhang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Stelzer *et al.*, 2015; Vishnevskiy *et al.*, 2015).

Neste contexto, a sistematização dos diferentes métodos de prospecção se mostra importante, pois estudos recentes da literatura indicam que a combinação de métodos tem se mostrado uma importante estratégia para melhorar a eficácia das atividades de prospecção, uma vez que cada método apresenta vantagens e desvantagens, devendo ser utilizados de maneira híbrida (Porter *et al.*, 2004; Postma *et al.*, 2007; Yoon & Park, 2007; Popper, 2008; Zhang *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Stelzer *et al.*, 2015; Vishnevskiy *et al.*, 2015; Reis *et al.*, 2016).

5 Considerações finais

Os resultados indicam um crescente interesse de empresas e da academia pelos métodos de prospecção de tecnologias futuras, especialmente nos últimos anos, período no qual tem se presenciado um número crescente de pesquisadores, instituições de pesquisa, publicações e citações. Percebe-se que os estudos se mostram multidisciplinares, sendo emergentes em diversas áreas do conhecimento. No entanto, as pesquisas se mostram fragmentadas, com predomínio de estudos qualitativos e pequenos grupos de pesquisadores e instituições, o que representa uma limitação pela falta de consolidação e amadurecimento da temática.

A predominância por estudos qualitativos pode ser explicada por dois fatores: (i) a maioria das publicações está associada às pesquisas exploratórias, indicando que os estudos sobre o tema se encontram incipientes e em fase de consolidação (Porter *et al.*, 2004; Sardar, 2010; Kuosa, 2011; Carvalho *et al.*, 2013) ou (ii) existe uma preferência dos pesquisadores por metodologias qualitativas, especialmente por métodos de prospecção apoiados em julgamentos de especialistas e conhecimentos tácitos (Miles *et al.*, 2003; Porter *et al.*, 2004; Zolfani *et al.*, 2015).

Entre as principais tendências identificadas, destacam-se: (i) maior interesse da área de ciências da computação sobre a prospecção de tecnologias futuras; (ii) diminuição dos estudos teóricos/revisão; (iii) combinação de métodos prospectivos, especialmente sobre o uso do *roadmapping* e da bibliometria e (iv) maior utilização dos métodos de prospecção para a gestão de tecnologias e atividades de P&D.

Já os principais desafios se referem: (i) ao desenvolvimento de pesquisas em áreas emergentes, como energia e combustíveis, telecomunicações e ciências ambientais e ecologia; (ii) à consolidação dos estudos e metodologias sobre prospecção de tecnologias futuras e (iii) à aplicação de métodos prospectivos em universidades, o que poderia contribuir para o direcionamento mais eficiente de pesquisas científicas e otimizar recursos financeiros de agências de fomento e do próprio governo em atividades de CT&I.

Apesar das contribuições desse estudo, os resultados devem ser analisados com cautela, pois apresentam algumas limitações. A primeira refere-se aos possíveis vieses dos artigos investigados, uma vez que foram considerados apenas os artigos indexados à base *Web of Science*. Outro fator limitante deve-se a interpretação dos artigos (análise semântica), pois, apesar de critérios metodológicos bem definidos, as categorias de análise se basearam na interpretação dos pesquisadores, o que pode representar vieses na classificação e análise dos resultados.

Por fim, ressaltam-se as características, tendências e desafios identificados para o surgimento de novas agendas de estudos. Tais compreensões poderão contribuir para o avanço da literatura sobre prospecção de tecnologias futuras no campo da estratégia e da inovação, auxiliando gestores, pesquisadores e decisores políticos na perspectiva macro, como nas políticas de CT&I, sistemas de inovação e desenvolvimento socioeconômico, ou na perspectiva micro, como nas estratégias de planejamento e gestão de tecnologias e inovações em empresas e universidades.

Referências

- Amara, R. C., & Salancik, G. R. (1971). Forecasting: From conjectural art toward science. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 415-426.
- Amer, M., & Daim, T. U. (2010). Application of technology roadmaps for renewable energy sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1355-1370.
- Amparo, K. K. S., Ribeiro, M. D. C. O., & Guarieiro, L. L. N. (2012). Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 17(4), 195-209.
- Borgatti, S. P. (2002). *Netdraw Network Visualization*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. & Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Borgatti, S. P., & Foster, P. C. (2003). The network paradigm in organizational research: A review and typology. *Journal of management*, 29(6), 991-1013.
- Carvalho, M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1418-1437.
- Chen, H., Zhang, G., Zhu, D., & Lu, J. (2015). A patent time series processing component for technology intelligence by trend identification functionality. *Neural Computing and Applications*, 26(2), 345-353.
- Coelho, G. M. (2003). *Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais*. Rio de Janeiro: Projeto CT-Petro Tendências Tecnológicas.
- Etzkowitz, H. (2003). Research groups as ‘quasi-firms’: the invention of the entrepreneurial university. *Research policy*, 32(1), 109-121.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, 29(2), 109-123.
- Haase, H., Araújo, E. C., & Dias, J. (2009). Inovações Vistas pelas Patentes: exigências frente às novas funções das universidades. *Revista Brasileira de Inovação*, 4(2), 329-362.
- Jun, S., Sung Park, S., & Sik Jang, D. (2012). Technology forecasting using matrix map and patent clustering. *Industrial Management & Data Systems*, 112(5), 786-807.
- Kuosa, T. (2011). Evolution of futures studies. *Futures*, 43(3), 327-336.
- Lee, S., & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(5), 567-583.

- Li, X., Zhou, Y., Xue, L., & Huang, L. (2015). Integrating bibliometrics and roadmapping methods: A case of dye-sensitized solar cell technology-based industry in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 97, 205-222.
- Lichtenthaler, E. (2003). Third generation management of technology intelligence processes. *R&D Management*, 33(4), 361-375.
- Loyarte, E., Posada, J., Gaines, S., Rajasekharan, S., Olaizola, I. G., Otaegui, O., Linaza, M. T., Oyarzun, D., Del Pozo, A., Marcos, G. & Florez, J. (2015). Technology roadmapping (TRM) and strategic alignment for an applied research centre: a case study with methodological contributions. *R&D Management*, 45(5), 474-486.
- Miles, I.; keenan, M.; kaivo-Oja, J. (2003). *Handbook of knowledge society foresight*. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin. Recuperado em 21 de Abril, 2017 de <https://www.eurofound.europa.eu/publications/2003/handbook-of-knowledge-society-foresight>.
- Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, 71(1), 5-26.
- Popper, R. (2008). How are foresight methods selected?. *foresight*, 10(6), 62-89.
- PORTER, A. L., Ashton, W. B., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S. W., Ducatel, K., Van der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstone, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Moge, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R., & Thissen, W. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(3), 287-303.
- Postma, T. J., Alers, J. C., Terpstra, S., & Zuurbier, A. (2007). Medical technology decisions in The Netherlands: How to solve the dilemma of technology foresight versus market research?. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(9), 1823-1833.
- Reis, D. R., Vincenzi, T. B. & Pupo, F. P. (2016). Técnicas de Prospecção: Um Estudo Comparativo. *Rev. Adm. Contemp.* 20(2), 135-153.
- Rinne, M. (2004). Technology roadmaps: Infrastructure for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1), 67-80.
- Sardar, Z. (2010). The Namesake: Futures; futures studies; futurology; futuristic; foresight: What's in a name?. *Futures*, 42(3), 177-184.
- Schildt, H. A. (2002). *SITKIS: Software for bibliometric data management and analysis*. Institute of Strategy and International Business, Helsinki.
- Stelzer, B., Meyer-Brötz, F., Schiebel, E., & Brecht, L. (2015). Combining the scenario technique with bibliometrics for technology foresight: The case of personalized medicine. *Technological Forecasting and Social Change*, 98, 137-156.

- Veugelers, M., Bury, J., & Viaene, S. (2010). Linking technology intelligence to open innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(2), 335-343.
- Vishnevskiy, K., Karasev, O., & Meissner, D. (2015). Integrated roadmaps and corporate foresight as tools of innovation management: the case of Russian companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 433-443.
- Walsh, S. T. (2004). Roadmapping a disruptive technology: A case study: The emerging microsystems and top-down nanosystems industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1), 161-185.
- Yoon, B. (2008). On the development of a technology intelligence tool for identifying technology opportunity. *Expert Systems with Applications*, 35(1), 124-135.
- Yoon, B., & Park, Y. (2007). Development of new technology forecasting algorithm: Hybrid approach for morphology analysis and conjoint analysis of patent information. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(3), 588-599.
- Yoon, B., Phaal, R., & Probert, D. (2008). Morphology analysis for technology roadmapping: application of text mining. *R&D Management*, 38(1), 51-68.
- Yoon, J., & Kim, K. (2012). TrendPerceptor: A property–function based technology intelligence system for identifying technology trends from patents. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2927-2938.
- Zackiewicz, M., Bonacelli, M. B., & Salles Filho, S. (2005). Estudos prospectivos e a organização de sistemas de inovação no Brasil. *São Paulo em perspectiva*, 19(1), 115-121.
- Zhang, Y., Zhou, X., Porter, A. L., & Gomila, J. M. V. (2014). How to combine term clumping and technology roadmapping for newly emerging science & technology competitive intelligence: “problem & solution” pattern based semantic TRIZ tool and case study. *Scientometrics*, 101(2), 1375-1389.
- Zolfani, S. H., Salimi, J., Maknoon, R., & Kildiene, S. (2015). Technology foresight about R&D projects selection; Application of SWARA method at the policy making level. *Engineering Economics*, 26(5), 571-580.