

ESTUDO PRÉ-PROSPECTIVO PARA ROADMAP TECNOLÓGICO SOBRE RÁDIO COGNITIVO: EVOLUÇÃO CIENTÍFICO-PATENTÁRIA ENTRE 1970-2017.

RESUMO

Os avanços tecnológicos como digitalização das camadas físicas nos meios de comunicação tem promovido grande impacto na sociedade mundial em um curto período de tempo. Nos últimos anos, complexos desafios propostos pela Era do Conhecimento incluem equilibrar o aumento exponencial de novos usuários, sejam pessoas ou coisas, a um espectro limitado se utilizado de forma convencional. Nesse contexto, o Rádio Cognitivo emerge como uma tecnologia habilitadora e capaz de prover o uso eficiente e dinâmico do espectro eletromagnético, de elevar os parâmetros de qualidade do serviço, ampliar o grau de confiabilidade e de plena utilização do espectro. O presente artigo pretende explorar as tendências apontadas por um estudo finlandês sobre rádio cognitivo no período 1970-2011 e monitorar como a tecnologia evoluiu no período seguinte, de 2012-2017. A análise de patentes e de artigos permite antecipar um crescimento de maturidade em alguns domínios como *spectrum sensing*, *cognitive & Spectrum sensing* e *dynamic spectrum sharing/management* e destacar áreas que mobilizaram expressivamente o esforço inovativo como o *White space & LTE*, *Cognitive & LTE*, e *Cognitive & Smart Antenna*.

Palavras-chave: Rádio Cognitivo. Acesso Dinâmico do Espectro. LTE.

PRE-PROSPECTIVE STUDY FOR TECHNOLOGICAL ROADMAP ON COGNITIVE RADIO: SCIENTIFIC-PATENTARY EVOLUTION BETWEEN 1970-2017.

ABSTRACT

Technological advances such as digitization of physical layers in the media have promoted great impact on world society in a short period of time. In recent years, complex challenges posed by the Age of Knowledge include balancing the exponential rise of new users, whether people or things, to a limited spectrum if used conventionally. In this context, Cognitive Radio emerges as an enabling technology and capable of providing the efficient and dynamic use of the electromagnetic spectrum, raising service quality parameters, increasing the degree of reliability and full use of the spectrum. This article intends to explore the tendencies pointed out by a Finnish study on cognitive radio in the period 1970-2011 and to monitor how the technology evolved in the following period, from 2012-2017. The analysis of patents and articles allows us to anticipate maturity growth in some domains such as *spectrum sensing*, *cognitive & Spectrum sensing* and *dynamic spectrum sharing / management* and to highlight areas that have expressively mobilized the innovative effort such as *White space & LTE*, *Cognitive & LTE*, and *Cognitive & Smart Antenna*.

Keywords: Cognitive Radio. Dynamic Spectrum Access. LTE.

Área tecnológica: Telecomunicações e Prospecção Tecnológica.

INTRODUÇÃO

No futuro, a 5ª geração (5G) de sistemas de comunicação móveis atenderá as necessidades de pessoas em vários ambientes como o residencial, o laboral, o lazer e permeará a internet das coisas, interfaceando diversos domínios profissionais como o industrial, médico e de transporte a fim de interconectar, de fato, todas as coisas[1]. O exponencial aumento no tráfego dados móveis, a conexão em massa de dispositivos, a emergência contínua de novos negócios e aplicações tecnológicas se constituem desafios que demandam por grande cobertura, de baixa latência, capacidade e conectividade de massa[2]. Esses requisitos podem ser contemplados a partir de arranjos tecnológicos que incluam o Rádio Cognitivo-RC.

A Comissão de Comunicações Federais de Defesa americana (FCC) define o sistema de rádio cognitivo-RC como um rádio ou sistema que detecta seu ambiente eletromagnético operacional e pode dinamicamente e autonomamente ajustar seus parâmetros operacionais de rádio para modificar o sistema de operação, maximizar seu rendimento, atenuar a interferência, facilitar a interoperabilidade e acessar a mercados secundários, de faixas espectrais subutilizadas ou ociosas[3].

O Rádio Cognitivo é apontado como uma tecnologia de telecomunicações habilitadora para a nova exploração do espectro, que dinamiza seu uso e aumenta a sua eficiência energética. Segundo especialistas civis e militares, o RC se constitui a solução mais viável à plena utilização do espectro, sob parâmetros de elevado grau de confiabilidade tendo como plataforma base de desenvolvimento, o Rádio Definido por Software-RDS[4,5].

Roadmaps Tecnológicos, TRM, são estudos prospectivos de base científico-patentária que permitem auxiliar a identificação de cenários, visualizar riscos e oportunidades potenciais, identificar parcerias para o desenvolvimento mais fluido e cooperativo de pesquisa e desenvolvimento (P&D) fundamentando a decisão de gestores na priorização de esforços, no caso, em RC[6]. Borschiver e Silva (2016) propõem metodologia consistente, validada e aplicável à tecnologia em foco, que associa a literatura científica e tecnológica a marcos temporais de interesse e de maturidade tecnológicas[7]. Embora a aplicação do método permita elucidar relações de atores

no âmbito de RC, este trabalho se limitará a etapa pré-prospectiva, onde são identificadas e analisadas informações de caráter panorâmico.

METODOLOGIA

O trabalho proposto por Suovirta (2011) apresenta um Relatório de Cenário de Patentes sobre Rádio Cognitivo, PLR RC, o *Trial Cognitive Radio Innovation Landscape*, por encomenda da Tekes, a principal organização de financiamento público para pesquisa, desenvolvimento e inovação da Finlândia. Essa entidade emprega estudos de natureza bibliométrica a partir de patentes e literatura não patentária a fim de fundamentar a alocação de recursos, ações de apoio da rede de relacionamentos, para prover serviços de *experts* em áreas importantes e promissoras de negócios para a inovadora sociedade finlandesa [8]. Assim, o relatório em comento, o PLR RC, apresenta interessantes estratégias de busca no período de 1970-2011 sendo oportuna a atualização desse trabalho.

O método consiste basicamente, conforme a Tabela 1, em evidenciar os resultados do PLR RC 1970-2011; reproduzir as estratégias de busca com outra ferramenta, o *Patent Strategies* da *LexisNexis e o Scopus*, no período contemplado pelo estudo; e, avançar na linha do tempo, no período 2011-2017. Dessa forma, objetiva-se pontuar os principais achados do estudo finlandês e acompanhar as tendências macro que sucederam no âmbito do Rádio Cognitivo após o 1º trimestre de 2011, limite temporal posterior do PLR RC.

Para montagem das estratégias de busca foram empregados os termos *cognitive radio* no título, no *abstract* ou nas reivindicações, associado aos termos da Tabela 1, onde "&" e "/" que correspondem aos booleanos *AND* e *OR*.

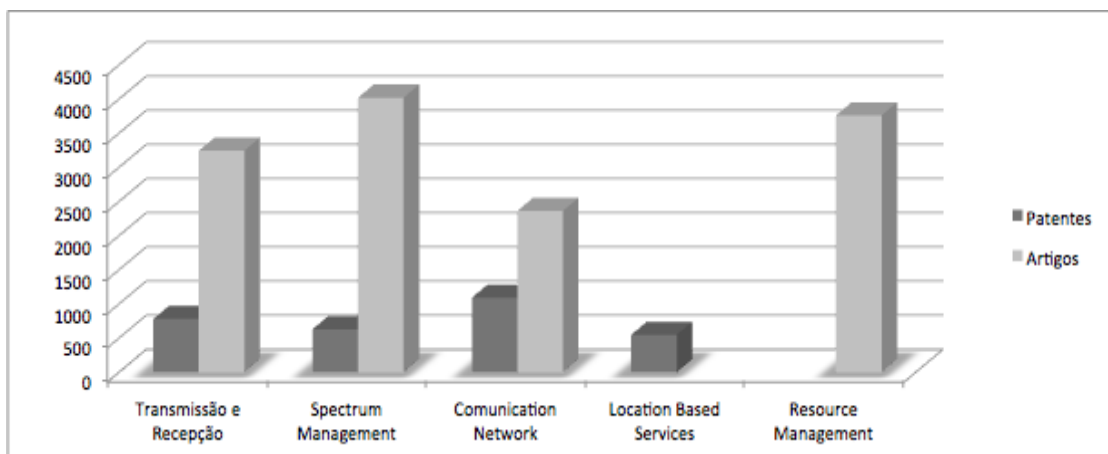
Algumas limitações metodológicas foram assumidas para reprodução do estudo, PS 1979-2011 e do monitoramento, PS 2011-2017. Há que se considerar que o emprego de outro software, o acesso a outras bases de dados, além do período de declinação de sigilo, mormente 18 (dezoito) meses entre a data de depósito da patente e a revelação das informações, constituem-se elementos para admitir flutuações numéricas de resultados. Entretanto, dada a relevância das fontes públicas, mesmo quando do emprego de ferramentas pagas, são esperadas tendências convergentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao destacar os cenários patentário e acadêmico, o PLR RC evidencia três importantes regiões tecnológicas coincidentes tanto no âmbito das publicações tecnológicas quanto nas científicas: a transmissão e recepção, gerenciamento de espectro e sistemas de comunicação. Uma quarta região de maior incidência versa sobre serviços baseados em localização, para patentes, enquanto o gerenciamento de recursos é o foco do esforço acadêmico. Segundo o mesmo estudo, ao detalhar as regiões supramencionadas em sub regiões, os temas de maior interesse são a localização em serviços de rádio cognitivo, a modulação de transmissão de dados, o sensoriamento do espectro e a distribuição do espectro.

Os resultados constantes do estudo finlandês referentes a áreas de aplicação foram reunidos e organizados a fim de possibilitar análise mais clara sobre graus de maturidade do tema conforme disposto no **GRÁFICO 1- Áreas de Aplicação Patentária e Científica 1970-2011**.

GRÁFICO 1- Áreas de Aplicação Patentária e Científica 1970-2011



Fonte: PLR RC 2011, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape.

Da análise do Gráfico 1, pode-se inferir que há regiões tecnológicas onde os movimentos acadêmicos foram mais eficientes em repercutir em insumos para aplicação industrial, patentes. Embora o esforço científico seja percebido em três das cinco regiões observa-se que o desenvolvimento em redes de comunicação apresentou uma relação artigo/patente, 2.2, mais favorável que as demais regiões. Em transmissão e recepção e, principalmente, em gerenciamento de espectro, o esforço acadêmico não parece ter gerado ativos para se constituírem capacidades tecnológicas e inventos economicamente viáveis na mesma proporção de redes de comunicação. Essas constatações sugerem que o amadurecimento tecnológico avançou em velocidades distintas e que há diferentes níveis de prontidão industrial em RC.

O gerenciamento de recursos contempla questões como alocação, otimização, reconfiguração, controle e compartilhamento, na maioria dos casos referentes a energia, espectro ou canais, enquanto os serviços baseados em localização dizem respeito a estações base, terminais móveis e comunicação de dados ajustada entre eles, podendo ser estações de base, terminais ou ambos. Assim, não é possível concluir que as construções científicas do gerenciamento de recursos tenha resultado em patentes de serviços baseados em localização, mas permite evidenciar que esse conjunto de conhecimentos não é tratado da mesma maneira pela academia e pela indústria, o que não colabora para um efetivo alinhamento de perspectivas e para a inclusão mais eficiente da comunidade científica para soluções de gargalos tecnológicos.

PATENTOMETRIA

A Tabela 1- Patentes do PLR RC TEKES X *Patent Strategies* (1970-2011 e 2011-2017), apresenta resultados bibliométrico-patentários do estudo finlandês, empregando o software OMNIVIZ, da Tekes, no período 1970-2011; a reprodução do estudo de 1970-2011, e o monitoramento de 2011-2017, a partir das keywords e estratégias de busca no *Patent Strategies* da *Lexis Nexis*.

TABELA 1 - Patentes do PLR RC TEKES (1970-2011) X Patentes Strategies (1970-2011 e 2011-2017)

Termos	Omniviz -TEKES	Patent Strategies - Lexis Nexis		
		PLR RC 1970-2011	1970-2011	2011-2017
Cognitive radio	708	2360	2179	4539
Software defined radio	448	1408	791	2199
Smart / Intelligent / Ubiquitous radio	199	57	70	127
Adaptive radio	203	739	259	998
Spectrum sensing	265	1199	1783	2982
Cognitive network & Spectrum / Frequency / Radio / WiFi / Wireless	259	141	322	463
Cognitive & Database	7	250	251	501
Cognitive & Energy / Spectrum / Frequency efficiency	18	299	316	615

Cognitive & Implementation technology	0	0	1	1
Cognitive & Spectrum sensing	94	453	646	1099
Cognitive & LTE	26	35	165	200
Cognitive & WiFi / Femtocell / WLAN	94	103	181	284
Cognitive & Receiver & Transmitter	54	568	273	841
Cognitive & Antenna	6	322	317	639
Cognitive & Smart antenna	2	2	6	8
Cognitive & Multicast / Multihop / Channel-hop / Cocast & Spectrum / Frequency / Radio / WiFi / Wireless	11	44	28	72
White space & Spectrum / Frequency	137	63	83	146
White space & LTE	17	18	132	150
White space & WiFi / Femtocell / WLAN	74	132	174	306
White space & Spectrum sensing	9	81	95	176
Dynamic spectrum sharing / management	60	244	311	555
Shared access license & Cognitive / Spectrum / Frequency / Radio	0	0	2	2
Geo-location database	25	66	89	155
Terminal & Base station & Database	1185	7099	3219	10318

Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Patent Strategies da Lexis Nexis.

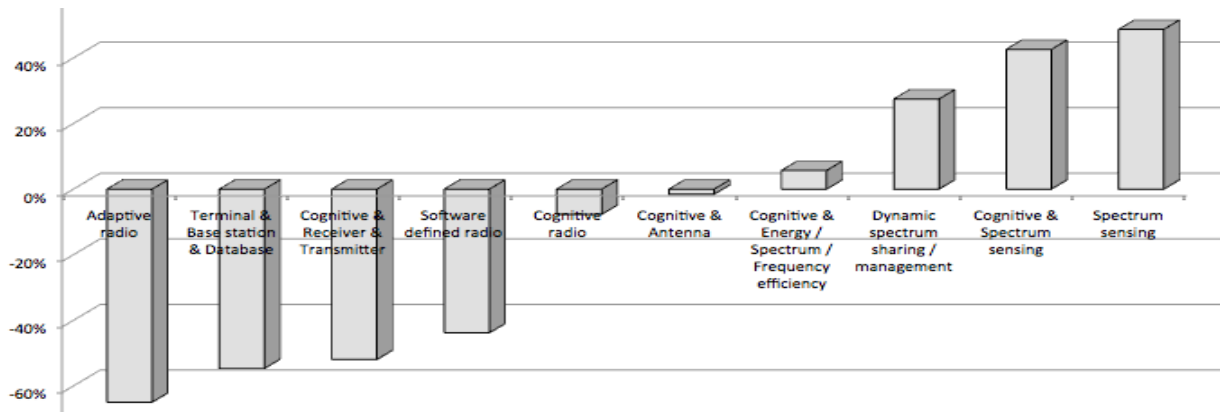
O patenteamento se mostra mais intenso quanto maior for a expectativa de retorno mercadológico proporcionado pelo ativo. Ao protegerem as mais promissoras invenções, entidades depositantes findam por compartilhar, em significativa medida, parte das aspirações estratégicas, as relações com outras entidades, além do próprio nível de desenvolvimento tecnológico. Dessa forma,

o movimento patentário se constitui em um dos principais indicadores de esforço inovativo de depositantes, revelando entre outras, seu interesse comercial[9].

As tecnologias mais exploradas, em iminência ou já no mercado expressam, mormente, elevados valores absolutos de artigos e de patentes. Essa condição está fortemente associada a avançado grau de maturidade tecnológica[10]. Comparativamente, os resultados encontrados a partir dos termos de busca do PLR RC, foram confirmados pelo PS sugerindo que há áreas maduras e embrionárias em RC.

O Gráfico 2- Tecnologias com elevado grau de maturidade, apresenta dentre os maiores valores absolutos de documentos de 1970-2017, aqueles cujo índice de crescimento foi menos intenso ou retraiu, quando comparados os períodos de 2011-2017 a 1970-2011.

GRÁFICO 2 - Tecnologias com elevado grau de maturidade.

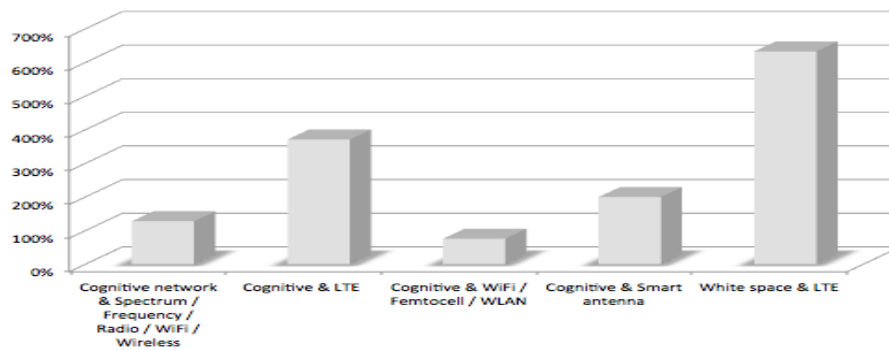


Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Patent Strategies da Lexis Nexis.

Entre as mais maduras, o gráfico destaca 3 das 10 estratégias de busca que apresentaram um expressivo crescimento: *spectrum sensing*, com 49%; *Cognitive & Spectrum sensing*, com 43% e *dynamic spectrum sharing/management*, com 27%. Esses achados sugerem que embora maduros, esses domínios preservam a mobilização tecnológica de entidades, por considerarem viável a P&D e a aplicação comercial da tecnologia.

O Gráfico 3-Tecnologias emergentes, destaca as áreas que apresentaram os maiores índices de crescimento patentário quando comparados aos períodos de 1970-2011 e 2011-2017.

GRÁFICO 3- Tecnologias emergentes.



Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Patent Strategies da Lexis Nexis.

Dentre as áreas que apresentaram expressiva variação no esforço inovativo destacaram-se: White space & LTE, 633%, Cognitive & LTE, 371%, Cognitive e Smart Antenna, 200%. Esses campos tecnológicos são embrionários em função do pequeno número de patentes depositadas, entretanto, emergem como convergentes soluções para RC. Embora tenham uma variação percentual menos destacada, os relevantes valores de *Cognitive network & Spectrum / Frequency / Radio / WiFi / Wireless* e *Cognitive & WiFi / FemtoCell / WLAN* permitem inferir que possuem um grau de maturidade mais avançado que os três campos já citados e que ainda, que repercutem na estratégia comercial de empresas intensivas do setor.

Entre as instituições que desenvolvem RC, a Tabela 2 - Estratégia e tendência tecnológica de países líderes, apresenta as estratégias de mercado e tendências de patenteamento dos países líderes para o período de 1970-2011.

Tabela 2 - Estratégia e tendência tecnológica de países líderes.

País	Patente	Estratégia	Tendência/ ano	Empresas Depositantes	Abrangência
EUA	1246	Mercado Interno	Declínio/ 2008	Samsung, Motorola, Nokia, ETRI, Qualcomm, Microsoft and AT&T	4 regiões
China	824	Mercado Interno (58% depositado somente na China)	Ascensão/ 2005	Beijing University of Posts and Telecommunications, Xidian University, University of Electronic Science and Technology of China, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Huawei and Southeast University	4 regiões
Coréia do Sul	805	Mercado Interno (58% depositado somente na Coreia do Sul)	Declínio/ 2007	Samsung, SK Group, LG Group, ETRI, KT Corporation and Inha-Industrial Partnership Institute	4 regiões
Japão	769	Mercado Interno (62% depositado somente no Japão)	Declínio/ 2008	NEC, NTT, Hitachi, Toshiba, Panasonic and Gyosei	4 regiões
European Patent Organisation	489	Mercado Externo (04% depositado no EP)	Declínio/ 2008	Nokia, Alcatel-Lucent,44 (66) Motorola, Ericsson, Qualcomm and Philips	4 regiões

Alemanha	120	Mercado Externo (08% depositado na Alemanha)	Declínio/ 2006	Siemens, Alcatel-Lucent and Samsung	Mais denso em Sistemas de Comunicação e Transmissão e recepção
Finlândia	19	Mercado Externo (16% depositado na Finlândia)	Declínio/ 2006	Samsung partly with University System of Georgia, Nokia, TeliaSonera and NEC	4 regiões

Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape

O avanço patentário dos principais depositantes em RC sofreu desaceleração entre 2006 e 2008. Apenas a China, entre os países mais intensivos apresentou tendência ascendente e em dimensão tão significativa que foi responsável pela tendência de alta mundial observada até 2011. Em grande medida, os resultados expressivos de empresas e de universidades chinesas são consequência de políticas públicas *going global* para articulação e direção estratégica de ecossistemas nacionais de inovação, adotadas a partir de 1980, que passaram a repercutir resultados relevantes cerca de 20 anos depois[11].

A estratégia de busca foi concebida para capturar informações de caráter mais inovativo, assim, “*cognitive radio*” foi empregada no *abstract*, no título e nas reivindicações sendo considerados apenas os resultados que de patentes que não solicitaram prioridade. Essa estratégia foi reproduzida a fim de comparar o comportamento bibliométrico do PLR RC com o PS de 2011-2017, conforme na tabela 3 abaixo:

Tabela 3- Patentes PLR RC TEKES (1970-2011) X PS (2011-2017)

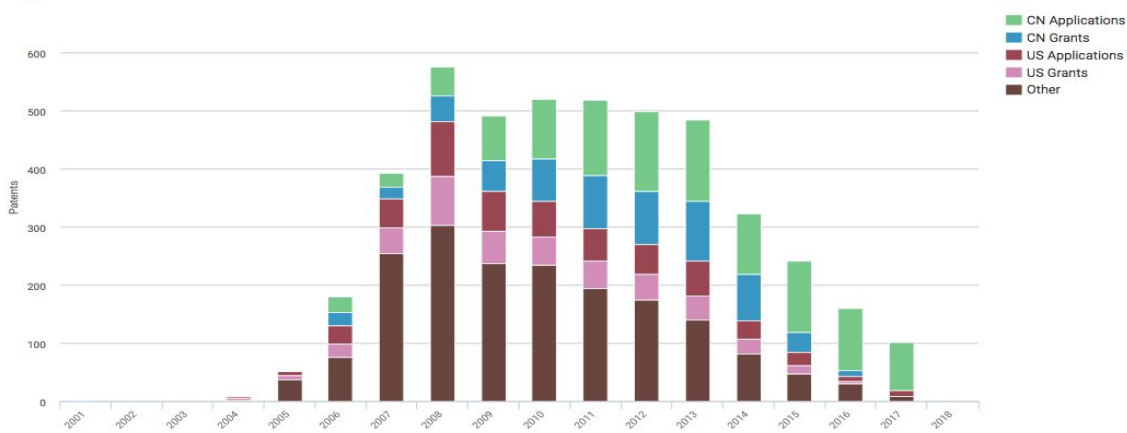
1970-2011(1º trimestre)	2011 (2º trimestre) a 2017
3.046	4.557 (01 abr 2011 a 31 dez 2017)

Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Patent Strategies da Lexis Nexis.

Os resultados confirmaram a tendência geral apontada pelas estratégias de busca mais específicas da Tabela 1, que concluíram por um significativo aumento da incidência de depósitos de patentes no período 2011-2017. Esses dados sugerem o aumento de maturidade tecnológica, do conhecimento codificado disponível e representa parte da ascensão de patamar das capacidades tecnológicas e do estoque de competências de uma determinada entidade[12].

O Gráfico 4- Patentes depositadas 2011-2017, apresenta as patentes depositadas no período para a estratégia de busca supra estabelecida.

Gráfico 4- Patentes depositadas 2011-2017

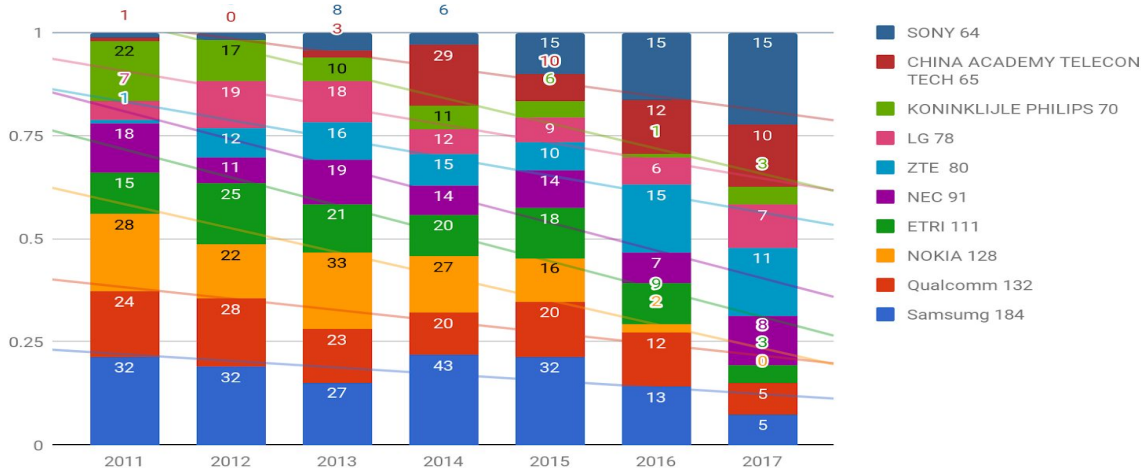


Fonte Patent Strategies-Lexis Nexis acessado em 22abr18

Os resultados apresentam um pico de patenteamento em 2008, a partir do qual se sucede uma redução de intensidade pela maior parte dos depositantes, exceto a China, que desacelera apenas em 2013. Esses dados são compatíveis com os sugeridos pelo instituto TEKES na Tabela 2, que constatou o arrefecimento de empresas líderes na proteção patentária entre 2006 e 2008, bem como a ascensão chinesa.

O Gráfico 5 - Empresas mais intensivas 2011-2017, apresenta os maiores depositantes do período.

Gráfico 5 - Empresas mais intensivas 2011-2017



Fonte: Patent Strategies-Lexis Nexis acessado em 22abr18

As retas de tendência no Gráfico 5 apontam para um declínio de proteção patentária entre as principais depositantes, com exceção da Sony que intensifica suas ações entre 2011 e 2014 se mantendo estável até 2017. A maior parte dos dez principais depositantes já ocupavam posição relevante no período anterior, exceto a China Academy Telecom Tech que embora se estabeleça nesse seleto grupo, também apresenta a mesma tendência de declínio.

A patentometria, revelou que a intensidade tecnológica do período de 2011 a 2017 produziu mais patentes nos últimos 6 anos do que entre 1970-2011. Essa grande atividade é compatível com um estágio acelerado de amadurecimento tecnológico, justificado em alguma medida, pela expectativa dos depositantes em reaver o retorno financeiro do investimento no capital intelectual, nos meios físicos para a P&D de RC.

A mobilização industrial percebida pelo depósito de patentes inicia um processo de declínio a partir de 2014 sugerindo que há significativas mudanças no cenário de RC. Esses movimentos resultam do exaurimento tecnológico, percebido quando a curva-S[13] atinge seu ápice de maturidade e inflete para o declínio. Essa queda pode estar associada à colidência de propostas para o acesso ao uso dinâmico do espectro para RC, a óbices regulatórios, ou ainda, à superação tecnológica provocada pela entrada de uma tecnologia cujo efeito técnico ofereça significativas vantagens e passe a convergir os esforços científicos e tecnológicos do setor.

CIENTOMETRIA

No domínio científico, o PLR RC foi reproduzido empregando-se a base SCOPUS da Elsevier, nos moldes metodológicos descritos para as patentes e cujos resultados encontram-se na Tabela 8 - Esforço Científico PLR TEKES SCOPUS (1970-2011) X SCOPUS (1970-2011 e 2011-2017). Nesta, o estudo finlandês é validação no período 1970-2011 e para avançar na linha do tempo no período 2011-2017. Empregou-se para a estratégia (TITLE-ABS-KEY (cognitive AND radio) AND pubyear > 2011 ou pubyear < 2012, combinando com os termos da Tabela 4, onde "&" fora substituído por AND e "/" por OR), retornando os seguintes quantitativos de documentos:

Tabela 4 - Esforço Científico PLR TEKES SCOPUS (1970-2011) X SCOPUS (1970-2011 e 2011-2017)

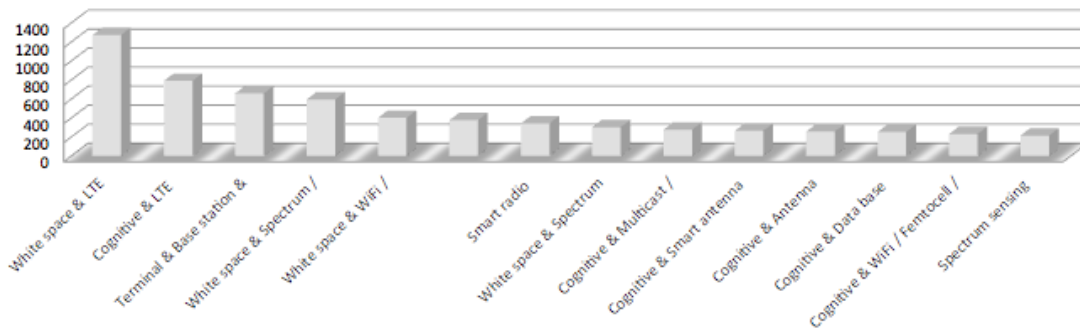
Termos	SCOPUS PLR RC 1970-2011	SCOPUS		
		1970-2011	2011-2017	%
White space & LTE	15	24	306	1275
Cognitive & LTE	124	175	1386	792
Terminal & Base station & Database	26	5	33	660
White space & Spectrum / Frequency	351	314	1870	596
White space & WiFi / Femtocell / WLAN	36	80	322	403

Cognitive & Multicast / Multihop / Channel-hop / Cocast & Spectrum /Frequency / Radio / WiFi / Wireless	0	516	1952	378
Smart radio	52	424	1460	344
White space & Spectrum sensing	29	431	1312	304
Cognitive & Multicast / Multihop / Channel hop / Cocast & Spectrum /Frequency / Radio / White space / Wireless	248	730	2031	278
Cognitive & Smart antenna	38	174	466	267
Cognitive & Antenna	386	1378	3563	259
Cognitive & Data base	289	200	508	254
Cognitive & WiFi / Femtocell / WLAN	523	620	1442	233
Spectrum sensing	0	4375	9441	216
Cognitive & Spectrum sensing	2268	4375	9441	216
Shared access license & Cognitive / Spectrum / Frequency / Radio	12	22	47	214
Cognitive & Energy / Spectrum / Frequency efficiency	283	1980	4155	210
Adaptive radio	748	2468	4830	196
Cognitive network & Spectrum / Frequency / Radio / WiFi / Wireless	5864	8065	15139	188
Dynamic spectrum sharing / management	543	3053	5535	181
Cognitive & Receiver & Transmitter	521	548	989	180
Cognitive radio	9123	9153	16203	177
Cognitive & Implementation technology	8	1517	2515	166
Software defined radio	2722	2124	2622	123
Geo-location database	35	13	13	100

Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Scopus da Elsevier.

A Tabela 4 apresenta que no período 2011-2017 foram produzidos, para as buscas supramencionadas, ao menos a mesma quantidade de documentos do período anterior, o que corrobora para o aumento em diferentes níveis de intensidade de produção acadêmica para RC. As maiores variações quantitativas de documentos são destacadas percentualmente pelo Gráfico 6 - Crescimento Científico Expressivo 2011-2017.

Gráfico 6- Crescimento percentual expressivo entre 2011-2017

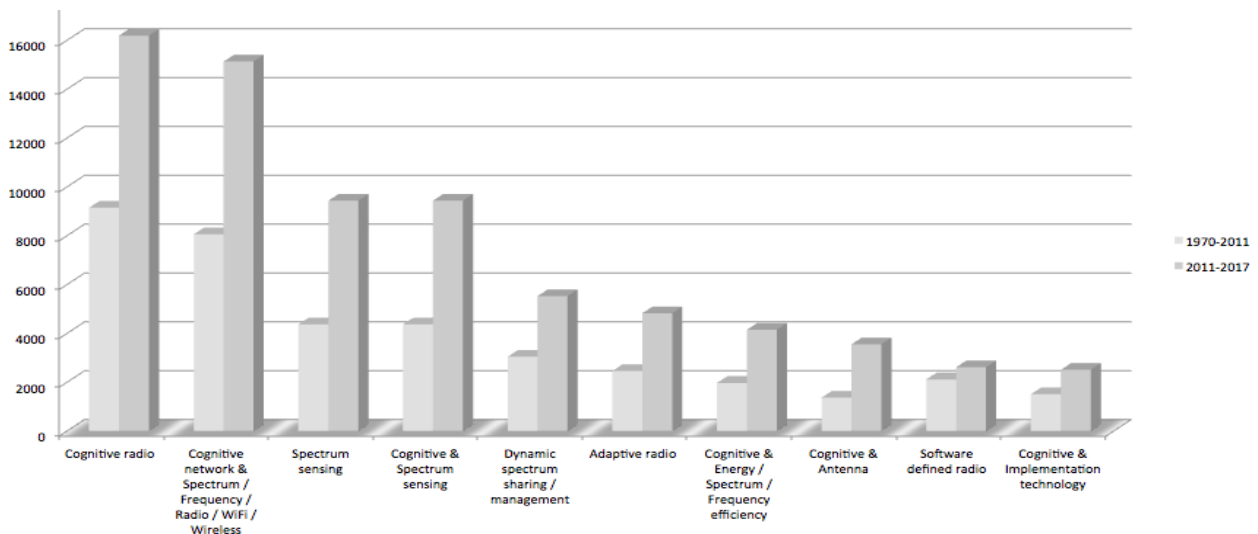


Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Scopus da Elsevier.

Observa-se que as áreas tecnológicas do Gráfico 6 apresentam um rápido crescimento científico sendo responsáveis por mobilizar grande esforço acadêmico como por exemplo em *LTE & White Space* e *Cognitive & LTE*. Esses achados são coincidentes com os depósitos de patentes nesses domínios o que sinaliza por um alinhamento entre as produções tecnológicas, Tabela 2 e científicas, Tabela 4. Como o número de documentos e patentes retornadas é, comparativamente, modesto, conclui-se que a tecnologia se encontra apenas na curva ascendente de maturidade tecnológica e que há relevantes oportunidades comerciais a serem exploradas no setor.

O Gráfico 7 - Crescimento absoluto expressivo 1970-2017, apresenta as áreas mais investigadas nos períodos 1970-2011 e 2011-2017, ou seja, onde foi produzido o maior número absoluto de documentos.

Gráfico 7 - Crescimento absoluto expressivo 2011-2017



Fonte: PLR RC 2013, Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape e Scopus da Elsevier.

Os dados do Gráfico 7 apresentam o crescimento na atividade acadêmica de todas as áreas investigadas permitindo inferir distintas intensidades de crescimento científico e de maturidade

tecnológica, em função da variação percentual e da quantidade de documentos, quando se compara o período 2011-2017 com o anterior.

A comunidade científico-acadêmica manteve-se mobilizada tanto em áreas de elevados valores absolutos, como *cognitive radio* e *spectrum sensing* quanto em áreas de menor crescimento como *software defined radio* e *cognitive & implementation technology*.

CONCLUSÃO

A literatura científica e tecnológica de rádio cognitivo produziu mais em 7 anos, no período de 2011-2017, do que em 4 décadas. Essa intensidade expressa o esforço inovativo e o aumento da maturidade tecnológica de entidades com vocação acadêmica ou comercial na busca de soluções para o acesso dinâmico do espectro.

O panorama tecnológico de RC, quando se compara o período de 2011-2017 ao anterior, apresentou um significativo acúmulo de conhecimento em áreas como *spectrum sensing*, *cognitive & spectrum sensing* e *dynamic spectrum sharing/management*, enquanto o esforço inovativo se acentuou exponencialmente em *white space & lte*, *cognitive & lte* e *cognitive & smart antenna*. Esses achados apontam para o aumento no rol de soluções para RC no sensoriamento espectral, compartilhamento e gerenciamento do espectro e sugerem oportunidades de mercado em áreas de elevado crescimento, mas de modesta maturidade tecnológica como: os vazios espectrais e o emprego da forma de onda LTE.

A convergência do esforço científico e tecnológico é compatível com o desenvolvimento acelerado do setor de telecomunicações para o atendimento de demandas da Era do Conhecimento. Esses bastidores de pesquisas em constante ebulição são portadores de soluções, produtos, processos e serviços inovadores que serão mais facilmente percebidos pelo público quando as tecnologias de 5ª Geração proverem a conectividade de pessoas e coisas em elevado padrão de qualidade, com maior volume de tráfego de dados e eficiência do uso do espectro, de energia e de custos.

REFERÊNCIAS

- 1- M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, “Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey,” **IEEE Commun. Surveys Tuts.**, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 3rd Quart., 2016.
- 2- HU, Feng; CHEN, Bing; ZHU, Kun. Full Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks toward 5G: A Survey. **IEEE Access**, 2018.
- 3- Federal Communications Commission, Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies, no. Feb. 2005.
- 4- HAYKIN, Simon; THOMSON, David J.; REED, Jeffrey H. Spectrum sensing for cognitive radio. **Proceedings of the IEEE**, v. 97, n. 5, p. 849-877, 2009.
- 5- RAMANI, Vishakha; SHARMA, Sanjay K. Cognitive radios: A survey on spectrum sensing, security and spectrum handoff. **China Communications**, v. 14, n. 11, p. 185-208, 2017.
- 6- Amarante, J.C.A.; Instituto Militar de Engenharia: uma ponte para o futuro; Bibliex: Rio de Janeiro, 2013.
- 7- BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. Technology Roadmap–Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia. **Interciência**, 2016.
- 8- Suorvita, Minna. **Trial- Cognitive Radio Innovation Landscape**. Disponível em http://www.wipo.int/patentscope/en/programs/patent_landscapes/plrdb_search.jsp?topic_id=&language_code=&territory_id=&query=cognitive+radio. Acessado em 19dez17
- 9- TRIPPE, Anthony. Guidelines for preparing patent landscape reports. **Patent landscape reports. Geneva: WIPO**, p. 08, 2015.
- 10- LEE, Pei-Chun; SU, Hsin-Ning. How to analyze technology life cycle from the perspective of patent characteristics?. In: **Management of Engineering and Technology (PICMET), 2015 Portland International Conference on**. IEEE, 2015. p. 2079-2083.
- 11- MASIERO, Gilmar; COELHO, Diego Bonaldo. A política industrial chinesa como determinante de sua estratégia going global. **Brazilian Journal of Political Economy/Revista de Economia Política**, v. 34, n. 1, pag 147, 2014.
- 12- N FIGUEIREDO, Paulo. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. Livros Técnicos e Científicos, 2009.
- 13- ERNST, H. **The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC Technology in the Machine Tool Industry**. *Small Business Economics*, v. 9, n. 4, p.361-381, 1997