

Estudo Pré-Prospectivo para Roadmap Tecnológico sobre Rádio Cognitivo: Evolução Científico-Patentária entre 1970-2017

Pre-Prospective Study for Technological Roadmap on Cognitive Radio: Scientific-Patentary Evolution Between 1970-2017

José Luiz Andrade Júnior¹
David Fernandes Cruz Moura²
Suzana Borschiver³

Resumo

Avanços tecnológicos como digitalização das camadas físicas nos meios de comunicação têm promovido grande impacto na sociedade mundial em curto período de tempo. Nos últimos anos, complexos desafios propostos pela Era do Conhecimento incluem equilibrar o aumento exponencial de novos usuários a um espectro eletromagnético limitado se utilizado de forma convencional, como ocorre na atualidade. O Rádio Cognitivo emerge como uma tecnologia habilitadora para o uso eficiente e dinâmico do espectro, capaz de elevar os parâmetros de qualidade do serviço, ampliar o grau de confiabilidade e de plena utilização espectral. Este artigo explora tendências apontadas pelo estudo finlandês, *Trial Cognitive Radio Innovation Landscape*, no período 1970-2011 e monitora a evolução tecnológica entre 2012 e 2017. A análise bibliométrica permite antecipar crescente maturidade em domínios como *spectrum sensing*, *cognitive & Spectrum sensing* e *dynamic spectrum sharing/management* e intenso esforço inovativo em *white space & LTE*, *cognitive & LTE* e *cognitive & smart antenna*.

Palavras-chave: Rádio Cognitivo. Acesso Dinâmico do Espectro. Long-Term Evolution.

Abstract

Technological advances such as digitization of the physical layers in the media have promoted great impact on the 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 to a limited electromagnetic spectrum if used conventionally, as it does today. Cognitive Radio emerges as an enabling technology for the efficient and dynamic use of the spectrum, capable of raising service quality parameters, increasing the degree of reliability and full spectral utilization. This article explores trends pointed out by the Finnish study *Trial Cognitive Radio Innovation Landscape* in the period 1970-2011 and monitors the technological evolution between 2012 and 2017. Bibliometric analysis allows anticipating increasing maturity in areas such as *spectrum sensing*, *cognitive & Spectrum sensing* and *dynamic spectrum sharing /management* and intense innovative effort in *white space & LTE*, *cognitive & LTE* and *cognitive & smart antenna*.

Keywords: Cognitive Radio. Dynamic Spectrum Access. Long-Term Evolution.

Área Tecnológica: Telecomunicações e Prospecção Tecnológica.

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.



1 Introdução

Na próxima década, a quinta geração (5G) de sistemas de comunicação móveis ambiciona atender às necessidades de pessoas em vários ambientes, como o residencial, o laboral, o lazer; e permear a internet das coisas, estabelecendo interface com diversos domínios profissionais, como o industrial, o médico e de transporte, a fim de interconectar, de fato, todas as coisas (AGIWAL; ROY; SAXENA, 2016). O exponencial aumento de tráfego de dados móveis, a conexão em massa de dispositivos, a emergência contínua de novos negócios e as aplicações tecnológicas se constituem desafios que demandam por grande cobertura, de baixa latência e de conectividade de massa (HU; CHEN; ZHU, 2018). Esses requisitos podem ser contemplados a partir de arranjos tecnológicos que incluam o Rádio Cognitivo-RC.

A Federal Communications Committee (FCC), órgão regulador das telecomunicações nos Estados Unidos (EUA), define o sistema de rádio cognitivo-RC como um rádio ou um 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 (ADELSTEIN *et al.*, 2003).

O Rádio Cognitivo é apontado como uma tecnologia de telecomunicações habilitadora diante da escassez do espectro, consequência da alta densidade de uso de faixas ou dos vazios espectrais, resultado da subutilização e da ociosidade do uso das faixas pelo usuário primário, detentor dos direitos de utilização. O RC enseja uma nova exploração do espectro eletromagnético, que dinamiza o uso e aumenta a eficiência energética. Segundo especialistas civis e militares, o RC se constitui solução mais viável para a plena utilização do espectro, sob parâmetros de elevado grau de confiabilidade, tendo como plataforma-base de desenvolvimento o Rádio Definido por Software-RDS (HAYKIN; THOMSON; REED, 2009; RAMANI; SHARMA, 2017).

A etapa pré-prospectiva de Roadmap Tecnológico (TRM), proposta por Borschiver e Silva (2016), permite identificar, a partir de fontes científico-tecnológicas de entidades intensivas na publicação de artigos ou no depósito de patentes, os principais atores e tendências no âmbito de RC. Essas informações são de fundamental importância para direcionar ações futuras do Programa RDS Defesa no desenvolvimento de rádios interoperativos para as comunicações táticas das Forças Armadas do Brasil (BRANCO *et al.*, 2014). Embora valores bilionários envolvam o mercado de telecomunicações, não foram evidenciados na literatura científica trabalhos abertos de TRM sobre RC, sendo oportuna a aplicação de metodologia consistente e validada. Sendo assim, este artigo tem por objetivo desenvolver um estudo pré-prospectivo de TRM para RC, abordando informações tecnológicas iniciais e panorâmicas, por exemplo, os principais depositantes e empresas mais intensivos no setor, sem, contudo, evidenciar o efeito técnico de patentes ou a evolução estratégica de entidades no curso de tempo, objetivo das etapas prospectiva e pós-prospectiva.

O restante deste artigo está dividido em três seções, assim organizadas: na seção 2, os autores apresentam a metodologia do trabalho; na seção 3, os resultados e a discussão são dispostos sob as subdivisões de Patentometria e Cientometria. Por fim, na seção 4, conclusão, seguem as considerações finais deste estudo e as sugestões de trabalhos futuros.

2 Metodologia

A metodologia utilizada no presente estudo baseou-se na coleta de dados, em dezembro de 2017, a partir do Patent Strategies da empresa Lexis Nexis, que abarca os principais bancos de patentes mundiais como o Europeu, o Espacenet®, americano, USPTO. Inicialmente, foram feitas pesquisas para literatura patentária e não patentária utilizando como estratégias de busca, “cognitive radio”, os booleanos AND/OR e conceitos como o “*spectrum sensing*”, o “*spectrum sharing*”, o “*spectrum management*”, palavras-chave resultantes da interação com pesquisadores e da leitura de artigos de revisão.

Posteriormente, evidenciou-se que as palavras-chave do *Patent Landscape Report* sobre Rádio Cognitivo (PLR RC), o *Trial Cognitive Radio Innovation Landscape*, de Suovirta (2013), consideravam estratégias de busca que combinavam conceitos mais específicos e eram relevantes para especialistas em telecomunicações; por isso eram empregadas como ponto de partida para explorar o comportamento bibliométrico, científico e tecnológico de rádio cognitivo.

A Tekes, principal organização de financiamento público para pesquisa, desenvolvimento e inovação da Finlândia, responsável pela encomenda do PLR RC em comento, desenvolve estudos bibliométricos a partir de patentes e de artigos com o objetivo de fundamentar a alocação de recursos, as ações de apoio da rede de relacionamentos que integra e serviços de *experts* em áreas importantes e promissoras de negócios inovadores de seu país (SUORVITA, 2013). Sendo a Finlândia um dos líderes mundiais em inovação (GII, 2018), julgou-se oportuno reproduzir as estratégias de busca do PLR RC 1970-2011 e avançar na linha do tempo entre 2011-2017.

Dessa forma, o método deste trabalho consiste em evidenciar os resultados do PLR RC 1970-2011; reproduzir as estratégias de busca propostas por Suorvita (2013) com outra ferramenta, o Patent Strategies (PS) da LexisNexis e o Scopus da Elsevier, para o período 1970-2011; e, avançar na linha do tempo, no período 2011-2017. As estratégias de busca empregaram os campos título, *abstract* e reivindicações combinando a expressão “*cognitive radio*” com os termos a seguir: “*Software defined radio*”; *Smart/Intelligent/Ubiquitous radio*; *Adaptive radio*; *Spectrum sensing*; *Cognitive network & Spectrum/Frequency/Radio/WiFi/Wireless*; *Cognitive & Database*; *Cognitive & Energy/Spectrum/Frequency efficiency*; *Cognitive & Implementation technology*; *Cognitive & Spectrum sensing*; *Cognitive & LTE*; *Cognitive & WiFi/Femtocell/WLAN*; *Cognitive & Receiver & Transmitter*; *Cognitive & Antenna*; *Cognitive & Smart antenna*; *Cognitive & Multicast/Multihop/Channel-hop/Cocast & Spectrum/Frequency/Radio/WiFi/Wireless*; *White space & Spectrum/Frequency*; *White space & LTE*; *White space & WiFi/Femtocell/WLAN*; *White space & Spectrum sensing*; *Dynamic spectrum sharing/management*; *Shared access license & Cognitive/Spectrum/Frequency/Radio*; *Geo-location database*; *Terminal & Base station & Database*. Os símbolos “&” e “/” foram, respectivamente, substituídos nas buscas pelos booleanos AND e OR.

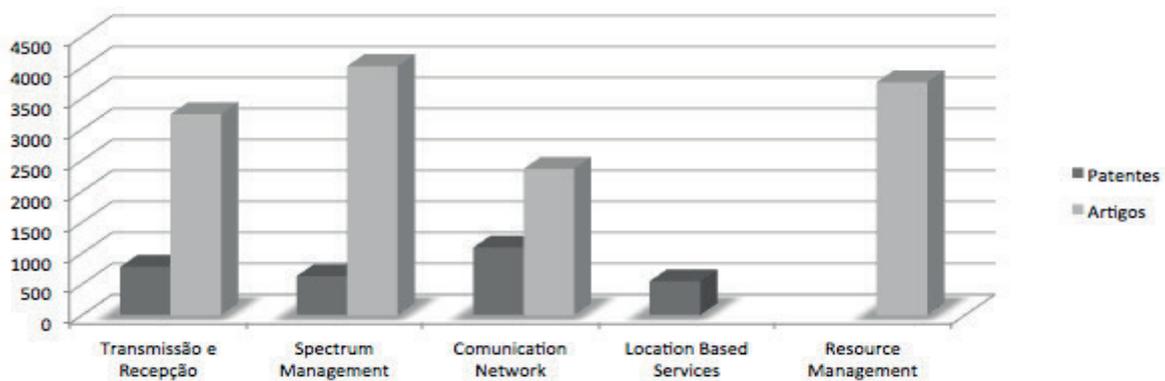
3 Resultados e Discussão

O PLR RC 1970-2011 empregou a base World Patent Index (WPINDEX) Patent Database, para coleta e análise de patentes e o SCOPUS para artigos. Ao destacar os cenários patentário e acadêmico, três importantes regiões tecnológicas e coincidentes no âmbito das publicações tecnológicas e científicas foram evidenciadas: transmissão e recepção, gerenciamento de es-

pectro e sistemas de comunicação. A quarta região de maior incidência patentária versa sobre serviços baseados em localização, 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 quantitativos do estudo finlandês referentes a áreas de aplicação tecnológica e científica, patentes e artigos foram reunidos e organizados a fim de possibilitar, comparativamente, uma análise mais clara sobre tendências e graus de maturidade tecnológica. Dessa forma, o Gráfico 1, Áreas de Aplicação Patentária e Científica 1970-2011, apresenta a produção de artigos e patentes por áreas tecnológicas do PLR RC-1970-2011.

Gráfico 1 – Áreas de Aplicação Patentária e Científica 1970-2011



Fonte: Adaptado de Suorvita (2013)

Da análise do Gráfico 1, pode-se inferir que há regiões tecnológicas em que os movimentos acadêmicos foram mais eficientes em repercutir 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 à energia, ao espectro ou aos canais, enquanto os serviços baseados em localização dizem respeito a estações-base, terminais móveis e à 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.

3.1 Patentometria

A Tabela 1, Patentes 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 de estratégias de busca no Patent Strategies da Lexis Nexis.

Tabela 1 – Patentes PLR RC TEKES (1970-2011) X PS (1970-2011 e 2011-2017)

TERMOS	OMNIVIZ –	PATENT STRATEGIES		
	TEKES	LEXIS NEXIS		
Período	PLR RC 1970-2011	1970-2011	2011-2017	1970-2017 Total
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//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

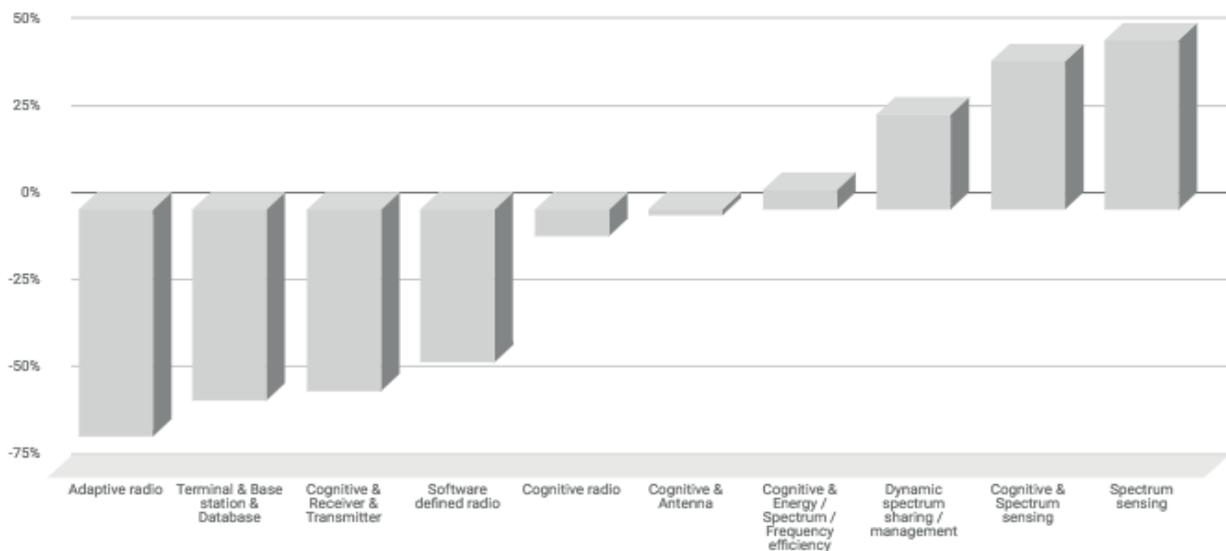
Fonte: Adaptada de Suorvita (2013) e de Patent Strategies-Lexis Nexis (2018)

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 (TRIPPE, 2015, p. 8)

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 um avançado grau de maturidade tecnológica. 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, entre os maiores valores absolutos de documentos de 1970-2017, aqueles cujo índice de crescimento foi menos intenso ou retraiu, quando comparados aos períodos de 2011-2017 a 1970-2011.

Gráfico 2 – Tecnologias com elevado grau de maturidade

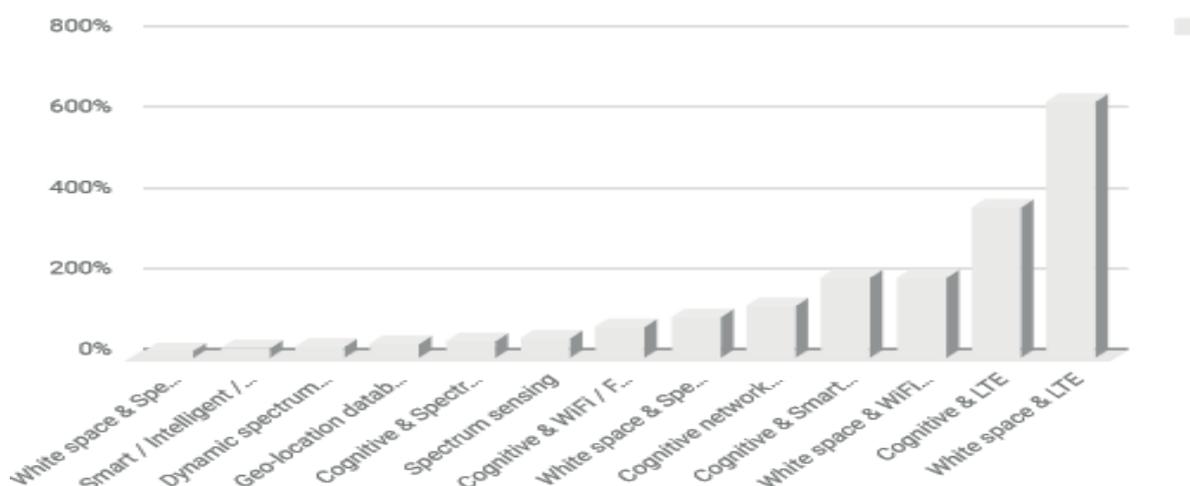


Fonte: Adaptado de Suorvita (2013) e de Patent Strategies-Lexis Nexis (2018)

Entre as mais maduras, o gráfico destaca três 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, já que considerarem viáveis 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: Adaptado de Suorvita (2013) e de Patent Strategies-Lexis Nexis (2018)

Entre as áreas que apresentaram expressiva variação no esforço inovativo destacam-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 repercutem na estratégia comercial de empresas intensivas do setor. Vale destacar que esse esforço se mostra alinhado à inserção das redes 4G e das pequenas células (*small cells*) nos sistemas móveis de telecomunicações, cujos aprimoramentos se sucederam, em grande medida, em consequência do acúmulo de capacidades e de maturidade tecnológica.

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

PAÍS	PATENTE	ESTRATÉGIA	TENDÊNCIA/ ANO	EMPRESAS DEPOSITANTES	ABRANGÊNCIA
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: Adaptada de Suorvita (2013)

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.

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 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 mostram dados da Tabela 3:

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

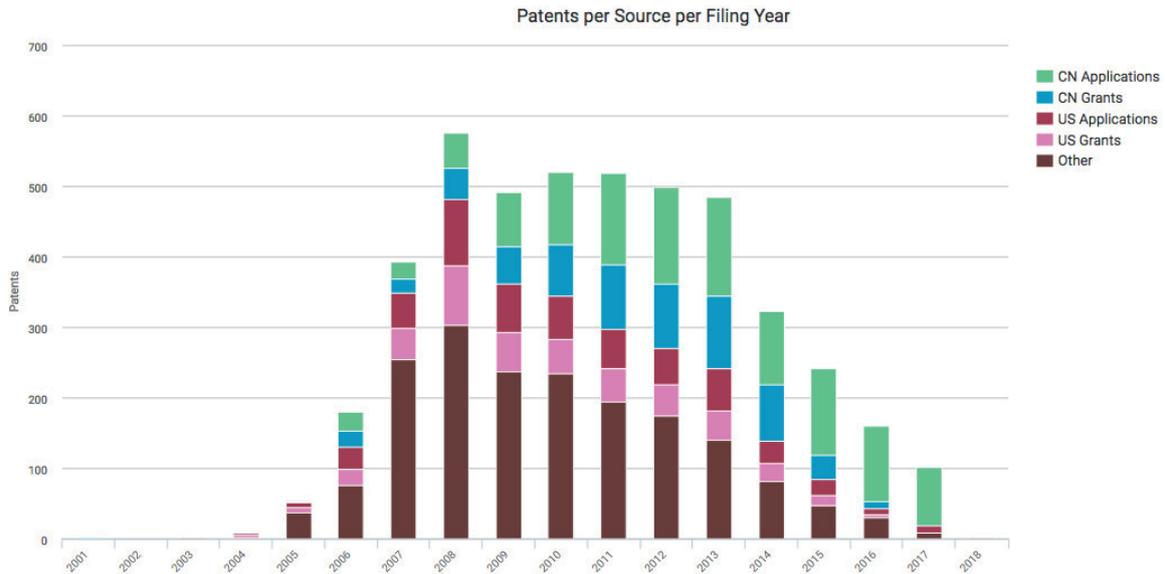
1970-2011 (1º TRIMESTRE)	2011 (2º TRIMESTRE) A 2017
3.046	4.557 (1º abr. 2011 a 31 dez 2017)

Fonte: Adaptada de Suorvita (2013) e de Patent Strategies-Lexis Nexis (2018)

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 e do conhecimento codificado disponível e representa parte da ascensão de patamar das capacidades tecnológicas e do estoque de competências de uma determinada entidade (FIGUEIREDO, 2009).

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

Gráfico 4 – Patentes depositadas 2011-2017

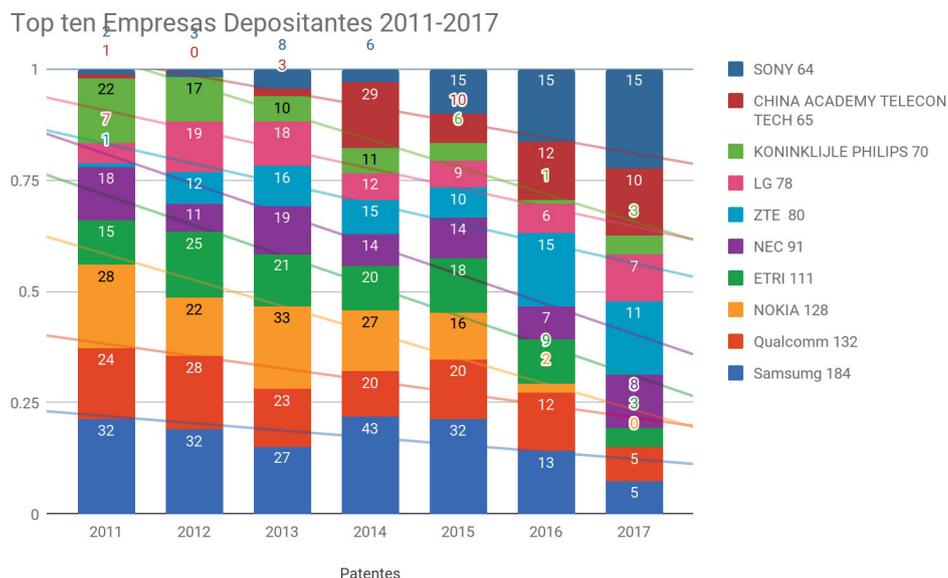


Fonte: Patent Strategies-Lexis Nexis (2018)

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, em verde e azul, que desacelera apenas em 2014. Esses dados são compatíveis com as tendências da Tabela 2, que constatou o arrefecimento de empresas líderes na proteção patentária entre 2006 e 2008, assim 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 (2018)

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 ocupava posição relevante no período anterior, exceto a China Academy Telecom Tech que, embora se estabeleça nesse seletivo 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 seis anos do que no período anterior, 1970-2011, considerando-se os resultados da pesquisa finlandesa ou sua reprodução neste estudo. Esse aumento de 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 atinge seu ápice de maturidade e inflete para o declínio (ERNST, 1997). Essa queda pode estar associada à colidência de propostas para o acesso ao uso dinâmico do espectro, a óbices regulatórios, ou ainda, à entrada de novas tecnologias cujo efeito técnico implique significativas vantagens e passe a convergir os esforços científicos e tecnológicos do setor.

3.2 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 4, Esforço Científico PLR TEKES SCOPUS (1970-2011) X SCOPUS (1970-2011 e 2011-2017). Percebe-se que 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, em que “&” 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	1970- 2011	2011- 2017	%
Período				
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

TERMOS	SCOPUS			
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

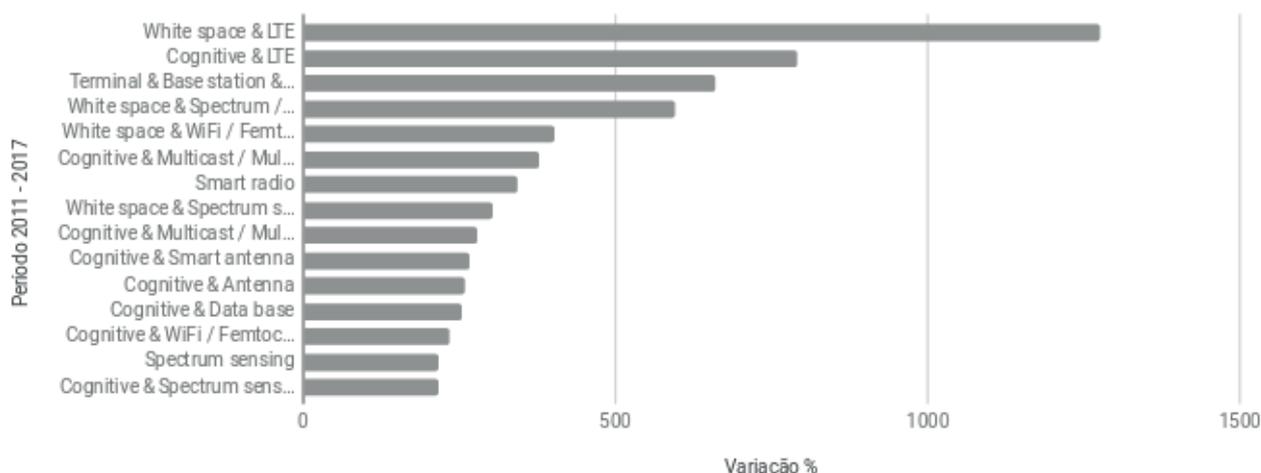
Fonte: PLR RC 2013, Trial – Cognitive Radio Innovation Landscape e Scopus da Elsevier

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 1970-2011 e 2011-2017.

Gráfico 6 – Crescimento percentual expressivo entre 1970-2011 e 2011-2017

Top 15 Período 2011 - 2017

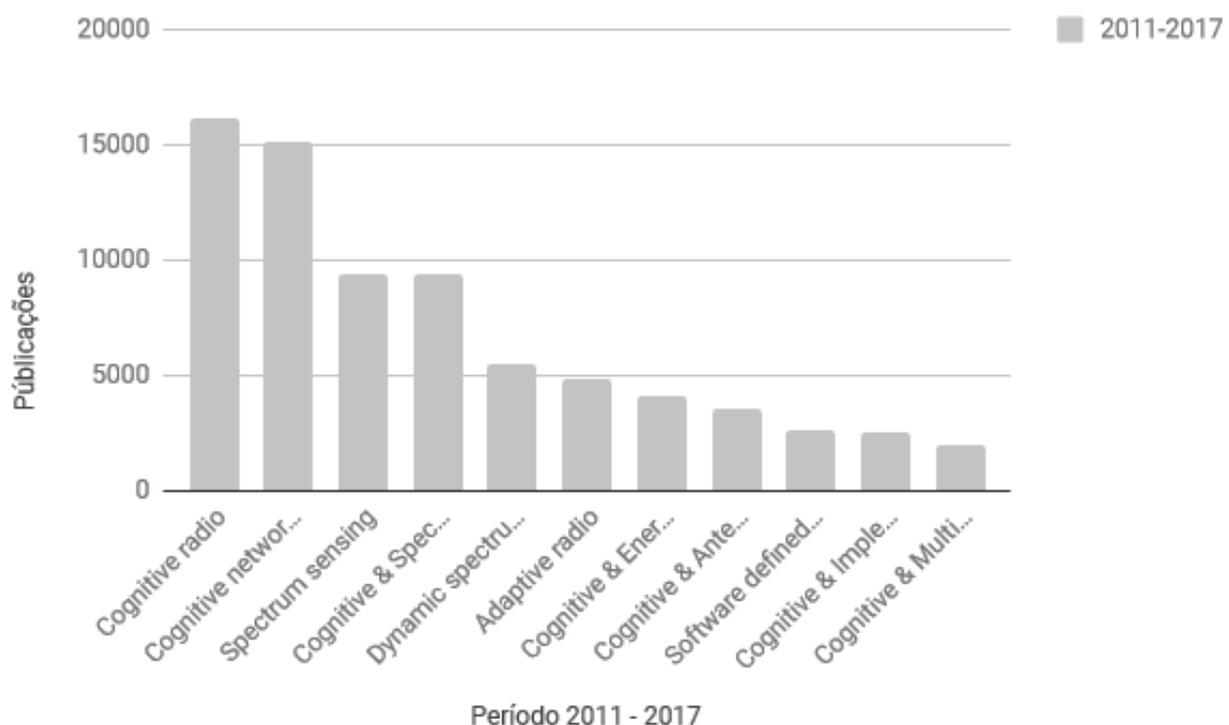


Fonte: Adaptada de Suorvita (2013) e de Scopus da Elsevier

Observa-se que o Gráfico 6 apresenta as áreas tecnológicas de crescimento científico mais intenso, responsáveis por mobilizar grande esforço acadêmico, como por exemplo em *LTE & White Space* e *Cognitive & LTE*. Esses resultados guardam semelhança aos encontrados no âmbito das patentes, o que sinaliza por um alinhamento entre as produções tecnológicas, Tabela 2 e científicas, Tabela 4. Como os valores absolutos de 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: Adaptada de Suorvita (2013) e Scopus da Elsevier (2018)

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 absoluta 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*.

4 Considerações Finais

Algumas limitações metodológicas foram assumidas para reprodução do estudo PS 1979-2011 e do monitoramento, o PS 2011-2017. Considera-se que o emprego de outro *software*, o acesso a outras bases de dados, além do período de declinação de sigilo, mormente, de dezoito meses entre a data de depósito da patente e a revelação das informações, via publicação, constituem-se elementos para admitir flutuações numéricas de resultados. Diante da relevância das fontes públicas ante as ferramentas pagas, eram esperados resultados convergentes que se confirmaram. Assim, áreas sinalizadas como promissoras ou maduras em função da emergência ou da grande incidência de documentos no estudo finlandês foram corroboradas por esta pesquisa.

A literatura tecnológica e científica de rádio cognitivo, analisada neste estudo, conforme mostram dados das Tabelas 1 e 4, respectivamente, apresentou maior intensidade no período 2011-2017 do que no período anterior, 1970-2011, considerando o estudo de Suorvita (2013). Esse aumento de intensidade expressa o esforço inovativo e o aumento da maturidade tecnológica empreendido por entidades de 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 resultados apontam para o aumento no rol de soluções para RC, no sensoriamento espectral e no compartilhamento e gerenciamento do espectro e sugerem oportunidades de mercado em áreas de elevado grau de 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 em algumas áreas 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, de produtos, de processos e de serviços inovadores que serão mais facilmente percebidos pelo público quando as tecnologias de quinta Geração proverem a conectividade de pessoas e de coisas em elevado padrão de qualidade, com maior volume de tráfego de dados e eficiência do uso do espectro, de energia e de custos.

Este trabalho apresentou perspectivas bibliométricas e uma abordagem pré-prospectiva de Roadmap Tecnológico para Rádio Cognitivo. Mais estudos são necessários para entender o comportamento dos atores na produção científica e tecnológica ao longo do tempo, permitindo descortinar cenários nesse domínio de conhecimento, visualizar riscos, potenciais oportunidades e parceiros para pesquisa e desenvolvimento (P&D). Por fim, dando sequência a este trabalho, espera-se que a presente discussão sirva de base para que estudos futuros contemplem as etapas prospectiva e pós-prospectiva de Roadmap Tecnológico para Rádio Cognitivo, ou ainda, outros métodos de prospecção tecnológica que colaborem com o desenvolvimento das telecomunicações nacionais.

Referências

ADELSTEIN, Jonathan S. *et al.* **Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing spectrum agile radio technologies (ET Docket No. 03 108)**. Washington, DC, USA: FCC, 2003.

AGIWAL, Mamta; ROY, Abhishek; SAXENA, Navrati. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.l.], v. 18, n. 3, p. 1.617-1.655, 2016.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. **Technology Roadmap: Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

BRANCO, Marcos Guimarães Castello *et al.* Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa- Visão geral das primeiras contribuições do CPqD. **Cadernos CPqD Tecnologia**, [S.l.], v. 10, p. 9, 2014.

ERNST, Holger. The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-technology in the machine tool industry. **Small business economics**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 361-381, 1997.

FIGUEIREDO, Paulo N. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

GII. **The Global Index Innovation Index**. 2018. Disponível em: <http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018.

HAYKIN, Simon; THOMSON, David J.; REED, Jeffrey H. Spectrum sensing for cognitive radio. **Proceedings of the IEEE**, [S.l.], v. 97, n. 5, p. 849-877, 2009.

HU, Feng; CHEN, Bing; ZHU, Kun. Full Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks Toward 5G: A Survey. **IEEE Access**, [S.l.], v. 6, p. 15.754-15.776, 2018.

PATENT STRATEGIES-LEXIS NEXIS. [2018]. Disponível em: <<https://internationalsales.lexisnexis.com/products/patent-strategies>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

RAMANI, Vishakha; SHARMA, Sanjay K. Cognitive radios: A survey on spectrum sensing, security and spectrum handoff. **China Communications**, [S.l.], v. 14, n. 11, p. 185-208, 2017.

SCORPUS ELSIVIER. [2018]. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>>. Acesso em: 2 abr. 2018.

SUORVITA, M. **Trial – Cognitive Radio Innovation Landscape**. 2013. Disponível em: <http://www.wipo.int/patentscope/en/programs/patent_landscapes/plrdb_search.jsp?topic_id=&language_code=&territory_id=&query=cognitive+radio>. Acesso em: 19 dez. 2017.

TRIPPE, A. Guidelines for preparing patent landscape reports. **Patent landscape reports**. Geneva: WIPO, 2015. p. 8.

Sobre os Autores

José Luiz Andrade Júnior

E-mail: andradedompsa500@gmail.com

Graduado em Intendência na Academia Militar das Agulhas Negras (2001) e em Educação Física (2008) na Escola de Educação Física do Exército. Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência Tecnológica para a Inovação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente trabalha na Agência de Gestão e Inovação Tecnológica do Exército, onde colabora na Gestão de Propriedade Intelectual e Prospecção Tecnológica.

David Fernandes Cruz Moura

E-mail: dfcmoura@gmail.com

Graduado em Engenharia de Comunicações pelo Instituto Militar de Engenharia (1997). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003). Doutor em Engenharia de Defesa pelo Instituto Militar de Engenharia (2011). Foi pesquisador do Centro Tecnológico do Exército nos períodos de 1997-2003 e 2012-2018, com pesquisas na área de sistemas de comunicações sem fio e equipamentos rádio militares. Atualmente, realiza pós-doutorado na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Suzana Borschiver

E-mail: suzana@eq.ufrj.br

Engenheira Química e Licenciada em Química, UERJ-1985/1988. Mestre e Doutora em Engenharia Química, UFRJ, 1997/2002, na área de Gestão e Inovação Tecnológica. Atua na graduação e na pós-graduação como membro permanente da Pós-Graduação em Tecnologia em processos químicos e Bioquímicos, no Mestrado Profissional em Petroquímica, em Engenharia Ambiental, com a Escola Politécnica/UFRJ e no Mestrado Profissional em Gestão, Pesquisa e Desenvolvimento na Indústria Farmacêutica, na Fiocruz. Professora e Coordenadora da disciplina Prospecção Tecnológica no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação (PROFNIT).