

Internet-of-Things

Evolução das Agendas Estratégicas de Investigação

Internet-of-Things

Strategic Research Agenda Evolution

Fábio José Ferreira da Silva

Departamento de Sistemas de Informação Universidade do
Minho

Guimarães, Portugal
a64901@alunos.uminho.pt

Jorge Oliveira e Sá

Departamento de Sistemas de Informação
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
jos@dsi.uminho.pt

Resumo — Em 2007 foi constituído o *European Research Cluster on the Internet of Things*, com o objetivo de abordar o grande potencial de recursos baseados em *Internet of Things* na Europa e coordenar a convergência das atividades em curso. Esta instituição publica periodicamente Agendas Estratégicas de Investigação com previsões de tópicos de desenvolvimento e investigação tanto a curto, médio e longo prazo. É objetivo deste artigo, estudar essas Agendas e efetuar um levantamento dos tópicos, de forma a perceber a sua evolução ao longo do tempo, isto em termos de áreas que foram já investigadas (ou que a investigação já foi iniciada) bem como aquelas ainda não foram exploradas.

Palavras Chave - *Internet of Things, IoT Research Roadmap, Agenda, European Research Cluster on the Internet of Things;*

Abstract — *The aim of European Research Cluster on the Internet of Things, established in 2007, is to address the large potential for Internet of Things-based capabilities in Europe and to coordinate the convergence of ongoing activities. This organization regularly publishes Strategic Research Agendas with short, medium and long term forecasts of development and research topics. The aim of this paper is to study these agendas and make an identification of topics, in order to understand its evolution over time, that in terms of areas that have already been researched (or the research has already started) as well as those not yet explored.*

Keywords – *Internet of Things; IoT Research Roadmap; European Research Cluster on the Internet of Things;*

I. INTRODUÇÃO

A criação por parte da União Europeia (UE) do *European Research Cluster on the Internet of Things* (IERC) foi proporcionada devido à necessidade de reunir projetos financiados pela UE nesta área, tentando desta forma definir uma visão comum assim como definir tecnologias do *Internet of Things* (IoT) [1]. Contudo os objetivos do IERC são mais abrangentes, pois pretende criar e desenvolver uma visão sobre as atividades de pesquisa de IoT na Europa, assim como definir uma estratégia de cooperação com entidades não europeias na área do IoT.

Desta forma, desde 2009 foram disponibilizadas *Agendas Estratégicas de Investigação* (SRA – *Strategic Research*

Agenda) que pretendem dar uma lista de campos a ser investigados assim como os caminhos para o futuro.

As SRAs foram disponibilizadas ao longo dos últimos anos. Verifica-se que essas agendas sofreram atualizações consoante os problemas que encontrados nas investigações realizadas. Com este trabalho pretende-se realizar uma comparação entre a primeira SRA publicada em 2009, com as SRAs de 2010, 2012 e particularmente com a SRA publicada mais recentemente, isto é, em 2014. Esta análise comparativa pretende mostrar a evolução dos tópicos propostos durante este período temporal

Este trabalho pretende responder à questão “O que é pertinente investigar em IoT?”

Assim, na secção II deste artigo, serão apresentadas as várias SRAs publicadas pela IERC. Foram publicadas SRAs nos anos 2009 [2], 2010 [3], 2012 [4] e 2014 [5]. Nessa secção será referido os tópicos referentes à área de desenvolvimento tecnológico bem como os tópicos referentes à área de investigação, devido à extensão dos objetivos de cada tópico não é possível detalha-los, no entanto são descritas as alterações/evoluções que sofreram em termos da sua dimensão. Na secção III será realizada a comparação entre as diferentes SRAs onde são identificados tópicos que apresentam interesse de investigação para a comunidade académica. Na secção IV estarão presentes as conclusões.

II. STRATEGIC RESEARCH AGENDAS

A criação de SRAs por parte da IERC permitiu identificar, ao longo dos últimos anos, um conjunto de pontos que seriam necessários para cimentar IoT na Europa tanto a curto como a longo prazo, contudo desses pontos nem todos foram cumpridos tendo sido necessário prolongar alguns desses pontos para o intervalo de tempo seguinte. As SRAs dividem pontos, entre o que é necessário investigar e o que era necessário desenvolver. Nesta secção só será dada relevância a novos tópicos, ou então a novos objetivos dentro dos tópicos que foram aparecendo ao longo das diferentes agendas publicadas.

A. SRA de 2009

Esta foi a primeira SRA a ser lançada pela IERC, dois anos após a criação da equipa de trabalho permitindo assim começar a trabalhar no conceito inicial de IoT. Nesta primeira SRA é realizada um levantamento das áreas em que o IoT está ou poderá estar presente sendo que também são identificadas as áreas a merecer uma maior atenção por parte da comunidade de investigadores e empresarial.

A SRA de 2009 tornou-se a base para as restantes SRAs que foram publicadas nos anos seguintes. A SRA identifica, separadamente, o que é necessário desenvolver a nível tecnológico, do que ainda é necessário investigar de forma a colmatar as necessidades e falhas existentes.

Do que é necessário desenvolver a nível tecnológico foram identificados doze tópicos, a saber: (1) *Identification Technology*, (2) *IoT Architecture Technology*, (3) *Communication Technology*, (4) *Network Technology*, (5) *Software and Algorithms*, (6) *Hardware Devices*, (7) *Data and Signal Processing Technology*, (8) *Discovery and Search Engine Technologies*, (9) *Power and Energy Technologies*, (10) *Security, Privacy & Trust Technologies*, (11) *Material Technology*, (12) *Standardization*.

Do que é necessário investigar foram identificados quinze tópicos, nomeadamente: (1) *Identification Technology*, (2) *IoT Architecture*, (3) *SOA Software Services for IoT*, (4) *IoT Architecture Technology*, (5) *Communication Technology*; (6) *Network Technology*; (7) *Software and Algorithms*, (8) *Hardware Devices*, (9) *Hardware Systems, Circuits and Architectures*, (10) *Data and Signal Processing Technology*, (11) *Discovery and Search Engine Technologies*, (12) *Power and Energy Technologies*, (13) *Security, Privacy & Trust Technologies*, (14) *Material Technology*, (15) *Standardization*.

Estes tópicos estão divididos cronologicamente por quatro períodos temporais: o primeiro é período é antes de 2010, o segundo está num intervalo de anos que vai de 2010 a 2015, o terceiro período está entre 2015 e 2020 e por fim o último período que é posterior a 2020. Sublinha-se que esta SRA é a única que incorporou o período temporal antes de 2010, por isso este período temporal não é considerado nas análises que são feitas ao longo deste artigo.

B. SRA de 2010

Esta SRA continua o trabalho realizado pela SRA de 2009, visto que passou somente um ano entre a publicação da SRA anterior. Porém os períodos temporais aplicados nesta SRA adequaram-se à data em que foi publicada passando desta forma a ser de 2011 a 2015, de 2015 a 2020 e por fim depois de 2020.

Nesta SRA é possível verificar que a grande parte dos tópicos se mantiveram inalterados. No entanto, dois tópicos sofreram alterações, um no que é necessário desenvolver a nível tecnológico, o tópico (6) *Hardware* incorporou a adição de mais um objetivo para o intervalo dos anos 2011 a 2015, esse objetivo consiste na integração de NFC nos telemóveis e sensores; e no que é necessário investigar foi adicionado ao tópico (6) *Network Technology* o objetivo de incorporar sistemas baseados em sensores RFID, este objetivo também foi adicionado ao intervalo temporal 2011 a 2015.

Os dois novos objetivos foram os únicos a serem adicionados em todos os períodos temporais presentes na SRA de 2010 [3].

C. SRA de 2012

Nesta SRA já é possível identificar algumas diferenças em relação às SRAs anteriores, principalmente devido ao desenvolvimento e investigação em IoT estar mais maduro, pois passaram três anos desde o lançamento da SRA de 2009. Mais uma vez, os períodos temporais usados nesta SRA foram ajustados à data que foi publicada, sendo que os períodos são: 2012 a 2015, 2015 a 2020; e mantendo o mesmo período das SRAs anteriores, isto é, depois de 2020.

À medida que o conhecimento sobre o tema IoT vai aumentando, é provável que novos tópicos surjam. Dessa forma, nesta SRA aparecem sete novos tópicos que estão repartidos da seguinte forma: dois novos tópicos para o desenvolvimento a nível tecnológico e cinco novos tópicos para a investigação.

Do que é necessário desenvolver a nível tecnológico surgem os tópicos (13) *IoT Infrastructure* e (14) *IoT Applications*, passando a conter um total de catorze tópicos.

Do que é necessário investigar o tópico identificado a nível tecnológico (16) *IoT Infrastructure* e (17) *IoT Applications* também é identificado, juntando-se ainda três novos tópicos, a saber: (18) *Social Responsibility*; (19) *Governance (legal aspects)*; e (20) *Economic*. Contudo perde-se o tópico (15) *Standardization*. Dessa forma, fica a conter dezoito tópicos.

No entanto, a SRA de 2012 não é só marcada pela introdução de novos tópicos, mas também por dar grande relevância às tecnologias de segurança para IoT.

Nesta SRA são acrescentados, para além dos novos tópicos, vinte e oito novos objetivos distribuídos pelas diferentes áreas e tópicos, para além de estarem distribuídos por períodos temporais diferentes.

Do que é necessário desenvolver a nível tecnológico, surgem dez novos objetivos. Desses, seis surgem para o período temporal de 2012 a 2015 e estão distribuídos pelos tópicos da seguinte maneira: um no (5) *Software and Algorithms*; um no (6) *Hardware*; um no (12) *Standardization*; e três no (10) *Security, Privacy & Trust Technologies*. Os restantes quatro objetivos surgem no período temporal 2015 a 2020, todos eles no mesmo tópico no (10) *Security, Privacy & Trust Technologies*.

Do que é necessário investigar surgem dezoito novos objetivos sendo que dez deles estão presentes no período temporal entre 2012 e 2015, a saber: um no (9) *Hardware Systems, Circuits and Architectures*; dois no (3) *SOA Software Services for IoT*; e os últimos sete estão presentes no (13) *Security, Privacy & Trust Technologies*. Dos restantes oito objetivos que faltam, quatro deles estão presentes no (13) *Security, Privacy & Trust Technologies* e os outros dois estão no tópico (3) *SOA Software Services for IoT*, ambos para o período temporal de 2015 até 2020. Os restantes quatro objetivos estão divididos equitativamente pelos tópicos (14) *Material Technology* e (3) *SOA Software Services for IoT*, isto para o período temporal depois de 2020 [4].

D. SRA de 2014

Nesta SRA, que até ao momento da escrita de este artigo era a mais atual, surge o aparecimento de um novo tópico *Interoperability* tanto na área de desenvolvimento em que fica como o tópico (15), como na área de investigação em que fica como tópico (20).

Surgem ainda vinte e um novos objetivos que estão distribuídos da seguinte forma: dez para a área de desenvolvimento e onze para a área de investigação. Do que é necessário desenvolver a nível tecnológico, quatro pertence ao tópico (14) *IoT Applications*, e três pertencem ao tópico (5) *Software and Algorithms* ambos no período temporal de 2015 a 2020, os restantes três pertencem aos seguintes tópicos (2) *IoT Architecture Technology*, (3) *Communication Technology*; e (5) *Software and Algorithms* todos eles para o período temporal após 2020. Do que é necessário investigar surgem onze novos objetivos, dos quais cinco correspondem ao tópico (16) *IoT Applications*, três do tópico (6) *Network Technology* ambos para o período temporal de 2015 a 2020, os últimos três correspondem aos tópicos: (16) *IoT Applications*, (6) *Network Technology* e (18) *Governance (legal aspects)* para o período temporal depois de 2020 [5].

Na Tabela 1 pode-se ver a evolução dos objetivos que cada tópico sofreu ao longo das diversas SRAs. A primeira linha representa todos os tópicos publicados, estão representados vinte e um tópicos, mas na área de desenvolvimento correspondem somente a quinze, enquanto na área de investigação estão representados vinte e um, mas na realidade o tópico (15) deixou de ser considerado a partir da SRA de 2012 e nesse mesma SRA surgiram cinco novos tópicos (16), (17), (18), (19) e (20), tendo o tópico (21) surgido somente na SRA de 2014. As restantes linhas representam as quatro SRAs publicadas, cada uma está dividida em três linhas, e cada linha mostra a previsão para os períodos temporais dos objetivos. Quando um campo tem dois valores separados por uma barra (/), o primeiro representa os objetivos da área de desenvolvimento e o segundo corresponde à área de investigação, e sempre que num campo exista um hífen (-) significa que aquele tópico não teve qualquer objetivo. Por fim, quando um campo está preenchido a azul claro, representa a inexistência desse tópico na SRA.

III. COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES SRAS

Nesta comparação parte-se do pressuposto que quando um objetivo de um tópico não é adiado para o período temporal conseqüente é porque o mesmo foi concluído com sucesso, ou então deixou de ter relevância para a área de IoT. De forma a acompanhar a evolução das SRAs será realizada uma comparação entre os anos: 2009 e 2010; 2010 e 2012; e 2012 e 2014.

É importante realçar que as diversas SRAs apresentam poucas diferenças, sobretudo porque o espaço temporal que as separa não é muito grande.

Assim, entre os anos 2009 e 2010, verifica-se que a SRA 2010 apresenta uma maior preocupação em definir alguns tópicos que no ano 2009 se encontravam pouco definidos, como é o caso do *Network Technology* e *Communication Technology* que foram adequados à realidade da área de IoT.

Relativamente aos objetivos verifica-se que diminutas alterações foram efetuadas, no entanto, merece referência um objetivo que se atrasou, pois estava delineado para o período temporal antes de 2010, que era a convergência entre os IP's e ID's e o esquema de endereçamento, este objetivo tornou-se mais alcançável devido à gradual implementação do IPv6 [2, 3, 6].

Comparando agora os anos 2010 com 2012, verifica-se que na SRA 2012 surgem sete novos tópicos. Ao analisar os tópicos que estão a ser adicionados pode-se constatar a existência das primeiras adições no que concerne à implementação de IoT no mundo real. Através da observação dos objetivos que aparecem nesta SRA, constata-se que estes estão relacionados a duas áreas, a saber: processos, com a criação de infraestruturas/ normas que permitam a integração de IoT e o uso num meio industrial através do uso de sensores ao longo de um processo de negócio, bem como a modelação e conceção de IoT consistente para processos de negócio e ainda a criação de processos de IoT distribuídos; e segurança dos dados, e aqui verifica-se um maior número de objetivos que se centram em técnicas de privacidade para manter o anonimato, técnicas que garantam a privacidade dos utilizadores assim como dos seus dados, novos métodos para avaliar a confiança nos dispositivos e nos dados e métodos que garantam a segurança das plataformas e dos dados. Contudo, na SRA 2012 existe uma situação que é necessário realçar e que consiste na eliminação do tópico *Standardization* na área de investigação, isto é justificado porque os objetivos deste tópico na SRA anterior foram redefinidos e colocados em diferentes tópicos existentes ou então nos novos criados na SRA de 2012 [3, 4].

Por fim, será realizada a comparação entre os anos 2012 e 2014, esta última já focada no período temporal de 2015 a 2020. Nesta comparação verificar-se-á o número de objetivos que se atrasaram entre o ano de 2012 e 2014, para tal a área de desenvolvimento tecnológico e a área de investigação irão ser analisadas separadamente. Na primeira área, para o período temporal de 2015 a 2020, é possível verificar que dos cinquenta e três objetivos distribuídos por catorze tópicos presentes na última agenda, dezasseis deles resultaram de objetivos que deviam ter sido concretizados no período temporal anterior, só que devido a diversos fatores, que são indiferentes para esta análise, não o foram, relativamente ao período temporal posterior a 2020 a maioria dos objetivos mantiveram-se conforme a agenda anterior sendo de realçar que somente um objetivo se atrasou e houve o aparecimento de quatro novos. Na segunda área, verifica-se que existe um total de cento e dezasseis objetivos distribuídos por dezoito tópicos para o período temporal entre 2015 a 2020, sendo que quarenta e sete desses objetivos transitam do período temporal anterior, porque não foram concretizados atempadamente, verifica-se que surgiram quinze novos objetivos e há dois tópicos que merecem destaque: *IoT Applications*, que realça as aplicações móveis para IoT; e *Communications Technology* que destaca as novas redes como é o caso do 5G referenciado nos objetivos da SRA de 2014. Nesta SRA, em relação à anterior, o tópico *Social Responsibility* desaparece contudo os seus objetivos não foram distribuídos por outros tópicos sendo que a justificação é que os mesmos não se conseguem aplicar enquanto o IoT não atingir uma maior maturidade [4, 5].

TABELA 1 – RELACIONAMENTO DO NÚMERO DE OBJETIVOS PRESENTES POR CADA TÓPICO DAS SRAs AO LONGO DOS ANOS

Tópicos SRAs		Identification Technology	IoT Architecture Technology	Communication Technology	Network Technology	Software and Algorithms	Hardware Devices	Data and Signal Processing Technology	Discovery and Search Engine Technology	Power and Energy Technology	Security, Privacy and Trust Technology	Material Technology	Standardization	IoT Architecture	SOA Software Services for IoT	Hardware Systems, Circuits and Architectures	IoT Infrastructure	IoT Applications	Social Responsibility	Governance (legal aspects)	Economic	Interoperability	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(15)	(2)	(3)	(9)	(13)	(14)	(18)	(19)	(20)	(21)
Desenvolvimento		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)				(13)	(14)					(15)
Investigação		(1)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(2)	(3)	(9)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	
SRA 2009	2010-2015	3/4	1	5/4	5/6	4/8	3/12	2/2	2/4	3/6	3/2	3/5	3/3	3/7	1	10							
	2015-2020	3/1	1	1/3	1/3	3/4	2/9	1/2	1/2	4/3	3/4	1/1	1/2	2/5	1	6							
	Depois de 2020	1/1	-	1/1	2/4	5/2	1/2	1/1	2/1	2/1	1/1	-/-	1/2	2/1	-	2							
SRA 2010	2011-2015	3/5	1	5/4	5/7	4/8	4/12	2/2	2/4	3/6	3/2	3/5	3/3	4/7	1	10							
	2015-2020	3/1	1	1/3	1/3	3/4	2/9	1/2	1/2	4/3	3/4	1/1	1/2	2/5	1	6							
	Depois de 2020	1/1	-	1/1	1/4	5/2	1/2	1/1	2/1	2/1	1/1	-/-	1/2	2/1	-	2							
SRA 2012	2012-2016	3/5	1	5/4	5/7	5/8	6/12	2/2	2/4	3/6	6/9	3/5	4	4/7	3	11	3/2	2/3	2	2	1		
	2016-2020	3/1	1	1/2	1/3	3/4	2/9	1/2	1/2	4/3	6/8	1/1	2	2/5	2	7	3/3	1/1	1	1	-		
	Depois de 2020	1/1	-	1/1	2/4	5/2	1/2	1/1	2/1	2/1	2/3	1/1	1	2/1	1	2	1/1	1/1	-	-	-		
SRA 2014	2015-2020	5/5	1	6/10	4/8	6/11	4/15	2/4	2/6	2/5	8/12	2/3	4	4/8	3	12	4/4	6/7			2	2	4/2
	Depois de 2020	1/1	-	2/1	3/5	6/2	1/2	1/1	2/1	2/1	2/3	2/1	1	2/4	1	2	2/1	1/2			1	-	1/1

Desta comparação identifica-se que há tópicos pertinentes para quem pretender investigar sobre IoT. Não se pretende efetuar investigação em tópicos tecnológicos, pois considera-se que o mercado já responde ou irá responder às necessidades de IoT. Assim, o tópico interoperabilidade (*Interoperability*) que surgiu na última SRA e que levanta questões relacionadas com as arquiteturas de IoT (*IoT Architecture*) que por sua vez está relacionada com serviços (*SOA Software Services for IoT*), essas arquiteturas deverão correr aplicações (*IoT Applications*) de uma forma segura (*Security, Privacy & Trust Technologies*) e que retornem valor pela sua utilização (*Economic*). Considera-se que estes tópicos podem ser relevantes para investigar, sobretudo no estado de maturidade em que IoT se encontra. Relativamente aos tópicos *Social Responsibility* e *Governance (legal aspects)* poderiam também ser considerados, mas como referido atrás IoT ainda não atingiu o estado de maturidade necessário para considerar estes tópicos [5].

IV. CONCLUSÕES

Estes primeiros anos da IoT não podem ser considerados anos de sucesso, porque verifica-se que os objetivos lançados na primeira SRA em 2009 para o período temporal de 2010 até 2015, somente 49,57% dos objetivos foram cumpridos (cinquenta e sete dos cento e quinze propostos), sendo que está de forma equivalentemente repartido pela área de desenvolvimento tecnológico e pela área de investigação.

Contudo, verifica-se que tem sido realizado algum esforço na determinação de condições para a praticabilidade de implementações reais de IoT, a maioria desse esforço está dirigido para a criação de *framework's* que permitam a implementação de IoT em qualquer tipo de ambiente real.

Desta forma, são identificados tópicos que poderão ser usados como bases para a investigação da evolução da IoT.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo projeto QVida+: Quality of Life Continuous Estimation for Effective Clinical Decision Support, N°2015/003446 P2020 SI I&DT, (NUP, NORTE-01-0247-FEDER-003446). Foi também suportado pela Optimizer-Lda, e pelo COMPETE: POCI-01-0145-FEDER-007043 e FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia UID/CEC/00319/2013

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] "About IERC," 2015. [Online]. Available: http://www.internet-of-things-research.eu/about_ierc.htm.
- [2] O. Vermesan, F. Peter, G. Patrick, G. Sergio, B. Harald, Sundmacker Alessandro, J. Ignacio Soler, M. Margaretha, H. Mark, E. Markus, and D. Pat, "Internet of Things: Strategic Research Roadmap," *Internet Things Strateg. Res. Roadmap*, no. January 2016, pp. 1–50, 2009.
- [3] O. Vermesan, P. Friess, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmacker, A. Bassi, I. S. Jubert, M. Mazura, M. Harrison, M. Eisenhauer, P. Doody, F. Peter, G. Patrick, G. Sergio, B. Harald, Sundmacker Alessandro, J. Ignacio Soler, M. Margaretha, H. Mark, E. Markus, and D. Pat, "Internet of Things Strategic Research Roadmap," *Internet Things Strateg. Res. Roadmap*, pp. 9–52, 2010.
- [4] M. Lerner, "Internet of Things 2012 New Horizons," p. 360, 2012.
- [5] O. Vermesan and P. Friess, *Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment*. 2014.
- [6] S. Deering, and R. Hinden, "Internet protocol, version 6 (IPv6) specification", 1998.