

Revisão sistemática de cidades inteligentes e internet das coisas como tópico de pesquisa

BELMIRO DO NASCIMENTO JOÃO¹

CRISOMAR LOBO DE SOUZA¹

FRANCISCO ANTONIO SERRALVO¹

¹ PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO (PUC-SP) / DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO, SÃO PAULO – SP, BRASIL

Resumo

Este estudo tem por objetivo analisar a literatura acadêmica atual sobre cidades inteligentes (*Smart Cities*) e internet das coisas (*Internet of Things*), utilizando análise bibliométrica e análise de conteúdo quantitativa. Essencialmente, consiste em extrair dados das bases Web of Science: citações, idiomas, países, autores e trabalhos mais relevantes, palavras-chave, instituições, conferências e periódicos. Os resultados confirmam que a literatura mais proeminente sobre cidades inteligentes (CIs) e IoT Internet das Coisas se concentrou em países avançados com longa tradição de inovação e pesquisa em tecnologia da informação (TI), mostrando um padrão similar. O estudo se inspira em percepções dessa análise e observa algumas advertências e oportunidades para futuras pesquisas. Desenvolveu-se uma agenda de pesquisa e sugestões de novas questões teóricas para pesquisadores em CIs e IoT.

Palavras-chave: Revisão sistemática. Mineração de texto. Cidades inteligentes. Internet das coisas. Inovação.

A systematic review of smart cities and the internet of things as a research topic

Abstract

This study aims to analyze the current academic literature on Smart Cities and the Internet of Things using bibliometric analysis and quantitative content analysis. It primarily consists of extracting data from the web-of-science: citations, languages, countries, most prolific authors, the most relevant works, keywords, institutions, conferences, and journals. Results confirm that the most preeminent literature on Smart Cities and the Internet of Things focuses on developed countries with a long tradition of innovation and IT research showing a similar pattern. From this analysis, limitations and opportunities for future studies are observed. A research agenda and suggestions for new theoretical questions were developed for scholars of Smart Cities and the Internet of Things.

Keywords: Systematic Review. Text mining. Smart Cities. Internet of Things. Innovation.

Revisión sistemática de las ciudades inteligentes e internet de las cosas como tema de investigación

Resumen

Este estudio tiene como objetivo analizar la literatura académica actual sobre ciudades Inteligentes (*smart cities*) e internet de las cosas, utilizando análisis bibliométrico y análisis de contenido cuantitativo. Esencialmente, consiste en extraer datos de las bases Web of Science: citas, idiomas, países, autores y trabajos más relevantes, palabras clave, instituciones, conferencias y periódicos. Los resultados confirman que la literatura más prominente sobre ciudades inteligentes e internet de las cosas se concentró en países avanzados con una larga tradición de innovación e investigación en TI, mostrando un patrón similar. El trabajo se inspira en percepciones de este análisis y observa algunas advertencias y oportunidades para futuras investigaciones. Se desarrolló una agenda de investigación y sugerencias de nuevas cuestiones teóricas para investigadores de ciudades inteligentes e internet de las cosas.

Palabras clave: Revisión sistemática. Minería de textos. Ciudades inteligentes. Internet de las cosas. Innovación.

Artigo submetido em 31 de março de 2018 e aceito para publicação em 07 de dezembro de 2018.

[Versão traduzida]

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395174442>

INTRODUÇÃO

As tecnologias digitais estão transformando a maneira como vivemos. Exemplos são computação em nuvem (*cloud computing*), internet das coisas (*Internet of things – IoT*), cidades inteligentes (CIs), robótica avançada, *big data*, inteligência artificial (artificial intelligence – AI), impressão tridimensional, realidade virtual, biotecnologia, internet de banda larga e mobilidade sem fio. A internet de banda larga, a mobilidade sem fio, a digitalização da informação e a globalização dos negócios não são novidade e oferecem novas possibilidades. No entanto, os avanços em tecnologia da informação (TI) vêm alterando a dinâmica do crescimento econômico e o modo como as cidades e tais avanços se relacionam com os cidadãos.

Este artigo tem por objetivo levantar o estado atual da literatura acadêmica sobre CIs e IoT e, assim, identificar e analisar sua base de conhecimento utilizando análise bibliométrica e análise quantitativa de conteúdo.

Em estudos anteriores, o método de análise bibliométrica foi aplicado em diferentes áreas (DURISIN e PUZONE, 2009; DI STEFANO, PETERAF e VERONA, 2010). Especificamente, em relação às CIs, a pesquisa inclui o trabalho de De Jong, Joss, Schraven et al. (2015). Este artigo, refletindo desenvolvimentos recentes, identifica novas categorias como: cidades sustentáveis; cidades verdes; cidades digitais; CIs; cidades de informação; cidades do conhecimento; cidades resilientes; cidades ecológicas; cidades de baixo carbono; e cidades habitáveis – há, ainda, combinações como “cidades ecológicas de baixo carbono” e “cidades ecológicas onipresentes”, bem como as propostas por Bayulken e Huisingh (2015). Em outro trabalho recente, Ojo, Dzhusupova e Curry (2016) usam a metodologia bibliométrica para discutir o fenômeno em CIs e adotam uma compreensão emergente do conceito de “cidade inteligente”. Além disso, Mondall e Zulfi (2017) discutiram a IoT e a rede de sensores sem fio (*wireless sensor network – WSN*) estão se tornando uma realidade e suas interconexões para dispositivos inteligentes vêm aumentando. Dispositivos inteligentes são integrados com sensores e sistemas embarcados para oferecer serviços avançados e combinam-se com a IoT para o desenvolvimento de uma CI.

Mostra-se desafiador realizar uma revisão bibliométrica completa, devido à falta de consenso na literatura sobre o que são CIs e à diversidade de denominações que são usadas como sinônimos. Não é fácil identificar padrões claros nos dados ou generalizar os resultados de estudos que mostram contextos específicos de países. Buscamos fazer um uso mais sofisticado da metodologia bibliométrica e da análise quantitativa de conteúdo (mineração de texto) e, desse modo, uma avaliação mais abrangente da literatura.

Esta investigação é motivada por duas questões de pesquisa:

- 1) Quais contribuições recentes têm impulsionado a agenda de pesquisa para cidades inteligentes e internet das coisas?
- 2) Quais tópicos emergentes na literatura são suscetíveis de definir o cenário para futuros trabalhos?

Este artigo se estrutura da seguinte forma: a próxima seção apresenta uma revisão conceitual das CIs e da IoT. A seção 3 descreve o método e os dados, explicando os termos adotados pela pesquisa para recuperar os dados e apresentando as ferramentas usadas para analisá-los. A seção 4 apresenta os resultados das análises. Por fim, a seção 5 apresenta os achados do presente trabalho concluindo avenidas viáveis para novas pesquisas e outras abordagens promissoras para informar a investigação sobre de discutir as limitações do trabalho.

BASES TEÓRICAS

Internet das coisas

A rede de pessoas, coisas e dados é conhecida como a IoT e traz aumento do bem-estar das pessoas por meio de sistemas de automação residencial e estacionamento inteligente, entre outros (BATALLA, MASTORAKIS, MAVROMOUSTAKIS et al., 2017). Para De Matos, Amaral e Hessel (2017), a ideia básica da IoT é a presença generalizada em torno das pessoas e uma variedade de coisas ou objetos, como etiquetas de identificação por radiofrequência (radio-frequency IDentification – RFID) e sensores, entre outros recursos, que se conectam para atingir objetivos comuns. O termo “internet das coisas” veio dos fundadores do MIT Auto-ID Center, com menção de Kevin Ashton, em 1999, e David L. Brock, em 2001 (ASHTON, 2009; BROCK, 2001). O termo “Auto-ID” se refere às tecnologias de identificação utilizadas para automatizar, reduzir erros e aumentar a eficiência

nas indústrias; elas incluem códigos de barras, cartões inteligentes, sensores, reconhecimento de voz e biometria (SANTUCCI, 2010). Segundo Santucci (2010), foi somente em 2005 que o conceito de IoT ganhou destaque, quando a União Internacional de Telecomunicações (UIT) publicou o primeiro relatório sobre o assunto. Em seguida, adotando uma abordagem abrangente e holística, sugerindo que a IoT irá conectar os objetos de forma sensorial e inteligente, combinou-se a identificação dos itens: sensores, redes sem fio e nanotecnologia. Para Sundmaeker, Guillemin, Friess et al. (2010), esse é apenas o começo; os autores preveem entre 50 e 100 bilhões de dispositivos conectados até 2020.

Nos últimos anos, a IoT vem gerando novos desafios para a área de tecnologia da informação e comunicação (TIC). A conexão dos mundos físico e virtual faz com que as características das fontes de dados sofram mudanças constantes, ativando novas formas de comunicação –entre pessoas e coisas e entre coisas. Portanto, a IoT promete criar um mundo onde todos os objetos ao nosso redor estejam conectados à internet e comuniquem-se com a menor intervenção humana possível (DE MATOS, AMARAL e HESSEL, 2017). Para o sucesso dessas implementações, a IoT conta com a solução prática para alguns desafios técnicos, incluindo recursos aperfeiçoados de sensores, miniaturização de sensores, manipulação de *big data* e gerenciamento eficiente de dados remotos, bem como a implementação de processos abertos e seguros para os vários cenários de IoT (BATALLA, MASTORAKIS, MAVROMOUSTAKIS et al., 2017). Segundo Vashi, Ram, Modi et al. (2017), a proliferação de dispositivos de comunicação com ativação, o acesso a novas fontes de informação e a evolução do sistema móvel favorecem novas aplicações revolucionárias que contribuem para a evolução da IoT. Segundo o autor, o uso de uma estrutura escalável baseada em nuvem proporciona a flexibilidade necessária para atender às diversas necessidades de diferentes setores. Possibilita que redes, computação, armazenamento e visualização se separem, permitindo, assim, um crescimento independente em todos os setores, mas se complementando em um ambiente compartilhado (VASHI, RAM, MODI et al., 2017).

Vashi, Ram, Modi et al. (2017) afirmam que vem ocorrendo uma revolução radical da internet, não se trata apenas de uma rede que interage com os objetos conectados, extraindo informações do ambiente sensorial, e interage com o meio físico, ela também verifica padrões na rede para fornecer informações, novas aplicações e comunicação. Tudo isso é impulsionado pela tecnologia sem fio, como Bluetooth, RFID, Wi-Fi e serviços de dados por telefone, todos incorporados com dispositivos sensores e gatilhos. Com os avanços e a convergência da tecnologia de sistemas microeletromecânicos (*microelectromechanical systems* – MEMS), digitais, a nova miniatura sem fio surgiu com a capacidade de detectar, computar e comunicar em curtas distâncias. Esses dispositivos formam uma WSN com aplicação completa em monitoramento ambiental, monitoramento de infraestrutura, monitoramento de tráfego e varejo (VASHI, RAM, MODI et al., 2017).

Vashi, Ram, Modi et al. (2017) apresentam uma classificação de três componentes necessários para a IoT: a) *hardware*, composto por sensores e *triggers* agrupados com comunicação; b) *middleware*, *software* de interface para vários dispositivos, armazenamento sob demanda e ferramentas de desenvolvimento para análise de dados; e c) interface de exibição para novas ferramentas de visualização e interpretação, que podem ser amplamente acessadas em diferentes plataformas e podem ser projetadas para diferentes aplicações (VASHI, RAM, MODI et al., 2017). Kim (2016), considera três fatores essenciais para a difusão da IoT: a) humanos; b) fábricas; e c) cidades. Para o autor, as fábricas são consideradas mais críticas, devido à rápida inovação que vem ocorrendo na produção, assim, recomenda-se que, na fase inicial, os agentes econômicos de IoT se concentrem no setor de *hardware* e posteriormente no setor de *software*, como serviços baseados em *big data* (KIM, 2016).

Elementos da tecnologia da internet das coisas

A IoT vem ganhando força rapidamente dos fabricantes e, mais recentemente, das empresas de serviços. A adoção dessa tecnologia decorre das pressões tecnológicas, sociais e competitivas que impulsionam as empresas a inovar e transformar (KIM, 2016). Além disso, à medida que a tecnologia avança, a capacidade de comunicação e processamento para aumentar a interconectividade se torna mais acessível (SUNDMAEKER, GUILLEMIN, FRIESS et al., 2010). Embora cada autor tenha uma peculiaridade em relação aos fatores mais críticos da IoT, todos concordam que a conectividade e os dados, *big data*, são essenciais para o desenvolvimento de novas aplicações (BATALLA, MASTORAKIS, MAVROMOUSTAKIS et al., 2017; KIM, 2016; VASHI, RAM, MODI et al., 2017). Nesse contexto, três tecnologias estão avançando rapidamente – a) RFID; b) WSN; e c) *big data* e *business analytics*:

- 1) A RFID utiliza ondas de rádio para capturar dados, permite a identificação automática (KIM, 2016);
- 2) As WSN têm atraído atenção para pesquisas em diferentes disciplinas, devido à crescente disponibilidade de microprocessadores com comunicação sem fio (LANGMANN, NIEDERMEIER, MEER et al., 2013). A WSN, que consiste

em dispositivos equipados com sensores autônomos para monitorar condições físicas ou ambientais, junto com os sistemas RFID, pode rastrear o *status* de itens como localização, temperatura e movimentos (KIM, 2016). Nos últimos anos, a tecnologia de sensores avançou nas redes, possibilitando novas aplicações, principalmente com IoT. Seu uso aparece nos campos de segurança e proteção, bem como nos dispositivos de IoT que vêm sendo implantados para construir as chamadas CIs (LANGMANN, NIEDERMEIER, MEER et al., 2013).

- 3) *Big data e business analytics*, IoT, com seus sensores incorporados capturam grandes quantidades de dados e os transmitem para ferramentas de *business intelligence* e *analytics*. Esses dados são usados para resolver problemas de negócios e fornecer serviços de valor agregado aos clientes (KIM, 2016). Essa quantidade significativa de dados requer inteligência computacional e técnicas de *software* para análise de dados com vistas a manter, recuperar, armazenar e enviar informações. Assim, *big data* contém informações extensas geradas pela tecnologia da IoT (DEY, HASSANIEN, BHATT et al., 2018). A análise de *big data* é o tema atual da pesquisa, entretanto, para o manejo de dados estruturados e não estruturados é necessário usar ferramentas e técnicas de conhecimento altamente especializado para entender seus conceitos (FOWDUR, BEEHARRY, HURBUNGS et al., 2018).

Cidades inteligentes

Os estudos sobre o fenômeno das CIs são relativamente recentes, surgiram a partir do início dos anos 1990 (HAJDUK, 2016) e ganharam força após o levantamento de Béatrice Van Bastelaer – o caso da cidade digital de Amsterdã (VAN BASTELAER e LOBET-MARIS, 1998). A partir de então, foi surgindo uma série de avanços sucessivos no assunto. Para Cocchia (2014), situações tecnológicas como o surgimento da internet, situações de política ambiental global, investimentos e estratégias em cidades digitais e pesquisas sobre esses temas foram as causas do aumento do número de artigos publicados sobre cidades inteligentes/cidades digitais após 2009.

O conceito de “cidade inteligente” tem várias definições: cidade do conhecimento, cidade sustentável e cidade digital. Até a década de 1990, “cidades digitais” era o termo mais usado, hoje, o mais frequente é “cidades inteligentes”. Entende-se por digital o acesso a computadores e a implantação da internet no espaço urbano (QI e SHAOFU, 2001). Inteligente se refere a processos de computador sensíveis ao contexto, lidando com um grande volume de dados (*big data*), redes em nuvem e comunicação independente entre vários objetos (IoT) (SU, LI e FU, 2011). Inteligente, aqui, é sinônimo de uma cidade em que tudo é ambientalmente sensível e que produz, consome e distribui muita informação em tempo real (DAMERI, 2013).

Muitos elementos e dimensões que caracterizam uma CI emergiram da análise da literatura (ALBINO, BERARDI e DANGELICO, 2015). As descrições de CI incluem melhor qualidade para pessoas e comunidades, bem como TIC. O contexto de uma CI está relacionado a uma área geográfica definida onde os cidadãos se beneficiam com o bem-estar das altas tecnologias, logística, produção de energia, entre outros fatores, possibilitando a inclusão e participação dos cidadãos na qualidade ambiental (DAMERI, 2013). Para Cocchia (2014), a difusão das CIs é impulsionada principalmente pelo progresso tecnológico, e esse fenômeno está se espalhando rapidamente; o resultado tem sido uma ideia nova e inovadora sobre a cidade e a vida urbana: mais bonita, mais inclusiva, mais verde e limpa. Agora, as CIs são vistas como uma estratégia vital para melhorar a qualidade de vida de bilhões de pessoas que vivem em cidades ao redor do mundo (COCCHIA, 2014). Na nova economia digital, a percepção das CIs está aumentando, proporcionada pela integração de infraestruturas urbanas com TIC, permitindo que organizações públicas e privadas desenvolvam projetos de novos produtos ou serviços mais focados no cliente (LI, NUCCIARELLI, RODEN et al., 2016).

Embora a discussão sobre “cidades inteligentes” tenha ganhado força nos últimos anos, sua definição ainda não está totalmente consolidada, e é por isso que o planejamento estratégico nesse campo ainda não é amplamente explorado (ANGELIDOU, 2014, 2015). Para Angelidou (2014), o planejamento estratégico para CIs ainda é uma ideia um tanto abstrata, porque o assunto ainda não é amplamente explorado e existem interesses conflitantes de partes interessadas, governos locais, instituições de pesquisa e provedores de tecnologia. Além disso, há uma tendência a acreditar que a inovação tecnológica transformou automaticamente uma cidade em uma CI. Komninos (2011) argumenta que as soluções inteligentes adotadas pelas cidades tiveram impactos limitados na competitividade, no emprego e na sustentabilidade das cidades. Para o autor, as CIs ainda não estão prontas para os desafios das cidades. As soluções ocorrem devido ao avanço da tecnologia, e não à demanda e às necessidades geradas. Também há o fato de que as cidades não implementam soluções de maneira eficiente e uma compreensão mais profunda do que faz uma cidade ser classificada como “cidade inteligente”.

Para Angelidou (2014), o tema das CIs ainda está sendo explorado. É moldado por suas características locais, prioridades, necessidades e tecnologia disponível, além de ser influenciado pelas forças do mercado global. Na revisão bibliográfica, não se observou uma estratégia única para a concepção de CIs, e existem várias maneiras que levam a diferentes decisões com resultados diferentes (ANGELIDOU, 2014). Muitos pesquisadores apoiam a visão integrada de uma CI, argumentando que nenhum sistema único opera isoladamente: transporte, energia, educação, saúde, edifícios, infraestrutura, alimentos, água e segurança pública (DIRKS e KEELING, 2009). Para Kanter e Litow (2009), esse conceito deve ser difundido em cada subsistema de uma CI para ser visto como um todo orgânico. Vários outros autores compartilham a ideia de CIs; no entanto, o conceito de “cidade inteligente” está longe de limitar-se à aplicação de tecnologias às cidades. Os usos do termo “cidades inteligentes” estão proliferando sem definições acordadas e isso cria confusão entre os formuladores de políticas urbanas (ALBINO, BERARDI e DANGELICO, 2015).

Para Albino, Berardi e Dangelico (2015), as cidades devem encontrar formas de gerenciar novos desafios, como algumas que buscam soluções com efeitos positivos a longo prazo na economia. Hoje, para criar CIs mais inovadoras e eficientes, elas enfatizam o uso de TICs, mas negligenciam a necessidade de integração entre diversos atores que apoiam CIs (KOMNINOS, 2011). Nesse sentido, Komninos (2011), afirma que a pesquisa deve focar mais as arquiteturas de integração entre os aspectos digitais e físicos das cidades. Porque a necessidade de soluções que ligam o espaço físico e os elementos digitais das cidades é muito mais significativa do que a demanda por aplicativos independentes e soluções digitais, portanto, segundo o autor, criar soluções integradas é a chave para maior inteligência espacial em CIs. Embora o número de pesquisas detalhadas sobre CIs tenha aumentado nas últimas duas décadas, não existe uma estrutura sistemática para analisar e catalogar modelos de operações para CIs. Há necessidade de análise mais aprofundada, bem como mais detalhes para ajudar na implementação de iniciativas de CIs (KOMNINOS, 2011).

Pesquisas sobre a estrutura espacial e econômica das cidades incluem cada vez mais novos fatores de desenvolvimento, como, entre outras coisas, a tecnologia, que é importante no desenvolvimento urbano, proporcionando novas possibilidades e permitindo economia de tempo e energia. A cidade contemporânea não é apenas uma estrutura física, mas também uma vasta rede de tecnologias modernas com o objetivo de otimizar o consumo dos recursos e processos para prevenir efeitos adversos resultantes de seu funcionamento. Nos últimos anos, têm surgido ideias que visam a economizar recursos, com planejamento espacial e rede para evitar o aumento de custos decorrente da ampliação das cidades. Uma cidade cada vez mais tecnológica é como as CIs, que estão empenhadas em economizar dinheiro e todos os tipos de recursos, inclusive tempo ou energia. O conceito de “cidade inteligente” é um dos mais importantes e altamente desenvolvidos para melhorar a qualidade de vida e a competitividade dos habitantes das cidades. Essa ideia envolve a gestão inteligente do espaço urbano típico por autoridades municipais, cidadãos e representantes da indústria de novas tecnologias. CIs são cidades que, usando TICs, tornam-se mais inteligentes e eficientes na utilização de recursos e, como resultado da economia de custos e energia, melhoram as condições de prestação de serviços e a qualidade de vida dos moradores.

Aplicações da internet das coisas em cidades inteligentes

Os sistemas de IoT se tornarão uma ferramenta vital para a comunicação entre as empresas e seus clientes e melhorarão significativamente o funcionamento das aglomerações urbanas. A importância desse contexto levanta o fato de que uma proporção crescente da população passa por urbanização e, até 2045, quase 70% da humanidade viverá em cidades. Então, o número de pessoas engajadas nessa tecnologia é enorme.

A IoT constitui um novo paradigma que combina aspectos de tecnologias de computação, redes de sensores sem fio, protocolos de comunicação da internet, tecnologias de sensoriamento, comunicação e dispositivos com tecnologias incorporadas. As CIs avançam para um ambiente integrado e inteligente, onde a IoT é usada para interconectar, interagir, controlar e fornecer *insights* sobre os vários sistemas fragmentados dentro das cidades. Um grande número de dispositivos interconectados, bem como uma quantidade significativa de dados gerados por eles, oferece oportunidades sem precedentes para enfrentar os desafios urbanos. Tais tecnologias são mescladas a sistemas urbanos para formar um ambiente onde os mundos real e digital se encontram e estão continuamente em interação sinérgica.

Várias indústrias e esforços acadêmicos foram colocados em tecnologias da IoT aplicadas a CIs. A IoT em CIs e comunidades inteligentes, envolvendo fluxos de dados em tempo real, cresceu continuamente. Esses fluxos incluem a detecção de tráfego de veículos, ocupação e reservas de vagas de estacionamento, segurança e vigilância, monitoramento da qualidade do ar

e até latas de lixo inteligentes. Essas aplicações prometem melhorar a vida dos cidadãos em termos de saúde, segurança e conveniência (KRISHNAMACHARI, POWER, KIM et al., 2018; RASSIA e PARDALOS, 2017).

No entanto, a primeira geração de implantações de IoT para CIs apresenta vários desafios que representam uma barreira para maior adoção. Os fornecedores estavam desenvolvendo soluções proprietárias verticalmente integradas e competiam pelos padrões da IoT. A adoção pela cidade é inibida porque as cidades entendem que produtos de fornecedores diferentes não funcionam entre si. Essa falta de interoperabilidade limita a possibilidade de conectar diferentes fluxos de dados ou desenvolver novas aplicações para alcançar maior valor ao longo do tempo (KRISHNAMACHARI, POWER, KIM et al., 2018). No entanto, as tecnologias estão próximas de ser padronizadas e os agentes do setor já estão ativos na produção de dispositivos que aproveitam essas tecnologias para permitir aplicativos de interesse para CIs. As tecnologias facilitadoras também atingiram um nível de maturidade que permite a realização prática de soluções e serviços de IoT, a partir de testes de campo que ajudarão a esclarecer a incerteza que ainda impede a adoção massiva do paradigma da IoT (AVIJIT e CHINNAIYAN, 2018; ZANELLA, BUI, CASTELLANI et al., 2014).

O sucesso dessas iniciativas implica a contribuição de todas as partes da cidade. A política, as partes interessadas, a empresa, a comunidade e o cidadão devem trabalhar juntos de modo mais transparente. Por outro lado, muitas iniciativas de CIs estão sendo usadas intensivamente (CHOURABI, NAM, WALKER et al., 2012). Assim, pesquisadores acadêmicos e profissionais ainda precisam fazer um ótimo trabalho sobre desafios técnicos e tecnológicos. Vários campos das TIC, como IoT, AI, análise de *big data*, nanotecnologia, estão envolvidos na criação de cenários para mais CIs (ARROUB, ZAHI, SABIR et al., 2016).

MÉTODO

Com base no princípio bibliométrico de que o conhecimento das disciplinas está concentrado em apenas uma pequena proporção de periódicos acadêmicos críticos, recuperamos os dados de citações da Web of Science para realizar as buscas e recuperar os dados de publicação. Todas as bases de dados de índice de citação disponíveis foram usadas na pesquisa. Esses índices de citação também contêm um registro das referências citadas pelos autores das publicações cobertas. Isso permite o uso de pesquisas de referência citadas e várias análises de citações. Pesquisar todos os bancos de dados de índice de citação proporciona uma noção de todas as disciplinas científicas que contribuem para as CIs e a IoT como área de pesquisa.

O método de *mineração de texto*, também conhecido como *análise de texto* é o caminho para a compreensão de dados de um arranjo de documentos. Esta pesquisa adotou um procedimento de *bag of words* e o registro primário consistiu nas palavras-chave do autor e foi projetado para levantar conhecimento relevante acerca do conteúdo. Recorremos a uma etapa de pré-processamento, com estudo preliminar de *outputs* da Web of Science (por exemplo: a frequência de cada palavra, correlação entre palavras, associação entre palavras), de acordo com os resultados aplicados a um conjunto de técnicas para reduzir o problema de dimensionalidade (converter o texto em minúsculas, remover números, pontuações, espaços em branco extras, palavras *stop words* – descartar termos convencionais –, *stemming* – geralmente se refere a um processo heurístico bruto que corta as extremidades das palavras na esperança de atingir essa meta corretamente na maioria das vezes, e muitas vezes inclui a remoção de afixos de derivação, seleção de recursos). A segunda etapa, com modelagem de dados (conjunto de dados de treinamento) e transformação de *outputs* em um conjunto de dados (*bag of words*, *n-gramas*). Para obter respostas, o modelo de análise de texto usou, para redução de dimensão, modelagem de tópico, aprendizado não supervisionado com agrupamento *k-means* (para minimizar a distância euclidiana média quadrática de documento de seus centros de *cluster*, onde um centro de *cluster* é definido como a média ou centroide dos documentos em um *cluster*). Técnicas adicionais incluem verificação de redes sociais para análise de texto (ambos lidam com grandes quantidades de dados, muitos deles não estruturados), clusterização, correlação, e assim por diante.

Na Web of Science se usou uma *string* de pesquisa para busca por tópico, incluindo nos resultados título da publicação, resumo, autor, palavra-chave, e assim por diante. Isso resultou em 486 acessos na Web of Science da Clarivate Analytics (*Web of Science Core Collection*; Tópico: ("*smart cit **" e "*internet of thing **") onde o asterisco representa qualquer grupo de caracteres, incluindo nenhum caractere, apenas artigos e anais em todo o período, sem exceção. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A e HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI. Foram removidos capítulos de livros, editoriais, resenhas de livros. Foram aplicados filtros, eliminando artigos de biotecnologia, microbiologia, química, óptica, oceanografia e veterinária. Pesquisamos todos os

dados sobre *smart cities* e IoT de 2011 a 2018. Os dados para 2018 estão incompletos, mas mesmo assim foram analisados neste estudo. Em decorrência, aplicaram-se restrições à área temática. Todos os dados foram levantados em 31 de outubro de 2018. Os registros descrevem todo o *corpus* de publicações para o tópico.

Uma vez que foram identificados 486 artigos relevantes de 1.404 *hits*, os autores os leram de modo independente e avaliaram e codificaram seu conteúdo sobre as seguintes categorias: autores e instituições, citações, periódicos, palavras-chave, país e idioma. Uma análise mais aprofundada foi realizada por meio do *software R* (p. ex., NLP, FactoMinerR, tm, SnowballC, wordcloud), que examina um texto contando a frequência das palavras mais mencionadas como “palavras-chave”.

ANÁLISE DE DADOS

Informações primárias sobre dados: artigos (486), fontes (194), palavras-chave do autor (1.561), média de citações por artigo (9.586) – média considerada baixa devido ao breve período de pesquisa do tema –, autores (1.626), aparências do autor (1.968), autores de artigos com autoria única (39), autores de artigos com autoria múltipla (1.587), artigos por autor (0,299), autores por artigo (3,35), coautores por artigo (4,05) e índice de colaboração (3,57).

O autor mais produtivo é Muñoz (8 artigos), seguido por Barnaghi, Sanchez, Skarmeta e Sotres (6 trabalhos cada), seguidos por Ahmad, Chang, Curry, Gutierrez, Kantarci e Moessner (5 publicações cada).

Os 15 principais manuscritos por citação são Zanella, Bui, Castellani et al. (2014), Botta, Donato, Persico et al. (2016), Jin, Gubbi, Marusic et al. (2014), Perera, Zaslavsky, Christen et al. (2014), Sánchez, Muñoz, Galache et al. (2014), Vlacheas, Giaffreda, Stavroulaki et al. (2013), Bellavista, Cardone, Corradi et al. (2013), Gravina, Alinia, Ghasemzadeh et al. (2017), Sun, Yan, Zhang et al. (2016), Raza, Kulkarni, Sooriyabandara et al. (2017), Khorov, Lyakhov, Krotov et al. (2015), Rathore, Ahmad, Paul et al. (2016), Hashem, Chang, Anuar et al. (2016), Perera, Liu, Jayawardena et al. (2015) e Mohanty, Choppali, Kougianos et al. (2016).

Zanella, Bui, Castellani et al. (2014) oferece uma pesquisa abrangente sobre tecnologias, protocolos e arquitetura de capacitação para uma IoT urbana e discute as soluções técnicas e as diretrizes de melhores práticas adotadas em Padova, na Itália. Botta, Donato, Persico et al. (2016) destacam a integração da computação em nuvem e da IoT e desenvolvem um *middleware* comum para serviços de CIs orientados ao futuro. Jin, Gubbi, Marusic et al. (2014) apresentam uma estrutura para a realização de CIs por meio da IoT que engloba todo o sistema de informações urbanas, desde o nível consciente e estrutura de suporte de rede até o gerenciamento de dados e a integração baseada em nuvem dos respectivos sistemas e serviços e forma uma parte transformacional do sistema ciber-físico existente. Perera, Zaslavsky, Christen et al. (2014) investigam o conceito de sensoriamento como um modelo de serviço nas perspectivas tecnológica, econômica e social e identificam os significativos desafios e as questões em aberto. Sánchez, Muñoz, Galache et al. (2014) descrevem a arquitetura de implantação e experimentação da instalação da IoT sendo implantada na cidade de Santander, na Espanha (projeto SmartSantander). Vlacheas, Giaffreda, Stavroulaki et al. (2013) identificam as principais questões que podem impedir que a IoT desempenhe esse papel crucial, como a heterogeneidade entre os objetos conectados e a natureza imprevisível dos serviços associados.

Em relação à língua, o inglês é visivelmente a língua dominante de todas as publicações, com 481 de um total de 486, segundo a Web of Science, apenas 2 em língua portuguesa (RIZZON, BERTELLI, MATTE et al., 2017), mas “Smart city: a concept under construction”, publicado em inglês, assim como Santiago e Payao (2018). Uma revista espanhola com Solarte, Pena, Almario et al. (2017), mas publicado em inglês, “Urban eyes: platform for city information management”, uma revista francesa (LEMONS, 2016), mas publicada em inglês, “Performative sensitivities” e, finalmente, em polonês, Rot (2017). Muitos autores de países como a Espanha – Lanza, Sánchez, Gutiérrez et al. (2016) e Tolosana-Calasanz, Bañares, Pham (2016); Itália – Chatzigiannakis, Vitaletti e Pyrgelis (2016) e Barcelo, Correa, Llorca et al. (2016); e Portugal – Abreu, Velasquez, Curado et al. (2017) publicam seus trabalhos em inglês. Considerando a China, temos Li, Cao e Yao (2015) e Peng, Fang, Ranaei et al. (2017) também produzidos em inglês. Uma análise mais detalhada mostra, portanto, toda a produção em inglês.

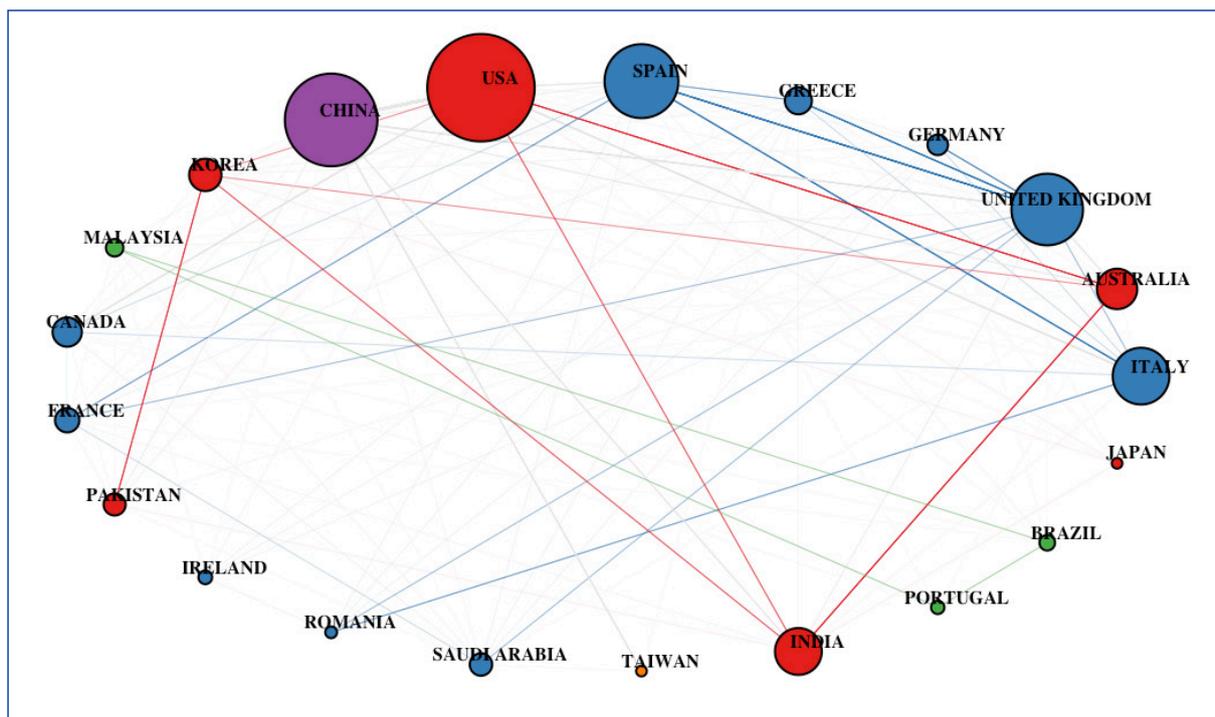
A China, a Espanha e os Estados Unidos da América (EUA) são os países dominantes (mais produtivos) com 56, 52 e 50 artigos, respectivamente. Na sequência, temos os seguintes países: Itália (41), Índia (33), Reino Unido (31), Coreia (20), Austrália (16), Arábia Saudita (14), Canadá (13), Paquistão (10), Grécia, Japão e Malásia (9 cada) e, finalmente, França (8).

Quanto à citação total por país (total de citações; citação média do artigo), temos: Itália (1.412; 34,439), Austrália (530; 33,125), China (469; 8,375), Espanha (412; 7,923), EUA (249; 8,032), Reino Unido (249; 8,032), Coreia (218; 10,900), Grécia (157; 17,444), Malásia (93; 10,333), Rússia (81; 40,500) e Alemanha (71; 11,833).

As publicações podem listar vários países. Devemos destacar o papel de países europeus como Itália, Espanha, Reino Unido, Grécia e Alemanha, acrescentando o papel dos países asiáticos, como China, Coreia e Malásia. A Itália é líder, com mais citações totais (ZANELLA, BUI, CASTELLANI et al., 2014; BOTTA, DONATO, PERSICO et al., 2016). Há dispersão significativa nas citações médias dos artigos para os 9 principais países (de 5,980 a 40,500).

A Figura 1 ilustra a colaboração entre países. Podemos destacar o polo europeu, com Itália, Espanha, Alemanha, Grécia e Reino Unido. EUA, Índia, Coreia, Paquistão e Austrália formam outro agrupamento. A China é um novo *hub* de pesquisa. Podemos destacar que todos os países produtores de pesquisa significativos na área têm parcerias internacionais.

Figura 1
Colaboração entre países



Fonte: Elaborada pelos autores.

Instituições (universidades)

As universidades que produzem as publicações (Web of Science) estão muito dispersas, com concentração nas universidades europeias e asiáticas (Tabela 1). Da Universidade de Surrey: Pozza, Nati, Georgoulas et al. (2015) e Kolozali, Puschmann, Bermudez-Edo et al. (2016). Da Universidade de Múrcia: Sanchez, Lopez, Skarmeta et al. (2013), Jara, Fernandez, Lopez et al. (2014) e Garcia-Carrillo e Marin-Lopez (2016). Da Universidade de Cantábria: Sánchez, González-Contreras, Agudo et al. (2017), Pérez-Gonzalez e Díaz-Díaz (2015), Díaz-Díaz, Muñoz e Pérez-Gonzalez (2017) e Lanza, Sánchez, Gutiérrez et al. (2016).

Tabela 1
Publicações/universidades

Universidade	País	Artigos
University of Surrey	Reino Unido	12
University of Bologna	Itália	10
King Saud University	Arábia Saudita	9
Universidad de Cantábria	Espanha	9
Comsats Institute of Information Technology CIIT	Paquistão	7
Dalian University of Technology	China	7
University of Murcia	Espanha	7
Chinese Academy of Sciences	China	6
Kyungpook National University	Coreia do Sul	6
University of Granada	Espanha	6

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conferências e periódicos

A Tabela 2 apresenta os periódicos ou conferências mais produtivos na pesquisa sobre CIs e IoT (por número de artigos publicados).

Tabela 2
Periódicos e conferências

Fontes	Artigos
IEEE ACCESS	45
FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS: THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ESCIENCE	38
IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL	38
SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY	11
IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE	10
INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTER SCIENCE AND APPLICATIONS	9
SUSTAINABILITY	9
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS	8
INTERNATIONAL JOURNAL OF DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS	8

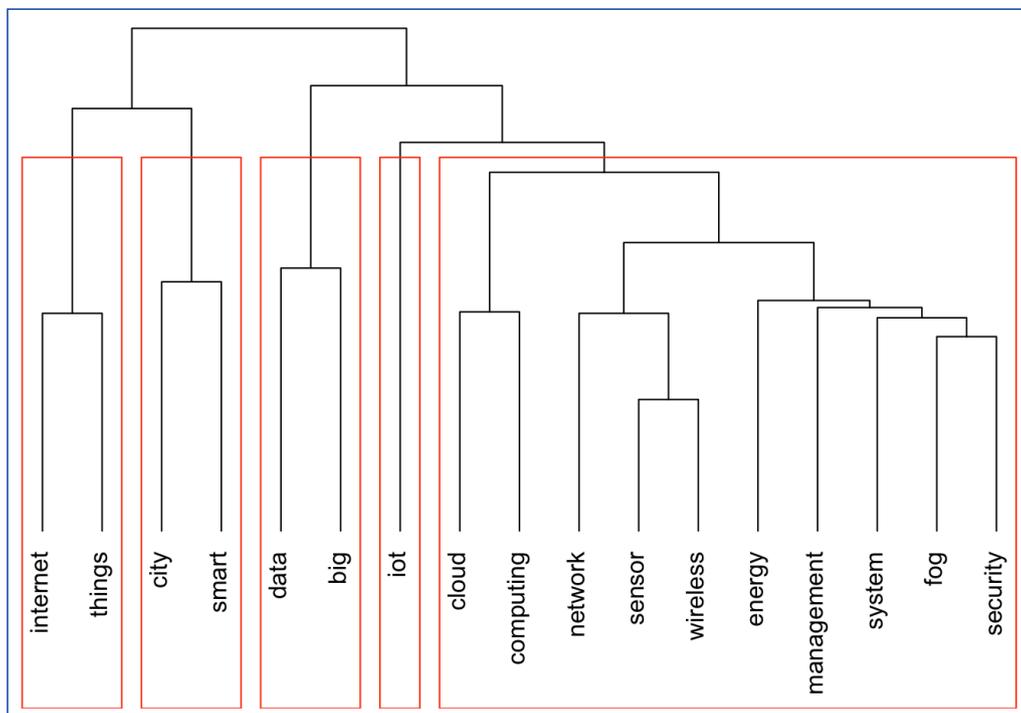
Fonte: Elaborada pelos autores.

O principal periódico de pesquisa sobre CIs e IoT é o *IEEE Access*, com 45 artigos, seguido por: *Future Generation Computer Systems: International Journal of eScience* (44), *IEEE Internet of Things Journal* (38), *Sustainable Cities and Society* (11) e *IEEE Communications* (10). Outro periódico importante é o *IEEE Sensors Journal*. Trata-se de revista arbitrada publicada pelo IEEE. O *Sensors* publica artigos que se concentram nas inúmeras tecnologias de sensores abrangidas pelo IEEE e nas tecnologias de sensores emergentes.

Merece destaque o fato de ser uma área de pesquisa recente. Devemos destacar a importância das conferências. Muitas delas conferências publicam anais em formato de livro, tornando, assim, mais amplamente divulgada a questão da pesquisa. Vale ressaltar a importância dos eventos científicos no desenvolvimento da área de pesquisa onde temos, por exemplo: IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT) e International Conference on Intelligent and Collaborative Systems (INCoS).

Para uma análise especial do termo “coisas”: internet (0,74); inteligente (0,23); representacional (0,21); Sensores REST (*representational state transfer*) (0,21); estado (0,21); e transferência (0,21).

Figura 3
Agrupamento hierárquico de palavras-chave



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o agrupamento hierárquico, precisamos remover os termos esparsos. Definimos a dispersão em 0,95 para que os termos com pelo menos essa porcentagem esparsa sejam removidos. Em seguida, calcular a matriz de distância e, por fim, plotar o dendrograma. Cortando o dendrograma em 5 *clusters* (Figura 3). Observa-se que “*smart*” e “*city*” estão em seus *clusters*. Outro *cluster* com “*internet*” e “*coisas*” e o terceiro *cluster* com “*big*” e “*data*”. Temos muitos termos para o *cluster* 5. Isso faz sentido, porque os termos constituem as CIs e a arena IoT, descrevendo informações “recentes” sobre o tema, como IoT; computação em nuvem; redes de sensores sem fio; gerenciamento de energia; segurança e computação em nevoeiro (*fog*). Uma rede de sensores sem fio (WSN) é uma rede sem fio que consiste em dispositivos autônomos distribuídos espacialmente, usando sensores para monitorar condições físicas ou ambientais. O gerenciamento de energia é usado como uma solução para reduzir a demanda e economizar energia durante o período de pico e melhorar a eficiência energética e a qualidade de vida e proteger o meio ambiente. Um desafio mais significativo e uma questão vital é a segurança de IoT para o desenvolvimento seguro e a operação de aplicativos de IoT escaláveis e, finalmente, a integração da computação em nuvem e a IoT para CIs.

Como a pesquisa de Wiratunga, Jorge, Torgo et al. (2005), geramos todas as co-ocorrências de palavras-chave de pares possíveis (Figura 4) convertendo apenas aquelas que passam em um teste de significância para uma análise de redes sociais e seus *clusters*. O segundo e mais complexo *cluster* com a IoT, *big data*, *cloud*, arquitetura, gerenciamento, sistemas de segurança e redes de sensores sem fio. O primeiro com foco nos protocolos e esquema como MQTT (*message queue telemetry transport*) e CoAP (*constrained application protocol*).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O futuro das cidades inteligentes e a internet das coisas: agenda de pesquisa

Em análise anterior, avaliamos criticamente as CIs e a pesquisa de IoT e desenvolvemos uma agenda de pesquisa que fornece uma base para estimular novos rumos da pesquisa. A agenda de pesquisa que estamos sugerindo neste artigo vem diretamente das lacunas que identificamos em nossa revisão.

CIs e IoT são um fenômeno “em expansão” que tem sido relatado, usando principalmente amostras do contexto de países desenvolvidos (Figura 1) como Espanha, China, EUA, Itália, Reino Unido, Austrália, Coreia. No entanto, estudos anteriores indicam que essas regiões estão aparecendo em países com inovação e realidade muito diferentes das economias desenvolvidas (p. ex., Arábia Saudita, Paquistão, Romênia, Malásia, Brasil e Portugal, nesta pesquisa). A compreensão das CIs e da IoT nas economias em desenvolvimento é bastante limitada. Consequentemente, uma abordagem de pesquisa mais sistemática se mostra necessária para melhorar nossa compreensão de CIs e fenômenos de IoT em uma ampla gama de contextos culturais e institucionais. O contexto institucional das CIs e da IoT faz diferença no comportamento do país?

Nossa revisão expõe que a relação entre CIs, IoT e inovação é pouco investigada no contexto de países desenvolvidos e é ainda menor em comparação com países em desenvolvimento. Existem alguns estudos recentes sobre CIs e IoT abordando alguns dos trabalhos que analisamos, em particular os qualitativos; concentram-se exclusivamente em histórias de sucesso globais (Singapura, Seul, San Francisco, Barcelona) (MAHIZHNAN, 1999; MARINE-ROIG e CLAVÉ, 2015) ou exemplos típicos de CIs, como: *smart parking*; serviços de compartilhamento de carros; tráfego; transporte público (mobilidade); energia limpa; edifício inteligente; depósito de lixo; proteção ambiental; participação cidadã; digitalização do governo; planejamento urbano; educação; ecossistema de negócios; 5G LTE; velocidade de internet; pontos de acesso Wi-Fi; penetração de *smartphones*; padrão de vida. Como a cidade está se tornando mais inteligente, futuras pesquisas podem fazer perguntas como:

- O que faz uma cidade, ou região, se tornar uma CI?

A análise de conteúdo quantitativa está em sua infância. Várias saídas não foram utilizadas neste artigo, como: análise discriminante múltipla (MDA); análise de correspondência; dimensionamento multidimensional (técnica de aprendizado não supervisionado); mapa auto organizável; análise de sentimento; algoritmo de aprendizado de máquina como LDA, entre outros.

A computação em nuvem baseada em IoT e milhões de dispositivos ou sensores conectados a seus aplicativos não criam um ambiente homogêneo e estão expostos a inúmeras ameaças. Isso resulta em uma questão de pesquisa crítica relacionada à gestão, não apenas da infraestrutura de uma CI, mas da segurança de seu sistema e dos cidadãos.

As aplicações do conceito de IoT nas CIs aumentam um desafio significativo para os arquitetos de sistemas de segurança e podem abrir as portas para ameaças à segurança, desde vulnerabilidades nos ataques DDoS a ataques *cross-site scripting* (XSS). Os *hackers* podem obter rapidamente uma senha para acessá-los com privilégios de administrador e modificar seu *software* de sistema para adaptá-los a objetivos criminosos, por exemplo, coletando dados pessoais de cidadãos que usam serviços públicos, redes de transporte urbano com pontos fracos na autorização ou autenticação sistema. Medidores inteligentes como energia (rede inteligente), água (redes inteligentes de água), saúde pública e segurança, transporte. Estes são desafios tanto para a academia como para a administração municipal.

Uma linha crescente de pesquisa é aquela que conecta o *blockchain* com CIs e como o *blockchain* pode ser um facilitador-chave para resolver muitos problemas de segurança do IoT. Pesquisas como Sun, Yan, Zhang et al. (2016), Khan e Salah (2018), Banerjee, Lee e Choo (2018), Sharma e Park (2018) e, finalmente, Hammi, Hammi, Bellot et al. (2018) abordaram esta questão em suas pesquisas recentes.

Algumas limitações deste estudo devem ser levadas em conta. Os resultados consistiram principalmente em artigos de periódicos. Monografias, dissertações, livros ou capítulos de livros não foram cobertos pelas buscas, embora também representem parte da discussão científica em CIs. Publicações mais antigas podem ter recebido mais citações no total ao longo dos anos do que as mais recentes. Não foram utilizados fatores de impacto na análise dos dados deste estudo, exceto os trabalhos mais relevantes, como mostrado na análise. Existem várias outras críticas comuns ao uso da Web of Science como principal fonte de dados para análise bibliométrica e, consequentemente, para a análise de texto, constituindo um viés em relação às publicações em língua inglesa e a dependência dos fatores de impacto dos periódicos. Artigos publicados em outras línguas tendem a ter menos impacto na frente de pesquisa (como é o caso desta pesquisa, com 100% dos artigos em inglês). Uma grande porcentagem de artigos em inglês nos Índices ISI reflete, assim, a frente de pesquisa internacional, onde até pesquisadores asiáticos, como chineses ou sul-coreanos, publicaram em inglês.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. P. et al. A resilient Internet of things architecture for smart cities. **Annals of Telecommunications**, v. 72, n. 1-2, p. 19-30, 2017.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-19, 2015.
- ANGELIDOU, M. Smart city policies: a spatial approach. **Cities**, v. 41, p. S3-S11, 2014.
- ANGELIDOU, M. Smart cities: a conjuncture of four forces. **Cities**, v. 47, p. 95-106, 2015.
- ARROUB, A. et al. A literature review on smart cities: paradigms, opportunities, and open problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS NETWORKS AND MOBILE COMMUNICATIONS, 2016, Fez. **Proceedings...** Washington, DC: IEEE Computer Society, 2016. p. 180-186.
- ASHTON, K. That "Internet of things" thing. **RFID Journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.
- AVIJIT, K.; CHINNAIYAN, R. IOT for smart cities. **International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology**, v. 3, n. 4, p. 1126-1139, 2018.
- BANERJEE, M.; LEE, J.; CHOO, K. R. A blockchain future for internet of things security: a position paper. **Digital Communications and Networks**, v. 4, n. 3, p. 149-160, 2018.
- BARCELO, M. et al. IoT-cloud service optimization in next generation smart environments. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 34, n. 12, p. 4077-4090, 2016.
- BATALLA, J. M. et al. (Ed.). **Beyond the Internet of things: everything interconnected**. Cham: Springer, 2017.
- BAYULKEN, B.; HUISINGH, D. A literature review of historical trends and emerging theoretical approaches for developing sustainable cities (part 1). **Journal of Cleaner Production**, v. 109, n. 16, p. 1-24, 2015.
- BELLAVISTA, P. et al. Convergence of MANET and WSN in IoT Urban Scenarios. **IEEE Sensors Journal**, v. 13, n. 10, p. 3558-3567, 2013.
- BOTTA, A. et al. Integration of cloud computing and Internet of things: a survey. **Future Generation Computer Systems: The International Journal of eScience**, n. 56, p. 684-700, 2016.
- BROCK, D. L. **The electronic product code (EPC): a naming scheme for physical objects**. MIT-AUTOID-WH-002. Cambridge, MA: Auto-ID Center, 2001.
- BURKETTE, A. P. **Language and material culture**. Amsterdam: John Benjamins, 2015.
- CHATZIGIANNAKIS, I.; VITALETTI, A.; PYRGELIS, A. A privacy-preserving smart parking system using an IoT elliptic curve based security platform. **Computer Communications**, n. 89-90, p. 165-177, 2016.
- CHEN, X. et al. Mapping the research trends by co-word analysis based on keywords from funded project. **Procedia Computer Science**, n. 91, p. 547-555, 2016.
- CHOURABI, H. et al. Understanding smart cities: an integrative framework. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 45., 2012, Maui. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2012. p. 2289-2297.
- COCCHIA, A. Smart, and digital city: a systematic literature review. In: DAMERI, R. P.; ROSENTHAL-SABROUX, C. (Ed.). **Smart city: how to create public and economic value with high technology in urban space**. New York: Springer, 2014. p. 13-43.
- DAMERI, R. P. Searching for smart city definition: a comprehensive proposal. **International Journal of Computers & Technology**, v. 11, n. 5, p. 2544-2551, 2013.
- DE JONG, M. et al. Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities: making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. **Journal of Cleaner Production**, n. 109, p. 25-38, 2015.
- DE MATOS, E.; AMARAL, L. A.; HESSEL, F. Context-aware systems: technologies and challenges in internet of everything environments. In: BATALLA, J. M. et al. (Ed.). **Beyond the Internet of things: everything interconnected**. Cham: Springer, 2017. p. 1-25.
- DEY, N. et al. (Ed.). **Internet of things and big data analytics toward next-generation intelligence**. Cham: Springer, 2018.
- DÍAZ-DÍAZ, R.; MUÑOZ, L.; PÉREZ-GONZALEZ, D. Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: the case of SmartSantander. **Future Generation Computer Systems: The International Journal of Science**, n. 76, p. 198-214, 2017.
- DIRKS, S.; KEELING, M. **A vision of smarter cities: how cities can lead the way into a prosperous and sustainable future**. New York: IBM Institute for Business Value, 2009.
- DI STEFANO, G.; PETERAF, M.; VERONA, G. Dynamic capabilities deconstructed. A bibliographic investigation into the origins, development and future directions of the research domain. **Industrial Corporate Change**, v. 19, n. 4, p. 1187-1204, 2010.
- DURISIN, B.; PUZONE, F. Maturation of corporate governance research, 1993-2007: an assessment. **Corporate Governance International Review**, v. 17, n. 3, p. 266-291, 2009.
- FOWDUR, T. P. et al. Big data analytics with machine learning tools. In: DEY, N. et al. (Ed.). **Internet of things and big data analytics toward next-generation intelligence**. Cham: Springer, 2018. p. 49-97.
- GARCIA-CARRILLO, D.; MARIN-LOPEZ, R. Lightweight CoAP-based bootstrapping service for the Internet of things. **Sensors**, v. 16, n. 3, p. 358, 2016.
- GRAVINA, R. et al. Multi-sensor fusion in body sensor networks: state-of-the-art and research challenges. **Information Fusion**, n. 35, p. 68-80, 2017.
- HAJDUK, S. The concept of a smart city in urban management. **Business, Management and Education**, v. 14, n. 1, p. 39-49, 2016.
- HAMMI, M. T. et al. Bubbles of trust: a decentralized blockchain-based authentication system for IoT. **Computers & Security**, v. 78, p. 126-142, 2018.
- HASHEM, I. A. T. et al. The role of big data in smart city. **International Journal of Information Management**, v. 36, n. 5, p. 748-758, 2016.

- JARA, A. J. et al. Lightweight MIPv6 with IPSec support. **Mobile Information Systems**, v. 10, n. 1, p. 37-77, 2014.
- JIN, J. et al. An information framework for creating a smart city through Internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 2, p. 112-121, 2014.
- KANTER, R. M.; LITOW, S. S. **Informed and interconnected: a manifesto for smarter cities**. Cambridge, MA: Harvard Business School, 2009. (Harvard Business School General Management Unit Working Paper, n. 9).
- KHAN, M.A.; SALAH, K. IoT security: review, blockchain solutions, and open challenges. **Future Generation Computer Systems: The International Journal of eScience** v. 82, p. 395-411, 2018.
- KHOROV, E. et al. A survey on IEEE 802.11ah: an enabling networking technology for smart cities. **Computer Communications**, v. 58, n. 1, p. 53-69, 2015.
- KIM, G.-H. What is the appropriate policy direction to develop Internet of things? **Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology**, v. 6, n. 2, p. 89-100, 2016.
- KOLOZALI, S. et al. On the effect of adaptive and nonadaptive analysis of time-series sensory data. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 6, p. 1084-1098, 2016.
- KOMNINOS, N. Intelligent cities: variable geometries of spatial intelligence. **Intelligent Buildings International**, v. 3, n. 3, p. 172-188, 2011.
- KRISHNAMACHARI, B. et al. I3: An IoT marketplace for smart communities. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE SYSTEMS, APPLICATIONS, AND SERVICES, 16., 2018, Munich. **Proceedings...** Munich: [s.n.], 2018.
- LANGMANN, B. et al. MOVEDETECT: secure detection, localization and classification in wireless sensor networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEXT GENERATION WIRED/WIRELESS NETWORKING, 13., 2013, Saint Petersburg. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2013. p. 284-297.
- LANZA, J. et al. Smart city services over a future Internet platform based on Internet of things and cloud: the smart parking case. **Energies**, v. 9, n. 9, p. 14, 2016.
- LEMOS, A. Performative sensitivities. The new sensibilities of objects in contemporary metropolises. **Societies**, v. 132, n. 2, p. 75-87, 2016.
- LI, D. R.; CAO, J. J.; YAO, Y. Big data in smart cities. **Science China: Information Sciences**, v. 58, n. 10, p.1-12, 2015.
- LI, F. et al. How smart cities transform operations models: a new research agenda for operations management in the digital economy. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 6, p. 514-528, 2016.
- MAHIZHANN, A. Smart cities: the Singapore case. **Cities**, v. 16, n. 1, p. 13-18, 1999.
- MARINE-ROIG, E.; CLAVE, S. A. Tourism analytics with massive user-generated content: a case study of Barcelona. **Journal of Destination Marketing & Management**, v. 4, n. 3, p. 162-172, Oct 2015.
- MOHANTY, S. P.; CHOPPALI, U.; KOUGIANOS, E. Everything you wanted to know about smart cities the Internet of things is the backbone. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, v. 5, n. 3, p. 60-70, 2016.
- MONDALL, R.; ZULFI, T. Internet of things and wireless sensor network for smart cities. **International Journal of Computer Science Issues**, v. 14, n. 5, p. 50-55, 2017.
- OJO, A.; DZHUSUPOVA, Z.; CURRY, E. Exploring the nature of the smart cities research landscape. In: GIL-GARCIA, J.; PARDO, T.; NAM, T. (Ed.). **Smarter as the new urban agenda: a comprehensive view of the 21st century city**. Cham: Springer, 2016. p. 23-47.
- PENG, H. S. et al. Forecasting potential sensor applications of triboelectric nanogenerators through tech mining. **Nano Energy**, n. 35, p. 358-369, 2017.
- PERERA, C.; LIU, C. H.; JAYAWARDENA, S. The emerging Internet of things marketplace from an industrial perspective: a survey. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 3, n. 4, p. 585-598, 2015.
- PERERA, C. et al. Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of things. **Transactions on Emerging Telecommunications Technologies**, v. 25, n. 1, p. 81-93, 2014.
- PÉREZ-GONZALEZ, D.; DÍAZ-DÍAZ, R. Public services provided with ICT in the smart city environment: the case of Spanish cities. **Journal of Universal Computer Science**, v. 21, n. 2, p. 248-267, 2015.
- POZZA, R. et al. Neighbor discovery for opportunistic networking in internet of things scenarios: a survey. **IEEE Access**, n. 3, p. 1101-1131, 2015.
- QI, L.; SHAOFU, L. Research on digital city framework architecture. In: INTERNATIONAL CONFERENCES ON INFO-TECH AND INFO-NET, 2001, Beijing. **Proceedings...** Beijing: IEEE Press, 2001. p. 30-36.
- RASSIA, S. T.; PARDALOS, P. M. **Smart City networks: through the Internet of things**. Cham: Springer, 2017.
- RATHORE, M. M. et al. Urban planning and building smart cities based on the Internet of things using big data analytics. **Computer Networks**, n. 101, p. 63-80, 2016.
- RAZA, U.; KULKARNI, P.; SOORIYABANDARA, M. Low power wide area networks: an overview. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 19, n. 2, p. 855-873, 2017.
- RIZZON, F. et al. Smart city: a concept under construction. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, p. 123-142, 2017.
- ROT, A. The applications of the Internet of Things in the context of the smart city. Selected security issues. **Problemy Zarzadzania-Management Issues**, v. 15, n. 4, p. 41-53, 2017.
- SÁNCHEZ, H. et al. IoT and iTV for interconnection, monitoring, and automation of common areas of residents. **Applied Sciences**, v. 7, n. 7, p. 696, 2017.
- SANCHEZ, P. M. et al. PANATIKI: a network access control implementation based on PANA for IoT devices. **Sensors**, v. 13, n. 11, p. 14888-14917, 2013.
- SÁNCHEZ, L. et al. SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. **Computer Networks**, n. 61, p. 217-238, 2014.
- SANTIAGO, M. R.; PAYAO, J. V. Internet of things and smart cities: technology, innovation and the paradigm of sustainable development. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 2, p. 787-805, 2018.

- SANTUCCI, G. The Internet of things: between the revolution of the Internet and the metamorphosis of objects. In: SUNDMAEKER, H. et al. (Ed.). **Vision and challenges for realising the Internet of things**. Brussels: European Union, 2010. p. 11-24.
- SHARMA, P. K.; PARK, J. H. Blockchain based hybrid network architecture for the smart city. **Future Generation Computer Systems: The International Journal of eScience**, v. 86, p. 650-655, 2018.
- SOLARTE, Z. et al. Urbaneyes: platform for city information management. **Hombre y la Máquina**, n. 48, p. 54-61, 2017.
- SU, K.; LI, J.; FU, H. Smart city and the applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMMUNICATIONS AND CONTROL, 2011, Ningbo. **Proceedings...** Ningbo: ICECC, 2011.
- SUN, J. J.; YAN, J. Q.; ZHANG, K. Z. K. Blockchain-based sharing services: what blockchain technology can contribute to smart cities. **Financial Innovation**, v. 2, n. 1, p.26, 2016.
- SUNDMAEKER, H. et al. (Ed.). **Vision and challenges for realising the Internet of things**. Brussels: European Union, 2010.
- TOLOSANA-CALASANZ, R. et al. Resource management for bursty streams on multi-tenancy cloud environments. **Future Generation Computer Systems: The International Journal of Science**, n. 55, p. 444-459, 2016.
- VAN BASTELAER, B.; LOBET-MARIS, C. (Ed.). **Social learning regarding multimedia developments at a local level**. The case of digital cities. Namur: CITA-FUNDP, 1998.
- VASHI, S. et al. Internet of things (IoT): a vision, architectural elements, and security issues. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON I-SMAC (IOT IN SOCIAL, MOBILE, ANALYTICS AND CLOUD), 2017, Coimbatore. **Proceedings...** Coimbatore: SCAD Institute of Technology, 2017.
- VLACHEAS, P. et al. Enabling smart cities through a cognitive management framework for the Internet of things. **IEEE Communications Magazine**, v. 51, n. 6, p. 102-111, 2013.
- WIRATUNGA N. et al. (Ed.). Knowledge discovery in databases: PKDD 2005. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRINCIPLES AND PRACTICE OF KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES, 9., 2005, Porto. **Proceedings...** Porto: [s.n.], 2005.
- ZANELLA, A. et al. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 22-32, 2014.

Belmiro do Nascimento João

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7994-9934>

Doutor em Comunicação e Semiótica pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP); Professor na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo – SP, Brasil. E-mail: bjoao@pucsp.br

Crisomar Lobo de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7508-3029>

Doutor em Administração pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA USP); Professor na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo – SP, Brasil. E-mail: clsouza@pucsp.br

Francisco Antonio Serralvo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6384-0643>

Doutor em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP); Professor na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo – SP, Brasil. E-mail: serralvo@pucsp.br