



Deteção remota: possibilidades para uma abordagem dinâmica e integrada do ecossistema urbano

Catarina de Almeida Pinheiro

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Porto, Portugal.

E-mail: catarina-pinheiro@mail.com

Submetido em 22 de junho de 2020. Aceito em 12 de janeiro de 2021.

<https://doi.org/10.47235/rmu.v9i1.155>

Resumo. *A parca existência de dados espaciotemporais contínuos desde sempre impôs consideráveis restrições a abordagens transversais e diacrónicas do fenómeno urbano. Todavia, avanços tecnológicos, mais ou menos recentes, que diariamente incrementam colossais bases de dados com informação geográfica explícita (e.g., satélites, redes sociais, dados oficiais), vieram possibilitar a desmultiplicação dos estudos de caso. Com efeito, a lógica dedutiva, hegemónica até então, é substituída pela indutiva – que desenvolvida no sentido bottom-up veio colocar em evidência particularismos locais. Nascida ainda antes do apogeu dos ‘Big Data’, a observação sinótica e repetitiva da Terra facultada pela Deteção Remota assume uma importância fulcral no (re)interesse e na renovação metodológica e concetual dos Estudos Urbanos verificada no advento do novo milénio – mormente o enfoque cronogeográfico que é dado aos estudos de morfologia urbana. A par disto, importa notar que a visão multiespectral dos satélites fornece variada informação (e.g., humidade do solo, temperatura de superfície, poluentes), que se estende muito para além da mera extração do tecido urbano. Face ao exposto, procura-se colocar em evidência as mutações que a Deteção Remota – alicerçada nos Sistemas de Informação Geográfica – desencadeou nos Estudos Urbanos, dando-se particular enfoque ao domínio da Geografia, visto aí a abordagem integrada do ecossistema urbano se encontrar maximizada.*

Palavras-chave. *deteção remota, ecossistema urbano, dinâmicas espaciotemporais, consequências ecológicas, planeamento territorial.*

Introdução

As áreas urbanas podem ser examinadas em função de uma intrincada múltipla de perspetivas e dimensões (e.g., física, social, económica, ecológica), e sob a égide de diversas disciplinas científicas (e.g., geografia, urbanismo, arquitetura), que em unísono formam o que se entende por Estudos Urbanos. Contudo, a parca existência de dados espaciotemporais contínuos desde sempre impôs consideráveis restrições a abordagens transversais e diacrónicas, predominando nestes estudos a lógica dedutiva desenvolvida no sentido *top-down* (Herold *et al.*, 2005).

Avanços tecnológicos, mais ou menos recentes, incrementam diariamente colossais bases de dados com informação geográfica explícita. Salientando-se, a este respeito, os satélites de Observação da Terra, a informação cedida voluntariamente de modo ubíquo nas redes sociais (e.g., Panoramio, Flickr, Twitter), bem como a que é reunida em plataformas *peer-to-peer* (como o Airbnb). A tudo isto, juntam-se ainda os dados oficiais, disponibilizados por entidades públicas no âmbito da política de dados abertos encetada nos últimos anos.

A enorme quantidade de elementos disponível para o passado, presente e futuro (tratando-se neste último caso de projeções),

transversal à quase totalidade do global, aliada aos ganhos na capacidade de processamento computacional e/ou em *cloud* (e.g., plataformas *online* como o Google Earth Engine), possibilita nos dias de hoje a quantificação de dimensões do fenómeno urbano até então imensuráveis, como por exemplo o consumo turístico dos lugares (Kádár, 2014), dinâmicas sociais (Yang e Rim, 2014), ou mesmo sentimentos (Cao *et al.*, 2018). Tudo isto fomentou o interesse pelas áreas urbanas enquanto eventos espaciais (Sui, 2011) e contribuiu para um refinamento de múltiplas geografias urbanas.

Em vista disso, assiste-se a uma desmultiplicação dos estudos de caso, sendo a lógica dedutiva, hegemónica até então, substituída pela indutiva (Herold *et al.*, 2005). A perspectiva *bottom-up* veio colocar em evidência os particularismos intrínsecos a cada território, pelo que as cidades encaradas – metaforicamente – como máquinas, parecem assemelhar-se cada vez mais aos organismos (Batty, 2012).

Nascida ainda antes do apogeu dos ‘*Big Data*’, a Observação da Terra, a partir de satélites posicionados no Espaço, assume uma importância fulcral no (re)interesse e na renovação metodológica e concetual dos Estudos Urbanos verificada no advento do novo milénio (Herold *et al.*, 2005). Os satélites possuem uma visão sinótica, que desde há décadas se repete sistematicamente, em função da resolução temporal do satélite (Kadhim *et al.*, 2016). Atente-se que o Programa Landsat, iniciado em 1972 com o lançamento do Landsat 1 MSS, mantém-se ainda hoje operacional, com o Landsat 8 OLI. De mais a mais, a sua manutenção futura, com o lançamento do Landsat 9 previsto para 2021, assegura a continuidade das investigações.

Vale lembrar que, numa primeira fase a Deteção Remota esteve afastada das temáticas urbanas, devido à fraca resolução espacial das imagens, que eram essencialmente utilizadas à escala regional, nacional ou mundial, mormente para o estudo das grandes unidades morfológicas, pedológicas, biogeográficas, geológicas e de ocupação e uso do solo (Rocha e Sousa, 2007). Todavia, os ganhos de resolução espacial e espectral verificados, especial com o Programa Landsat, promoveu o interesse, a

confiança e, mesmo, a dependência relativamente aos dados de Deteção Remota, considerando a facilidade de aquisição da informação para extensas áreas e longos períodos, a possibilidade de processamento digital por via da integração com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Bhatta, 2010).

As imagens de satélite viabilizaram o enfoque cronogeográfico dos Estudos Urbanos, pois a visão estática do território cede lugar a uma abordagem dinâmica (como se de um filme se tratasse). Dessarte, o foco da investigação estende-se para além do padrão (e.g., a morfologia urbana), abrangendo de igual modo o processo de mudança (i.e., a evolução urbana). A par disto, importa notar que a visão multiespectral dos satélites – do visível às micro-ondas, passando pelo infravermelho térmico, dependendo do sistema de sensoriamento (Kadhim *et al.*, 2016) – fornece variegada informação (Chrysoulakis *et al.*, 2014), muito além da mera extração do tecido urbano (Carlson e Arthur, 2000; Gluch e Ridd, 2010).

Face ao exposto, procura-se colocar em evidência as mutações que a Deteção Remota, sempre alicerçada nos SIG, desencadeou nos Estudos Urbanos. É dado particular enfoque ao domínio da Geografia, visto aí a abordagem integrada do ecossistema urbano (Ridd, 1995; Bhatta, 2010; Almeida, 2018) – i.e., a diversas escalas espaciais e temporais – possibilitada pelas imagens multiespectrais e multitemporais dos satélites, se encontrar maximizada.

Deteção Remota de áreas urbanas

A Deteção Remota – observando a Terra de fora para dentro – regista sucessivamente as modificações ocorridas no território, a diferentes escalas espaciais, temporais e espectrais. Por conseguinte, permite descrever, medir e modelar a evolução da configuração espacial das áreas urbanas, bem como inferir mudanças ecológicas resultantes do crescimento urbano (Weeks, 2010). Atente-se que estas consequências não são bem conhecidas (Miller e Small, 2003; Stefanov e Netzband, 2010), pois investigações assentes em dados parcos (espacial e temporalmente) sempre

redundaram em representações pobres e simplistas (Coppin *et al.*, 2004). Esta indagação assume importância acrescida nos locais onde nas últimas décadas se verificaram intensos processos de urbanização (*e.g.*, China, Estados Unidos da América, e mesmo Portugal).

Abordagem dinâmica das áreas urbanas

A extração das coberturas/usos do solo, e particularmente do tecido urbano, constitui uma das principais aplicações das imagens de satélite, ainda que nas áreas urbanas esta tarefa se tenha revelado deveras complexa por causa da acentuada heterogeneidade de materiais (Rocha *et al.*, 2007; Weng, 2012; Fugate *et al.*, 2010; Viana *et al.*, 2019), imposta pela miscelânea de usos do solo. Mesmo assim, o estudo da componente física da *urbe* – *i.e.*, as áreas edificadas, as vias rodoviárias, os passeios, os parques de estacionamento (enfim, todas as superfícies impermeáveis) – encontra-se entre as mais proeminentes linhas de investigação dos Estudos Urbanos assentes em Detecção Remota.

Decorrente da fertilização cruzada com outros domínios científicos, assiste-se à implementação de novos métodos de análise da forma urbana, bem como dos processos que lhe estão subjacentes. A este respeito sobressai, pela imensidão de estudos de caso, a adaptação dos índices de estrutura espacial, originários da Ecologia da Paisagem (Forman, 1995), às manchas de tecido urbano (*e.g.*, Dietzel *et al.* 2005a, 2005b; Herol *et al.*; 2005; Dahal *et al.*, 2017). Ademais, verifica-se a aplicação de técnicas de deteção de mudança (*e.g.*, Xiao e Weng, 2016) e a introdução da geoestatística (*e.g.*, Fan e Myint, 2014), sempre tendo por base informação do tecido urbano extraído das imagens de satélite.

No campo teórico, a hipótese proposta por Dietzel *et al.* (2005a, 2005b) de que o crescimento de urbano se desenvolve segundo fases cíclicas de difusão e de coalescência, recebeu nos últimos anos especial atenção (*e.g.*, Liu *et al.*, 2010; Dahal *et al.*, 2017), contribuindo para tal a aplicação do *Landscape Expansion Index* (LEI). Esta métrica, desenvolvida por Liu *et al.* (2010), fornece uma resposta concreta sobre o modo como o crescimento urbano se

processa. Segundo este índice, aplicado ao padrão de mudança verificado entre duas datas (e não à imagem de uma determinada data, como sucede com as métricas tradicionais), a adição de tecido urbano pode ocorrer: (i) por via da colmatação urbana, quando as novas manchas de edificação se localizam nos interstícios remanescentes; (ii) em contiguidade com o tecido urbano já implementado no território, podendo ser aglomerados ou vias rodoviárias; ou (iii) por dispersão, quando as novas manchas surgem isoladas de qualquer tecido urbano.

Seguindo a explanação de Liu *et al.* (2010), o valor do LEI, que varia entre 0 e 100, é definido pelo seguinte conjunto de regras heurísticas aplicadas a *buffers* criados no entorno das novas manchas urbanas, assim: (i) se a área do *buffer* é ocupada maioritariamente pelas manchas urbanas preexistentes ($\geq 50 \text{ LEI} \leq 100$), então considera-se o crescimento urbano do tipo colmatação; (ii) se a área do *buffer* é preenchida por um misto de espaço vacante e de tecido urbano ($0 < \text{LEI} < 50$) então a nova mancha corresponde ao tipo contiguidade; (iii) se a área do *buffer* é composta exclusivamente por espaços não urbanos ($\text{LEI} = 0$), então a nova mancha enquadra-se no disperso.

Concomitantemente, Liu *et al.* (2010) propuseram duas variantes do LEI: o *Mean Expansion Index* (MEI) e o *Area-weighted Mean Expansion Index* (AWMEI). O valor médio LEI (que pode ser ponderado pela área das manchas) quantifica eficazmente a preponderância relativa de cada um dos modos de crescimento urbano ao longo de uma série temporal, traduzindo com efeito a maior ou menor compacidade do processo de urbanização (Liu *et al.*, 2010). Destarte, fornece uma resposta direta, quantificável e comparável à questão formulada por Dietzel *et al.* (2005a, 2005b). Esta standardização dos estudos é fundamental à comparação de resultados, na qual assenta a comprovação ou refutação de teorias, segundo a qual o conhecimento científico avança.

A informação extraída das imagens de satélite fornece ainda as bases para uma investigação de base quantitativa das *driving forces* do crescimento urbano, convencionalmente analisadas numa perspetiva qualitativa (Chen *et al.*, 2018), e

ainda parcamente compreendidas (Miller e Small, 2003). Estes estudos assentam no cruzamento do tecido urbano com indicadores de ordem demográfica, económica, sociocultural ou política, por via de correlações simples e/ou múltiplas, da análise fatorial ou da geoestatística (e.g., Chen *et al.*, 2018; Meneses *et al.*, 2017). Em concreto, são utilizados dados estatísticos (e.g., crescimento populacional, dimensão média das famílias, rendimento familiar), fatores de ordem espacial (e.g., distância ao núcleo urbano central, estradas, barreiras naturais, como rios ou áreas com declive muito acentuado) ou decorrentes da política territorial (e.g., zonamento, condicionantes, servidões).

Os fatores responsáveis pelo crescimento urbano variam significativamente no espaço (Meneses *et al.*, 2017) e no tempo, pelo que os indicadores são selecionados em função da realidade local. Este apuramento é pré-requisito para o desenvolvimento de modelos realísticos de projeção do crescimento urbano (Veldkamp e Lambin, 2001).

As inovações metodológicas descritas fornecem indicações sobre o onde (localização), quando, quanto (ritmo), modo e porquê (*drivers*) do crescimento urbano – que em conjunto permite dar resposta a uma das questões basilares dos Estudos Urbanos – *i.e.*, ‘*how do cities form over time*’ (Herold *et al.*; 2005). A abordagem dinâmica das áreas urbanas, iniciada por Batty e Longley (1994), com a teoria da ‘Cidade Fractal’, vem mitigar uma das principias críticas apontadas às teorias urbanas predecessoras – justamente o facto de não incluírem o fator tempo, que modifica as condições gerais como salienta Beaujeu-Garnier (1995).

Estudo integrado do ecossistema urbano

As imagens de satélite além de permitirem discernir a estrutura física (*i.e.*, dimensão) e a morfologia (*i.e.*, forma) das áreas urbanas – e, portanto, traçar a sua evolução espaciotemporal (Dahal *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018; Viana *et al.*, 2019) –, proporcionam uma multiplicidade de indicadores biofísicos (Ridd, 1995). Neste sentido, atente-se que as áreas urbanas, mais ou menos compactas, não se restringem às superfícies impermeabilizadas, em verdade são compostas por uma ampla gama de

materiais naturais, seminaturais e antrópicos, pelo que Bhatta (2010) considera o ecossistema urbano um sistema híbrido.

A diversidade de materiais que compõe o ecossistema urbano detém propriedades muito heterogéneas e interações complexas (Ridd, 1995), ainda assim, existem componentes e processos que podem ser generalizados. Ridd (1995) propôs um modelo teórico – denominado V-I-S (*Vegetation–Impervious Surface–Soil*) – que oferece a necessária simplificação do ecossistema urbano, subdividindo-o em três componentes biofísicas fundamentais: (i) vegetação; (ii) superfícies impermeáveis antrópicas; e, (iii) solo nu. Trilogia a que ainda se soma a água. Estas componentes biofísicas – ou coberturas do solo – exibem características muito contrastadas, quer ao nível dos processos biofísicos (*i.e.*, fluxos de energia e de água), quer da percepção humana sobre elas (Gluch e Ridd, 2010).

Em concreto, o modelo V-I-S, que pode ser aplicado a várias escalas de observação (e.g., subpixel, pixel, grupos de pixéis similares, ou até mesmo à cidade como um todo), efetua a ligação entre a composição das áreas urbanas e as características espectrais das imagens de satélite. Deste modo, possibilita a identificação das componentes biofísicas de modo objetivo e quantitativo a partir dos dados de Deteção Remota (Gluch e Ridd, 2010). Esta standardização dos estudos, tal como referido a propósito do LEI, possibilita um escrutínio detalhada da ‘anatomia das cidades’ (Ridd, 1995) – tanto no espaço (*i.e.*, diferentes territórios), como no tempo (*i.e.*, evolução cronológica). Esta abordagem desenvolve-se num espetro mais amplo (ou seja, para além da morfologia urbana), pois permite uma análise sincrónica do crescimento urbano com a situação ecológica do território, recuperando tradição dos estudos integrados da Escola de Sociologia de Chicago, fundada por Park em 1920. Ademais, esta abordagem parece contribuir para a superação da visão tradicional das cidades enquanto ‘ilhas estéreis’ no ‘mar’ composto pelos sistemas naturais (Czamanski *et al.*, 2008).

Nesta perspetiva a urbanização é entendida em sentido estrito como a conversão de áreas permeáveis, com maior ou menor cobertura vegetal, em superfícies impermeáveis

antrópicas. Em vista disso, a análise do processo de urbanização deverá começar pelas modificações na cobertura do solo que o crescimento urbano desencadeia, nomeadamente os consumos de solo que acarreta, por constituírem mudanças irreversíveis. Esta questão tem sido estudada com recurso a matrizes de transição (Bhatta, 2010), que indicam todas as alterações possíveis no seio do sistema de classificação adotado (*i.e.*, de → para), e, como tal, possibilitam a quantificação dos ganhos e perdas de cada classe (Liu e Yang, 2015; Xiao e Weng, 2016; Pinheiro *et al.*, 2018). Para além do conhecimento do tipo e da magnitude das mudanças, assume igual importância a cartografia da sua localização.

O seguimento dos fenómenos no espaço e no tempo pela Deteção Remota possibilita a determinação das consequências ecológicas da urbanização (Coppin *et al.* 2004) por comparação da situação observada em dois momentos distintos (*e.g.*, t_1 , situação inicial, e t_2 , depois da urbanização; *vide* Figura 1). Os limites desta análise residem na longevidade do(s) satélite(s) utilizado(s). Hodiernamente, é possível uma monitorização em contínuo destes efeitos, numa lógica de *story-telling* (Sui, 2011).

Uma das principais preocupações decorrentes da expansão urbana centra-se na depleção da vegetação, particularmente a arbórea (*e.g.*, Ryznar e Wagner, 2001; Zhou e Wang, 2011), atendendo aos inúmeros benefícios que proporciona (Parker e Baro, 2019), designadamente para: (i) o ambiente (*e.g.*, sequestro do carbono, filtragem de partículas, fonte de alimento, manutenção de habitats e da biodiversidade), (ii) a saúde e bem-estar (*e.g.*, redução do stress, melhoria da saúde física e mental, aumento da capacidade cognitiva); (iii) a economia (*e.g.*, redução do consumo de energia, aumento da produtividade laboral); e, (iv) a sociedade (*e.g.*, aumento da coesão, redução do crime).

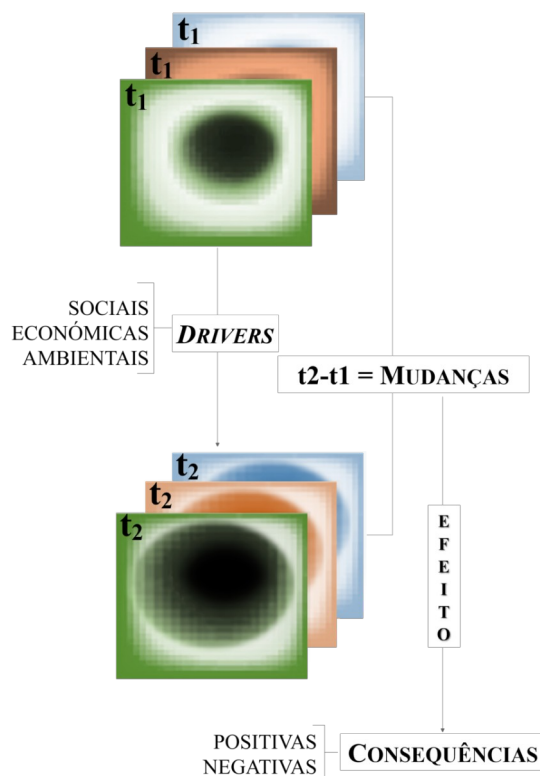


Figura 1. Abordagem dinâmica e integrada dos efeitos da urbanização viabilizada pela Deteção Remota (fonte: elaboração própria).

Efetivamente, a urbanização constitui um dos exemplos mais profundos das modificações humanas na superfície terrestre (Weng, 2011). Os efeitos no sistema climático encontram-se entre os mais bem documentados, particularmente no que se refere à formação da ilha de calor urbano (Roth, 2013). Este fenómeno assenta na existência de valores de temperatura mais elevados nas áreas urbanas por comparação com a sua envolvente rural, decorrente das alterações no balanço energético entre a atmosfera e a superfície terrestre, desencadeadas pela substituição de coberturas naturais por materiais artificiais, assim como pela libertação de calor antrópico, que apesar de ser em menor grau não pode ser descurada (García-Cueto *et al.*, 2007).

Para o conhecimento do efeito climático da urbanização em muito contribuiu a incorporação do infravermelho térmico nos satélites de média resolução (*e.g.*, Landsat, ASTER, MODIS). Neste espetro a radiação emitidas pelas superfícies, é passível de ser convertida na temperatura de superfície (T_s), por via da inversão da Lei de Planck – tendo

sido Rao (1972) o primeiro autor a demonstrar que tal era possível. Verdade seja dita, a Ts é praticamente a única variável relevante que se encontra ampla e explicitamente disponível para estudos climáticos com enfoque cronogeográfico (Miller e Small, 2003), pelo que constitui um dos parâmetros biofísicos mais utilizados na determinação dos impactes da urbanização (Sharma *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2016; Amorim, 2017; Pinheiro e Laranjeira, 2020).

Noutro cômputo, e em número mais reduzido, os dados diurnos e noturnos dos satélites têm sido utilizados para a realização de estimativas populacionais, no que se refere ao seu tamanho, densidade e distribuição espacial. Esta análise quantitativa revela-se especialmente importante em países que não possuem dados de censos da população recentes e fiáveis, esperando-se que no futuro a informação derivada a partir das imagens de satélite possa contribuir para estimativas intercensitárias, particularmente nos países que verificam um crescimento populacional muito acelerado.

Ainda no domínio das Ciências Sociais (Urbanas), a investigação com recurso à Detecção Remota tem-se voltado para a compreensão da relação do ambiente físico urbano (no qual se incluem os espaços verdes) com os diversos aspetos, designadamente: (i) processos demográficos (*e.g.*, Huang *et al.*, 2011), (ii) temáticas sociais, como a qualidade de vida (*e.g.*, Fung e Siu, 2000) ou a criminalidade (*e.g.*, Al-Awar e El-Baz, 2010); (iii) questões de saúde pública (*e.g.*, Dousset *et al.*, 2011; Depietri *et al.*, 2013); e, (iv) situações de (in)justiça ambiental, como o acesso a espaços verdes (*e.g.* Dadvand *et al.*, 2014).

Outrossim, a visão sincrónica que a Detecção Remota fornece do ecossistema urbano propicia uma avaliação das implicações que as decisões de planeamento urbano – *e.g.*, o zonamento funcional (Wilson *et al.*, 2003, Pinheiro e Laranjeira, 2020) – têm no ambiente. Deste modo, auxilia na resposta a um dos principais desafios que os atores envolvidos no processo de planeamento territorial enfrentam, especificamente como equilibrar as demandas do crescimento urbano com o correto funcionamento ecológico do território, dependente da

manutenção dos fluxos de matéria e energia (*e.g.*, água), através de estruturas contínuas, ou em algumas situações elementos descontínuos (Magalhães, 2007).

Aplicação da Detecção Remota ao planeamento territorial

O processamento das imagens captadas pela constelação de satélites destinados à Observação da Terra fornece, *per si* ou em conjunto com outras fontes, um conhecimento sem precedentes sobre as múltiplas dimensões do fenómeno urbano (Chrysoulakis *et al.*, 2014; Kadhim *et al.*, 2016). Esta informação, mais do que aplicável à resolução de problemas científicos, revela-se fundamental para a elaboração de estratégias de gestão ambiental e medidas de planeamento e ordenamento do território, particularmente à escala local onde o detalhe espacial e temporal dos dados se revela quase sempre insuficiente. Tanto mais que, as mudanças no território, presenciadas a um ritmo sem precedentes na história (Mayaux *et al.*, 2008; Seto *et al.*, 2010), obrigam a constantes atualizações das bases de dados.

Note-se que, as imagens de satélite apresentam cobertura temporal contínua e sincrónica (*e.g.*, no Landsat a captura ocorre por volta das 10h/11h), pelo que ao contrário dos registos tradicionais que efetuam medições pontuais, sobre as quais é necessário efetuar generalizações e correções, apresentam valores homogéneos para a seu grau de resolução, captados numa fração de segundos. A ausência de custo na aquisição da quase totalidade dos arquivos da NASA e da Agência Espacial Europeia, somada à periodicidade da captura (*e.g.*, 16 dias no Landsat, quatro vezes ao dia no MODIS), facilita a atualização da informação. Este *update* é particularmente importante em situações de catástrofe – *e.g.*, terremotos, inundações, incêndios florestais, ondas de calor – uma vez que permite avaliar os danos e direcionar de modo mais eficaz os meios de socorro. Por certo, esta informação poder ser aplicada antes, durante ou depois da ocorrência destes eventos, focando na prevenção, gestão e recuperação destas situações, respetivamente. Assim, é possível avaliar não só as áreas urbanas, como também a sua envolvente, sem os

constrangimentos dos limites administrativos ou políticos, que impõe limitações a outros tipos de dados (Miller e Small, 2003).

Em suma, apesar do elevado custo-benefício, continua a ser notória a lacuna entre a aplicação da Deteção Remota na investigação científica e a sua inclusão no processo de planeamento (Netzband *et al.*, 2007; Wentz *et al.*, 2012), em virtude da complexidade dos métodos de processamento envolvidos, particularmente num quadro de técnicos diminuto e pouco capacitado, como sucede em Portugal (Ferrão, 2014). Como alertam Zhao *et al.* (2011), os técnicos de planeamento apoiam-se em técnicas facilmente acessíveis, concretizadas em diretrizes e gráficos visuais. Com efeito, os esforços devem ser dirigidos para a estandardização das técnicas de processamento das imagens de satélite, e ainda mais importante para o desenvolvimento de produtos finais (históricos e atuais) que facilitem o processo de decisão dos *stakeholders* (Wentz *et al.*, 2012).

Nota final

Os ‘*Big Data*’, ao fornecerem informação com elevado detalhe espacial e temporal, promoveram o enfoque cronogeográfico dos Estudos Urbanos. Em específico, a visão sinótica e repetitiva da Deteção Remota tem sido amplamente utilizada para estudar o passado (estudo retrospectivo), o presente (monitorização) e o futuro (previsão) dos territórios urbanos, independentemente da sua localização geográfica. Assim, relativamente ao passado (mais ou menos longínquo) a extração das coberturas do solo permite recriar a trajetória das áreas urbanas (a partir de sucessivos retratos), e com efeito descortinar os processos e *drivers* que conduziram ao cenário atual, bem como os

Referências

- Al-Awar, M., El-Baz, F. (2010) Using Satellite Images in Policing Urban Environments. Em: Rashed, T. e Jürgens, C. (eds.) *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Heidelberg, Dordrecht, London & New York, Springer, 313-328.
- Almeida, R. (2018) Cities, Systems and Structures: an ontological approach to urban studies. *CIDADES, Comunidades e Territórios*. 37, 1-15.

respetivos efeitos ecológicos. No presente contribui para uma gestão mais eficiente do território urbano (*e.g.*, a monitorização da qualidade do ar, avaliação das consequências das inundações). Para futuro, os modelos de previsão, que permitem projetar diferentes cenários (como por exemplo o Modelo de Markov, no caso das mudanças do uso do solo), suportam decisões políticas, com vista à construção de um território mais resiliente e sustentável.

A despeito das mudanças e avanços registados nas últimas décadas, a imensidão de dados adquiridos pelos satélites continua a não ser cabalmente explorada, devido à complexidade dos métodos de processamento envolvidos. No quadro específico dos Estudos Urbanos, importa notar que a extração do tecido urbano permanece uma tarefa muito laboriosa (Rocha *et al.*, 2007; Kadhim *et al.*, 2016; Viana *et al.*, 2019), sendo reduzido o consenso quanto aos procedimentos que fornecem o melhor *trade-off* entre a complexidade do processamento e a precisão da informação. Neste sentido, a disponibilização de produtos processados – como sucede, por exemplo, ao nível europeu com as *High Resolution Layers*, no âmbito do Programa Copernicus –, constitui um importante *input* para a elaboração de estudos transversais, que coloquem em evidência as (dis)similaridades urbanas entre distintas realidades territoriais, espaciais e temporais.

Concluindo, a visão sinótica e repetitiva da Deteção Remota permite extrair o DNA urbano (Wilson, 2010). Sem embargo, dada a complexidade e constante mutação deste sistema não linear (Wilson, 2010), a sua cabal compreensão encontra-se longe de ser alcançada. Em razão disso, assume-se como uma das principais desafios científicos do presente e do futuro (cada vez mais urbano).

Disponível em:

<http://journals.openedition.org/cidades/794>. [Consultado em: 15 de dezembro de 2020].

Amorim, M. (2007). Deteção Remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. *Finisterra*. LII(105), 11-133. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18055/Finis6888>.

- Batty, M. (2012) Building a science of cities. *Cities*. 29, S9-S16. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.11.008>.
- Batty, M., Longley, P. (1994) *Fractal Cities: geometry of form and function*. London, Academic Press.
- Beaujeu-Garnier, J. (1995) *Géographie Urbaine*. Paris, Armand Colin Éditeur.
- Bhata, B. (2010) *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer.
- Cao, X., MacNaughton, P., Deng, Z., Yin, J., Zhang, X., Allen, J. G. (2018) Using twitter to better understand the spatiotemporal patterns of public sentiment: a case study in Massachusetts, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(2), 250. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph15020250>.
- Carlson, T., Arthur, S. (2000) The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*. 25(1), 49-65. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(00\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00021-7).
- Chen, L., Ren, C., Zhang, B., Wang, Z., Liu, M. (2018) Quantifying Urban Land Sprawl and its Driving Forces in Northeast China from 1990 to 2015. *Sustainability*. 10(1), 188. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10010188>.
- Chrysoulakis, N., Feigenwinter, C., Triantakoustantis, D., Penyeveskiy, I., Tal, A., Parlow, E., ... Marconcini, M. (2014) A conceptual list of indicators for urban planning and management based on earth observation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 3(3), 980-1002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(00\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00021-7).
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E. (2004) Review Article – Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*. 25(9), 1565-1596. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>.
- Czamanski, D., Benenson, I., Malkinson, D., Marinov, M., Roth, R., Wittenberg, L. (2008) Urban sprawl and ecosystems—can nature survive. *International Review of Environmental and Resource Economics*. 2(4), 321-366. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/now/jirere/101.00000019.html>. [Consultado em: 15 de dezembro de 2020].
- Dadvand, P., Wright, J., Martinez, D., Basagaña, X., McEachan, R. R., Cirach, M., ... Nieuwenhuijsen, M. J. (2014) Inequality, green spaces, and pregnant women: roles of ethnicity and individual and neighbourhood socioeconomic status. *Environment International*. 71, 101-108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.06.010>.
- Dahal, K. R., Benner, S., Lindquist, E. (2017) Urban hypotheses and spatiotemporal characterization of urban growth in the Treasure Valley of Idaho, USA. *Applied Geography*. 79, 11-25. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.002>.
- Depietri, Y., Welle, T., Renaud, F. G. (2013) Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 6, 98-117. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2013.10.001>.
- Dietzel, C., Herold, M., Hemphill, J., Clarke, K. (2005a) Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory. *International Journal of Geographical Information Science*. 19(2), 175-195. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13658810410001713407>.
- Dietzel, C., Oguz, H., Hemphill, J. J., Clarke, K. C., Gazulis, N. (2005b) Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 32(2), 231-246. Disponível em: <https://doi.org/10.1068/2Fb31148>.
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., ... Vandentorren, S. (2011) Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*. 31(2), 313-323. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.2222>.
- Fan, C., Myint, S. (2014) A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. *Landscape and Urban Planning*. 121, 117-128. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.10.002>.
- Ferrão, J. (2014) *O Ordenamento do Território como Política Pública*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Forman, R. (1995) *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Fugate, D., Tarnavsky, E., Stow, D. (2010) A survey of the evolution of remote sensing imaging systems and urban remote sensing applications. Em: Rashed, T. e Jürgens, C. (eds.) *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Heidelberg, Dordrecht, London & New York, Springer, pp. 119-140.

- Fung, T., Siu, W. (2000) Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*. 21(5), 1011-1024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/014311600210407>.
- García-Cueto, O., Jauregui-Ostos, E., Toudert, D., Tejada-Martinez, A. (2007) Detection of the urban heat island in Mexicali, BC, México and its relationship with land use. *Atmósfera*. 20(2), 111-131.
- Gluch, R., Ridd, M. (2010) The VIS model: quantifying the urban environment. Em: Rashed, T. e Jürgens, C. (eds.) *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Heidelberg, Dordrecht, London & New York, Springer, pp.85-116.
- Herold, M., Hemphill, J., Dietzel, C., Clarke, K. (2005) Remote sensing derived mapping to support urban growth theory. *3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005)*. 7pp.
- Huang, Y., Yuan, M., Lu, Y. (2019) Spatially varying relationships between surface urban heat islands and driving factors across cities in China. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 46(2), 377-394. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F2399808317716935>.
- Kádár, B. (2014) Measuring tourist activities in cities using geotagged photography. *Tourism Geographies*. 16(1), 88-104. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14616688.2013.868029>.
- Kadhim, N., Mourshed, M., Bray, M. (2016) Advances in remote sensing applications for urban sustainability. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 1(1), 7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41207-016-0007-4>.
- Liu, T., & Yang, X. (2015) Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. *Applied Geography*. 56, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.10.002>.
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., Ai, B. (2010) A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*. 25(5), 671-682. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9454-5>.
- Magalhães, M. (Coord.) (2007). *Estrutura Ecológica da Paisagem, Conceitos e Delimitação – Escala Regional e Municipal*. Lisboa, IsaPress.
- Mayaux, P., Eva, H., Brink, A., Achard, F., Belward, A. (2008) Remote sensing of land-cover and land-use dynamics. Em: Chuvieco, E. (ed.) *Earth Observation of Global Change*. Dordrecht, Springer, pp. 85-108.
- Meneses, B., Reis, E., Pereira, S., Vale, M., Reis, R. (2017) Understanding driving forces and implications associated with the land use and land cover changes in Portugal. *Sustainability*. 9(3), 351. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su9030351>
- Miller, R., Small, C. (2003) Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. *Environmental Science & Policy*. 6(2), 129-137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>.
- Netzband, M., Stefanov, W., Redman, C. (2007) Remote sensing as a tool for urban planning and sustainability. Em Stefanov, W e Redman, C. (eds.) *Applied remote sensing for urban planning, governance and sustainability*. Berlin/Heidelberg, Springer, pp. 1-23.
- Parker, J., Baro, M. (2019) Green Infrastructure in the Urban Environment: A Systematic Quantitative Review. *Sustainability*. 11(3182). 20pp. Disponível em <https://doi.org/10.3390/su11113182>.
- Pinheiro, C., Laranjeira, M. (2020) Avaliação por detecção remota da influência ambiental do zonamento no ecossistema urbano de Baga. Em: Remoaldo, P., Caldeira, M., Teles, V., Scalabrini, E., e Fernandes, J. (eds.) *Livro de Atas do XII Congresso da Geografia Portuguesa, “Geografias De Transição Para A Sustentabilidade”*, 13 a 15 de novembro de 2019. Guimarães, Universidade do Minho e Associação Portuguesa de Geógrafos. pp.127-132.
- Pinheiro, C., Laranjeira, M., Bandeira, M. (2016) Mudança no Ambiente Térmico em Guimarães (1984-2014): o impacto da urbanização difusa. Em: Correia, J., e Bandeira, M. (eds.) ‘*Os Espaços da Morfologia Urbana*’ – Atas da 5ª Conferência Internacional da Rede Lusófona de Morfologia Urbana, PNUM 2016., 15 a 16 de julho de 2016. Guimarães, Escola de Arquitectura da Universidade do Minho/ Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT). pp.409-415.
- Pinheiro, C., Laranjeira, M., Bandeira, M. (2018) Observação da área urbana de Braga e Guimarães pelo Landsat: mudanças espaciotemporais nas componentes biofísicas (1984-2016). Em: Vieira, A., Gonçalves, A., e Costa, F. (eds.) *Atas do II Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente – “Desafios Para Afirmar a Lusofonia na Geografia Física e Ambiente*, 4 a 8 de junho de 2018. Guimarães, CEGOT-UMinho. pp., 751-758.
- Rao, P. (1972) Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 53, 647-648.

- Ridd, M. (1995) Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*. 16, 2165-2185. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431169508954549>.
- Rocha, J., Sousa, P. (2007) *Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Rocha, J., Tenedório, J., Estanqueiro, R. Sousa, P. (2007) Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra*. XLII(83), 47-62. Disponível em: <https://doi.org/10.18055/Finis1438>.
- Roth, M. (2013) Urban heat islands. Em: Fernando, H. (ed.) *Handbook of Environmental Fluid Dynamics - Volume Two*. New York, CRC Press/Taylor & Francis Group, pp. 143-162.
- Ryznar, R., Wagner, T. (2001) Using remotely sensed imagery to detect urban change: Viewing Detroit from space. *Journal of the American Planning Association*. 67(3), 327-336. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01944360108976239>.
- Seto, K., Sánchez-Rodríguez, R., Fragkias, M. (2010) The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*. 35, 167-194. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125336>.
- Sharma, R., Ghosh, A., Joshi, P. (2013) Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). *Environmental Monitoring and Assessment*. 185(4), 3313-3325. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2792-9>.
- Stefanov, W., Netzband, M. (2010) Characterization and Monitoring of Urban/ Peri-urban Ecological Function and Landscape Structure Using Satellite Data. Em: Rashed, T. e Jürgens, C. (eds.) *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Heidelberg, Dordrecht, London & New York, Springer, pp. 219-244.
- Sui, D. (2011) Rethinking progress in urban analysis and modeling: models, metaphors, and meaning. Em: Yang, X (ed.) *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment*. New Jersey, John Wiley & Sons, pp.372-382.
- Veldkamp, A., Lambin, E. (2001) Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 85(1-3), 1-6. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Viana, C., Oliveira, S., Oliveira, S., Rocha, J. (2019) Land use/land cover change detection and urban sprawl analysis. Em Pourghasemi, H., e Gokceoglu, C (eds.) *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, pp. 621-651. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00029-6>
- Weeks, J. (2010) Defining Urban Areas. Em: Rashed, T. e Jürgens, C. (eds.) *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Heidelberg, Dordrecht, London & New York, Springer, pp.33-46.
- Weng, Q. (2011) Remote Sensing of Urban Biophysical Environments. Em Weng, Q. (ed.) *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications*. New York, CRC Press, pp.503-516.
- Weng, Q. (2012) Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*. 117, 34-49. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>.
- Wentz, E., Quattrochi, D., Netzband, M., Myint, S. (2012). Synthesizing urban remote sensing through application, scale, data and case studies. *Geocarto International*. 27(5), 425-442. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.687400>.
- Wilson, A. (2010) Remote sensing as the ‘X-ray crystallography’ for urban ‘DNA’. *International Journal of Remote Sensing*. 31(22), 5993-6003. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.512308>.
- Wilson, J., Clay, M., Martin, E., Stuckey, D., Vedder-Risch, K. (2003) Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 86(3), 303-321. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1).
- Xiao, H. Weng, Q. (2016) A tale of two cities: Urbanization in Greensboro, North Carolina, USA, and Guiyang, Guizhou, China. Em: Weng, Q. (ed.) *Remote Sensing for Sustainability*. New York, CRC Press, pp.81-99.
- Yang, M., Rim, H. (2014) Identifying interesting Twitter contents using topical analysis. *Expert Systems with Applications*. 41(9), 4330-4336. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.051>.
- Zhao, C., Fu, G., Liu, X., Fu, F. (2011). Urban planning indicators, morphology and climate indicators: A case study for a north-south transect of Beijing, China. *Building and Environment*. 46(5), 1174-1183. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.009>

Zhou, X., & Wang, Y. (2011) Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies. *Landscape and Urban Planning*. 100(3), 268-277. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.013>.

Tradução do título, resumo e palavras-chave

Remote Sensing: Possibilities for a dynamic and integrated approach to the urban ecosystem

Abstract. *The limited existence of continuous spatiotemporal data always imposed considerable restrictions on transversal and diachronic approaches to the urban phenomenon. However, recent technological advances daily increase colossal databases with explicit geographic information (e.g., satellites, social networks, official data), enabling the multiplication of case studies. So, the deductive logic, hegemonic until then, is replaced by the inductive one. This approach applied from bottom-up perspective highlights local particularisms. Born even before the splendidity of 'Big Data', the synoptic and repetitive view of the Earth provided by Remote Sensing constitutes a key element in the reinterest and in the methodological and conceptual renewal of Urban Studies verified in the begin of the new millennium. In particular, the chronogeographic focus that is given to studies of urban morphology. Along with this, satellites multispectral view provides diverse information (e.g., soil moisture, surface temperature, pollution), which extends far beyond the mere extraction of urban fabric. In this sense, we seek to highlight the mutations that Remote Sensing - anchored on Geographic Information Systems - promoted in the Urban Studies. We focus on Geography domain were the integrated approach of the urban ecosystem is maximized.*

Keywords: *remote sensing, urban ecosystem, spatiotemporal dynamics, ecological consequences, land management.*

*Editor responsável pela submissão: Vinicius de Moraes Netto.
Licenciado sob uma licença Creative Commons.*

