

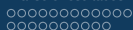
# Avaliação de serviços ecossistêmicos múltiplos em Sheffield, UK

Discussão para o artigo de Holt et al., “Understanding spatial patterns in production of multiple ecosystem services”

Marcelo Reis

CST310-3 – População, Espaço e Ambiente  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Agosto de 2016



## Understanding spatial patterns in the production of multiple urban ecosystem services

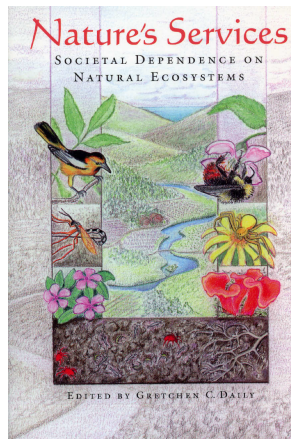
Alison R. Holt, Meghann Mears, Lorraine Maltby, Philip Warren

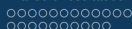
Department of Animal and Plant Sciences  
University of Sheffield



# Serviços ecossistêmicos

- Marcos teóricos: 1997 (Daily, “Nature’s services” e Constanza, “Toward an ecological economics”) e 2005 (Agenda do Milênio, Avaliação Ecosistêmica do Milênio)
- **Prevenção** (reciclagem de nutrientes, preservação de nascentes, matriz energética), **regulação** (clima, doenças, tratamento de esgotos) e **culturais** (recreação, patrimônio imaterial, estéticos)





# Ecossistemas urbanos

É possível otimizar a produção do espaço urbano para favorecer múltiplos serviços ecossistêmicos?

- Dados são escassos, levantamento de **campo é custoso**.
- Dificuldade crescente quando se **reduz a escala**, e quando se tenta mapear **mais de um serviço**.
- Vão apresentar alternativa com base em dados amplamente disponíveis, em estudo da cidade de Sheffield.
- De fundo, também vão discutir como a escolha da **unidade espacial** modifica os padrões na análise.

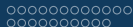


# Sheffield: Características

- c. 530 mil habitantes (2007)
- Condado de South Yorkshire
- Montanhosa, com altitudes entre 19 e 592 metros acima do nível do mar
- Perfil longitudinal dos solos, com arenosos e argilosos a leste e de turfa a oeste



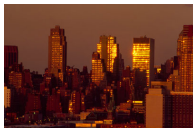
**Figura:** Localização de Sheffield no condado de South Yorkshire, UK. (Fonte: Wikipedia/Wikimedia Commons.)



# Serviços ecossistêmicos analisados



redução da poluição  
do ar



mitigação de ilha de  
calor



redução de  
escoamento de águas  
pluviais



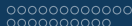
sequestro de carbono



oportunidades  
culturais

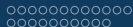


habitat para flora e  
fauna



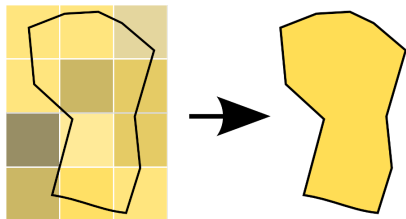
# Dados

- mapa de cobertura do solo (**LANDis**) - validado em confronto visual/Google Earth
- mapa de solos (**NATMAP**)
- atributos do solo (**SOILERIES** e **HORIZON**)
- oportunidades para serviços ecossistêmicos culturais: **precisaram de dados adicionais**, fornecidos pelo projeto HECA (South Yorkshire Historic Environment Character Area - mapeamento uso do solo), do South Yorkshire Archeology Service.



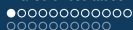
# Modelagem

- Modelagem a partir de 3 unidades espaciais: grades de 500 m, Output Areas (OA, menores unidades do censo inglês) e polígonos HECA (tipos de tecido urbano/uso do solo)
- Serviços ecossistêmicos: grade de 500 metros, posteriormente mapeados para as unidades OA e HECA (média ponderada por área)



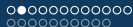
**Figura:** Conversão de grade para polígonos (por média ponderada por área). (Elaboração própria.)





# Métodos

Para alguns dos serviços foi calculada a oferta existente, e feita a comparação com a oferta que existiria no caso de não haver cobertura vegetal nenhuma (solo 100% impermeabilizado e construído, sem vegetação).



# Redução da poluição do ar

## Fórmula

$$F = VdC$$

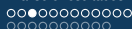
Onde:

F = fluxo de total de depósito de poluentes

Vd = velocidade de deposição

C = concentração de poluentes

Capacidade de retenção dos poluentes pelo solo e vegetação, mapeado para particulado e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Foi confrontada com situação de cobertura artificial, feita a seguir a divisão de uma situação / outra.



# Redução de ilhas de calor

## Fórmula

$$M = R - H - L \times E - G$$

Onde:

M = calor armazenado em construções

R = fluxo líquido de radiação

H = fluxo de calor sensível no ar

L = calor latente da água

E = taxa de evaporação

G = fluxo de calor no substrato do solo

Estimou-se a temperatura ao nível do solo durante 24 horas, e fez-se a comparação (subtração) com a temperatura no caso de uma superfície artificial. Simulação para um dia muito quente em Sheffield (29,23 °C).

# Redução de água de escoamento de chuvas

## Fórmula

$$Q = \begin{cases} \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}, & \text{se } P > 0.2S \\ 0, & \text{se } P < 0.2S \end{cases}$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

Onde:

Q = espessura do escoamento (cm)

P = precipitação (cm)

S = potencial máximo de retenção com o início do escoamento

CN = número de escoamento, conforme cobertura do solo, grupo hidrológico e condição de umidade inicial do solo

O cálculo é feito a partir da média de duas situações (12mm e 60mm com solo encharcado), confrontando o solo impermeabilizado da situação artificial com o realmente existente.



# Sequestro de carbono

Calculado a partir de valores de referência para vegetação e solos.

## Vegetação

As autoras utilizam um modelo de valores padrão proposto para tipos de vegetação na Irlanda (CRUICKSHANK; TOMLINSON; TREW, 2000).

## Solos

Há um procedimento complexo descrito no paper, que leva em conta o tipo de solo e o potencial de retenção do carbono no mesmo.



# Oportunidades para serviços ecossistêmicos culturais em espaços verdes

Mapeado a partir do uso do solo classificado pelo HECA. Dois requisitos fundamentais:

- zona de uso em que predomine a área verde
- área publicamente acessível

Várias escalas são usadas conforme proximidade do polígono (300m - 2ha, 2km - 10ha, 5km - 100ha e 10km - 500ha).

# Provisão de habitat para fauna e flora

Índice de diversidade de Shannon

$$H' = \sum_{i=0}^k (p_i \log_2 p_i)$$

Onde  $p_i$  são as proporções para cada tipo de habitat no território em análise e  $k$  é soma de tipos de habitat existentes.

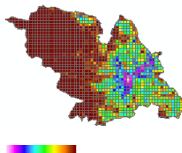
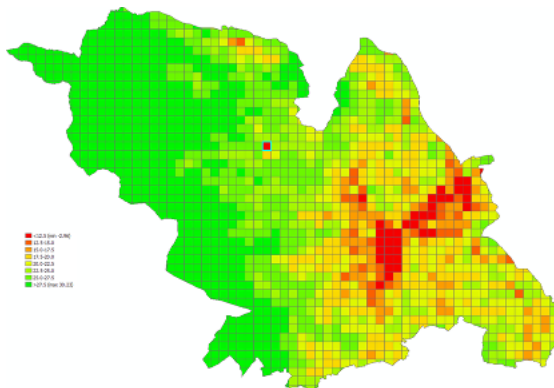


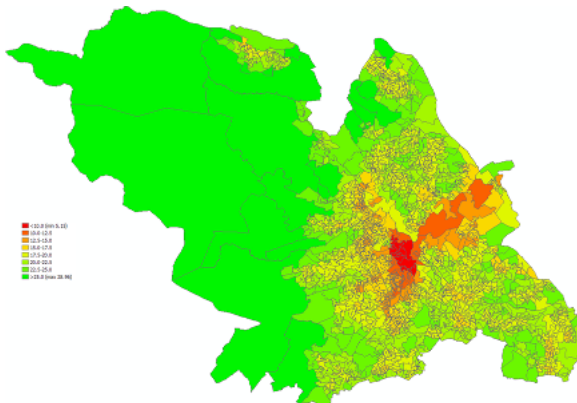
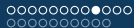
Figura: Índice de diversidade de Shannon. (Elaboração das autoras.)

A **conectividade** dos habitats também é considerada e utiliza-se uma métrica adicional.



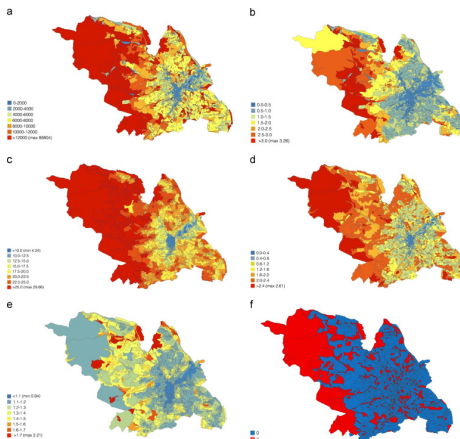
**Figura:** Mitigação de ilhas de calor: a redução está calculada em graus Celsius, conforme grade de 500 m. (Reproduzido das autoras.)





**Figura:** Mitigação de ilhas de calor: a redução está calculada em graus Celsius, conforme OAs.  
(Reproduzido das autoras.)

# Mapas - serviços ecossistêmicos



**Figura:** Mapas para ocorrência de serviços ecossistêmicos individuais em Sheffield, UK, conforme zonas HECA. (Reproduzido das autoras.)

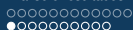
# Método de análise

## Correlação - $\rho$ de Spearman

Aplica-se **correções de Bonferoni**, uma vez que múltiplas comparações com o mesmo conjunto de dados foram realizadas.

**Hotspots:** para cada serviço, as autoras elencam os polígonos com os **valores 10% ou 25% maiores (corte)** em cada padrão de serviços ecossistêmicos.

Os cálculos foram feitos para a área inteira do distrito e também para apenas a área urbana.



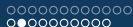
# Áreas com múltiplos serviços

Serviços ecossistêmicos - toda área	0	1	2	3	4	5	6
500m grid squares	0.59	<b>0.19</b>	<b>0.11</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	0.00	0.00
OA	0.72	<b>0.13</b>	<b>0.06</b>	0.03	<b>0.04</b>	0.01	0.00
HECA	0.73	<b>0.12</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	0.03	0.02	0.01

**Tabela:** Proporção de hotspots com múltiplos serviços ecossistêmicos conforme recorte territorial em Sheffield, UK. (Reproduzido das autoras.)

Serviços ecossistêmicos - área urbana	0	1	2	3	4	5	6
500m grid squares	0.73	<b>0.12</b>	<b>0.05</b>	0.03	0.03	0.02	0.01
OA	0.72	<b>0.14</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	0.02	0.00
HECA	0.70	<b>0.15</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	0.03	0.01	0.00

**Tabela:** Proporção de hotspots com múltiplos serviços ecossistêmicos conforme recorte territorial em Sheffield, UK. (Reproduzido das autoras.)

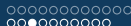


# Correlações encontradas

Para área urbana de Sheffield apenas:

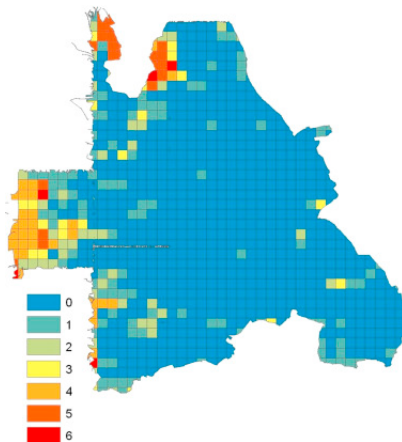
		Air pollution reduction	Heat island mitigation	Runoff reduction	Carbon storage	Cultural opportunities	Habitat provision
500 m grid squares	Air pollution reduction	-					
	Heat island mitigation	<b>0.78</b>	-				
	Runoff reduction	<b>0.67</b>	<b>0.82</b>	-			
	Carbon storage	<b>0.80</b>	<b>0.91</b>	<b>0.76</b>	-		
	Cultural opportunities	<i>0.42</i>	<i>0.35</i>	<i>0.30</i>	<i>0.44</i>	-	
	Habitat provision	<b>0.76</b>	<b>0.91</b>	<b>0.81</b>	<b>0.83</b>	<i>0.28</i>	-
OA	Air pollution reduction	-					
	Heat island mitigation	<b>0.83</b>	-				
	Runoff reduction	<i>0.46</i>	<b>0.55</b>	-			
	Carbon storage	<b>0.60</b>	<b>0.72</b>	<b>0.60</b>	-		
	Cultural opportunities	<i>0.43</i>	<i>0.34</i>	<i>0.27</i>	<i>0.39</i>	-	
	Habitat provision	<i>0.59</i>	<b>0.66</b>	<b>0.67</b>	<b>0.82</b>	<i>0.41</i>	-
HECA	Air pollution reduction	-					
	Heat island mitigation	<b>0.89</b>	-				
	Runoff reduction	<i>0.45</i>	<i>0.51</i>	-			
	Carbon storage	<b>0.64</b>	<b>0.69</b>	<b>0.40</b>	-		
	Cultural opportunities	<i>0.25</i>	<i>0.24</i>	<i>0.10</i>	<i>0.44</i>	-	
	Habitat provision	<b>0.61</b>	<b>0.67</b>	<b>0.43</b>	<b>0.86</b>	<i>0.39</i>	-

**Figura:** Coeficiente  $\rho$  de Spearman para serviços ecossistêmicos conforme recorte territorial em Sheffield, UK. (Reproduzido das autoras.)



# Associação entre serviços ecossistêmicos

- Os **padrões de distribuição dos serviços são similares**, o que reflete coeficientes significativos de correlação.
- A força de correlação depende, contudo, da unidade territorial usada.
- Considerando apenas a **área urbana, as correlações são mais fortes**.
- Maiores correlações encontradas na unidade territorial grade de 500 metros.



**Figura:** Células de 500m com hotspots de serviços ecossistêmicos. (Reproduzido das autoras.)

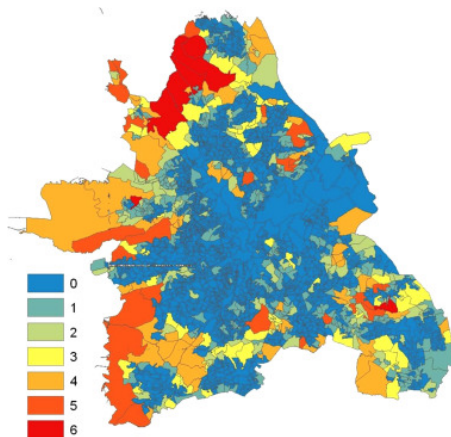


Figura: Output Areas com hotspots de serviços ecossistêmicos. (Reproduzido das autoras.)



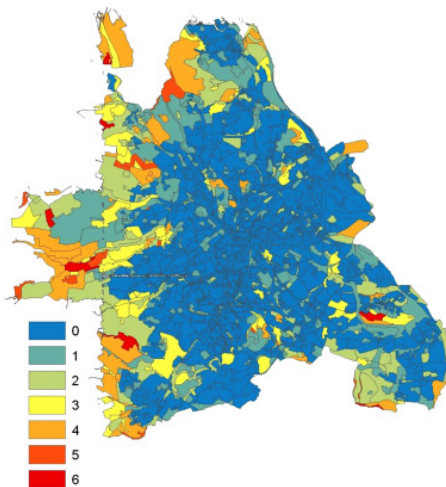
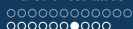
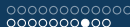


Figura: Zonas HECA com hotspots de serviços ecossistêmicos. (Reproduzido das autoras.)



## Análise e discussão

- Quando usada a **grade de 500m**, largas porções do território parecem **não produzir nenhum serviço ecossistêmico** relevante. Essa **tendência desaparece na agregação de OAs e HECAs**.
- Há uma correlação forte entre mitigação de ilhas de calor, sequestro de carbono e oportunidades culturais, que co-ocorrem como hotspots em 8-11% das células da grade de 500m.
- Associação deve ser explicada porque alguns serviços precisam dos mesmos atributos de paisagem - **áreas de cobertura natural e vegetal** –, a fim de atingir alto nível de oferta.

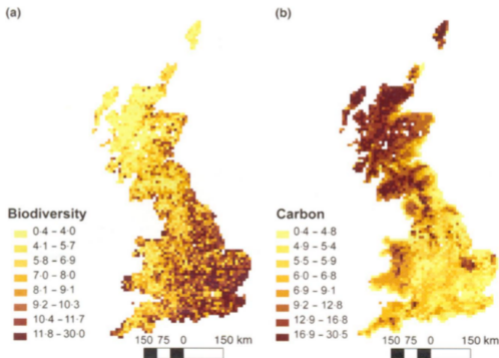


# Análise e discussão

- Modelagem é complexa, mas como apresentada, parece ser **suficiente acessível** para planejamento urbano.
- Escolha da unidade deve ser feita respeitando o **plano de ação** – por exemplo, tecido urbano (HECA) para decidir quanto ao planejamento territorial, setores censitários (OAs) para endereçar políticas a grupos sociais específicos, etc.



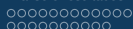
Outras pesquisas mostram menor correlação entre serviços, mas foram feitos em escalas mais grosseiras, para áreas maiores e diferentes serviços.



**Figura:** Comparação entre serviços ecossistêmicos e biodiversidade para escala do Reino Unido (ANDERSON et al., 2009).

# Conclusões

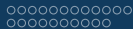
- Maioria das áreas com múltiplos serviços foi mapeada nas áreas rurais, porém foram encontrados alguns bolsões na área urbana (p.e. parques).
- Há **limites para a multifuncionalidade** da provisão de serviços ecossistêmicos no ambiente urbano.
- **Localização** de áreas verdes no centro ou nas franjas da área urbana deve ser pensada pela amplitude de serviços e acessibilidade.
- Verticalização *versus* espraiamento: cada qual atinge as áreas verdes e os serviços ecossistêmicos de determinada maneira.



# Hotspots?

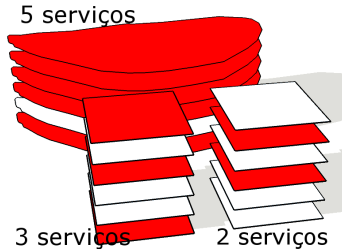
A adoção de hotspots, ou seja, recorte em quantis de polígonos com valores mais altos para determinado serviço, é a maneira mais simples de selecionar áreas que provêm os serviços ecossistêmicos - mas será adequada?

- Não estabelece critério fixo para existência ou não de serviço ecossistêmico, apenas **critério relativo**. Não seria possível adotar um índice normalizado a partir da avaliação de cada serviço?
- Sensível ao suporte – mudança de grade para polígonos causou mudanças profundas na seleção de hotspots.
- Não considerou vizinhança. **Correlação apenas entre serviços** dentro de uma mesma área, e não entre polígonos.

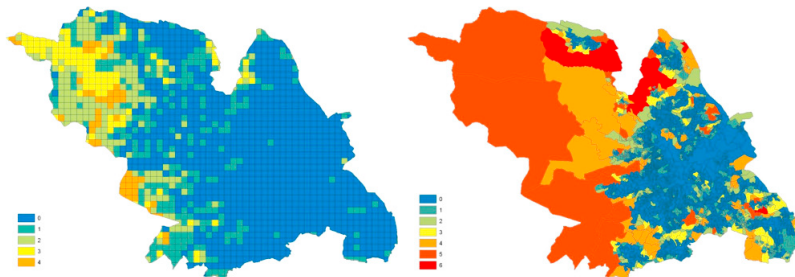


# Sobreposição de hotspots

A classificação de hotspots é feita apenas dentro da classe de recorte territorial (10%), e é verificada maior proporção de co-ocorrência de múltiplos hotspots em polígonos HECA e OA do que na grade.

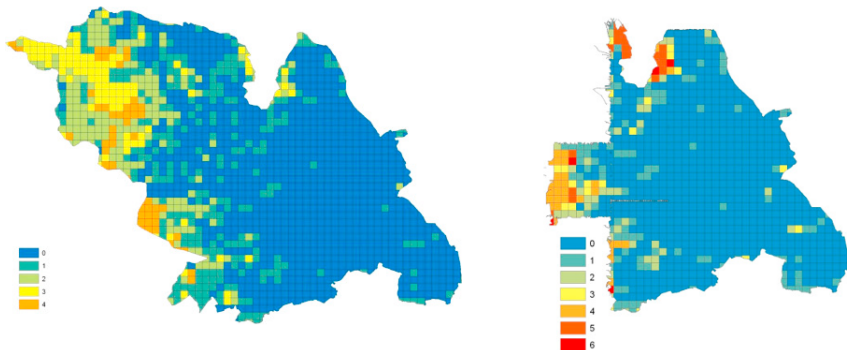
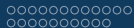


**Figura:** Comparação entre classificação de hotspots em grade e polígonos.

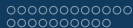


**Figura:** Comparação de índice de múltiplos serviços para grade de 500m e Output Areas em Sheffield, UK. Reproduzido dos autores.





**Figura:** Comparação de índice de múltiplos serviços na área total e urbana de Sheffield, UK. Reproduzido dos autores.

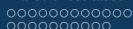


# Oportunidades culturais

Em meio aos serviços de regulação, foi inserido um serviço de “oportunidades culturais”, mas que foi pouco trabalhado.

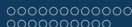


Figura: Oportunidade para serviços culturais?



# Perspectivas

“**Building more complex models** (either in place of the indices or by increasing the complexity of the existing mechanistic models) **would involve significantly greater time, financial and personnel resources**. Thus these models represent a **trade-off between what can reasonably be achieved with the given resources, and accuracy**. Furthermore, simpler and more tractable models can be more readily implemented, perhaps making them a more practical approach to investigating problems.” (reproduzido do material anexo, grifo meu).



## Referências bibliográficas



ANDERSON, B. J. et al. Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, Blackwell Publishing Ltd, v. 46, n. 4, p. 888–896, 2009. ISSN 1365-2664. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01666.x>>.



CRUICKSHANK, M.; TOMLINSON, R.; TREW, S. Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. *Journal of Environmental Management*, v. 58, n. 4, p. 269 – 287, 2000. ISSN 0301-4797. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147970090330X>>.



HOLT, A. R. et al. Understanding spatial patterns in the production of multiple urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, v. 16, p. 33 – 46, 2015. ISSN 2212-0416. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041615300243>>.



MÉRAL, P. Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures, Sciences, Sociétés*, v. 20, p. 3–15, 2012. ISSN 1240-1307. Disponível em: <<http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010056265>>.