

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

YARA CAMPOS MIRANDA

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO DE ILHAS
DE CALOR URBANAS: uma revisão sistemática**

ARTIGO

MEDIANEIRA

2018

YARA CAMPOS MIRANDA



**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À DETECÇÃO DE ILHAS
DE CALOR URBANAS: uma revisão sistemática**

Artigo apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios – Polo UAB do Município de Cruzeiro do Oeste PR, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Sensoriamento remoto aplicado à detecção de ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática

Por

Yara Campos Miranda

Este Artigo foi apresentado às 10h30min do dia 19 de maio de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios – Polo de Cruzeiro do Oeste, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Ma. Marlene Magnoni Bortoli
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientadora)

Prof^a. Da. Carla Adriana Pizarro Schmidt
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

RESUMO

O crescimento exacerbado da população no ambiente urbano e a consequente supressão de vegetação faz com que as cidades enfrentem problemas relacionados ao desconforto térmico, como a formação de ilhas de calor. O sensoriamento remoto é uma ferramenta útil na identificação deste fenômeno, e seu uso vem crescendo nos últimos anos. Assim, o objetivo deste trabalho é comparar a metodologia e evolução dos estudos já realizados sobre a temática, a partir de uma revisão sistemática. Para tanto, utilizou-se um protocolo de pesquisa, seguindo os pressupostos metodológicos sugeridos por Kitchenham et al., (2009), onde foram pesquisados artigos indexados no período de 1996 a 2016 em três bases eletrônicas: ScienceDirect, Plataforma Capes e Google acadêmico. Este procedimento resultou na seleção de 20 artigos científicos, extraídos do montante de 3515 resultados computados nos mecanismos de pesquisa selecionados, alcançando assim um índice de aproveitamento de 6,5%. Foi possível constatar um maior número de artigos selecionados escritos na língua inglesa e oriundos do ScienceDirect, como também uma certa evolução das técnicas empregadas para estudos urbanos, a partir da invenção de programas computacionais que facilitam a detecção de ilhas de calor. Além disso, há um crescimento exponencial no número de artigos a partir de 2006, tendo como um dos fatores associados, a disponibilização de imagens de satélite gratuitas. No entanto, é necessário um maior esforço da comunidade científica para a melhoria das metodologias empregadas, visando a facilitar o entendimento da formação deste fenômeno e propondo medidas mitigadoras para as mesmas.

Palavras-chave: Clima Urbano; Geotecnologia; Desconforto Térmico, Planejamento Urbano

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
MATERIAL E MÉTODOS	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS.....	19

INTRODUÇÃO

As áreas urbanas cobrem apenas uma pequena fração da superfície da Terra, porém a sua umidade, efeitos térmicos e cinemáticos podem estender a favor do vento por alguns quilômetros. Ainda, as emissões de gases com efeito de estufa provenientes da construção e operação das cidades são grandes e crescentes, fazendo com que resultem em ilhas de calor (IC), acarretando em maior consumo de energia e de recursos pelos habitantes e em maior possibilidade de eventos climáticos extremos (GRIMMOND, 2007).

As ilhas de calor são fenômenos que ocorrem a partir do maior aquecimento de um local, podendo intensificar-se de acordo com características na qual está inserida, como o material de edificações e ausência de áreas verdes. A troca de calor gerada na formação deste processo possibilita a identificação deste fenômeno por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

As primeiras observações de IC foram reportadas por Luke Howard, em Londres, em 1833. Após este trabalho houve uma evolução gradual referente à temática, chegando atualmente a mais de 3 mil trabalhos publicados em revistas indexadas (STEWART, 2011).

Com a evolução da tecnologia, os procedimentos utilizados na detecção das ilhas de calor vão se modificando conforme o tempo, o que facilita de certa forma a ascensão no número de trabalhos publicados sobre a temática (PATINO; DUQUE 2013).

A área com maior abordagem é a detecção de ilhas de calor por meio de imagens de satélite, que se baseia em mapas de uso do solo e bandas termais, associando o material empregado na infraestrutura urbana e a presença de vegetação (BARROS 2009; CALLEJAS et al., 2011, HONG-MEI et al. 2001, YANG 2000).

Outra linha de pesquisa que tem se destacado é a contabilização do conforto térmico por meio de geotecnologias, que visa ao planejamento dos parques e áreas verdes urbanas, com o intuito de contribuir para a mitigação de ilhas de calor (HARDIN; JESEN, 2007).

Yu e Hien (2006) afirmam que a vegetação é capaz de ocasionar ilhas de frescor na urbe, e atualmente esta variável vem sendo empregada por arquitetos na diminuição dos custos operacionais com refrigeração, devido à capacidade de amenização de temperatura.

No entanto, é notável a quantidade de informações disponíveis que não condizem com metodologias adequadas e confiabilidade dos dados, o que reafirma a necessidade de uma qualificação e sintetização do estado da arte no que tange ao uso de sensoriamento remoto na detecção de ilhas de calor.

Para suprir esta lacuna, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a evolução destes estudos e a qualidade dos mesmos, a partir de uma revisão sistemática de 20 anos, considerando os artigos indexados existentes sobre a temática.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a seleção dos artigos foi utilizada a metodologia proposta por Kitchenham et al., (2009) com a formulação de um protocolo de pesquisa e definição da busca eletrônica em sites e bases indexadas.

As questões que norteiam esta pesquisa são:

- ✓ Quais razões podem ter influenciado o maior ou menor número de publicações?
- ✓ Qual a metodologia com maior representatividade na detecção de ilhas de calor? Estas evoluíram ou permaneceram estáticas?
- ✓ Quais são as medidas mitigatórias com maior apontamento pelos autores estudados?
- ✓ Quais as limitações encontradas pelos autores relacionadas ao uso de sensoriamento remoto na identificação de ilhas de calor?

As estratégias de pesquisa foram definidas de acordo com a fonte de pesquisa, idioma dos trabalhos, os tipos de documentos e ano de publicação, além das palavras-chaves.

Para as fontes das pesquisas, definiram-se três principais, conforme segue o Quadro 1.

MECANISMO DE BUSCA	ENDEREÇO ELETRÔNICO
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com/
Plataforma Capes	http://www.periodicos.capes.gov.br/
Google Acadêmico	https://scholar.google.com.br/

Quadro 1 – Demonstração do Nome e Endereço Eletrônico das Bases Pesquisadas.
Fonte: Os Autores.

A Plataforma Capes e o ScienceDirect foram escolhidos para otimizar o número de artigos sobre o tema, aumentando o alcance das palavras-chave. Já o Google Acadêmico possui o intuito de comparar a quantidade de materiais disponibilizados ao público não especializado, haja vista que os dois primeiros são utilizados em sua grande maioria por pesquisadores.

Os idiomas abrangidos foram o português e o inglês, sendo o último justificado por ser a linguagem científica universal.

O intervalo de tempo compreende 20 anos, incluídos os artigos publicados entre 1996 e 2016. As palavras-chave estão dispostas no Quadro 2.

PALAVRAS-CHAVE	
Português	Inglês
Sensoriamento Remoto Ilhas De Calor	Remote Sense Urban Heat Island
Sensoriamento Remoto Clima Urbano	Sensing Remote Urban Climate
Efeitos Ilha De Calor Sensoriamento Remoto	Heat Island.Effects Remote Sense
Temperatura Urbana Sensoriamento Remoto	Surface Urban Remote Sense

Quadro 2 – Relação das Palavras Utilizadas na Busca em Português e Inglês.
Fonte: Os Autores.

Utilizou-se o *string* de busca, com os operadores “OR” ou “AND” para as palavras chaves acima mencionadas. Estes mecanismos possibilitam informar ao sistema de busca uma combinação entre as mesmas, otimizando assim a pesquisa.

O comando “OR” é equivalente a “ou” em português. Da mesma forma, a palavra “AND” ao ser utilizada, demonstra resultados de ambas às palavras-chave identificadas.

Os critérios de inclusão adotados foram:

- ✓ uso do sensoriamento remoto para o estudo de ilhas de calor;
- ✓ artigos empíricos;
- ✓ metodologia claramente descrita;

- ✓ revistas indexadas na estratificação da produção científica dos programas de pós graduação do Brasil (Qualis Capes)

- ✓ artigos disponíveis na integra.

Os critérios de exclusão foram:

- ✓ sensoriamento remoto aplicado a áreas que não abrangem ilhas de calor;

- ✓ artigos de revisão bibliográfica;

- ✓ livros, anais, dissertações, teses ou monografias;

Os artigos foram primeiro pré-selecionados pelo título. Após este processo, realizou-se uma leitura dos resumos. Os artigos selecionados em função dos critérios de inclusão, a partir de seus respectivos resumos, foram lidos em suas integralidades, e inseridos como objetos de análise desse trabalho.

Posteriormente a seleção, os artigos restantes foram qualificados quanto à estratificação da produção científica dos programas de pós-graduação do Brasil (Qualis Capes), no qual se montou tabela com os respectivos títulos e maior classificação existente no Qualis Capes.

Devido ao fato da plataforma capes e o Google acadêmico possuírem em seus dados artigos da base ScienceDirect, foi verificado também a existência de duplicidade. Nestes casos, manteve-se apenas um arquivo, no qual foi contabilizado para a base ScienceDirect.

Os dados foram tabulados e transformados em planilhas com o auxílio do programa Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de sensoriamento remoto aplicado ao clima urbano é algo recente, ao se comparar com outras áreas do conhecimento, haja vista que este teve sua primeira publicação em 1970 (STEWART, 2011).

Nos primórdios, as pesquisas relacionadas ao clima urbano, preocupavam-se apenas com a identificação de mudanças de temperatura na superfície das cidades. Conforme a evolução das técnicas empregadas, foi possível, por meio do sensoriamento remoto, a identificação de ilhas de calor e frescor na urbe.

Devido à amplitude desta temática, há uma dificuldade em separar artigos que realmente condizem ao escopo do trabalho, pois o efeito das ilhas de calor influencia também em outras áreas do conhecimento, tais como identificação de elementos, índices de precipitação e radiação, evolução temporal da cidade etc.

Assim, a busca limitou-se apenas aos trabalhos relacionados à identificação destes fenômenos no ambiente urbano, visando a quantificar os estudos de qualidade e as metodologias usualmente empregadas.

Considerando as palavras-chave definidas, foram encontrados cerca de 1219 (34,6%) artigos no ScienceDirect, 1209 (34,4%) advindos do Google Acadêmico e 1087 (31,0%) alocados na Plataforma Capes, totalizando 3515 artigos referentes à temática, nos quais estavam incluídos diversos trabalhos que não condiziam com o escopo definido.

É possível observar a ascensão do número de trabalhos, principalmente a partir de 2006, como visto na Figura 1. A tendência é que nos próximos anos estes índices continuem crescendo, pois existem diversas temáticas sobre as ilhas de calor que ainda não foram abordadas e que, futuramente, poderão compor o rol de trabalhos. Técnicas de mitigação e de identificação e acompanhamento com maior precisão ainda devem ser melhor exploradas.

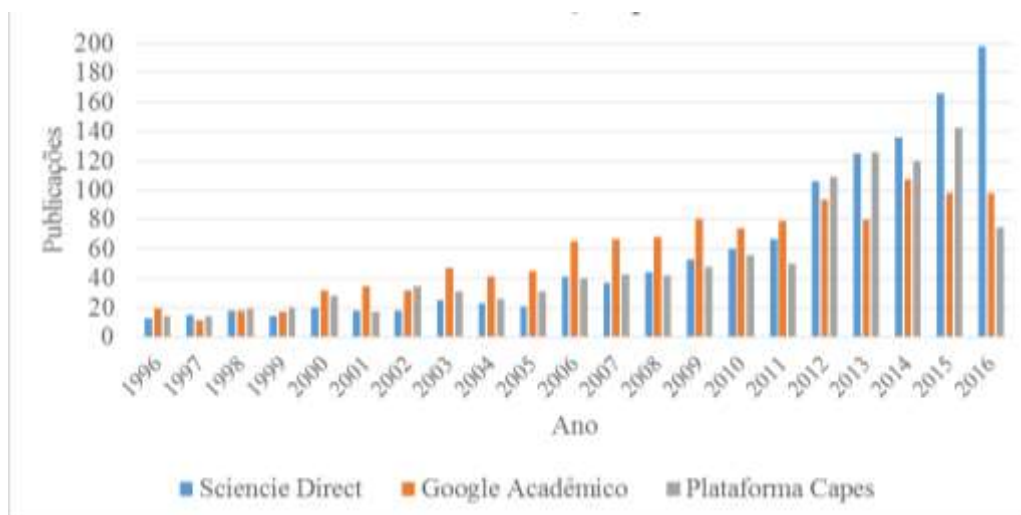


Figura 1: Relação dos Números de Publicações Encontrados de Acordo com o Ano e a Base Pesquisada.

Fonte: Os Autores.

A maioria dos artigos encontrados na Plataforma Capes e ScienceDirect apresentam-se como resultados da pesquisa também no Google Acadêmico. Assim, ao se separar a ScienceDirect, esta representa predominância dos artigos

especializados na área, com principal ascensão a partir de 2012, que em quatro anos contabilizou 731 artigos, representando 59,9 % do material encontrado na mesma.

Seguindo os pressupostos metodológicos de Kitchenham et al., (2009) selecionaram-se os artigos que possuíam títulos relacionados à temática da pesquisa, resultando em 227 artigos, sendo que estes representam 6,5% do montante existente nas bases de pesquisa selecionadas.

O alto índice de rejeição está associado às diversas aplicações em que o sensoriamento remoto está inserido no que tange ao clima urbano, tais como detecção de poluição ambiental, identificação de objetos de infraestrutura, estudos de evolução temporal, entre outros.

Posteriormente, houve a seleção parcial deste material a partir do resumo/*abstract*, resultando em 75 artigos. Por fim a leitura do documento completo, na qual acarretou na escolha de apenas 20 artigos, conforme esquematizado na Figura 2.

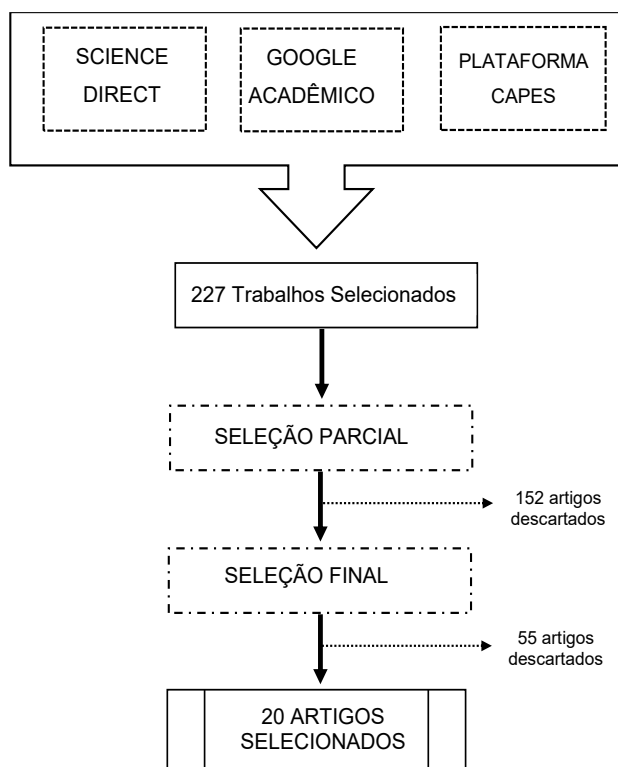


Figura 2: Desenho Esquemático do Desenvolvimento da Revisão Sistemática.
Fonte: Os Autores.

Conclui-se que Plataforma Capes e o ScienceDirect, apresentam melhor retorno de material conceituado (Figura 3).

Entretanto, um aspecto negativo é o fato destes não permitirem o acesso à informação de maneira ampla, limitando parte do conteúdo a pesquisadores filiados a instituições públicas, ou mediante pagamento do material selecionado.

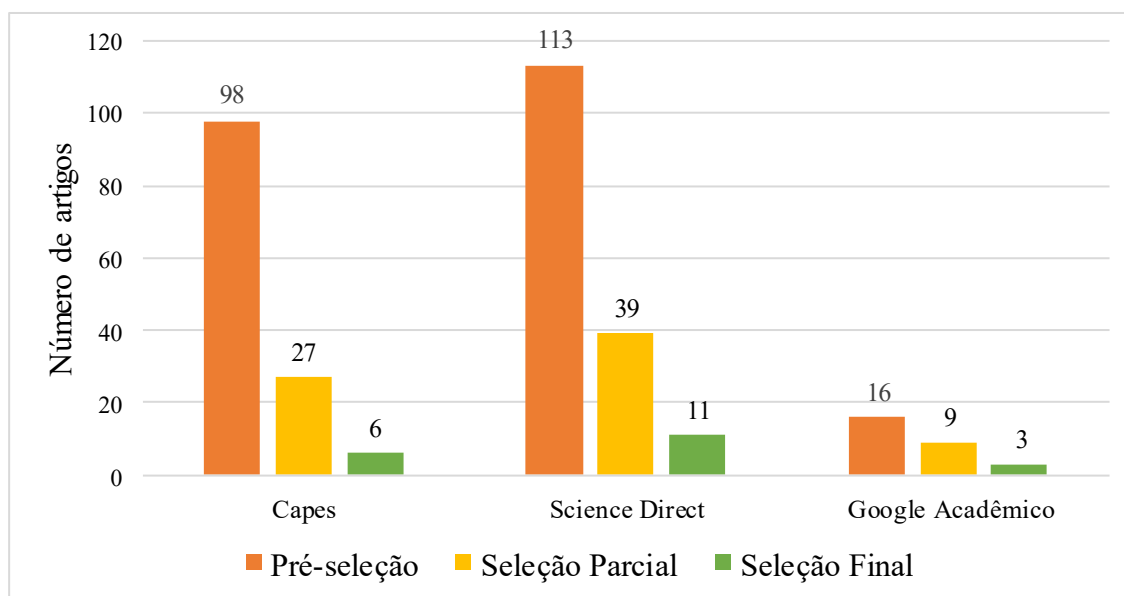


Figura 3: Comparativo Entre a Quantidade Inicial de Artigos em Relação ao Número Final Após Processo de Triagem.

Fonte: Os Autores.

Ao se analisar o Google acadêmico, ferramenta com maior utilização pelo público não especializado, apresentou o maior número de publicações, fato este atribuído pela falta de critério da base ao se colocar artigos não indexados e anais de evento.

A seleção de artigos que atendem ao escopo definido é exaustiva, principalmente pela ampla busca que demonstra resultados muitas vezes não condizentes a temática selecionada.

Dos 20 artigos selecionados, 16 são internacionais e escritos em inglês, e apenas 4 em português. Considerando o ano de publicação, há um maior número de artigos selecionados nos últimos 10 anos (Figura 4), tendência esta explicada pelo maior índice de publicações na atualidade.

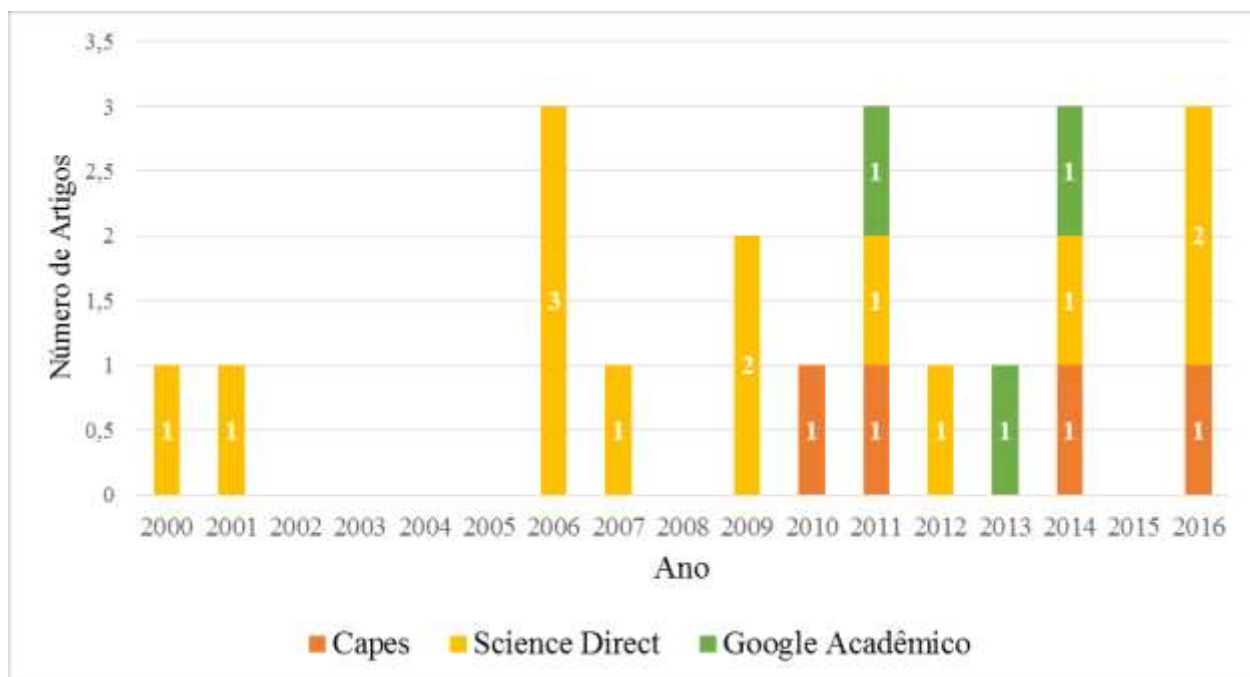


Figura 4: Comparativo Entre a Quantidade Inicial de Artigos em Relação ao Número Final Após Processo de Triagem.

Fonte: Os Autores.

A partir dos artigos que abrangiam o critério de inclusão, foi avaliada a classificação dos artigos de acordo com o Qualis Capes. Este índice resultou em 65% de artigos A1, 25 % em A2 e 10% classificados como B1. Os trabalhos selecionados estão listados na Tabela 1.

Nota-se que os artigos com classificação menor são brasileiros, o que demonstra um amplo campo científico que pode ser explorado futuramente. As questões levantadas acerca da temática são discutidas abaixo.

Tabela 1: Relação dos Trabalhos Selecionados de Acordo com o Ano e o Qualis

Autor	Qualis	Título
Yang (2000)	A2	Integration of a numerical model and remotely sensed data to study urban/rural land surface climate processes
Goestechtche e Olese (2001)	A1	Modelling of diurnal cycles of brightness temperature extracted from METEOSAT data.
Weng, Lu, e Schubring (2004)	A1	Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies
Gluch, Quattrochi & Luva (2006)	A1	A multi-scale approach to urban thermal analysis
Stone e Norman (2006)	A1	Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach.
Chen et al., (2006)	A1	Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes
Hardin e Jensen (2007)	A1	The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures:

Continua...

Autor	Qualis	Título
Johnson e Wilson (2009)	A1	The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia
Stathopoulou e Cartalis(2009)	A1	Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation.
Costa, Silva, Peres (2010)	B1	Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias
Sakar e Ridder (2010)	A2	The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization.
Callejas et al. (2011)	A1	Uso Do Solo E Temperatura Superficial Em Área Urbana.
Chemel e Sokhi (2012)	A2	Response of London's Urban Heat Island to a Marine Air Intrusion in an Easterly Wind Regime.
Sun et al. (2012)	A1	Cooling effects of wetlands in an urban region: The case of Beijing
Oliveira et al. (2013)	B1	Uso e Cobertura do Solo e Seus Efeitos na Distribuição da Temperatura de Superfície em Área Urbana
Zhao et al. (2014)	A1	Strong contributions of local background climate to urban heat islands
Martin Baudouin, Gachon (2015)	A1	An alternative method to characterize the surface urban heat island.
Chen et al. (2016)	A1	Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heat waves: A GIS-based approach
Souza, Silva e Silva. (2016)	A2	Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: O estudo de caso de João Pessoa - PB

Fonte: Os Autores.

Quais razões podem ter influenciado o maior ou menor número de publicações?

De acordo Seto e Christensen (2013) a facilidade na obtenção de imagens de satélite e programas de SIG acarretou em um menor custo associado, podendo ser considerado um dos fatores que impulsionaram as publicações.

Para Patino e Duque (2013) o avanço de tecnologias associadas ao sensoriamento remoto nas últimas décadas é notável. Este fato aliado ao aumento da resolução espacial das imagens disponibilizadas abre novas oportunidades para o estudo de ilhas de calor urbanas.

Contudo, há uma diferença na finalidade dos trabalhos atuais. Enquanto até o século passado os estudos preocupavam-se predominantemente com a identificação do clima urbano e eventuais pontuações sobre as ilhas de calor, atualmente, já possuem outras vertentes que se destacam, sendo elas o planejamento urbano, visando a mitigar este fenômeno e a verificação da intensidade das mesmas (STEWART, 2011).

No Brasil, o uso do sensoriamento remoto na detecção de ilhas de calor é recente. Nota-se, ainda, a existência de poucos artigos em português. Este índice é ainda mais restrito ao se considerar apenas revistas indexadas. No entanto, é observado um aumento no número de publicações a partir de 2006, fenômeno este impulsionado pelo advento do Google Earth que permitiu o acesso a imagens de satélite de maneira facilitada e gratuita. (BUTLER, 2006).

Além disso, o surgimento de sistemas de informação geográfica (SIG) gratuitos tais como o SPRING, criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CAMARA et al., 1996) e o QGIS, proporcionou o tratamento de imagens de satélite, que consorciadamente a disponibilização destas pelo mesmo instituto, podem ter impulsionado diversos trabalhos acerca da temática.

No âmbito internacional, de acordo com Birk (2003) o lançamento de satélites que permitem a captação de imagens de alta resolução espaciais, além da parceria entre governos e iniciativa privada fazem com que o sensoriamento remoto possua maior desenvolvimento e aplicação em diversas variáveis urbanas.

O mesmo autor ressalta o surgimento da Geoss (Global Earth Observing System of Systems), um consórcio internacional entre países que inclui o Brasil, o qual compartilha informações e tecnologias no que diz respeito a problemas ambientais globais, tais como as mudanças climáticas.

Qual a metodologia com maior representatividade na detecção de ilhas de calor? Estas evoluíram ou permaneceram estáticas?

A metodologia com maior representatividade nos artigos selecionados foi a de análise climática por meio de imagens termais do sensor Landsat 5 TM associada a índices de vegetação (NDVI) e mapas de uso do solo. Uma das explicações para este fato é a gratuidade das imagens, que permitem acesso facilitado às mesmas.

Neste contexto, é necessário o auxílio de programas computacionais, tais como Envi, Qgis, Arcgis para trabalhar com as imagens termais. Além disso, são utilizadas a urbanização, características geoecológicas, principalmente a topografia, e dados climatológicos, pois ambos possuem influência na formação das ilhas de calor (NASCIMENTO; BARROS, 2009; OLIVEIRA et al., 2013; SOUZA; SILVA; SILVA, 2016).

Contudo, existem variações desta metodologia. Costa, Silva e Peres (2010), acrescentou um algoritmo de temperatura superficial, conseguindo um resultado satisfatório, porém o algoritmo precisa ser validado com medições em campo.

Weng, Lu, e Schubring (2004) desenvolveram uma metodologia de identificação de vegetação visando a substituir o NVDI, a partir do Landsat 5 ETM e o método dos mínimos quadrados, aplicando algoritmos de máxima verossimilhança para o cálculo de abundância de vegetação por fração. Os autores conseguiram encontrar maior correlação desta a partir da comparação com resultados obtidos por NVDI.

Chemel e Sokhi (2012) buscaram a relação entre as ilhas de calor e os ventos da região litorânea de Londres a partir dos dados do MODIS e modelos numéricos. O estudo foi eficiente e comprovou a amenização da temperatura por meio dos ventos na costa marinha

Sun et al., (2012) verificaram a eficiência das imagens de satélite, ao comparar os resultados obtidos com imagens do sensor ASTER TIR com dados coletados em campo, demonstrando que as ilhas de frescor amenizam as de calor e podem ser usadas como medida mitigadora no ambiente urbano.

Johnson e Wilson (2009) relacionaram a existência de ilhas de calor com o aumento da mortalidade de pessoas em eventos associados a extremos climáticos. Para isto, utilizaram imagens Landsat 5 TM, mapas de ilhas de calor, mapa populacional de mortes por calor. O trabalho concluiu que há relações, e estas precisam ser estudadas. Contudo, indicam a melhoria da metodologia adotada.

Oliveira et al. (2013) utilizaram o Sensor TM Landsat 5 e aplicou o TsHARP para identificar a influência dos diferentes materiais construtivos nos valores de temperatura da superfície. A utilização do TsHARP permitiu relacionar o material da construção com as ilhas de calor.

Com o passar dos anos, a metodologia sofre mudanças, ao se empregar modelos matemáticos e outros sensores na obtenção das imagens de satélite. Além disso, inicia-se a preocupação com o planejamento das cidades, levando em consideração as áreas verdes urbanas e o material empregado na infraestrutura da urbe (SOUZA; SILVA; SILVA, 2016; MARTIN BAUDOUIN, GACHON, 2015; OLIVEIRA et al., 2013; SUN et al., 2012).

Atualmente, existem técnicas inovadoras na detecção de ilhas de calor, como, por exemplo, a utilização de simulações matemáticas computacionais apresentadas pelo programa SOLWEIG que, associado ao GIS permite a identificação e acompanhamento destes fenômenos climáticos (CHEN; YANG; MAYER, 2016). Este método ainda está sendo estudado, e já foi validado por meio de amostras de campo.

Zhao et al., (2014) defendem o emprego de técnicas de sensoriamento remoto associado a modelos climáticos baseados em levantamentos de variáveis por meio de estações meteorológicas. Os autores afirmam que este procedimento aumenta a precisão na detecção das ilhas de calor.

Quais são as medidas mitigatórias apontadas pelos autores estudados para as ilhas de calor?

O fenômeno das ilhas de calor é resultado da atividade humana, que acaba por impermeabilizar o solo e dificultar as trocas de calor da superfície com a atmosfera, acarretando diversas vezes do acúmulo do calor urbano pelo material. A verticalização ainda prejudica o regime de ventos, o que pode intensificar este fenômeno (ZHAO et al., 2014).

Hardin e Jensen (2007) possuíam o intuito de verificar o efeito da vegetação sobre as ilhas de calor. Para tanto, utilizaram o sensor ASTER SWIR, índices de área foliar e análises estatísticas, nas quais foi comprovada a eficiência da vegetação na atenuação das ilhas de calor.

Visando a observar a formação de ilhas de calor em bairros residenciais, Stone e Norman (2006) utilizaram imagens do ASTER -1, mapas de uso do solo e quantificaram o material usado na construção. Assim, verificaram a diminuição de 40% na amenização de ilhas de calor ao se adequar o material utilizado na construção e a vegetação urbana

As áreas verdes urbanas são as que possuem maiores apontamentos no que diz respeito à mitigação de ilhas de calor, pois estas apresentam baixos custos de manutenção e podem criar o fenômeno inverso: as ilhas de frescor, beneficiando toda comunidade ao seu entorno. (YANG, 2000; HONG-MEI et al., 2001; SARKAR; RHIDER, 2010; ZHAO et al., 2014)

O material empregado nas construções também exerce papel fundamental na intensificação dos fenômenos de ilhas de calor. Os estudos demonstraram que uso do concreto associado à falta de vegetação pode aumentar em até 10 °C a temperatura da superfície do ambiente urbano (NASCIMENTO; BARROS, 2009; GLUCH; QUATTROCHI; LUVALL, 2006, LI et al., 2006).

Quais as limitações encontradas pelos autores selecionados relacionadas ao uso de sensoriamento remoto na identificação de ilhas de calor?

Nota-se a preocupação dos pesquisadores quanto à escala de estudo, pois sensores de alta resolução espacial, não conseguem ser eficientes para análise em macro-escala, mas demonstram sucesso em microescala. (STATHOPOULOU; CARTALIS, 2009; SAKAR; RIDDER, 2010; SUN et al., 2012) desenvolveram modelos matemáticos que resolvem esta questão, apesar de identificarem a necessidade de comprovação da eficiência das mesmas por meio de análise em campo.

A temporalidade destes estudos também enfrenta problemas de padronização. De acordo com Steward (2011), a maioria dos pesquisadores acaba por esquecer-se de adequar os dados coletados a mesma realidade climática, independente do dia de obtenção. Este erro faz com que os fenômenos estudados sejam interpretados de maneira errônea, dando significância a dados não significativos, e vice-versa.

Outro aspecto observado é quanto à comparação da evolução destes fenômenos. Chen et al., (2006), ao realizar um estudo a partir da banda térmica Landsat TM / ETM + para o período 1990- 2000; apontaram a dificuldade em se encontrar imagens de satélite com as mesmas condições meteorológicas, para que estas de fato possam ser comparadas.

Existem limitações associadas à compreensão do fenômeno das ilhas de calor, como por exemplo, o dinamismo deste, fazendo com que apenas medições por meio de imagens de satélites, muitas vezes não os representem de maneira correta, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas com maior efetividade.

Stewart (2011) ao realizar uma revisão sistemática sobre a temática no período de 1950 a 2007 recomenda para futuros pesquisadores, seguir estudos

padronizados, melhorar a escala temporal e espacial da avaliação, além utilizar terminologias adequadas para a finalidade pretendida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por meio de revisão sistemática, apesar de exaustiva demonstrar bons resultados, haja vista que seleciona os melhores artigos na área, e faz com que se tenha uma noção da evolução das metodologias empregadas e da forma de tratamento sobre a temática.

As plataformas escolhidas apresentaram um bom retorno de material, sendo a ScienceDirect a com melhor efetividade, e o Google acadêmico o que possui maior número de material não selecionado.

O aumento gradual de artigos na área é resultado da evolução tecnológica e maior oferta de material gratuito pela internet, que permite adquirir programas de SIG e imagens de satélite.

Nota-se a predominância de artigos em inglês, o que demonstra que o Brasil ainda precisa evoluir em termos de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto aos estudos urbanos.

Assim, recomenda-se o emprego de novas tecnologias na detecção de ilhas de calor urbanas. Além disso, o maior cuidado por parte dos pesquisadores com o tratamento dos dados, pois assim, esta temática poderá ser estudada com eficiência, e métodos de mitigação poderão ser desenvolvidos.

ABSTRACT

The increasing urban population and decreasing vegetation in the cities has promoted less thermal comfort, and heat islands, which can be checked by remote sensing, a suitable tool to identify such phenomena. Then this paper aimed to compare the methodology and evolution of studies that applied this subject through a systematic review. Indexed articles from last 20 years were investigated in three electronic databases: ScienceDirect, Capes and Google Scholar. 20 scientific articles were selected, equivalent to a utilization rate of 6.5%. ScienceDirect provided most of

the selected articles as well as a relative evolution of the techniques employed for urban studies such as the creation of computer programs and techniques associated to the detection of heat islands. Nevertheless, higher effort is needed to facilitate comprehension of this phenomenon and propose mitigating procedures.

Keywords: Urban Climate; Geo-technology; Thermal Discomfort; Urban Planning

REFERÊNCIAS

BARROS, Juliana Ramalho. Identificação De Ilhas De Calor Por Meio De Sensoriamento Remoto: Estudo De Caso No Município De Goiânia – Go/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiania, v. 29, n. 1, p.119-134, 3 set 2009. <<http://dx.doi.org/10.5216/bgg.v29i1.7112>>

BIRK, Ronald J. *et al.* Government programs for research and operational uses of commercial remote sensing data. **Remote Sensing Of Environment**, v. 88, n. 1-2, p.3-16, nov. 2003. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.07.007>>.

CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio *et al.* Uso Do Solo E Temperatura Superficial Em Área Urbana. **Mercator**, v. 10, n. 23, p.207-223, 26 dez. 2011. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**. <<http://dx.doi.org/10.4215/rm2011.1023.0015>>

CÂMARA, Gilberto *et al.* Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p.395-403, maio 1996. Elsevier BV. <[http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8)>.

CHEMEL, Charles; SOKHI, Ranjeet S. Response of London's Urban Heat Island to a Marine Air Intrusion in an Easterly Wind Regime. **Boundary-layer Meteorology**, v. 144, n. 1, p.65-81, 28 fev. 2012. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10546-012-9705-x>>.

CHEN, Xiao-ling *et al.* Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing Of Environment**, v. 104, n. 2, p.133-146, set 2006. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>>.

CHEN, Liang *et al.* Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heat waves: A GIS-based approach. **Energy And Buildings**, v. 130, p.829-842, out. 2016. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.014>>

COSTA, Douglas F. da; SILVA, Hélio R.; PERES, Leonardo de F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p.974-985, out. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000500019>>

GLUCH, Renee; QUATTROCHI, Dale A.; LUVALL, Jeffrey C.. A multi-scale approach to urban thermal analysis. **Remote Sensing Of Environment**, v. 104, n. 2, p.123-132, set 2006. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.025>>.

GÖTTSCHE, Frank-m; OLESEN, Folke S. Modelling of diurnal cycles of brightness temperature extracted from METEOSAT data. **Remote Sensing Of Environment**, v. 76, n. 3, p.337-348, jun. 2001. Elsevier BV. <[http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(00\)00214-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(00)00214-5)>.

GRIMMOND, Sue. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **The Geographical Journal**, v. 173, n. 1, p.83-88, mar. 2007. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x>.

HARDIN, Perry J.; JENSEN, Ryan R. The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 6, n. 2, p.63-72, maio 2007. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2007.01.005>>.

HONG-MEI, Zhou et al. Spatial distribution characteristics of urban thermal conditions: application of GIS and remote sensing. **Journal Of Geographical Sciences**, v. 11, n. 3, p.261-270, jul. 2001. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/bf02892309>>.

JOHNSON, Daniel P.; WILSON, Jeffrey S.. The socio-spatial dynamics of extreme urban heat events: The case of heat-related deaths in Philadelphia. **Applied Geography**, v. 29, n. 3, p.419-434, jul. 2009. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.11.004>>.

LIU, Yue et al. Urban surface heat fluxes infrared remote sensing inversion and their relationship with land use types. **Journal Of Geographical Sciences**, v. 22, n. 4, p.699-715, 8 jun. 2012. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11442-012-0957-7>>.

MARTIN, Philippe; BAUDOIN, Yves; GACHON, Philippe. An alternative method to characterize the surface urban heat island. **International Journal Of Biometeorology**, v. 59, n. 7, p.849-861, 19 set 2014. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00484-014-0902-9>>.

NASCIMENTO, Diego Tarley; BARROS, Juliana. Identificação De Ilhas De Calor Por Meio De Sensoriamento Remoto: Estudo De Caso No Município De Goiânia-Go/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, n. 1, 2009.

DE OLIVEIRA, Tiago Henrique *et al.* Uso e Cobertura do Solo e Seus Efeitos na Distribuição da Temperatura de Superfície em Área Urbana **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1598-1616, 2013.

SARKAR, Abhijit; RIDDER, Koen de. The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization. **Boundary-layer Meteorology**, [s.l.], v. 138, n. 3, p.511-520, 8 dez. 2010. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10546-010-9568-y>>.

SOUZA, Jussara Freire de; SILVA, Richarde Marques; SILVA, Alexandro Medeiros. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.21-37, jan. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100058>>

STATHOPOULOU, Marina; CARTALIS, Constantinos. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 113, n. 12, p.2592-2605, dez. 2009. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.017>>.

STEWART, I. D.. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. **International Journal Of Climatology**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.200-217, 20 jan. 2011. Wiley-Blackwell. <<http://dx.doi.org/10.1002/joc.2141>>.

STONE, Brian; NORMAN, John M.. Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 40, n. 19, p.3561-3573, jun. 2006. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.015>>.

SUN, Ranhao *et al.* Cooling effects of wetlands in an urban region: The case of Beijing. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 20, p.57-64, set 2012. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.006>>.

WENG, Qihao; LU, Dengsheng; SCHUBRING, Jacquelyn. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 89, n. 4, p.467-483, fev. 2004. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>>.

YANG, Limin. Integration of a numerical model and remotely sensed data to study urban/rural land surface climate processes. **Computers & Geosciences**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.451-468, maio 2000. Elsevier BV. <[http://dx.doi.org/10.1016/s0098-3004\(99\)00124-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0098-3004(99)00124-7)>.

YU, Chen; HIEN, Wong Nyuk. Thermal benefits of city parks. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 38, n. 2, p.105-120, fev. 2006. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>>.

ZHAO, Lei et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. **Nature**, [s.l.], v. 511, n. 7508, p.216-219, 9 jul. 2014. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nature13462>>.

AGRADECIMENTOS

Registro aqui minha felicidade em concluir esta pesquisa. Ressalto a importância de diversas pessoas neste processo, principalmente a minha orientadora, Professora Marlene Magnoni Bortoli, que acreditou em minha ideia, me apoiando sempre que possível.

Agradeço também aos meus pais Jacira e Antônio, por serem a base de tudo que eu acredito, participando ativamente de toda pós-graduação, incentivando minhas aventuras por Cruzeiro do Oeste e confiando em meu potencial.

Aos meus irmãos, Adriana e Diego, que tornaram esta caminhada mais leve, auxiliando sempre que possível. Vocês foram fundamentais para esta conquista!

A minha filha Gabriella, por ser minha fonte de inspiração, me motivando a ser cada vez mais uma pessoa melhor.

Ao meu namorado, Neto, por me auxiliar em cada etapa, me fazendo acreditar que seria possível. Graças a seu companheirismo, amizade, compreensão e apoio este trabalho foi concretizado.

Aos meus amigos de longa data, que sempre provam que a amizade independe do tempo: Vanderson, Marcelo Caxambu, Edemilson, Bruno, Renata, Cayo e Lukas, vocês são presentes que a UTFPR me trouxe.

A turma GAM 2017, que me acompanhou nas provas. A todos os professores e funcionários do curso de gestão ambiental em municípios, que contribuíram para minha formação e serão sempre lembrados, obrigada a todos.