

UTILIZAÇÃO DE DADOS DE LUZES NOTURNAS PARA AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE INUNDAÇÃO

Vinicius Ferreira Dulac^{1}; João Vicente Zancan Godoy² & Masato Kobiyama³*

Resumo – O objetivo deste artigo é avaliar a relação entre a ocupação urbana de uma planície de inundação, a variabilidade do regime hidrológico e os riscos de desastres, a partir de um trecho crítico de uma Bacia Hidrográfica tomada como estudo de caso. Para tanto, foi realizada análise temporal da intensidade da ocupação urbana, sendo utilizados dados de imageamento das luzes noturnas da Terra entre 1992 e 2013 disponibilizados pela NOAA, oriundos do Programa DMSP/OLS (resolução temporal anual e espacial de 1 km). Para as análises hidrológicas e de desastres relacionados a inundações utilizou-se informações de METROPLAN-RS (2015). Os resultados são preliminares, mas indicam o potencial de integração de técnicas de sensoriamento remoto, análises hidrológicas e de desastres. A comparação entre os anos com ocorrência de desastres e a taxa de crescimento das luzes noturnas demonstraram redução da taxa de crescimento das luzes nos anos com ocorrência de desastres.

Palavras-Chave – Inundação; Luzes noturnas; Socio-hidrologia.

UTILIZATION OF NIGHT-TIME LIGHT IMAGERY INTENSITY FOR SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSES OF FLOOD

Abstract – The aims of this paper is to evaluate the relationship between the urban occupation of a floodplain, the variability of the hydrological regime and the risks of disasters, from a critical section of a Watershed taken as a case study. A temporal analysis of the intensity of the urban occupation was carried out, using imaging data of the Earth's nightlights between 1992 and 2013 provided by NOAA, from the DMSP/OLS Program (temporal resolution: annual; spatial resolution: 1km). The hydrological and flood-related disasters analyses were performed based on METROPLAN-RS (2015). The results are preliminary but indicate the potential for integration of remote sensing techniques, hydrological and disaster analyses. The comparison between the years with disasters and the growth rate of nightlights showed a reduction in the growth rate of nightlights in the years of disasters.

Keywords – Flood; Night Lights; Socio-hydrology.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, as planícies de inundação têm sido ocupadas por diversas razões, desde a facilidade para acesso à água, passando por questões de transporte e logística de produtos, até a carência de uma efetiva política de ordenamento territorial. Segundo Di Baldassare (2013), o estudo da população inserida em região de planície de inundação apresenta condições favoráveis para a compreensão da dinâmica hidrológica em relação à dinâmica social, e vice-versa. Neste âmbito, destaca-se que a análise de séries temporais para fins de avaliação da dinâmica da ocupação antrópica em planícies de inundação, com base nos dados de sensoriamento remoto (SR) em conjunto com dados hidrológicos, tem sido observada em diversos estudos.

Dentre as hipóteses para o estudo da dinâmica das planícies de inundação, Di Baldassare (2013) mostrou que a frequência e a severidade dos desastres relativos às inundações podem levar a

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS-IPH, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais, vfdulac@gmail.com.

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS-IPH, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais, joao.godoy@ufrgs.br.

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS-IPH, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais. masato.kobiyama@ufrgs.br.

população desejar a ocupação de outras áreas. O autor também aponta a existência de mútua influência nesta dinâmica entre aspectos econômicos, tecnológicos, psicológicos e políticos.

Neste contexto, o objetivo do presente artigo foi avaliar aspectos espaço-temporais da relação entre a ocupação urbana da planície de inundação, a variabilidade do regime hidrológico e os desastres. Foi utilizado como estudo de caso um trecho crítico de rio de uma Bacia Hidrográfica Estadual.

O produto de SR a ser utilizado possui como critérios de escolha a resolução temporal e espacial da imagem e a facilidade de acesso. Neste artigo utilizou-se as imagens que indicam a intensidade do brilho das luzes noturnas produzidas pelo sensor *Operational Linescan System* (OLS). As imagens estão disponíveis junto ao site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dos Estados Unidos: <https://ngdc.noaa.gov/eog/>. Este produto apresenta resolução espacial moderada (cerca de 1 km), resolução temporal anual (1992-2013), é livre de nuvens e abrange significativa parte do globo. Exemplos de utilização do mesmo como indicador da distribuição e tendência das atividades humanas são encontrados em Gómez *et al.* (2015), Ceola *et al.* (2015) e Elshorbagy *et al.* (2016).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Caí localiza-se na região nordeste do Rio Grande do Sul, apresenta uma área de 4.983,38 km², 42 municípios e uma população de aproximadamente 524.348 habitantes (DRH/SEMA, 2016). O rio Caí possui 208,5 km de extensão (METROPLAN, 2015). A região objeto de estudo do presente artigo consiste no Baixo Rio Caí (Figura 1). A mesma possui uma área de drenagem de 2.853,28 km² e é marcada pela ocorrência de desastres relacionados a eventos de cheia (OLIVEIRA *et al.*, 2010; METROPLAN, 2015).

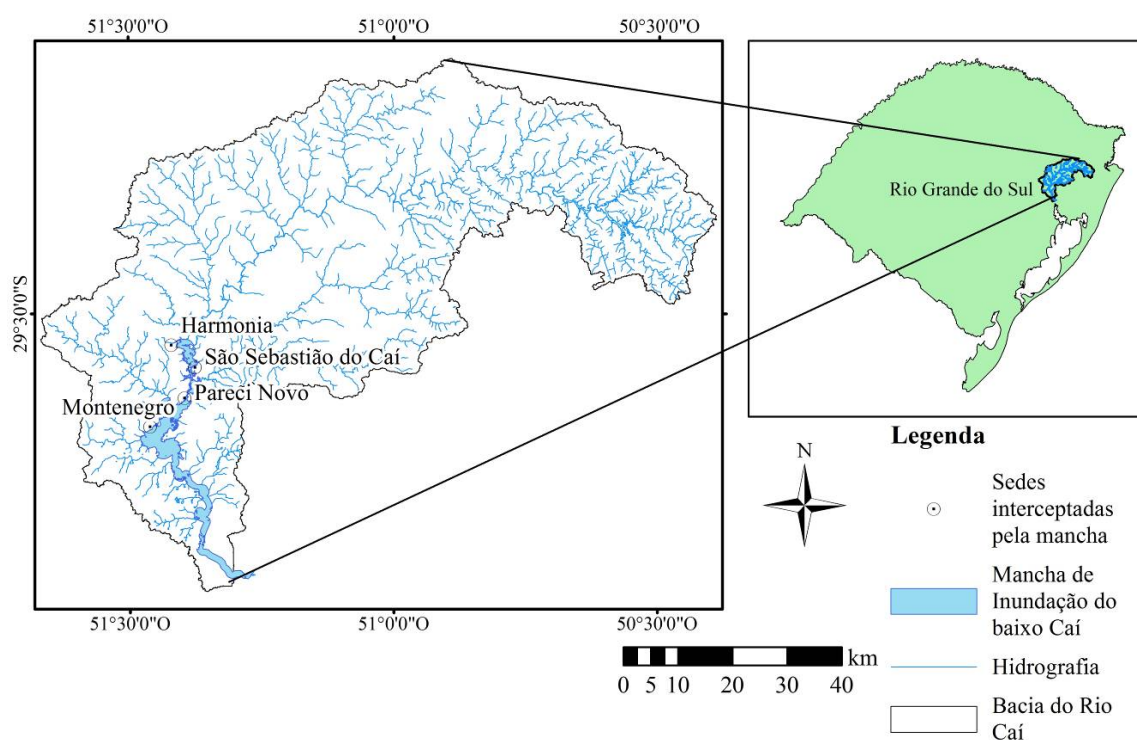


Figura 1 - Mapa de localização da área estudo e situação em relação ao Rio Grande do Sul

No trecho do Baixo Rio Caí são de interesse deste artigo os seguintes municípios: Harmonia, São Sebastião do Caí, Pareci Novo, e Montenegro. Estes municípios foram selecionados, pois possuem áreas urbanas interceptadas pela mancha de inundação para o tempo de retorno (TR) de 5 anos determinada para o trecho do Baixo Rio Caí por METROPLAN (2015). A Tabela 1 apresenta os municípios e as áreas municipais interceptadas pela mancha de inundação de 5 anos de TR.

Tabela 1 - Áreas superficiais municipais em relação à mancha de inundação com TR de 5 anos junto ao trecho do Baixo Rio Caí

Município*	Área na mancha na inundação TR 5 anos (km ²)	Área Total Municipal (km ²)	Parcela Município em área de perigo (%)
Harmonia	3,710	44,727	8,30%
São Sebastião do Caí	10,694	112,034	9,55%
Pareci Novo	6,004	57,363	10,47%
Montenegro	31,330	424,123	7,39%

*Os municípios de Capela de Santana, Nova Santa Rita e Triunfo possuem áreas interceptadas pela mancha. No entanto os mesmos não foram contemplados no presente artigo, pois não dispõe de aglomerados urbanos significativos na área do município inserida na mancha.

A população total dos municípios da área de estudo nos anos de 1990, 2000 e 2010 era de respectivamente 69.006 (72% população urbana), 81.293 (83% urbana) e 89.112 (84%) habitantes (SIDRA/IBGE, 2017). Os dados dos Censos indicam um aumento menos acentuado da população urbana entre 2000-2010 (1,05% a.a) em comparação com 1990-2000 (3,01% a.a).

Em termos hidrológicos, a Bacia do Caí apresenta uma precipitação máxima diária anual com variação de 72,95 mm a 88,47 mm (METROPLAN, 2015). As vazões máximas de 1.091,2 m³/s e de 2.181,9 m³/s foram obtidas para o TR de 2 e 100 anos, para o ponto da Estação Barca do Caí (código 87170000), localizada no município de São Sebastião do Caí (METROPLAN, 2015).

Existem relatos de que no ano de 1878 o rio Caí teria atingido 15 metros acima do seu nível normal. A partir década de 40, quando se iniciaram as medições, os maiores níveis d'água foram identificados nos anos de 2000, 2007, 2009 e 2011. Os níveis variaram de 14,10 a 14,80 metros (METROPLAN, 2015). Oliveira *et al.* (2010) demonstram que antes dos anos 2000, apenas em 1952 e 1982 o Rio Caí atingiu níveis superiores a 14 metros, o que demonstra uma tendência de aumento da magnitude dos eventos de cheia.

No ano de 2007 cerca de 8.300 pessoas foram atingidas por desastres relativos à inundação no trecho do Baixo rio Caí (DRH/SEMA, 2008). Já em 2011 estima-se que 10 mil pessoas foram atingidas (METROPLAN, 2015), o que representa 11,22% da população total dos municípios situados na área de estudo do presente artigo.

2.2 Dados Utilizados

Os dados de SR utilizados no presente trabalho referem-se à intensidade de luzes noturnas capturadas pelo sensor OLS e disponibilizadas pela NOAA: <https://ngdc.noaa.gov/eog/>. As imagens são livres de nuvens e representam a luminosidade noturna de locais com relativa permanência anual de presença de luzes (ex: cidades, povoados, indústrias).

Os valores dos pixels representam a intensidade do brilho da luz, quantificada a partir da variável Digital Number (DN), que varia de 0 a 63. Os dados utilizados no presente artigo possuem base anual, de 1992 a 2013. Os mesmos foram coletados por 6 satélites que fazem parte do *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP). As imagens abrangem praticamente todo o globo e possuem uma resolução espacial de aproximadamente 1 km. A Tabela 2 apresenta as imagens utilizadas.

Tabela 2 - Dados dos satélites com imagens de luzes noturnas e ano de referência.

Ano\Satélite	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	F101992					
1993	F101993					
1994	F101994	F121994				
1995		F121995				
1996		F121996				
1997		F121997	F141997			
1998		F121998	F141998			
1999		F121999	F141999			
2000			F142000	F152000		
2001			F142001	F152001		
2002			F142002	F152002		
2003			F142003	F152003		
2004				F152004	F162004	
2005				F152005	F162005	
2006				F152006	F162006	
2007				F152007	F162007	
2008					F162008	
2009					F162009	
2010						F182010
2011						F182011
2012						F182012
2013						F182013

Fonte: <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>

Foram extraídas de METROPLAN (2015) as informações hidrológicas, o zoneamento das inundações e os dados de ocorrência de desastres naturais

2.3 Metodologia

2.3.1 Obtenção e pré-processamento dos dados de luzes noturnas junto a NOAA

A obtenção dos dados de luzes noturnas junto a NOAA foi realizada através de download junto ao site <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>.

Para realizar análises temporais anuais é necessário realizar um procedimento de inter-calibração anual das imagens. Isto se deve às distintas condições dos satélites quanto ao tempo de funcionamento, falta de calibração automática, dentre outras especificidades. Além disso, para o mesmo ano existem dois satélites operando. Como os satélites produzem distintas informações de brilho da luz, é necessário, portanto, inter-calibrar os dados.

Dentre os métodos propostos na literatura para inter-calibração, destaca-se a ampla utilização dos coeficientes empíricos propostos por Elvidge *et al.* (2009) (Ceola *et al.*, 2015).

Entretanto, o presente trabalho utilizou-se de dados não calibrados, utilizando as médias dos DNs de diferentes satélites em cada ano para suprir a variação entre os sensores. Na avaliação temporal os valores absolutos não foram avaliados, mas sim a resultado do DN entre duas áreas no mesmo ano. Desta maneira a não calibração não prejudica a comparação do DN entre duas áreas principal objetivo deste trabalho. As duas áreas de análise são:

- Área 1: mancha de inundação do trecho do Baixo Rio Caí;
- Área 2: Bacia do Rio Caí como um todo.

2.3.2 Cruzamento dos dados de luzes noturnas (*raster*) com a mancha de inundação

Através de ferramenta de análise estatística do *software* ArcGIS foi possível estimar os valores médios de DN.

2.3.3 Levantamento dos desastres naturais relacionados aos eventos hidrológicos extremos

Os registros dos níveis de água em estações, relatos e registros extra-oficiais, indicam ocorrência de eventos críticos nos seguintes anos: 1928, 1941, 1944, 1954, 1956, 1959, 1963, 1965, 1967, 1982, 1984, 1985, 1987, 1988, 1997, 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, e 2013 (METROPLAN, 2015).

2.3.4 Determinação de indicadores da dinâmica de ocupação urbana, com ênfase no comportamento associado às áreas da planície de inundação

Foram utilizados os indicadores descritos na Tabela 3, para fins de análise comparativa entre as áreas da mancha e a área total da bacia.

Tabela 3 - Indicadores utilizados para caracterização da dinâmica de ocupação da planície de inundação do Baixo Rio Caí

Indicador	Descrição
Média - DN	Média do DN dos pixels nas áreas em análise (Mancha de Inundação e na Bacia)
Média anual do DN / DN Médio	DN Médio Anual normalizado pelo DN Médio
Média anual do DN / DN Médio (Variação a.a%)	Variação anual em termos percentuais do indicador “Média anual do DN / DN Médio”.
Diferença (%) DN Médio Mancha / DN Médio Bacia	Diferença em termos percentuais entre o DN Médio dos Pixels da Mancha em relação ao DN Médio dos Pixels na Bacia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 e a Figura 2 apresentam os indicadores da evolução das luzes noturnas para a Bacia do Caí e para a região da mancha de inundação com TR de 5 anos para o trecho do baixo Caí. Os resultados de DN Médio indicam que existe uma maior concentração de DN na área da mancha (média anual de 9,88). A Bacia do Caí possui média anual de DN de 6,14 (Tabela 4).

Ao longo dos anos o DN médio da mancha de inundação se mostrou superior ao da bacia. Este comportamento pode ser explicado devido à maior ocupação urbana dentro da mancha de inundação em comparação com a bacia como um todo (Figura 2a). Este padrão decorre de componentes históricos, econômicos e culturais.

A taxa de crescimento anual do DN médio na bacia foi inferior que a da mancha de inundação nos primeiros anos (Figura 2b). Entretanto, a partir de 2000 a taxa de crescimento anual da bacia supera a taxa de crescimento anual da mancha de inundação em praticamente todos os anos.

Tabela 4 - Indicadores da intensidade do brilho da luz na Bacia do rio Caí e na mancha de inundação com TR de 5 anos

Ano	Bacia do Caí			Mancha TR 5 anos			Diferença - DN Mancha/ DN Bacia (%)
	Média (DN)	Varição relativo a Média Geral Anual	Varição do DN médio ao ano (a.a%)	Média (DN)	Varição relativo a Média	Varição do DN médio ao ano(a.a%)	
1992	2,52	0,41	0,00	5,20	0,53	0,00	51%
1993	4,09	0,67	38%	8,95	0,91	42%	54%
1994	3,38	0,55	-21%	6,72	0,68	-33%	50%
1995	4,54	0,74	26%	9,09	0,92	26%	50%
1996	5,47	0,89	17%	10,51	1,06	14%	48%
1997	5,04	0,82	-8%	9,12	0,92	-15%	45%
1998	5,26	0,86	4%	9,76	0,99	7%	46%
1999	5,82	0,95	10%	10,47	1,06	7%	44%
2000	6,98	1,14	17%	10,41	1,05	-1%	33%
2001	6,35	1,04	-10%	9,86	1,00	-6%	36%
2002	6,39	1,04	1%	10,11	1,02	2%	37%
2003	5,21	0,85	-23%	7,68	0,78	-32%	32%
2004	5,83	0,95	11%	8,83	0,89	13%	34%
2005	5,09	0,83	-15%	7,03	0,71	-26%	28%
2006	6,05	0,99	16%	8,53	0,86	18%	29%
2007	6,57	1,07	8%	9,46	0,96	10%	31%
2008	6,70	1,09	2%	11,07	1,12	15%	39%
2009	5,89	0,96	-14%	10,04	1,02	-10%	41%
2010	10,11	1,65	42%	13,60	1,38	26%	26%
2011	8,73	1,42	-16%	13,44	1,36	-1%	35%
2012	9,88	1,61	32%	14,14	1,43	22%	30%
2013	9,08	1,48	-9%	13,45	1,36	-5%	33%
Média	6,14	1,00	4,87%	9,88	1,00	3,26%	0,86%

Legenda

Eventos de cheia com ocorrência desastres (METROPLAN, 2015)

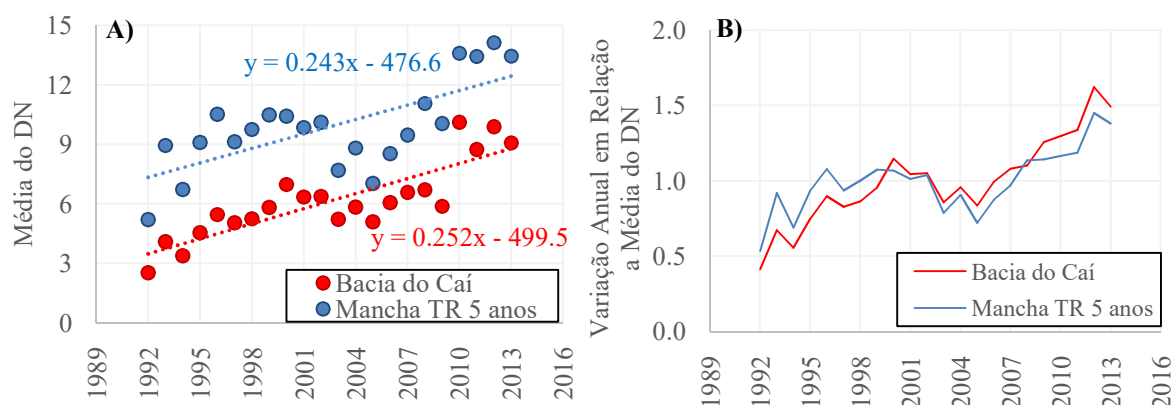


Figura 2 - a) Média da intensidade do brilho da luz (DN) das Luzes na Bacia; b) Variação Anual relativa a Média do DN

Dentre os possíveis fatores de influência para esta dinâmica, destaca-se: i) a implementação de políticas habitacionais e de planejamento do uso do solo; ii) a elevada densidade de ocupação na área da planície; e iii) conscientização da população quanto aos riscos de desastres, evitando ocupar as áreas de risco.

Verifica-se uma diminuição da taxa de crescimento anual do DN mais acentuada na região da mancha de inundação em comparação com a Bacia como um todo para os anos com ocorrência de desastres: 1997, 2003 e 2005. Por outro lado, nos anos de 2007, 2009, 2011 e 2013 houveram

desastres de inundações registradas, sendo que a variação do DN dentro da mancha superou a variação do DN na bacia como um todo.

A mudança do comportamento da taxa de crescimento anual do DN da mancha comparada à bacia pode estar correlacionada a alguns fatores. Entre os anos de 1992 e 1997 houve menor frequência de inundações, sendo que se observa uma maior variação anual do DN na área da mancha. As inundações se tornaram mais freqüentes a partir de 1997, tendo incremento de frequência entre 2003 e 2005. A partir de 2005 houve uma mudança na tendência que se reflete em uma variação mais acentuada do DN para a bacia como um todo.

Em todos os anos com ocorrência de desastres entre 1997 e 2005 a diminuição anual do DN médio foi percentualmente maior na área da mancha de inundação. Contudo, a partir do ano de 2007, apesar de continuar diminuindo a variação anual do DN médio em anos de cheia, a diminuição ocorreu de forma mais acentuada na bacia como um todo para os anos de cheia. Isto demonstra que a população pode ter aumentado sua resiliência.

Uma hipótese é que, devido à baixa ocorrência de inundações entre 1992 e 1997 a população da mancha de inundação não estaria preparada para eventos extremos mais freqüente, assim sendo mais prejudicada a cada inundação. A partir do ano de 2007 a diminuição da variação anual do DN médio na mancha foi atenuada para os anos de cheias. Este padrão pode estar relacionado ao fato de que eventos de inundação mais freqüentes proporcionaram à população experiências para se adaptar e criar estruturas para a redução e prevenção dos danos gerados pelas inundações. Ao mesmo tempo, neste período houve maior desenvolvimento econômico no Brasil, o que permitiria maior acesso a recursos financeiros à população.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho indicam a existência de potencial da integração de técnicas de SR (imagens de luz noturno), análises hidrológicas e de desastres, para auxiliar a compreensão espaço-temporal da dinâmica sócio-hidrológica em locais atingidos por desastres naturais, como planícies de inundação. Contudo, ainda devem ser realizadas validações dos resultados obtidos. Um exemplo de validação é a utilização dos dados de população dos setores censitários do IBGE, espacializados junto à mancha, assim como visitas a campo para compreender a dinâmica da população local.

A comparação entre os anos com ocorrência de desastres e a taxa de crescimento das luzes noturnas, não indicou diminuição efetiva dos valores de DN, mas apontou a redução da taxa de crescimento das luzes nos anos com ocorrência de desastres.

Salienta-se que ocorreu aumento na frequência de desastres naturais registrados ao longo da série histórica, notadamente após 2003. Neste sentido, o fato de que a taxa de crescimento do DN na mancha se torna menor do que fora da mancha (bacia como um todo) a partir de 2000, corrobora com a hipótese de Di Baldassere (2013) a qual mostra que há uma tendência de redução da ocupação da planície de inundação a partir da ocorrência mais freqüente de desastres e/ou ocorrência de evento com baixa frequência (alta magnitude).

5 REFERÊNCIAS

- Ceola, S.; Laio, F.; Montanari, A. (2015). Human-impacted waters: New perspectives from global high-resolution monitoring, *Water Resour. Res.*, 51, 7064–7079, doi:10.1002/2015WR017482.
- Di Baldassarre, G.; Kooy, M.; Kemerink, J.S.; Brandimarte, L. (2013). Towards understanding the dynamic behaviour of floodplains as human-water systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3235–3244, www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/3235/2013/ doi:10.5194/hess-17-3235-2013
- DRH/SEMA (2016). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Caí – Fase C (Plano de Ações)*. Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Profill Engenharia e Ambiente LTDA. Relatório Final.
- Elshorbagy, A.; Lakhanpall A.; R. Bharath; Ceola, S.; Montanari, A.; Lindenschmidt, K.E. (2016). Topography and nightlight-based national flood risk assessment in Canada. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, doi:10.5194/hess-2016-524, Manuscript under review for journal *Hydrol. Earth Syst. Sci.*
- Elvidge, C.D.; Ziskin, D.; Baugh, K.E.; Tuttle, B.T.; Ghosh, T.; Pack, D.W.; Erwin, E.H.; Zhizhin, M. (2009) A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data. *Energies*, 2, 595-622; doi:10.3390/en20300595
- Elvidge, C.; Hsu, F.C.; Baugh, K.E.; Ghosh, T., (2013). *National Trends in Satellite Observed Lighting: 1992-2012*. Global Urban Monitoring and Assessment Through Earth Observation (In Press), CRC Press, Supporting information 1, Supporting information 2
- Gómez, A.J.; Di Baldassarre, G.; Rodhe, A.; Pohjola, V.A. (2015). Remotely Sensed Nightlights to Map Societal Exposure to Hydrometeorological Hazards. *Remote Sens.* 2015, 7, 12380-12399; doi:10.3390/rs70912380.
- METROPLAN (2015). *Estudo de alternativas para minimização do efeito das cheias do Baixo Rio Caí*. Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional. Engeplus Engenharia.
- Oliveira, G.G.; Saldanha, D.L.; Guasselli, L.A. (2010). Espacialização e Análise das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS. São Paulo, UNESP, *Geociências*, 29(3), 413-427