

## Variáveis condicionantes no comportamento da TSL do Lago Guaíba - RS

Glênio Antonio da Luz<sup>1</sup>  
Laurindo Antonio Guasselli<sup>2</sup>  
Gustavo Rodrigues Toniolo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando - Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFRGS  
Caixa Postal 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil  
[glenioluz@gmail.com](mailto:glenioluz@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Caixa Postal 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil  
[laurindo.guasselli@ufrgs.br](mailto:laurindo.guasselli@ufrgs.br)

<sup>3</sup> Mestrando - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - UFRGS  
Caixa Postal 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil  
[gustavotoniolo1@gmail.com](mailto:gustavotoniolo1@gmail.com)

### ABSTRACT

The dynamics of the temperature of a lake is very important mainly because it is a thermic conditioner for territorial regions, any change occurred in its temperature is going to reverberate in the environment, causing modifications in the physical, chemical and biological parameters. This paper aims the adaptation to LST (Lake Surface Temperature) to Thermal Sensor of Landsat 8, the methodology developed by Barbieri and McClain (1983) to AVHRR, to the obtainment of the LST of the Guaíba Lake. The winds speed and direction diversification and the level of the water are going to be inserted in the analysis as acting conditioners in the LST behavior. In this analytical orientation, it is observed, in the days of a significant water entrance in the lagoon system, the standard of the predominant LST complies with the water entrance and water speed flux, presenting an image of mixed LST. On the other hand, when there is a predominancy of winds on three consecutive days, it is observed that the LST corresponds to a standard of temperature with the influence of the wind, showing a more homogeneous pattern on the image of the LST. The dynamics of the lake is related to a complex natural environment factors, but the entry of water will always be more significant in the thermal behavior.

**Key-words:** remote sensing, imagen thermal, surface temperature of the lake, sensoriamento remoto, imagem termal, temperatura de superfície de lago.

### 1. INTRODUÇÃO

A dinâmica da temperatura em um lago condiciona os seus parâmetros físicos, e consequentemente biológicos. O aumento da temperatura pode, por exemplo, vir a desenvolver ambientes propícios a proliferação de bactérias e algas, acelerando o processo de eutrofização de determinado corpo d'água.

O Lago Guaíba é um corpo d'água importante para o abastecimento da

população de Porto Alegre e amenizador térmico de regiões territoriais segundo o Departamento Municipal de água e Esgoto - DMAE (2012). Ele abastece uma população urbana que supera 1 milhão de habitantes, considerando a região Metropolitana de Porto Alegre - RS. As águas do lago não são utilizadas apenas para o abastecimento, mas também para recreação de contato primário, pesca, irrigação e como habitat de espécies. O Lago Guaíba consiste em uma complexidade de fatores associados a condicionamentos físicos e antropológicos que intervêm neste sistema hídrico, apresentando mudanças de comportamento limnológico.

Para estabelecer maior precisão na determinação da temperatura da superfície do Lago Guaíba e na representação da sua dinâmica, a partir de sua representação espacial, Barbieri e McClain (1983) utilizaram técnicas de melhoramento na precisão da representação da TSL.

Nessa pesquisa a relação de Temperatura de Superfície do Lago (TSL) com a direção e velocidade dos ventos e cotas do nível da água do Lago Guaíba foi analisada objetivando ver o grau de influência destes fatores na definição dos valores de TSL. Para tanto foram utilizados dados de temperatura de campo e imagens do satélite Landsat 8, na região do infravermelho termal, sobre imagens dos dias 18/11/2013, 04/12/2013 e 21/01/2014.

### Localização da área

O Lago Guaíba está localizado no leste do Estado do Rio Grande do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre, nas coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 460.000 m a 500.000m leste e 6.480.000m 6.640.000m norte, conforme o mapa da Figura 1. Os rios formadores da Bacia do Guaíba (Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí) deságuam no Guaíba e formam, segundo Toldo Jr. e Almeida (2009), um canal com 50 Km de comprimento e 8 metros de profundidade, com largura e profundidade suficiente para permitir a navegabilidade. Apresenta um padrão de circulação e sedimentação associadas aos cursos fluviais pertencentes à planície costeira do Rio Grande do Sul. O mapa de velocidade do escoamento no Lago Guaíba, segundo Paz et al. (2005), mostra uma maior dinâmica das velocidades ao longo do canal que liga a bacia do Guaíba, ao norte a Laguna dos Patos, ao sul. A profundidade das margens leste e oeste têm no máximo até 2 metros de profundidade.

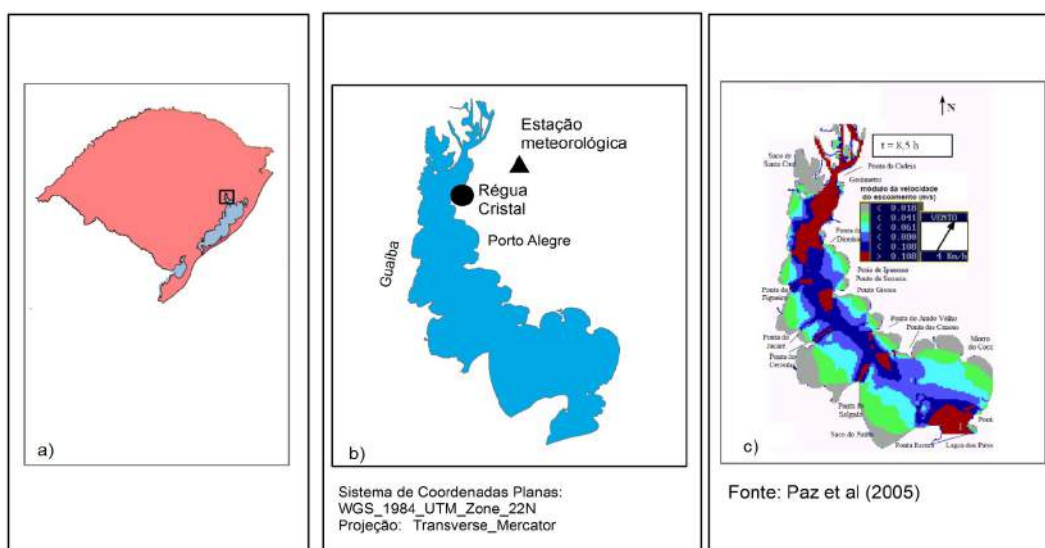


Figura 1. (a) Mapa de localização da área de estudo; (b) Régua fluviométrica Cristal e

Estação Meteorológica: 83967; (c) Campos de velocidade de escoamento do Lago Guaíba - RS.

## 2. METODOLOGIA

Para chegar aos objetivos propostos, os seguintes materiais e métodos foram necessários:

### 2.1. Base de dados

Foram obtidas imagens Landsat 8 no sitio <http://earthexplorer.usgs.gov/>, nas seguintes datas: 18/11/2013, 04/12/2013 e 21/01/2014, concomitantes com os dados amostrados pelo Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre - RS.

### 2.2. Extração da radiância das imagens

Para extrair a radiância das imagens Landsat 8, que vêm em 16 bits, utilizou-se a seguinte equação:

$$L_{\lambda} = Gain * Pixel\ value + Offset$$

Onde:  $L_{\lambda}$  = Reflectância no topo da atmosfera (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm)); Gain e Offset = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda específica, presente no metadata. Pixel value (ND) = Produto padrão quantificado e calibrado para os valores dos pixels.

### 2.3. Geração da temperatura de brilho das imagens

As bandas 10 e 11 do infravermelho termal são computadas no brilho de temperatura da radiância pela fórmula de Planck:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{C^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Onde: I- Radiância espectral;  $\nu$ - Frequência; T- Temperatura do corpo negro; h- Constante de Planck; c- Velocidade da luz; e- Número de Euler; k- Constante de Boltzmann.

Foi utilizada como padrão na função logarítmica a emissividade ( $\epsilon=1$ ). Para extrair a temperatura de brilho dos pixels, utilizou-se a seguinte equação:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

Onde: T é temperatura de brilho em Kelvins; K1 e K2 são constantes de calibração do sensor, temperatura em Kelvin, disponível nos metadados do sensor;  $L_{\lambda}$  = Reflectância no topo da atmosfera (Watts/(m<sup>2</sup> \* srad \* μm)).

Conforme a Yale Guide to Landsat 8 Image Processing (2014), o erro chega a 2 K na banda 10 e 6 K na banda 11. A necessidade da utilização de dados de campo é justamente para corrigir ou amenizar estes erros contidos nas imagens.

### 2.4. Desenvolvimento da TSL

As imagens foram corrigidas com dados de campo, obtidos no DMAE. Utilizou-se uma janela temporal de 3 dias antes e 3 dias depois das cenas Landsat 8. Foi construída uma TSL para cada imagem, com suas respectivas constantes de regressão e dados de campo. Posteriormente, extraiu-se a média dos valores dos pixels em uma

janela 3 x 3 da banda 10 (T sat) para cada ponto de amostra, centrado nas coordenadas do ponto de coleta das amostras.

Conforme metodologia proposta por Araujo & Lorenzetti (1998), foram feitas regressões lineares simples e calculados os coeficientes para um conjunto de pares ordenados (T sat, T pto coleta), obtendo a seguinte equação da reta:

$$T \text{ pto coleta} = a \times T \text{ sat} + b,$$

Onde: a e b são coeficientes obtidos na regressão.

As equações de regressão obtidas foram aplicadas nos valores de T sat, gerando novos valores de temperatura corrigidos. Os erros médios quadráticos foram novamente calculados para novos valores corrigidos. Neste processo buscou-se eliminar os desvios da diferença entre (T sat, T pto coleta).

Posteriormente foi aplicada a metodologia proposta por McClain e Barbieri (1983), em uma janela de 3 x 3, centrado nas coordenadas das amostras do DMAE, extraíndo o valor médio dos 9 pixels. Esta operação foi feita para a banda 10 e para a imagem obtida da subtração (b10 - b11). Estes valores foram aplicados na regressão linear múltipla em conjunto com as amostras de temperatura obtidas no DMAE, buscando estabelecer a TSL, conforme a equação:

$$TSL = \alpha 1 * b10 + \alpha 2 * (b10 - b11) + \text{Interseção}$$

Neste algoritmo trabalhou-se a temperatura de brilho das bandas 10 e 11, para transformar a temperatura de brilho das imagens em temperatura de superfície de lago. Não foi levado em consideração o ângulo do sensor, 0.001, por ser muito pequeno e que não traria modificações significativas nas análises. Não utilizado máscara de nuvens, já que foram utilizadas imagens sem cobertura de nuvens.

#### 2.4.1. Adequação da metodologia do AVHRR para o Landsat 8

Para diminuir a taxa de erro advindo de distorções atmosféricas na temperatura de superfície do oceano foi utilizada a metodologia de McClain e Barbieri (1983) que utilizaram imagens do termal do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Esses autores utilizaram a transmitância da banda T5 (11,5-12,5  $\mu\text{m}$ ), mais sensível às perturbações da atmosfera; menos a transmitância da banda T4 (10,5-11,5  $\mu\text{m}$ ), que representa a temperatura de superfície, para corrigir a atenuação atmosférica da banda T4.

Para calcular a TSL, foram utilizadas as bandas 10 e 11 do infravermelho termal do Landsat 8. Conforme a USGS (2014), o Landsat 8 possui duas bandas no infravermelho termal, sendo a banda 10 (10,60-11,19  $\mu\text{m}$ ) e a banda 11 (11,50 -12,51  $\mu\text{m}$ ), com resolução espacial de 100 metros.

Conforme a Yale Guide to Landsat 8 Image Processing (2014), a diferença entre a banda 10 e a banda 11, evidencia a absorção atmosférica ou a emissão na radiação do infravermelho termal. Definido por  $\Delta T = TB11 - TB10$  o que indica a influência atmosférica. Na janela atmosférica do infravermelho termal, observa-se uma influência da absorção e da emissão do CO<sub>2</sub>. A banda 11 sofre mais com a influência do CO<sub>2</sub> (15 microns). Mais eficaz na detecção de temperaturas de gases atmosféricos, porém sofre mais a influência atmosférica do que a banda 10.

#### 2.4.2. Imageamento operacional

Segundo USGS (2014) os processos de calibração do sensor vêm sendo melhorado nos últimos anos. O offset remove 0.29 W/m<sup>2</sup>/sr/ $\mu\text{m}$  (~2.1K) na banda 10 e

0.51 W/m<sup>2</sup>/sr/um (~4.4 K) na banda 11. O offset representa a média do erro introduzido pela luz difusa vinda de fora do campo de visada do infravermelho termal. Ele prove a acurácia ao dado, principalmente em estações ou períodos em que a temperatura vai de 10°C a 30°C, que são períodos onde as temperaturas estão cercadas por áreas com similares temperaturas, com tendência a um aumento na temperatura.

Segundo a USGS (2014) os erros nas bandas do termal são mensurados com a temperatura de superfície d'água, e correspondem a uma correção -2.1 K (Banda 10) e -4,4 K (Banda 11) para uma temperatura de 295 K de temperatura de brilho. Quanto ao erro médio quadrático (RMS), a correção é de 0.12 W/m<sup>2</sup>/sr/um (~0.8) para a banda 10 e para a banda 11, de 0.2 W/m<sup>2</sup>/sr/um (~1.75 K), é previsto grande incerteza associada a banda 11, porém a USGS (2014).

## 2.5. Variáveis que interferem na TSL

Para análise da dinâmica da TSL, foram analisados os seguintes dados:

(a) direção e intensidade dos ventos, Estação 83967 - Porto Alegre, localizada em 30.05 e -51.16, a 46,97 metros de altitude, site da INMET - Instituto de Meteorologia <http://www.inmet.gov.br/portal/ondex.php?rbdmep/bdmep>;

(b) série histórica de nível d'água, régua Cristal, site da Agência Nacional das Águas <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>,

Figura 1 (b).

## 3. RESULTADOS

O gráfico da Figura 2 mostra as cotas da régua fluviométrica Cristal, que representa bem a oscilação do nível das águas do lago; e a direção e velocidades dos ventos no Lago Guaíba - RS. Destaca-se no mês de novembro os maiores valores de cota, associados a uma forte entrada d'água no sistema do lago, isso causa uma mistura de massas d'água com temperaturas diferentes. Esses valores estão associados aos ventos fortes, chegando a 4,5 m/s<sup>-1</sup>, com o predomínio no quadrante sul, que em certa medida represam a saída dessa massa para o sistema Laguna dos Patos.

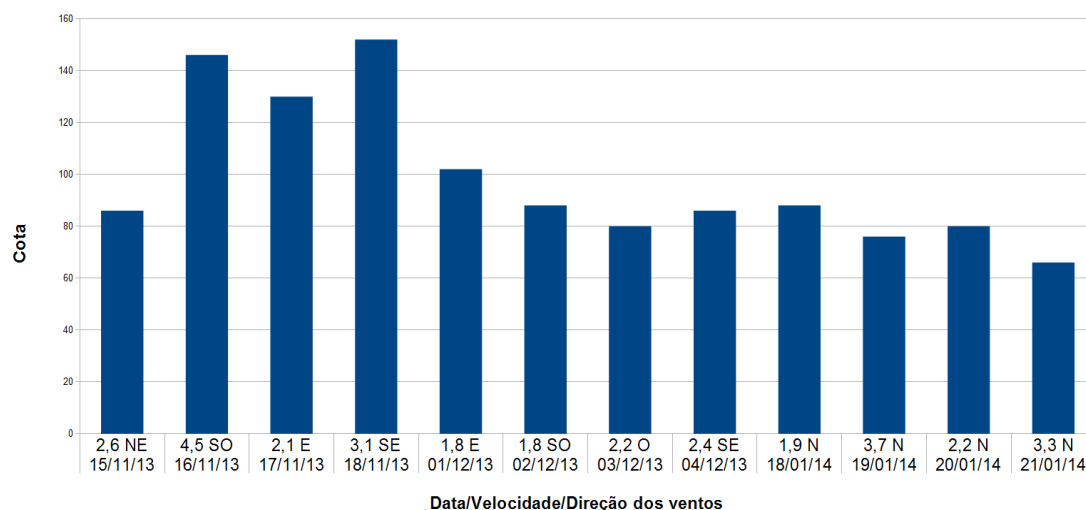


Figura 2. Gráfico das cotas da régua fluviométrica, direção e velocidades dos ventos no Lago Guaíba - RS.

Para a imagem de 04/12/2013, observa-se um gradativo aumento da velocidade dos ventos de 1,8 m/s para os dias 01 e 02 de dezembro e 2,2 m/s no dia 3. Na data da

passagem do satélite o vento está com 2,4 m/s. Nos dias que antecedem a passagem do satélite, há uma redução gradativa na cota do Guaíba, e redução de velocidade das águas no canal do lago. Comportamento que faz com que a massa d'água tenha um maior tempo de permanência no lago, podendo sofrer um maior aquecimento ou resfriamento oriundo do vento e da temperatura do ar.

Em relação a imagem de 21/01/2014 os ventos do quadrante Norte são fortes ficando acima de 3 m/s durante dois dias, incluso o dia de passagem do satélite que estava com ventos de 3,3 m/s. Observa-se uma oscilação com tendência a uma redução da cota no Guaíba, em dias que antecedem a passagem do satélite. Não é observada uma entrada significativa de massas d'água que possa afetar bruscamente o comportamento da temperatura em função da entrada d'água, podendo estar mais sujeitas a comportamentos de temperaturas advindos de massa de ar.

As imagens da Figura 3 mostram a dinâmica de Temperatura de Superfície do Lago Guaíba, nos dias 18 de novembro de 2013, 04 de dezembro de 2013 e 21 de janeiro de 2014. Na imagem de novembro de 2013 (Figura 3A), observa-se uma TSL mais alta em relação aos meses posteriores, o que parece refletir pouco a influência da direção do vento, e mais a entrada d'água no lago. Observa-se um padrão de mistura de massas d'água de temperaturas diferentes, com temperaturas mais baixas ao longo do canal. Na Figura 3C, as temperaturas mais baixas ocorrem nas áreas onde a velocidade das águas é maior, havendo uma redução da velocidade das águas onde as temperaturas estão mais elevadas.

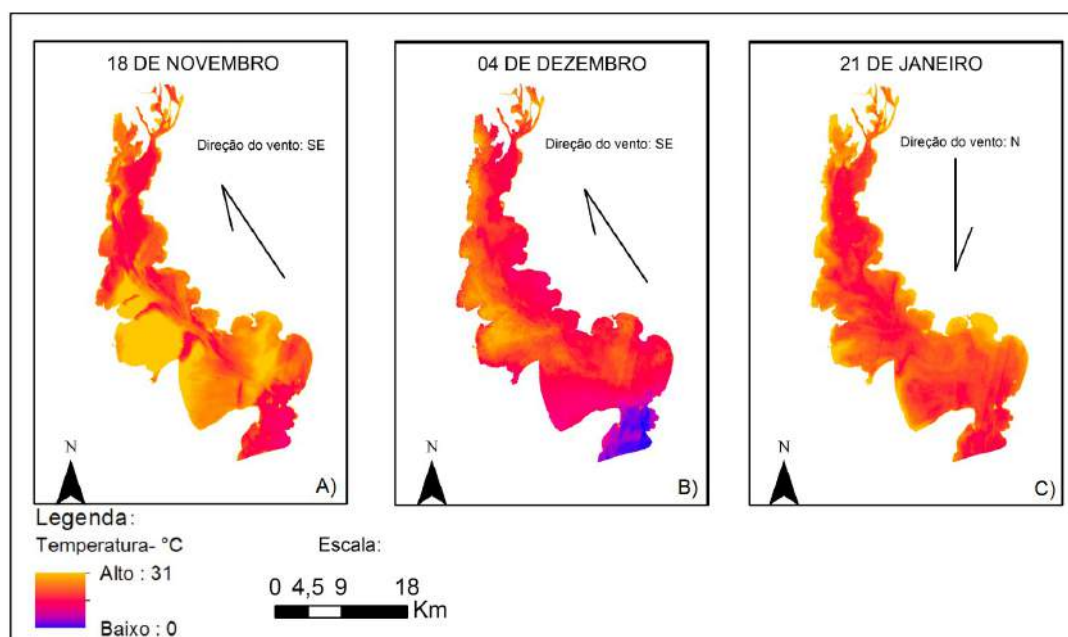


Figura 3. Temperatura de Superfície do Lago (TSL), e direção dos ventos no Lago Guaíba – RS

Observa-se que as temperaturas mais altas estão localizadas na Ponta do Salgado na enseada do extremo sudoeste do lago, na imagem de novembro 23,77 °C, dezembro 23,48 °C e janeiro com 28,54 °C, estabelecendo uma relação com as áreas de velocidade mais baixa, conforme o observado na Figura 1C. Nessa área a batimetria é de no máximo 3 metros de profundidade conforme Toldo Jr. et al. (2009).

Nas imagens de 18 de novembro de 2013 e 21 de janeiro de 2014 estão altamente relacionadas a fatores como entrada d'água e direção dos ventos; diferente do ocorrido

em dezembro que é mais complexo os fatos que interferem na TSL são mais equilibrados, havendo uma pequena sobre saliência do fato do vento predominante ser do quadrante sul, dando um comportamento de resfriamento na porção sul. No encontro com as águas da Laguna dos Patos, há uma célula de temperaturas mais baixas (20,27 °C), Figura 3B. Nesta mesma área, a temperatura é de 22,48 °C em novembro, e de 28,36 °C, em janeiro (Figuras 3A e 3C, respectivamente). Isso significa que a entrada de ventos do quadrante sul pode represar o escoamento da lâmina superficial, e uma redução na temperatura nessas áreas.

Em novembro observa-se um aumento no nível da régua, e conseqüentemente uma entrada d'água, conforme o observado no gráfico da Figura 2, causando um padrão heterogêneo de distribuição de TSL (conforme a figura 3 A). As células de maiores velocidades (conforme a Figura 1C) localizam-se no canal, local onde apresenta temperaturas entre 22, 75 °C a 22,87 °C (conforme a figura 3 A), enquanto que as demais células, áreas de fluxo de velocidade menor, apresentam temperaturas mais elevadas (23,09°C a 23,85°C), significa que a entrada d'água no sistema lagunar é de temperatura mais baixa do que a do ambiente.

A TSL, na imagem de janeiro de 2014, possui forte relação com o vento norte, chegando a ter velocidades 3,7 m/s-1, não houve ventos de outras direções, conforme observado na figura 2. Observa-se um padrão de TSL suave em janeiro e com temperaturas elevadas, não refletindo relação com a velocidade das águas, que de fato não houve uma entrada significativa de água no lago como ocorrido na imagem de novembro. De acordo com a figura 3 C a TSL varia de 28,39°C a 28,72°C com uma elevação da temperatura nas áreas de margem (29,14°C).

#### 4. CONCLUSÕES

Os mapas de temperatura gerados a partir do Landsat 8 foram eficientes para representar distintas feições de TSL, além de precisão cartográfica nos produtos gerados.

Quando ocorre uma grande entrada d'água observa-se que a TSL tem um peso maior na resposta do que a direção dos ventos. A entrada de uma massa d'água de temperatura diferente no sistema pode ser observado de acordo com a distribuição das áreas de temperatura, que apresenta comportamento em conformidade ao fluxo d'água, dinâmica de velocidade e movimentação das águas do lago.

A entrada d'água advinda de outras bacias fluviais que deságuam no Lago Guaíba altera completamente o padrão de comportamento de TSL do Lago Guaíba.

Em áreas rasas observa-se uma temperatura ainda mais elevada do que todo o restante do corpo d'Água.

#### 5. REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/>> Acesso em: 08/08/2014.

CARLOS, E.S.A.; JOÃO, A.L. **Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélite para a região Sul-Sudeste da costa brasileira**. Anais IX SBSR, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 769-781.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia: **Dados Históricos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 20/08/2014

**LANDSAT 8 (L8) Operational Land Imager (OLI) and Termal Infrared Sensor (TIR)**. Disponível

em: < [http://landsat.usgs.gov/calibration\\_notices.php](http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php) > Acesso em: 08/08/2014.

**LANDSAT 8 (L8) Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS): Calibration Notices.** Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/calibration\\_notices.php](http://landsat.usgs.gov/calibration_notices.php)> Acesso em: 04/09/2014.

NICOLODI, J.L.; TOLDO, E.E.; FARINA, L. **Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano.** Pesquisa em Geociências, 37 (1): 25-39, jan/abr: 2010, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

PAZ, A.R.; REIS, L.G.M.; LIMA, H.V.C. **Uso de modelagem hidrodinâmica visando a segmentação de corpos d'água rasos para enquadramento: o caso do lago guaíba (RS).** In: XVI Anais do SBRH, João Pessoa - PB, 20 a 24/11/2005. Disponível em: <[http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz\\_et\\_al\\_SBRH\\_2005a.pdf](http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005a.pdf)> Acesso em: 11/10/2014.

RICHARD, W.B.; CHARLES, R.M. **Methodology for Interpretation of SST Retrievals Using the AVHRR Split Window Algorithm.** Laboratory for Atmospheric SciencesNASA/Goddard Space Flight Center, 1983

TOLDO JR, E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B. **Rio Guaíba.** Centro de estudos de Geologia Costeira e Oceânica.

**USGS Science for a Changing World. Landsat 8.** Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> Acesso em: 20/08/ 2014.

**Yale Guide to Landsat 8 Image Processing:** Disponível em: <<http://surfaceheat.site.yale.edu/understanding-landsat-8>> Acesso em: 13/08/2014.

Toldo JR, E. E. & Almeida, L. E. B. **Rio Guaíba:** Disponível em: <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu\\_doc/rioguaiba\\_eliriotoldojr.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/rioguaiba_eliriotoldojr.pdf)> Acesso em: 27 de outubro de 2014.