

Mapeamento da temperatura superficial da Lagoa dos Patos – RS com dados NOAA-AVHRR

Daniel Capella Zanotta ¹
Glauber Acunha Gonçalves ²
Jorge Ricardo Ducati ¹

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Caixa Postal 15044 – CEP 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
danielczanotta@gmail.com
ducati@ufrgs.br

² Fundação Universidade do Rio Grande - FURG
Rua Eng. Alfredo Huch, 475 – CEP 96201-900 – Rio Grande - RS, Brasil
glaubergoncalves@furg.br

Abstract. Water surface temperatures are among the most important information in the modeling of surface-atmosphere interaction. Studies generally are focused on sea-surface temperature (SST), but extensions to freshwater bodies can be important. In this paper, satellite images from NOAA/AVHRR were used to calculate lake surface water temperatures (LSWT), based on a nonlinear sea surface temperature (NLSST) algorithm generally applied to open ocean conditions. As the first potential application in Brazil, LSWT monthly means of surface temperature maps were generated for Lagoa dos Patos in Rio Grande do Sul State, Brazil, covering the period from august/2007 to july/2008 and for daytime and nighttime. The bias of the algorithm is reported to be around 1-1,5°C when compared with *in-situ* measurements. Results show strong monthly variations in surface temperature during the one-year period and reveal the interaction with the adjacent ocean in the estuarine region. The ranges of temperature variation found were 9,9 to 29,5°C in daytime and 9,9 to 27,8°C in nighttime. This gives new insights and leads to possibilities for modeling local scale phenomena causing temperature oscillations. Being a feasibility study, future developments include *in-situ* measurements in the lake to determination and validation of a set of coefficients derived from lake conditions. The datasets validated allow further application for LSWT climatology and assimilation into numerical weather prediction models.

Palavras-chave: lake surface water temperature, NOAA-AVHRR, SST algorithms, temperatura da superfície de lagos, NOAA-AVHRR, algoritmos de TSM.

1) Introdução

Dados sobre a temperatura de grandes corpos d'água, além de necessários em diversas áreas do conhecimento, têm um importante papel no entendimento dos processos de interação entre superfície e atmosfera, bem como na navegação e pesca. Por estas razões, o conhecimento da distribuição espacial e temporal da temperatura é extremamente valioso. A temperatura da superfície de lagos (TSL) é um dos fatores que condicionam as variáveis climáticas e as regiões propícias ao aparecimento de determinadas espécies de peixe, influenciando as atividades pesqueiras e agindo nos processos físicos, químicos e biológicos lacustres Arnell et al. (1996) e referências internas.

A Lagoa dos Patos (31°S, 51°O), situada na região sul do Rio Grande do Sul, apresenta-se como uma zona de convergência de águas provenientes de várias bacias hidrográficas. Abriga milhares de espécies aquáticas e é fundamental para o abastecimento de água para muitas localidades dispostas em suas margens. A lagoa possui atualmente um

elevado trânsito de navios comerciais que trafegam por suas águas da capital do estado até a ligação com o oceano no canal de Rio Grande na região extremo sul do estado. Com uma área de aproximadamente 10.227 km², é a maior lagoa costeira do Brasil, porém, apesar de sua grande extensão, é um corpo de águas bastante rasas com profundidade média de 5 m. É considerada a maior lagoa do tipo “estrangulada” do mundo Asmus (1998). Dúvidas quanto a denominação correta; se seria lagoa, lago ou laguna; são levantadas atualmente principalmente em função da ligação direta com o mar. Enquanto os especialistas não chegam a um acordo, permanece a tradicional e consagrada denominação de Lagoa dos Patos (Rosa (1995)).

Historicamente, rotinas de medição de temperatura na lagoa são feitas em regiões viáveis e de interesse, tais como aberturas de municípios e mais internamente por navios comerciais, os chamados *navios de oportunidade*. Infelizmente, a alta variabilidade encontrada nas regiões marginais, e a cobertura limitada realizada pelos navios, tornam esses dados inadequados para descrever a distribuição espacial da temperatura de um grande lago como um todo Schwab (1999).

Nesse quesito, o sensoriamento remoto orbital tem se mostrado ao longo dos anos um meio eficaz para o monitoramento da temperatura superficial de corpos aquáticos. A representatividade espacial e temporal obtida com a observação por satélites é imprescindível para um melhor acompanhamento e compreensão do comportamento de fenômenos meteorológicos, representando uma importante fonte de dados de entrada para modelos de previsão. A TSM pode ser operacionalmente derivada a partir dos canais termais de vários sensores, como por exemplo, o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) instalado a bordo da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) aplicando-se os algoritmos *split-window* normalmente utilizados para o cálculo da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em escala global Oesch et al. (2005). Aqui, fala-se mais especificamente do *MultiChannel Sea Surface Temperature* (MCSST) e do *Non-linear Sea Surface Temperature* (NLSST), algoritmos largamente usados e estudados por diversos pesquisadores desde sua criação há poucas décadas atrás.

A praticabilidade dos algoritmos TSM-AVHRR para determinação da temperatura superficial de corpos d’água continentais têm sido mostrada para os Grandes Lagos no norte dos Estados Unidos Schwab et al. (1999); Li et al. (2001); Schwab et al. (1992) e lagos canadenses Bussi eres et al. (2001) na America do Norte, África Wooster et al. (2001) e Europa Continental Thiemann e Schiller (2003).

A aplicação desse método para detecção da temperatura superficial de grandes sistemas aquáticos não marítimos, como lagos e lagoas, leva a uma imprecisão inerente às condições físicas e morfológicas em que originalmente os coeficientes foram concebidos. Ou seja, os coeficientes usados nos algoritmos para detecção da temperatura da superfície do mar (TSM) são calibrados com dados de navios de oportunidade e b ias da *National Data Buoy Center* (NDBC) em condições marítimas, e não lacustres. Ao aplicar em lagos a mesma metodologia aplicada para oceanos, surge uma degradação na confiabilidade das temperaturas encontradas. Para os Grande Lagos, por exemplo, muitos estudos para diferentes sensores a bordo de diferentes plataformas estimam um *bias* de 1.0 – 1.5K e um desvio padrão de 1.0K quando comparados com dados provenientes de b ias instaladas *in situ* Oesch et al. (2005). Estes valores estão fora da região limite de aceitação requerida para fins científicos pela *National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System* (NPOESS) Walton et al. (1998a).

Embora estudos deste tipo já tenham sido conduzidos para um número de lagos em diversos países, tais determinações ainda não foram feitas no Brasil. Este trabalho propõe-se a testar as técnicas expostas, a nível exploratório na Lagoa dos Patos. Os principais objetivos são: (1) avaliar o uso dos algoritmos tradicionais de TSM para estimação da TSL na lagoa, (2) estudar a variabilidade anual da estrutura termal a partir dessa metodologia, (3) avaliar as possíveis fontes de erro e imprecisão na aproximação realizada; e finalmente (4) propor uma calibração de coeficientes com dados *in situ* para melhorar a precisão e acurácia das medidas.

2) Metodologia

Dados AVHRR de alta resolução radiométrica são recebidos em *High Resolution Picture Transmission* (HRPT) na estação do CEPSSRM-UFRGS. As imagens contam com 5 bandas espectrais, sendo 2 no visível e 3 no infravermelho, as quais com resolução espacial de 1,1 km e radiométrica de 10 bits. Esses dados são o ponto de partida para obtenção da TSL. A partir do aplicativo HRPTtoL1B desenvolvido pelo pesquisador David J. Taylor (*Edinburgh*), os dados brutos são convertidos para Level-1B (L1B) em valores de radiância espectral. O formato L1B derivado é então corrigido radiometricamente e calibrado em unidades físicas para ser transformado em valores de temperatura de brilho nas bandas 4 (10.3-11.3 μ m) e 5 (11.5-12.5 μ m), usando-se a função de Planck para o corpo negro. Subsequentemente é realizada uma seleção por recorte da área estudada em coordenadas latitude-longitude no sistema WGS84. O tamanho do pixel em dimensões de latitude e longitude foi definido como sendo 0.01 grau.

Com a intenção de cobrir o ciclo anual, neste trabalho foram usados os dados do satélite NOAA-17 entre o mês de agosto/2007 e julho/2008 no período diurno e noturno, o que corresponde aproximadamente a 11:30h e 23:30h em hora local respectivamente. O algoritmo usado para resolver os valores de temperatura de superfície foi essencialmente o NLSST de acordo com Walton (1988) e descrito em Oesch et al. (2003):

$$\begin{aligned} NLSST &= a_1(c4) + a_2(c4 - c5)(MCSST) + a_3(c4 - c5)(q) - a_4 \\ MCSST &= b_1(c4) + b_2(c4 - c5) + b_3(c4 - c5)(q) - b_4 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde: *NLSST*, *MCSST* = *non-linear e multichannel SST*

c4, *c5* = canais 4 e 5 AVHRR em temperaturas de brilho [K]

a₁-a₄, *b₁-b₄* = Coeficientes de acordo com *National Environment Satellite Data and Information Service - NOAA* (NESDIS-NOAA)

q = ((secante do ângulo zenital do satélite) - 1)

Explorando o fato de haver diferente absorção atmosférica por vapor d'água entre os diferentes canais AVHRR Anding e Kauth (1970); Prabhakara et al. (1974), o método utilizado para exclusão de pixels contaminados por nuvem foi obtido pela subtração da temperatura do canal 5 pelo canal 3, a diferença deve ser igual ou inferior a -0.6°C para o pixel ser considerado livre de contaminação por nebulosidade. Adicionalmente, pixels com valor de temperatura abaixo de 0°C também foram excluídos.

3) Resultados e Discussões

Foram gerados um total de 24 mapas de temperatura superficial da Lagoa dos Patos e respectiva porção do oceano adjacente para permitir análise de interação na região estuarina. Os mapas (figuras 1 e 2) correspondem às médias mensais, sendo que o número de imagens utilizadas para cada mês varia de acordo com a disponibilidade das mesmas no período. Para melhor representação da variação da temperatura, cada mapa mensal possui sua própria paleta de referência, a qual varia de forma contínua do azul (frio) ao vermelho (quente) contabilizando os valores em graus Celsius.

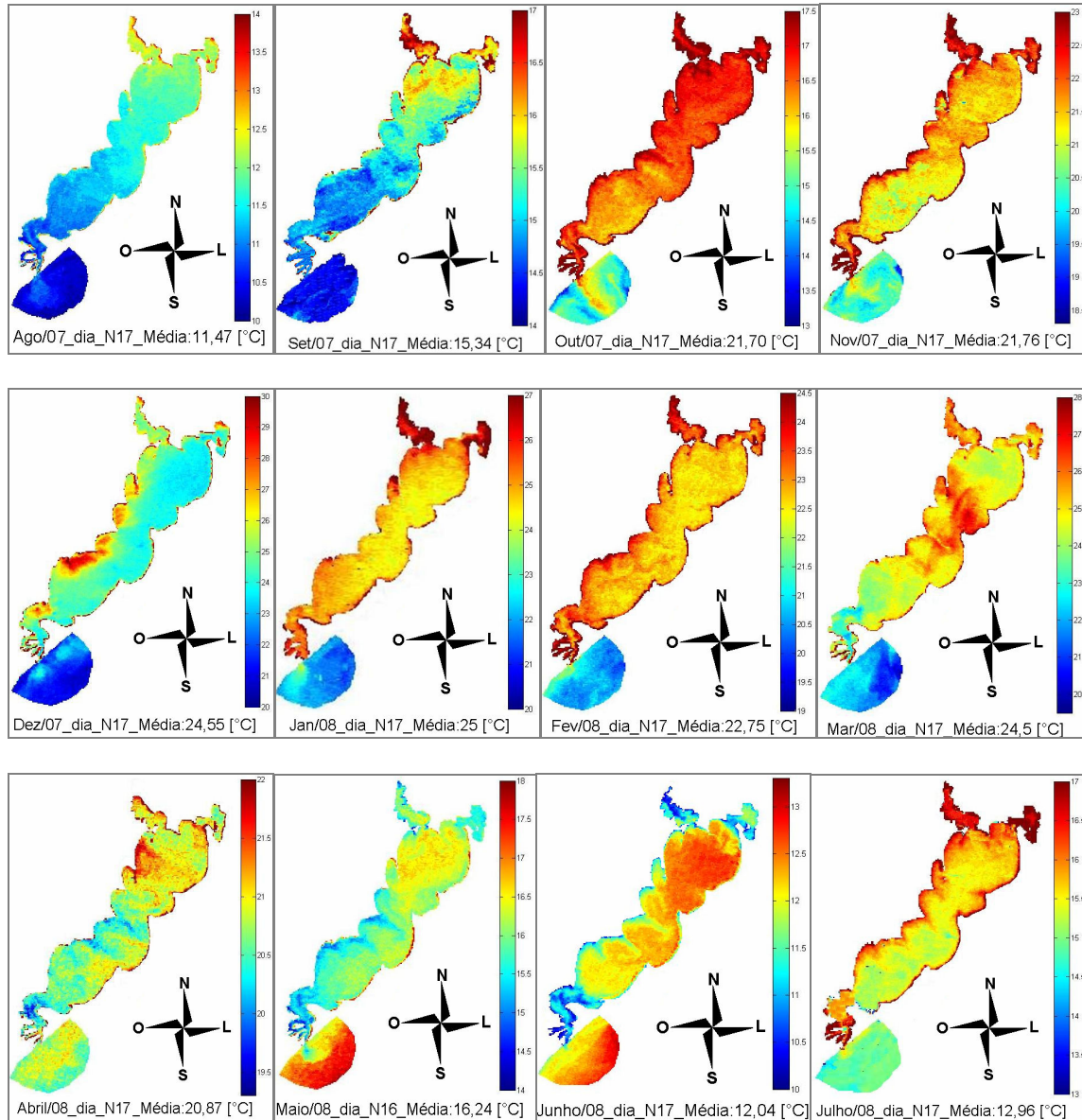


Figura 1: Variação da TSL diurna mensal entre agosto de 2007 e julho de 2008.

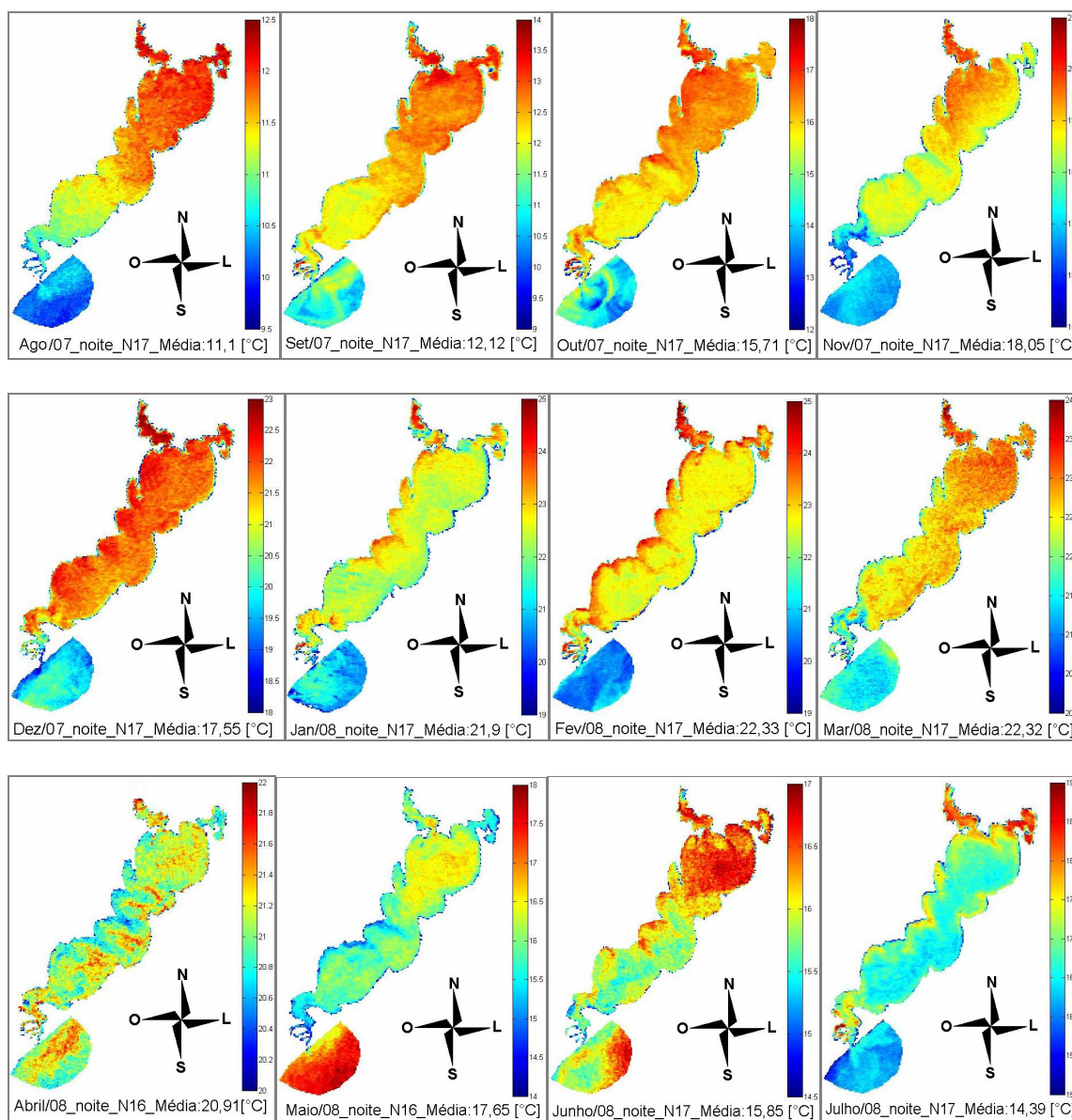


Figura 2: Variação da TSL noturna mensal entre agosto de 2007 e julho de 2008.

A variação espacial da temperatura nos mapas do período diurno é maior do que no período noturno: a média da variação alcançou $4,7^{\circ}\text{C}$ durante o dia e $2,7^{\circ}\text{C}$ durante a noite.

As diferentes estruturas termais encontradas dentro da lagoa podem ser devidas à complexa circulação interna relacionada a parâmetros batimétricos, meteorológicos, sazonais e até aspectos como sistemática de ventos e entrada de águas externas providas de bacias da região. Um estudo mais dirigido a essa questão se faz necessário para permitir uma explicação detalhada.

Em geral, observa-se que as áreas mais ao norte possuem temperaturas maiores comparadas com as áreas ao sul e, com exceção de poucos meses, a lagoa se mostrou

consideravelmente mais quente se comparada com o oceano. O lançamento de águas da lagoa para o mar é evidenciado pela diferença de temperatura em algumas imagens, salientando a tradicional pluma formada na região costeira adjacente.



Figura 3: Fronteira de encontro da água da lagoa (de tom marrom) com a água oceânica, responsável pela formação da pluma.

Erros na obtenção da TSL, assim como na TSM, podem ser atribuídos a vários fatores como ruído do sensor, aerossóis e vapor d'água atmosféricos, contaminação residual de nuvens (tal como cirrus), e efeitos de emissividade da superfície, que por sua vez é determinada pela salinidade, sedimentação e turbidez da água Crosman e Horel (2008). A Lagoa dos Patos possui variações de sedimentação em todo seu interior, e de salinidade principalmente na porção estuariana, devido à interação com as águas oceânicas.

As variações de emissividade devido à salinidade e turbidez são pequenas ($0,2 - 0,5^{\circ}\text{C}$) e previsíveis Friedman (1969). Para se ter uma idéia, de acordo com Crosman (2005) a salinidade influencia a emissividade da água como representado na Fig. 4.

Diferenças entre a chamada temperatura de pele (medida pelo satélite) e a temperatura de corpo (medida *in-situ* pelos termômetros e usada na calibração de coeficientes) relacionadas com o efeito de termoclina diurna, também podem causar erros na obtenção da temperatura por satélites dependendo das condições do vento na região Emery et al. (2001).

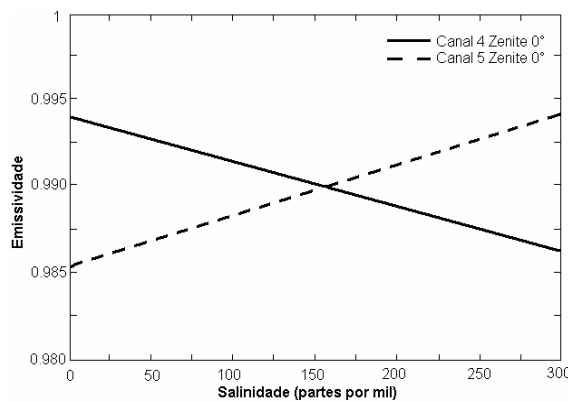


Figura 4: Relação entre a emissividade e a salinidade da água. Adaptado de Crosman (2005).

4) Conclusões

Como mostrado nas figuras 1 e 2, as médias mensais da TSL da Lagoa dos Patos de agosto/2007 a julho/2008 variam durante a noite de 9,9°C em agosto para 24,8°C em fevereiro, e durante o dia de 9,9°C em agosto para 29,5°C em dezembro.

Embora estes números tenham grande valor para se compreender a variação espacial e temporal da temperatura na laguna, a acurácia dos dados não pode ser confirmada sem que haja uma validação com dados *in-situ*. Neste estudo ao se adotar, por falta de opção, o método de obtenção da temperatura utilizando os coeficientes de acordo com NESDIS-NOAA, a laguna foi aproximada como sendo um corpo d'água marítimo genérico, induzindo a imprecisões bem conhecidas. Para maximizar a eficácia do processo, os coeficientes utilizados para obtenção da temperatura devem condizer com os aspectos mais particulares da região em estudo como composição atmosférica, sedimentação, salinidade, angulação solar, etc. A continuidade deste trabalho inclui a calibração destes coeficientes com dados de temperatura coletados no interior da lagoa, e posterior validação da metodologia que, segundo Schwab et al. (1999), alcança médias menores que 0,5°C de diferença entre os dados *in-situ* e as temperaturas estimadas via AVHRR-NOAA. Esta melhora na acurácia, embora numericamente pequena, é crucial para estudos meteorológicos, climatológicos e lacustres.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos pesquisadores David Oesch (*University of Bern*), Erik Crosman (*University of Utah*) e Aníbal Gusso (CEPSRM-UFRGS) pelos esclarecimentos e contribuições muito importantes.

Referências Bibliográficas

- Anding, D. & Kauth, R. Estimation of sea surface temperature from space. **Remote Sense of Environment**. 1: p. 217-220. 1970.
- Arnell, N.; Bates B.; Lang H.; Magnuson J.; and Mulholland P. Hydrology and freshwater ecology, Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation. Scientific-Technical Analysis. **Cambridge University Press**, Cambridge, UK, p. 325-363. 1996.
- Asmus, M.L. A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: U. Seeliger, C. Odebrecht e J.P. Castello. **Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande – RS: Editora Ecoscientia. 1998.
- Bussières, N.; D. Versegny; and MacPherson, J. I. The evolution of AVHRR-derived water temperatures over boreal lakes, **Remote Sensing of Environment**. , 80 (3), p. 373–384. 2001.
- Crosman, E. T.; Horel, J. D. MODIS-derived surface temperature of the Great Salt Lake. Impress. **Remote Sense of Environment**. 2008.
- Crosman, E.T. **Remote sensing of the surface temperature of the Great Salt Lake** (98 p). M.S. Thesis, Department of Meteorology, University of Utah. 2005.
- Emery, W. J.; Castro S.; Wick, G. A.; Schuessel, P.; and Donlon, C. Estimating Sea Surface Temperature from Infrared Satellite and In Situ Temperature Data. **Bulletin of the American Meteorological Society**. p. 2773–2785. 2001.
- Friedman, D. Infrared characteristics of ocean water (1.5–15 μm). **Applied Optics**, 8, p. 2073–2078. 1969.

- Li, X.; Pichel, W.; Clemente-Colon, P.; Krasnopolsky, V.; and Sapper J. Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data, **Int. J. Remote Sensing.**, 22 (7), p. 1285 – 1303. 2001.
- Oesch, D. C.; Hauser, A.; and Wunderle, S. Operational Mapping of Lake Surface Temperature in the Alps Using NOAA – AVHRR Data: Intercomparison of Different Lakes. **Eumesat. Germany.** 2003.
- Rosa, M. **Geografia de Pelotas.** Pelotas – RS: Editora da Universidade Federal de Pelotas. 1995.
- Oesch, D. C.; Jaquet, M.; Hause, A.; Wunderle, S. Lake surface water temperature retrieval using advanced very high resolution radiometer and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data: Validation and feasibility study. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 110, C12014. 2005.
- Prabhakara, C.; Dalu, G.; Kunde, V. G. Estimation of Sea Surface Temperature From Remote Sensing in the 11- to 13- μ m Window Region. **Journal of Geophysical Research.** vol. 79, issue 33, p. 5039-5044. 1974.
- Schwab, D. J.; Leshkevich, G. A.; and Muhr, G. C. Automated mapping of surface water temperature in the great lakes. **Journal of Great Lakes Research**, 25(3): p. 468-481. 1999.
- Schwab, D. J.; Leshkevich, G. A.; and Muhr, G. C. Satellite measurements of surface water temperature in the great lakes: Great lakes coastwatch, **Journal of Great Lakes Research.**, 18 (2), p. 247–258. 1992.
- Thiemann, S.; and Schiller, H. Determination of the bulk temperature from NOAA/AVHRR satellite data in a midlatitude lake, **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.**, 4, p. 339–349. 2003.
- Walton, C. C. Nonlinear Multi-channel Algorithms for Estimating Sea Surface Temperature with AVHRR Satellite Data, **Journal of Applied Meteorology.** vol. 27, Issue 2, p.115-124. 1988.
- Walton, C. C.; Pichel, W. G.; Sapper, J. F.; and May D. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar orbiting environmental satellites, **Journal of Geophysical Research.** 103, p. 27,999 – 28,012. 1998a.
- Wooster, M.; Patterson, G.; Loftie, R.; and Sear, C. Derivation and validation of the seasonal thermal structure of Lake Malawi using multi-satellite AVHRR observations, **Int. J. Remote Sensing.**, 22 (15), p. 2953–2972. 2001.