

Dinâmica da temperatura aparente de superfície da Bacia Hidrográfica do rio Tavares, Florianópolis (SC)

Marcelo Rodrigues de Souza¹
Tatiana Rocha Amaro¹
Amada Framil Ferreira¹
Maria Da Penha Carnevali¹
Éryka Costa De Almeid¹
Domênica Leone De Podestá¹
Nívea Adriana Dias Pons¹

¹Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Caixa Postal: 50 - CEP: 37500 903 – Itajubá, MG – Brasil
{gr4fitt3, tatianaramaro, erykaca, dopodesta}@gmail.com
p.mpjs@hotmail.com
npons@unifei.edu.br

Abstract. The urbanization process has been contributing to the reduction of vegetation, intensifying environmental problems such as the changes in temperature. The emergence and improvement of the techniques related to the remote sensing represent an indispensable tool that allows the analysis and understanding of environmental phenomena. Thus, the aim of the present study was to relate the apparent temperature variation of the surface with the use and land cover the Bacia Hidrográfica do Rio Tavares, Florianópolis, Brazil, using the methodology discussed by Chander, Markham, and Helder (2009), in order to extract the apparent surface temperature from Landsat 5-TM satellite. Crossing the information obtained via remote sensing it was possible to identify that the areas of lower apparent surface temperature are generally associated with areas of high concentration of vegetation and in fields of higher altitudes. Higher temperatures tend to relate to areas of dense urban settlement, high presence of exposed soil and the absence of surrounding vegetation. Therefore it proves the relevance of such techniques and that the data sets for the urban climatology study, serving mainly as an aid in the decision making to improve the management of the region and the urban centers.

Palavras-chave: Environmental issues, Climate, Remote Sensing, Use and land cover, Problemas ambientais, climáticas, sensoriamento remoto, uso e cobertura do solo.

1. Introdução

O crescimento das cidades atrelado à inexistência ou à inadequação do planejamento dessas áreas pode agravar os problemas ambientais. O processo de urbanização pelo qual as cidades vêm passando nos últimos tempos tem contribuído para a redução da cobertura vegetal nestes espaços e tem, como uma de suas consequências, favorecido alterações de temperatura na região. Em geral, fenômenos como a formação de ilhas de calor, o aumento da temperatura, das precipitações, da poluição do ar e da queda em sua umidade relativa, são exemplos de como as alterações na cobertura da superfície urbana podem afetar o clima local.

Dessa forma, o aumento em número, diversidade e relevância dos problemas ambientais fomentou a necessidade de inovações tecnológicas capazes de mensurar e fornecer alternativas de mitigação para as situações atuais que impactam negativamente o ambiente e o cotidiano social. Pace (2004, p. 2), afirma que “[...] o sensoriamento remoto por satélite é, na escala de espaço e tempo, o meio mais objetivo para o monitoramento do sistema superfície-atmosfera”.

Segundo Moreira e Galvínio (2007) o surgimento, bem como o aperfeiçoamento de técnicas ligadas ao sensoriamento remoto disponibilizaram diversos sistemas sensores inovadores com capacidade de gerar informações através de imagens em diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas.

Tais tecnologias permitem a obtenção de informações e de respostas concisas em tempo hábil para a tomada de decisões no que se refere ao estudo dos fatores que determinam a

qualidade ambiental urbana. Em se tratando de clima nas áreas urbanas, dispor deste tipo de informação é fundamental dada a relevância em que os fatores climáticos têm na vida dos seres humanos. Portanto, estes sistemas de sensoriamento remoto se mostram indispensáveis, principalmente, por fornecerem dados à comunidade acadêmica e ao poder público, viabilizando a análise e a compreensão dos diversos fenômenos ambientais.

O satélite Landsat 5 (Land Remote Sensing Satellite), posto em operação no ano de 1984, possui a bordo o sensor TM (Thematic Mapper) que permite o imageamento da superfície terrestre a partir de sete bandas espectrais distintas, demonstrando uma ferramenta de alta versatilidade quanto às suas possibilidades de aplicação. Uma das bandas disponíveis pelo sensor, a banda de número seis, possibilita o estudo de áreas e objetos na porção do espectro do infravermelho termal. Assim, uma das principais informações contidas nas imagens fornecidas por esse tipo de satélite é a temperatura aparente da superfície, uma vez que permite detectar fenômenos referentes aos contrastes térmicos da superfície terrestre.

Nesse sentido, como demonstrado por Ortiz e Amorim (2011), as informações levantadas de uma região referentes ao uso e ocupação do solo, quando confrontadas com dados de temperatura da superfície auxiliam no diagnóstico do microclima local, uma vez que as diferentes coberturas superficiais apresentam características de absorção e reflexão da radiação solar, distintas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho reside em relacionar a variação de temperatura aparente da superfície com o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Tavares em Florianópolis (SC) no ano de 2010, na busca pela compreensão de alguns dos fatores que influenciam na dinâmica de temperatura superficial da região.

2 Metodologia

2.1 Caracterização geral da área

A Ilha de Santa Catarina está situada entre as latitudes 27°22'S e 27°50'S e as longitudes 48°20'O e 48°35'O, fazendo do município de Florianópolis. Disposta no sentido nordeste-sudoeste, a ilha apresenta uma área aproximada de 425 km² e 172 km de comprimento costeiro (Figura 1).



Figura 1 – A Ilha de Santa Catarina e a Área de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Tavares (delimitada em amarelo). Fonte: Google Earth (2014).

Bastante conhecida por suas praias, a ilha abriga uma diversidade de ecossistemas costeiros, envolvendo desde costões rochosos, manguezais, lagunas, praias, até extensas áreas de dunas e restingas (HORN FILHO, 2006).

Segundo dados do IBGE (2014), o município de Florianópolis compreende uma população de 453.285 habitantes.

2.1.1 Clima

A região de Florianópolis, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima mesotérmico úmido (Cfa), com estações de verão quentes e invernos frios, com ausência de estações secas bem definidas.

Dados da estação meteorológica em Florianópolis mostram uma temperatura média anual de 20°C, variando em um intervalo de 13°C e 26°C. Em relação ao regime de ventos, há uma predominância de ventos provindos de quadrante norte e nordeste, com uma menor contribuição, porém de maior intensidade, de ventos de sudeste e sul (SANTOS et al., 1989).

Segundo o mesmo autor, a média de precipitação anual gira em torno de 1.383 mm, sendo que o regime de precipitação da ilha apresenta uma distribuição da pluviosidade de forma regular, sem grandes anomalias. Sobre os meses de verão se percebe uma maior concentração das chuvas, em relação aos outros meses do ano. Por outro lado, a estação de inverno compreende os meses de menor precipitação.

2.2 Bacia Hidrográfica do Rio Tavares

Localizada no setor centro-oeste da Ilha de Santa Catarina, a Bacia Hidrográfica do Rio Tavares apresenta uma área de, aproximadamente, 50,4 km², perfazendo cerca de 11% da área total compreendida pela ilha (Figura 1).

A bacia tem como seu principal curso d'água, o rio Tavares, com um comprimento estimado em 7 km e com desague nas águas da Baía Sul, a oeste da região (SCHETTINI et al., 2000).

Segundo Trevisan, Santos e Luiz (2013), a Bacia Hidrográfica do Rio Tavares compreende uma população residente de aproximadamente 40 mil habitantes, correspondendo a quase 10% da população total do município de Florianópolis.

2.3 Imagens utilizadas

Foram obtidas oito imagens do sensor TM (Thematic Mapper), a bordo do satélite Landsat 5, onde procurou-se priorizar as imagens com menor porcentagem disponível de cobertura de nuvens para a região de estudo, no intuito de diminuir qualquer interferência nesse sentido. As características do sensor utilizado se encontram no Quadro 1.

Dessas oito imagens de satélite, cinco imagens foram extraídas da banda do infravermelho termal, para a criação de uma média dos valores digitais para o período final da primeira década e início da segunda, do século atual (2008, 2009, 2010), sendo que todas as imagens compreendem o período de inverno. A partir dessas imagens foi realizado o mapa de temperatura aparente de superfície para a região.

As demais três imagens, correspondendo as bandas 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm), e 5 (1,55 - 1,75 μm) do sensor, foram utilizadas para a criação do mapa de uso e ocupação do solo.

Todas as imagens estão situadas na órbita/ponto 220/079 e foram adquiridas no catálogo do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Quadro 1 – Características do sensor Thematic Mapper, do satélite Landsat 5.

Características do sensor TM (Thematic Mapper)

| | |
|---------------------------|---|
| Bandas espectrais | - Banda 1 (0,45 - 0,52 μm) - Banda 2 (0,52 - 0,60 μm) - Banda 3 (0,63 - 0,69 μm) - Banda 4 - Infravermelho próximo (0,76 - 0,90 μm) - Banda 5 - Infravermelho médio (1,55 - 1,75 μm) - Banda 6 - Infravermelho termal (10,4 - 12,5 μm) - Banda 7 - Infravermelho médio (2,08 - 2,35 μm) |
| Resolução espacial | - Bandas 1-5 e 7 – 30 m - Banda 6 – 80 m |
| Resolução temporal | 16 dias |
| Largura de faixa | 185 km |

Fonte: Adaptado de DGI/INPE (2013).

2.4 Georreferenciamento

O georreferenciamento das imagens foi realizado no software ArcMap 10.1, tendo como referência 15 coordenadas de pontos conhecidos entre as imagens de satélite e a carta topográfica de Florianópolis, produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 1983, com escala de 1:250.000.

Todas as imagens foram trabalhadas no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) e com o datum WGS-1984.

2.6 Classificação do uso e cobertura do solo e mapa de declividade

Foram criadas cinco assinaturas espectrais para as categorias definidas na classificação do uso e cobertura do solo, que foram: área urbana; vegetação de mata atlântica; solo exposto ou vegetação rasteira; manguezal; e corpos hídricos.

A partir das assinaturas, o software ArcMap 10.1 associa o valor de cada pixel da imagem à assinatura espectral mais semelhante. O processo é denominado classificação supervisionada por máxima verossimilhança.

O mapa de declividade da bacia foi construído com base nos dados de curvas de nível do SRTM para a carta SG-22-Z-D (escala 1:250.000), disponibilizado no acervo virtual da EMBRAPA, a qual compreende a região estudada.

2.7 Extração da temperatura aparente de superfície

Os processos para obtenção das temperaturas de superfície envolveram 5 imagens do infravermelho termal do satélite Landsat 5 TM (banda 6), representando uma média para o período proposto de estudo, no intuito de diminuir a aleatoriedade dos resultados face ao baixo número de amostras. As datas de todas as imagens correspondem ao período de inverno.

Para se extrair os valores de temperatura de superfície, primeiramente, os valores dos níveis de cinza foram transformados para radiância espectral, a partir da metodologia discutida por Chander et al., (2009), na qual se utiliza da Equação 1, Quadro 2:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (\text{Equação 1})$$

Quadro 2 – Componentes da Equação 1 para extração dos valores de radiância.

| | |
|----------------|---|
| L λ | Radiância espectral |
| QCAL | Radiância calibrada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital |
| QCALMIN | Valor digital mínimo da imagem = 0 bits |
| QCALMAX | Valor digital máximo da imagem = 255 bits |
| LMAX λ | Radiância espectral correspondente ao valor de QCAL = 0 (para a banda 6 do Landsat 5-TM, LMAX λ = 15,3032 watts/m ² .sr.μm |
| LMIN λ | Radiância espectral correspondente ao valor de QCAL = 255 (para a banda 6 do Landsat 5-TM, LMIN λ = 1,2378 watts/m ² .sr.μm |

Fonte: Adaptado de Chander, Markham e Helder (2009).

Posteriormente, a conversão dos valores de radiância obtidos foram transformados para temperatura em Kelvin, através da Equação 2, Quadro 3:

$$T = K2 / \ln((K1/L\lambda) + 1) \quad (\text{Equação 2})$$

Quadro 3 – Constantes de calibração para a conversão dos valores de radiância para temperatura em Kelvin.

| Constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 TM | |
|--|-------------|
| K1 (watts/m ² .sr.μm) | K2 (Kelvin) |
| 607,76 | 1260,56 |

Fonte: Adaptado de Chander, Markham e Helder (2009).

Por fim, os valores de temperatura em Kelvin foram subtraídos de seus valores absolutos (273,15 K), possibilitando a criação do mapa de temperatura aparente da superfície em graus Celsius.

3 Resultados e Discussões

O mapa de declividade (Figura 2) demonstra que a área de estudo apresenta, em sua maior parte, valores médios de 0 a 7,5% e, secundariamente, mas ainda bastante significativos, os valores de, aproximadamente, 7,5 a 15%, sendo possível considerar essas regiões de levemente onduladas a praticamente planas nas áreas mais urbanizadas. É possível destacar três regiões que apresentam maiores declividades, como pode ser visto pelas regiões amareladas até as avermelhadas do mapa, com variação de 22,5 a 79% nas áreas mais altas.

A região de estudo foi dividida em 6 áreas mais representativas em relação ao uso e ocupação do solo (Figura 3): as áreas A, B e C correspondem às áreas com maior concentração de vegetação de Mata Atlântica; as áreas D, E e F correspondem às áreas de maior concentração urbana e presença de solo exposto ou vegetação rasteira.

Conforme o mapa de temperatura aparente de superfície (TAS), apresentado na Figura 4, é possível identificar 10 faixas de temperatura, variando entre aproximadamente 7°C e 16,5°C, sendo que a coloração azul apresenta as temperaturas mais baixas e a coloração avermelhada, as temperaturas mais elevadas.

Foi observado que as áreas A, B e C correspondem às regiões de temperaturas mais baixas. Confrontando o mapa de declividade, o mapa de TAS e de uso e ocupação do solo, é possível verificar que as regiões que apresentam as temperaturas mais baixas, no caso as áreas

A, B e C, se ajustam às áreas em que a declividade é mais alta e que possuem vegetação de Mata Atlântica mais densa.

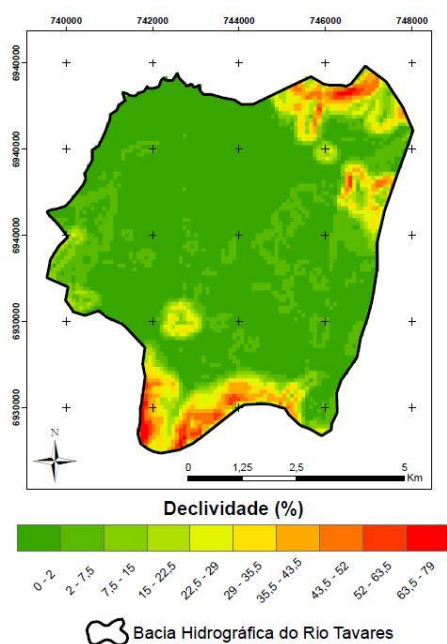


Figura 2 – Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Tavares.

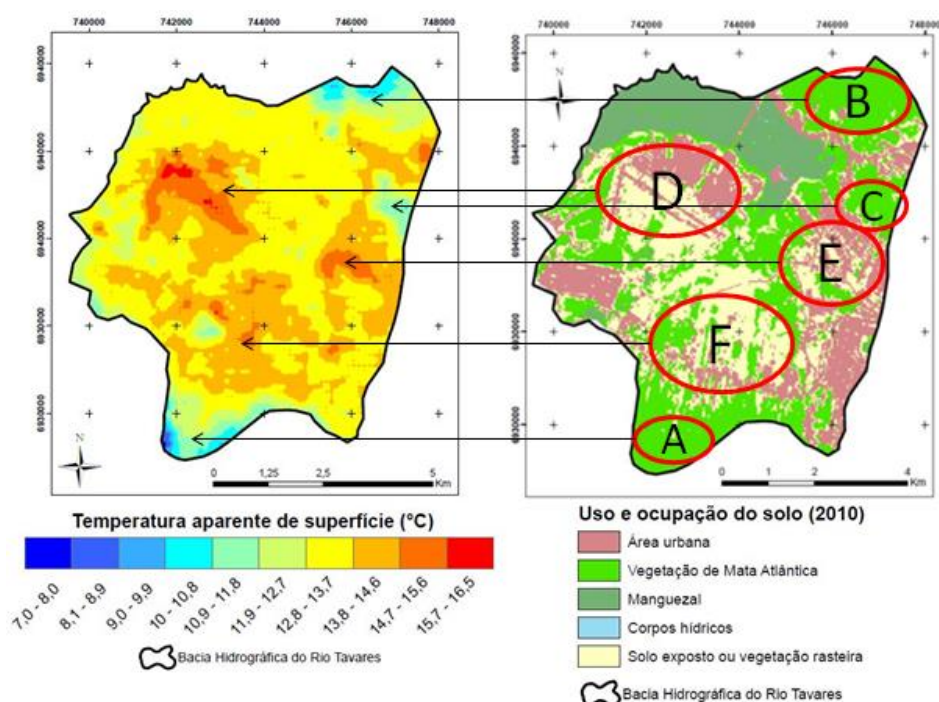


Figura 3 – Mapa de temperatura aparente de superfície (TAS) (à esquerda) e mapa de uso e ocupação do solo (à direita), destacando as áreas mais relevantes ao estudo e sua relação com os valores de temperatura.

As temperaturas mais altas ocorrem nas porções mais planas da região, no entanto, não é possível relacionar diretamente os valores de declividade com as altas temperaturas aparentes

de superfície nesse trabalho, em função da ausência de dados para a correlação de concentrações urbanas localizadas em altas declividades.

Constatou-se também que as regiões do mapa de uso e ocupação do solo que contemplam a área urbana e o solo exposto ou vegetação rasteira (áreas D, E e F) apresentam as maiores temperaturas. Foi observado, ainda, que nos locais em que diferentes tipos de uso do solo se misturam com casos de solo exposto e áreas urbanas e, até mesmo naqueles em que o solo exposto sobressai às TAS são ainda mais altas, corroborando com o apresentado por Mashiki (2012), que descreve de semelhante modo em seu trabalho, temperaturas mais elevadas para solo exposto, seguido da área urbana.

Os resultados supracitados reforçam ainda o exposto por Moreira e Galvncio (2007), definindo que as áreas com menor frequência de coberturas arbóreas e com presença de infraestruturas construídas cooperam diretamente para a ampliação da TAS. Ortiz e Amorim (2011) também demonstraram o aumento significativo da TAS nas regiões com maior condensação construtiva e menor frequência arbustiva, contrastando com as áreas de maior densidade arbórea na cidade de Cândido Mata (SP).

De modo geral, foi constatado que as áreas A, B e C, com grande concentração de vegetação nativa, apresentaram temperaturas mais amenas, alternando entre valores de 12,8 a 13,7°C. Já as áreas D, E e F, onde se situam as áreas urbanas e de solo exposto, apresentaram valores maiores, entre 13,8 e 16,5°C. Tal fato condiz com Mashiki (2012) que expõe que esta temperatura mais amena encontrada nas primeiras três áreas se justifica pelo fato de que uma parcela da radiação solar que chega até as árvores, aqui entendida pela vegetação de mata Atlântica, é absorvida e refletida pelas folhas.

Gouveia (2007) ressalta a importância da presença de vegetação nas áreas intensamente urbanizadas, já que a umidade retida pela vegetação canaliza uma porção significativa da energia solar para a evaporação da água, diminuindo, portanto, a energia direcionada ao aquecimento da superfície.

Os corpos d'água situados na área estudada, por não possuírem abrangência significativa, não tem grande repercussão com a TAS para os fins do presente trabalho, no entanto vale memorar o trabalho de Moreira e Galvncio (2007), no qual os corpos hídricos possuem maior abrangência e, portanto, apresentam resultados para TAS mais significativo e são considerados ilhas de amenidade, propiciando um menor aquecimento da superfície, resultado do elevado calor específico da água, evitando alterações bruscas de calor.

Em relação à área de manguezal, este abrange uma área considerável e está localizada à noroeste da região abordada (Figura 4). Apresenta valores de declividade variando de 0 a 2% e se observa a predominância de valores de TAS mais amenos, variando de 12,8 a 13,7°C, manifestando alguns pontos com valores de TAS de 11,9 a 12,7°C.

Assim como apresentado por Mashiki (2012), as diversidades do meio estudado, somadas à baixa resolução das imagens disponibilizadas, podem ter de alguma maneira, refletido no exame e entendimento dos dados.

4 Conclusões

A análise dos mapas gerados permitiu a visualização e o reconhecimento do comportamento da temperatura aparente da superfície para a Bacia Hidrográfica do Rio Tavares estudada no período analisado.

Com o cruzamento das informações obtidas nos mapas foi possível identificar que as áreas mais altas do terreno possuem as Temperaturas Aparentes de Superfície mais baixas, devido a sua altitude, que implica clima mais ameno e ao tipo de uso do solo, no caso vegetação Mata Atlântica. Já as temperaturas mais altas aparecem nas partes mais planas do terreno, quando o uso e ocupação do solo é bastante caracterizado pela presença de solo exposto ou vegetação rasteira, seguido de áreas urbanas. Estes ambientes criam condições

físicas e microclimáticas que favorecem a absorção e a estagnação da radiação solar incidente, levando ao aumento da temperatura de superfície.

A metodologia aplicada foi considerada ainda incipiente no processo de representação do microclima local, uma vez que os algoritmos utilizados para a obtenção dos valores de temperatura superficiais não levam em consideração processos atmosféricos e características físicas da superfície que podem interferir nos resultados. Uma alternativa interessante seria a obtenção de dados referentes à temperatura, medidos em campo, no intuito de se comparar com os obtidos pelas imagens de satélite e, assim, melhor validar o estudo.

Por fim, o trabalho realizado confirma a importância das técnicas de sensoriamento remoto para a identificação do aumento da temperatura nas regiões de adensamento populacional e construtivo, possibilitando a tomada de decisões para a gestão urbana com o intuito de amenizar os problemas ocasionados pela urbanização crescente e consequentes mudanças nas características e no uso da terra.

5 Referências

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v.113, n. 5, p. 893-903, 2009.

DGI/INPE - DIVISÃO DE GERAÇÃO DE IMAGENS DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>> Acesso em: 26 de junho de 2013.

GOUVEIA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HORN FILHO, N. O. **Ilha de Santa Satarina**. In: Muehe, d. (ed.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=420540&search=santa-catarina%7Cflorianopolis%7Cinfograficos:-dados-gerais-do-municipio>> . Acesso em: 20 de junho de 2014.

MASHIKI, M. Y. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNIO, J. D. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM–LANDSAT 7. **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 3, p. 101-115, 2007.

ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C. T. temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota/SP a partir da imagem de satélite LANDSAT 7. **Revista Geográfica de América Central**. Costa Rica, n. 2, p. 1-16, 2011.

PACE, F. T. D. **Estimativa do balanço de radiação à superfície terrestre utilizando imagens TM-Landsat 5 e modelo de elevação digital**. 2004. 140p.Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SANTOS, G. S. S.; MENDONÇA, J. T. N. M.; VEADO, R. W. Análise ambiental da Lagoa do Peri. **Revista Geosul**, v. 4, n. 8, p. 101-123, 1989.

SCHETTINI, C. A. F.; PEREIRA, F., SPILLERE, L. Caracterização Oceanográfica e Biogeoquímica dos Estuários dos Rios Tavares e Defuntos – RESEX Pirajubaé, Florianópolis, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, p. 11-28, 2000.

TREVISAN, A. B.; SANTOS, V.; LUIZ, K. S. **Estimativas de ganhos ambientais para a Bacia Hidrográfica do Rio Tavares a partir da implantação do sistema de coleta e tratamento de esgotos na região**. Bento Gonçalves: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.