

Análise da Evapotranspiração Potencial Distribuída por meio de Imagens NDVI e SAVI, na Bacia do Rio Negrinho - SC.

Patrícia Kazue Uda¹
Cláudia Weber Corseuil¹
Laís Brandão Feilstrecker¹
Nadine Lory Bortolotto¹

¹ UFSC / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
88010970 – Florianópolis - SC, Brasil
pati_kz@yahoo.com.br
cwcorseuil@hotmail.com
lais.ens@gmail.com
nadi@ens.ufsc.br

Abstract. The objective of the present study was to analyze the distributed potential evapotranspiration (PET) in the Rio Negrinho watershed, through using NDVI image (Normalized Difference Vegetation Index) and SAVI image (Soil Adjusted Vegetation Index). The Rio Negrinho watershed (195 km²) is located in the Northern Plateau of Santa Catarina and it is composed by different land uses (native forest, reforestation, agricultural lands, urban areas). A Landsat-TM5 image of the day February 1, 2009, orbit 220, point 78, was submitted to radiometric calibration and atmospheric correction for subsequent generation of NDVI and SAVI images. To calculate the PET by Modified Penman method were used data from nine weather stations referring to the same day of the image acquisition. Then, it was applied linear regression between the vegetation indexes data and punctual evapotranspiration data, allowing the calculation and spatial representation of PET, and obtaining good coefficients of determination (0,6381 e 0,7664, respectively). As a result, it was obtained the distributed PET to the watershed, noting the lowest PET for urban areas and the highest values for vegetation (interquartile is 3.1 to 4.74 mm.d⁻¹ and 5.52 to 5.82 mm.d⁻¹, respectively, to PET obtained from NDVI and 2.52 to 4.66 mm.d⁻¹ and 4.90 to 5.80 mm.d⁻¹, respectively, PET obtained from SAVI. As a conclusion, the SAVI is more efficient to estimate PET because its regression model is able to explain 76,64% of the PET variation, approximately 13% more compared to the performance of the NDVI regression model (63,81%).

Palavras-chave: Modified Penman, NDVI, SAVI, Distributed Potential Evapotranspiration, Water Resources, Penman Modificado, Evapotranspiração Potencial Distribuída, Recursos Hídricos.

1. Introdução

O desenvolvimento de técnicas de sensoriamento orbital e os sistemas de informações geográficas (SIGs) possibilitam que fenômenos e características do ambiente sejam representados de forma espacial, sendo uma alternativa para a representação da evapotranspiração distribuída, frente às dificuldades de medição apresentadas pelos métodos diretos e à dificuldade de espacialização dos resultados obtidos pelos métodos clássicos indiretos, por representarem valores pontuais de localização específica.

A partir da década de 1960, vem se utilizando dados de sensoriamento remoto para obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como índice de área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do infravermelho, que pode provir importantes informações sobre a evapotranspiração (JENSEN, 2009; EPIPHANIO et al., 1996). Dentre esses dados, há os índices de vegetação, que são resultados de transformações radiométricas a partir de um número reduzido de bandas de imagens orbitais. Baseiam-se no comportamento oposto da reflectância da vegetação na região do visível (0,4 a 0,7µm) - quanto maior densidade vegetal, menor reflectância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes - e do infravermelho próximo (0,725 a 1,10µm) - quanto maior densidade vegetal, maior a reflectância devido ao espalhamento nas diferentes camadas das folhas. Estes índices devem ainda maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos da vegetação, estar relacionados a um parâmetro biofísico mensurável,

além de outras características (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2009). Em adição, possuem a vantagem de um processamento simplificado, uma vez que sua construção a partir dos dados originais de radiometria ou de imagens de satélite não é, em geral, um procedimento complexo (EIPHANIO et al., 1996).

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI- *normalized difference vegetation index*) vem sendo amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto (SCHLERF et al, 2005; GAO, 1996; EIPHANIO et al., 1996) e como parâmetro de entrada em métodos para a estimativa da evapotranspiração espacial, como o *Water Deficit Index* (WDI) e o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). No entanto, o NDVI é muito sensível à geometria solar e de visada do sensor, à influência do solo sob o dossel e aos efeitos atmosféricos (RONDEAUX, 1996; EIPHANIO et al., 1996). Desta maneira, tem-se desenvolvido índices melhorados, visando suprimir as deficiências apresentadas pelo NDVI. Dentre eles, o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) minimiza os efeitos da reflectância do solo ao considerar sua interação com a vegetação pela incorporação de um fator de ajuste dependente da densidade de vegetação (GILABERT et al, 2002; EASTMAN, 2006).

Neste contexto, o objetivo geral deste estudo foi analisar a evapotranspiração potencial distribuída obtida por meio de imagens NDVI e SAVI na bacia do Rio Negrinho – SC.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Material

- i) Softwares ENVI 4.2 e *Microsoft Office Excel*;
- ii) Imagens do satélite LandSat-TM5, órbita 220, pontos 78 e 79, de 01/02/2009 e obtidas gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE;
- iii) Dados meteorológicos de 01 de fevereiro de 2009 referentes a nove estações (três localizadas no Estado do Paraná e seis em Santa Catarina): temperaturas média, máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação (Tabela 1).

Tabela 1. Características das estações meteorológicas.

| Estação | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Responsável |
|--------------------|-----------------|------------------|--------------|-------------|
| Curitiba A807 | 25,4486° | 49,2300° | 923,5 | INMET |
| Florianópolis A806 | 27,6000° | 48,6166° | 1,8 | INMET |
| Ilha do Mel A847 | 25,4945° | 48,3259° | 1,0 | INMET |
| Indaial A817 | 26,9164° | 49,2685° | 86,13 | INMET |
| Itapoá A851 | 26,0813° | 48,6417° | 2,0 | INMET |
| Ituporanga A863 | 27,4183° | 49,6467° | 4,84 | INMET |
| Morretes A873 | 25,5090° | 48,8087° | 59,0 | INMET |
| Rio dos Bugres | 26,2569° | 49,5305° | 810,0 | UFSC |
| Rio Negrinho A862 | 26,2485° | 49,5806° | 869 | INMET |

2.2 Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Negrinho, com área de 195,09 km². Situa-se no Planalto Norte de Santa Catarina, entre as longitudes 49°19'54"W e 49°31'22"W e as latitudes 26°14'45"S e 26°25'31"S, abrangendo parte das cidades de Rio Negrinho e São Bento do Sul (Figura 1).

O clima da região enquadra-se, conforme a classificação de Köppen, como Cfb – clima temperado constantemente úmido, sem estação seca e com verão seco e, conforme Zoneamento Agorecológico e Socioeconômico do Estado de SC, na zona 3B, com temperatura média anual variando de 15,5 a 17,0°C (EPAGRI/CIRAM, 2009).

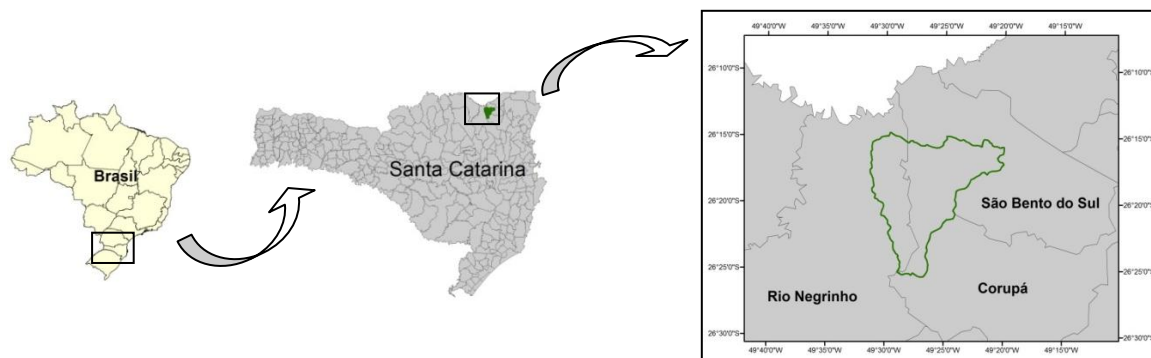


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Negrinho, em Santa Catarina e Brasil.

A vegetação original da região era predominantemente constituída por Floresta Ombrófila (com predominância de *Araucaria angustifolia*) (Klein, 1978). Atualmente, a paisagem da região possui diversas áreas, cuja floresta original foi substituída por áreas de pastagem, cultivos anuais e plantios de *Pinus sp* (Tabela 2), sendo este, a formação dominante que impulsiona o mercado regional (UDA et al., 2010).

Tabela 2. Uso e cobertura do solo da bacia do Rio Negrinho.

| Classe | (km ²) | (%) | Classe | (km ²) | (%) |
|-----------------|--------------------|-------|--------------|--------------------|------|
| Reflorestamento | 34,524 | 17,70 | Solo Exposto | 6,403 | 3,28 |
| Mata Nativa | 124,302 | 63,71 | Área Urbana | 10,981 | 5,63 |
| Agricultura | 18,885 | 9,68 | | | |

2.3 Índices de Vegetação

Objetivando a obtenção de valores físicos de reflectância de superfície, foi realizada a calibração radiométrica e a correção atmosférica das imagens LandSat-TM5. Estes procedimentos foram realizados no software ENVI 4.2, com a ferramenta *TM Calibration* para conversão dos números digitais (NDs) para radiância e o modelo *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) para correção dos efeitos de absorção e espalhamento atmosféricos e obtenção de imagens de reflectância. O FLAASH incorpora o modelo de transferência radiativa *moderate spectral resolution atmospheric transmittance algorithm-4* (MODTRAN4), e necessita da inserção dos dados de: coordenadas geodésicas do centro da cena, altitude do sensor, altitude média do terreno, data e horário de aquisição da imagem, tipo de modelo de atmosfera e visibilidade inicial (RSI, 2009).

Após, foram calculados os índices de vegetação a partir das imagens de reflectância obtidas para a banda 3 (ρ_3 , que corresponde à reflectância no intervalo do comprimento de onda de 0,63 a 0,69 μm) e para a banda 4 (ρ_4 , correspondente ao intervalo do comprimento de 0,76 a 0,90 μm). O NDVI foi calculado, então, pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (1)$$

Já o SAVI, foi calculado pela Equação 2:

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad (2)$$

em que L é a constante que minimiza o efeito do solo, podendo variar de 0 a 1 conforme a densidade da vegetação. Neste caso adotou-se 0,25, valor considerado ótimo para altas densidades de vegetação (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), visto que a área da bacia possui cobertura de mais de 80% de mata nativa e reflorestamento, conforme Tabela 2.

2.4 Relação ETP x Índices de Vegetação

Primeiramente, para cada estação meteorológica (Tabela 1) foram calculados os dados de ETP a partir da Equação 3, que representa o método de Penman Modificado:

$$ETP = c[W \times Rn + (1-W) \times f(u) \times (e_a - e_d)] \quad (3)$$

em que ETP é a evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); c é o fator de correção da fórmula (adimensional) para compensar o efeito do dia e da noite nas condições climáticas, relaciona a radiação solar, a umidade relativa máxima e a velocidade do vento diária e noturna; W é o fator de ponderação relacionado com a temperatura e altitude (adimensional); Rn é a radiação líquida (mm.dia^{-1}); $f(u)$ é a função relacionada ao vento (adimensional) e $(e_a - e_d)$ é a diferença entre a pressão de saturação do vapor d'água e_a e a pressão de saturação real do vapor no ar e_d (mbar).

Para as coordenadas geográficas idênticas às das estações meteorológicas (Tabela 1), foram adquiridos os valores de NDVI e SAVI, e, no software *Microsoft Office Excel* plotaram-se os diagramas de dispersão, juntamente com os valores de ETP, calculados pelo método de Penman Modificado. Ressalta-se que, cada ETP foi calculada a partir dos dados das estações meteorológicas para o dia 01 de fevereiro de 2009, mesma data de obtenção das imagens. A relação entre os dados de NDVI x ETP e SAVI x ETP foi realizada por meio de regressão linear simples, a partir do método dos mínimos quadrados. Por fim, para cada relação foi encontrada a linha e a equação de regressão (genericamente representada pela Equação 4) para a qual é mínima a soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e estimados da variável dependente (ETP), para os dados amostrais.

$$ETP = a + b \times IV \quad (4)$$

em que, ETP é a evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}); a e b são os coeficientes linear e angular, respectivamente, a serem estimados pelo método dos mínimos quadrados e IV é o valor do índice de vegetação NDVI ou SAVI (adimensional).

3. Resultados e Discussão

3.1 Índices de Vegetação

Para verificação da adequação dos dados resultantes do processamento no FLAASH, foram selecionadas áreas de reflorestamento, agricultura e áreas urbanas e analisados os valores médios de reflectância de superfície dos *pixels*, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de reflectância de superfície dos diferentes usos do solo da imagem LandSat – TM5, órbita 220 e ponto 78, de 01 de fevereiro de 2009.

| Banda | Reflectância | | |
|-------|--------------|-----------------|-------------|
| | Área Urbana | Reflorestamento | Agricultura |
| 3 | 0,1175925 | 0,0138809 | 0,0229749 |
| 4 | 0,2251533 | 0,2805825 | 0,4549606 |

Observa-se na Tabela 3 que a reflectância da área urbana na banda 3 é mais elevada em relação à reflectância das áreas de vegetação e, que, para banda 4, esta relação é inversa. Isto revela uma tendência correta da reflectância de áreas urbanas nas regiões do vermelho visível e infra-vermelho. Mercante et al. (2009), a partir de imagens LandSat-TM5, analisaram as mudanças no comportamento espectral de uma cultura da soja, localizada próximo a Cascavel-PR. Após realizarem a calibração radiométrica e a correção atmosférica, constataram uma variação no valor da reflectância da cultura do início de seu desenvolvimento até o pico vegetativo, para a banda 3 de, aproximadamente, 0,025 a 0,085, e,

para a banda 4, de 0,29 a 0,60. Portanto, os valores de 0,0229749 e 0,4549606 obtidos para áreas de cultivo agrícola, neste estudo, estão próximos ao intervalo obtido pelos autores.

Ponzoni & Rezende (2004), avaliaram o potencial e as limitações do uso de dados radiométricos de imagens LandSat-TM5 na caracterização espectral de vegetação secundária arbórea da região de Altamira – PA. Para tanto, estabeleceram correlações entre parâmetros biofísicos coletados em campo e dados radiométricos extraídos das imagens orbitais e encontraram valores de reflectância espectral de, aproximadamente, 0,27 e 0,04 para as bandas 4 e 3, respectivamente. Já Roberts (1991) apud Pereira, Batista & Roberts (1996) determinaram a resposta espectral de diferentes coberturas vegetais, para imagens LandSat-TM5, dentre elas, áreas de floresta. Como resposta espectral para floresta, para a banda 4, obtiveram um valor de reflectância próximo a 0,27. Neste estudo, os valores de reflectância das áreas de reflorestamento (0,2805825 para a banda 4) são satisfatórios, visto a proximidade destes com os estimados pelos autores.

As Figuras 2 e 3 mostram as imagens de NDVI e SAVI, respectivamente, obtidas para a bacia hidrográfica de rio Negrinho.

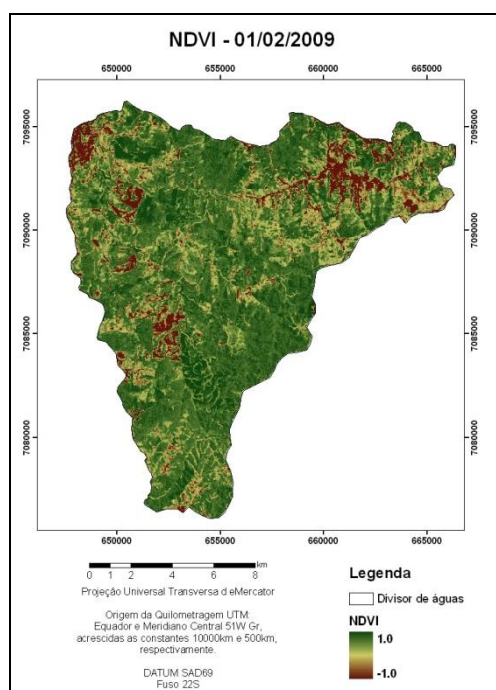


Figura 2. Imagem NDVI da bacia do rio Negrinho.

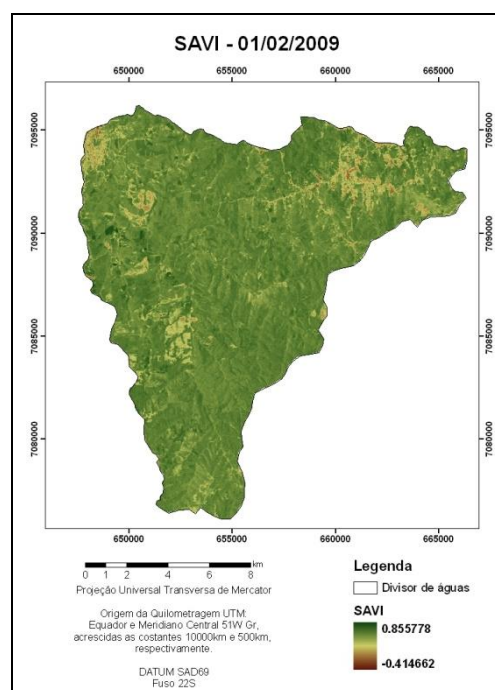


Figura 3. Imagem SAVI da bacia do rio Negrinho.

Observa-se que o NDVI variou de -1 a 1 e o SAVI de -0,29827 a 0,78193 e que estes índices ressaltaram visualmente a vegetação em relação aos demais elementos, como áreas urbanas e solo exposto. Os tons de verde mais escuros na imagem de NDVI e os amarelados e esverdeados na imagem de SAVI indicam a predominância de áreas cobertas de vegetação mais densa, como florestas. As zonas urbanas, o solo exposto e os plantios recentes estão representados em tons mais marrons, com NDVI variando de 0 a -1 e SAVI negativo. Nesta bacia não foi detectada a presença de corpos d'água de magnitude suficiente a serem evidenciados nas imagens, uma vez que as mesmas apresentam uma resolução de 30x30m.

3.2 Relação ETP x Índices de Vegetação e Mapas de ETP Distribuída

A partir da análise de regressão entre os dados de ETP das estações e de NDVI e SAVI, dos *pixels* de localização geográfica idêntica a das estações meteorológicas, obtiveram-se os diagramas de dispersão e as equações de relação, conforme as Figuras 4 e 5.

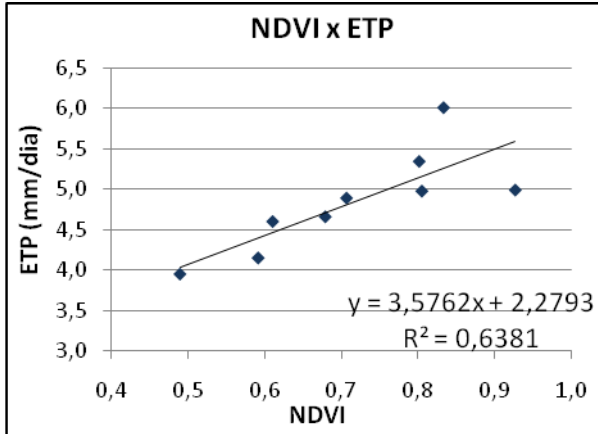


Figura 4. Regressão linear entre NDVI e ETP.

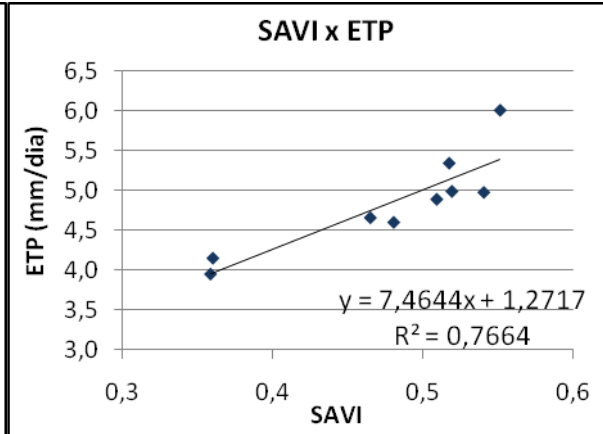


Figura 5. Regressão linear entre SAVI e ETP.

Pelas Figuras 4 e 5 pode-se constatar um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,6381 para a relação entre NDVI e ETP e 0,7664 para SAVI e ETP. Isso indica uma relação mais significativa entre SAVI x ETP e uma maior eficiência deste modelo de regressão. Em outras palavras, os modelos de regressão resultantes explicam aproximadamente 63,81% do comportamento da ETP em função da variação do NDVI e 76,64% em função da variação do SAVI. As equações de relação obtidas foram (Equações 5 e 6):

$$ETP = 3,5762 \times NDVI + 2,2793 \quad (5)$$

$$ETP = 7,4644 \times SAVI + 1,2717 \quad (6)$$

As Figuras 6 e 7 representam as imagens de ETP distribuída geradas a partir das imagens NDVI e SAVI, para a bacia do rio Negrinho. De maneira geral, os tons de verde claro e amarelo representam valores baixos de evapotranspiração, devido à cobertura vegetal escassa nessas regiões (solo exposto e área urbana). Os tons de azul correspondem às regiões cobertas por agricultura, mata nativa e reflorestamento, onde constam valores superiores de evapotranspiração.

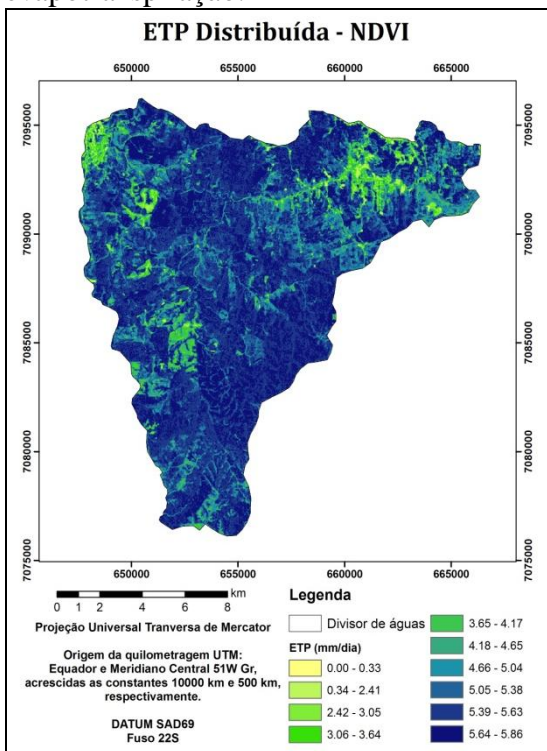


Figura 6. Imagem ETP a partir do NDVI da bacia do rio Negrinho.

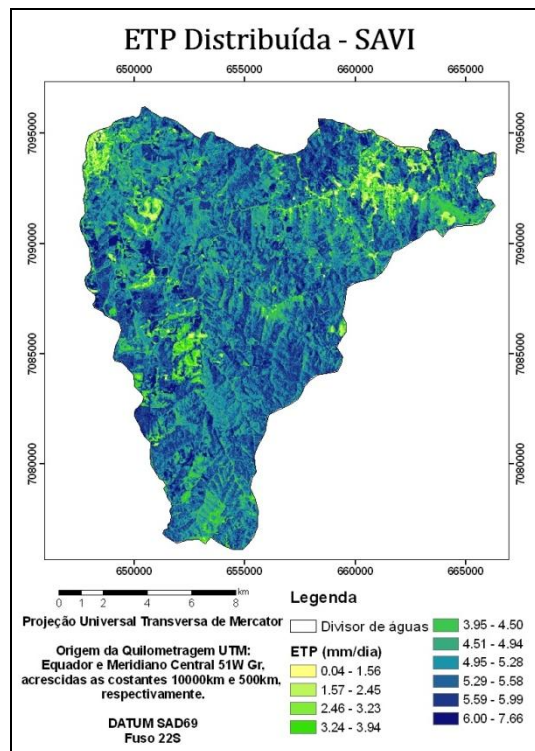


Figura 7. Imagem ETP a partir do SAVI da bacia do rio Negrinho.

A Tabela 4 apresenta a análise interquartil da ETP obtida a partir do NDVI e do SAVI para diferentes usos e coberturas do solo da bacia de rio Negrinho.

Tabela 4. Análise interquartil para diferentes usos e coberturas do solo.

| Uso e Cobertura do Solo | ETP por NDVI (mm.d ⁻¹) | | | ETP por SAVI (mm.d ⁻¹) | | |
|-------------------------|------------------------------------|-------------|-------|------------------------------------|-------------|-------|
| | Amplitude interquartil | Variação | Média | Amplitude interquartil | Variação | Média |
| Agricultura | 0,6 | 4,82 a 5,42 | 5,07 | 0,9 | 4,90 a 5,80 | 5,29 |
| Área Urbana | 1,64 | 3,10 a 4,74 | 3,92 | 2,14 | 2,52 a 4,66 | 3,56 |
| Mata Nativa | 0,32 | 5,3 a 5,62 | 5,42 | 0,47 | 5,03 a 5,50 | 5,25 |
| Reflorestamento | 0,3 | 5,52 a 5,82 | 5,61 | 0,58 | 4,90 a 5,48 | 5,16 |
| Solo Exposto | 1,2 | 3,46 a 4,66 | 4,05 | 1,62 | 2,96 a 4,58 | 3,72 |

Foi constatado que as áreas com vegetação densa (reflorestamento e mata nativa) apresentaram um comportamento mais elevado da ETP e amplitude interquartil menor que as demais classes. Observa-se, também, que a ETP para as áreas urbanas pode ter sido superestimada. Como as cidades de Rio Negrinho e São Bento do Sul encontram-se em zona rural, a existência de agricultura no meio e no entorno das cidades pode ter sobreestimado os valores de evapotranspiração para esta classe, devido à resolução da imagem (30x30m). Em suma, a mistura de valores discrepantes de reflectância nas áreas urbanas, em virtude da presença de vegetação, ocasionou uma variabilidade maior nos dados de ETP estimados, o que explicaria amplitudes interquartis maiores em relação às demais classes de uso e cobertura do solo.

A partir da Tabela 3, nota-se que a ETP obtida por SAVI apresentou um aumento de sua variabilidade para todas as classes de uso e cobertura do solo, expresso por maiores amplitudes interquartis em comparação aos resultados de ETP obtidos por NDVI. No entanto, em média, houve uma redução dos valores médios da ETP a partir do SAVI em relação à obtida pelo NDVI: redução de 0,17mm.d⁻¹ para mata nativa, 0,45 mm.d⁻¹ para reflorestamento, 0,25mm.d⁻¹ para área urbana e 0,36mm.d⁻¹ para solo exposto. Apenas para as áreas de agricultura houve um aumento de 0,22 mm.d⁻¹. De acordo com Epiphanyo (1996), esta diferença pode estar associada à maior sensibilidade do SAVI à radiação infravermelha, visto que esta região do espectro porta maior densidade de informação das camadas inferiores do dossel vegetal e, portanto, é mais correlacionada com os parâmetros biofísicos da vegetação.

4. Conclusões

O método aplicado obteve bom ajuste, evidenciando relação de moderada a significativa entre os índices de vegetação e a evapotranspiração potencial, em função dos coeficientes de determinação 0,6381 para a relação NDVI x ETP e 0,7664 para SAVI x ETP.

O SAVI mostrou-se mais eficiente na estimativa da ETP, visto que seu modelo de regressão consegue explicar 76,64% da variação da evapotranspiração em função de sua variação, o que contabiliza aproximadamente 13% a mais em comparação ao desempenho modelo de regressão em função do NDVI (63,81%).

A evapotranspiração apresentou os menores valores nas áreas urbanas, com intervalo interquartil entre 3,10 a 4,74mm.d⁻¹ para a ETP obtida a partir do NDVI, e 2,52 a 4,66mm.d⁻¹ para a ETP obtida a partir do SAVI. Os maiores valores para ETP obtida a partir do NDVI foram nas áreas de reflorestamento, com intervalo interquartil entre 5,52 a 5,82mm.d⁻¹ e para a ETP obtida a partir do SAVI, os maiores valores compreenderam as áreas de agricultura, com intervalo interquartil entre 4,90 a 5,80mm.d⁻¹.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao professor Masato Kobiyama pela possibilidade de desenvolvimento deste trabalho no Laboratório de Hidrologia da UFSC - LabHidro.

Referências bibliográficas

EASTMAN, J.R. **Idrisi Andes – Guide to GIS and Image Processing**. Clark Laboratory. Clark university. Worcester/MA. USA. 2006. 284p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A. – EPAGRI / CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA - CIRAM. Zoneamento Agroecológico. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rct-sc.br/portal/website/index.jsp?url=jsp/agricultura/zoneAgroecologico.jsp&tipo=agricultura>>. Acesso em: jun. 2009.

EPIPHANIO, J.C.N.; ALMEIDA JÚNIOR, A.C.; FORMAGGIO, A.R. Desenvolvimento do trigo avaliado com dois índices de vegetação. [CD-ROM] In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 8. Salvador. 1996. **Anais....** São Paulo: Imagem Multimídia.

GAO, B. NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. **Remote Sensing of Environment**. v. 58. p. 257-266. 1996.

GILBERT, M.A; GONZÁLEZ-PIQUERAS; J; GARCÍA-HARO, F.J; MELIA, J. A generalized soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**. v. 82. p. 303–310. 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>. Acesso em: outubro de 2009.

JENSEN, J. R. (1949) **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres /** tradução José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos. SP. 2009

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R.A.C.; URIBE-OPAZ, M.A.; ROCHA, J.V. Características Espectrais da Soja ao Longo do Ciclo Vegetativo com Imagens Landsat 5/TM em Área Agrícola no Oeste do Paraná. **Eng. Agríc..** Jaboticabal. v.29. n.2. p.328-338. abr./jun. 2009.

PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; ROBERTS, D. Reflectância de Coberturas Vegetais na Amazônia. **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador. Brasil. 14-19 abril 1996. INPE. p. 551-556.

PONZONI, F.J.; REZENDE, A.C.P. Caracterização Espectral de Estágios Sucessionais de Vegetação Secundária Arbórea em Altamira (PA). através de Dados Orbitais. **Revista Árvore**. Viçosa. MG. v.28. n.4. p.535-545. 2004.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos. SP. Editora Parêntese. 2007.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M., Baret, F. Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. **Remote Sensing of Environment**. v. 55. p. 95-107. 1996.

RSI. **FLAASH User's Guide - ENVI FLAASH Version 4.3**. Research Systems. Inc. 80 p. 2006. Disponível em: <<http://www.rsinc.com/envi/docs/pdf/flaash.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2010.

SCHLERF, M.; ATZBERGER, C.; HILL, J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**. v. 95. p. 177–194. 2005.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; NETTO, A. O. A.; BORTOLOTO, N. L. Análise da evapotranspiração potencial distribuída por meio de imagens NDVI, na bacia do rio Negrinho - SC. **In: IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. 2010. Curitiba. PR.