

## **Relações do fluxo de calor no solo com o uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica do salitre, sertão da Bahia**

Hélio Leandro Lopes<sup>1</sup>  
Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>2</sup>  
Luciano José de Oliveira Accioly<sup>3</sup>  
Maria do Carmo Sobral<sup>4</sup>  
Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF  
48902-300 Juazeiro/BA.  
heliovasf@hotmail.com

<sup>2</sup>Embrapa Semiárido - CPATSA  
Caixa Postal 23 – 56302-970 - Petrolina - PE, Brasil  
heribert@cpatsa.embrapa.br

<sup>3</sup>Embrapa Solos, UEP-Recife/PE,  
luciano@uep.cnps.embrapa.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
50670-530 Recife/PE  
{msobral, suzanam}@ufpe.br

**Abstract.** The surface radiation balance is the accounting between the gain and loss of radiant energy ou seja, between ascending and descending radiation flux. The amount of energy that is retained on the surface and will be used in physical and biological process, is called the net radiation. The soil heat flux is a variable of fundamental importance in evaluating the energy balance of the soil surface. Considering this importance, of this variable, it was spatialized in Salitre watershed in Bahia state (Brazil), aiming to evaluate its variation depending on soil use and land cover in the study area. This basin was chosen because of intense exploitation of the savanna biome and water resources. The modeling of heat flow in soil – Go and net radiation were performed in GIS Algebraic Language for Space-LEGAL, available in SPRING 5.0, based on Landsat-TM 2009. For verification of the soil use and land cover in the basin, field inspection was carried out in the study area during 2010. For the calculation of the variable Go, LEGAL language was used to estimate values of surface temperature, NDVI, albedo and net radiation. The results show a variation in Go related to soil types, patterns of savanna. Dense caatinga had the lowest values and irrigation areas have the highest standard deviation due to low uniformity.

**Key words:** Salitre river basin, biophysical paramters, bacia hidrográfica do Salitre e Parâmetros biofísicos.

### **1. Introdução**

A estimativa da quantidade dos componentes do balanço da energia da superfície e da troca de umidade e de calor entre a superfície terrestre e atmosfera é necessária em muitas aplicações em hidrologia e meteorologia (Caparrini *et al.*, 2003). Toda energia disponível na superfície terrestre é empregada de alguma forma: uma parte serve para aquecer o solo por condução; outra parte é utilizada para evaporação da água; uma parte serve para modificação da atmosfera (convecção) e uma outra é usada pelos organismos em processos fotoquímicos (assimilação da clorofila).

Segundo Leivas (2008), o estudo da radiação solar incidente é de fundamental importância em diversas áreas da ciência tais como a Agrometeorologia e estudo do ciclo hidrológico, devido à sua relação com processos físicos e organismos presentes na superfície da Terra. Estações de medição

de fluxo de superfície em número suficiente e com amostragem adequada para permitir mapeamento dessas trocas entre superfície e atmosfera de forma a permitir o mapeamento em larga escala, não estão disponíveis (Caparrini *et al.*, 2003). Apesar da importância dessas variáveis, os dados de radiação solar são muito limitados no Brasil, sendo o método mais simples para obter essa informação em determinado local é através da interpolação dos dados de estações meteorológicas. Assim, um método alternativo para essa avaliação é o uso de satélites (Leivas, 2008). De acordo com Caparrini *et al.* (2003), medidas através de sensoriamento remoto possuem cobertura espacial adequada, mas essas medidas representam variáveis que são indireta ou parcialmente relacionada com os fluxos de superfície.

O balanço de radiação à superfície é a contabilização entre ganhos e perdas de energia radiante, ou seja, entre os fluxos descendentes e ascendentes de radiação. A quantidade de energia que fica retida na superfície e que será utilizada nos fenômenos físicos e biológicos, denomina-se saldo de radiação (Leivas, 2008). Essa energia é a diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e a “perdida” (emitida e/ou refletida) por uma superfície, medida, normalmente, em plano horizontal. Ao longo do dia, nas horas de brilho solar, o saldo de radiação em uma superfície qualquer tende a ser positivo, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, é comum que esses valores sejam negativos, pois o fluxo incidente passa a ser apenas atmosférico e a energia emitida pela superfície, superior a este, resultando em um saldo de radiação negativo (Monteith e Unsworth, 1990; Pezzopane *et al.*, 1995).

A temperatura da superfície é uma das variáveis utilizadas na determinação do fluxo de calor no solo (Basstiaanssen, 1995). Segundo Gusso *et al.*, (2007), a temperatura da superfície terrestre (TST) é espacializada a partir da detecção da radiação de ondas longas emitida na faixa do infravermelho e detectada por sensores orbitais, sendo uma variável que diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de radiação que chega e que sai de um corpo, tendo uma variação espacial influenciada pela quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes, e temporal condicionada principalmente pelas variações sazonais no volume de radiação recebida, que varia conforme a latitude e com o grau de continentalidade. Em trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2009), na bacia do rio Moxotó, Pernambuco, utilizando imagens orbitais, foi verificado que os valores do fluxo de calor no solo variaram de acordo com diversos fatores, como a incidência solar, no qual o alvo encontra-se submetido, ao tipo de solo, considerando que solos argilosos possuem maior condutividade térmica que solos arenosos, além do tipo e distribuição da cobertura vegetal.

As imagens de satélites proporcionam uma visão conjunta e dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram os ambientes e sua transformação, destacam impactos causados por ações naturais e por ações antrópicas através do uso e da ocupação do espaço. Os componentes da paisagem mais visíveis em imagem de satélite e fotografias aéreas são: relevo, vegetação, a água e o uso da terra (Florenzano, 2002). Além da composição da superfície, a partir das imagens de satélite pode-se gerar dados físicos e biofísicos. Segundo Qin *et al.* (2007), muita atenção tem sido dada na geração de dados a partir de imagens orbitais em função da geração de produtos sobre processos na superfície terrestre. Dentre os processos que podem ser adquiridos via sensoriamento remoto Qin *et al.* (2007) destacam: fluxo turbulento, evapotranspiração, temperatura da superfície. Caparrini *et al.* (2003), em estudo utilizando imagens orbitais, concluem que é primordial que a capacidade de mapear componentes do balanço de energia da superfície seja desenvolvida e usada em conjunto com dados de sensoriamento remoto. Tais dados são disponíveis atualmente em alta resolução espacial e temporal – resoluções compatíveis com requerimentos de aplicações de práticas importantes na hidrologia e agrometeorologia.

As características do solo, da vegetação e da própria paisagem de determinado local podem ser modificadas devido ao fluxo de radiação que condiciona o sistema hidrológico, terrestre e atmosférico. Segundo Oliveira *et al.* (2009), as áreas com uma maior cobertura vegetal apresentam um fluxo de calor de solo menor que uma área de solo exposto. As áreas classificadas entre 55,01 e 60,00 W.m<sup>-2</sup> correspondem às áreas com uma vegetação de densidade intermediária. Nota-se que as áreas classificadas como sob atividades antrópicas e áreas de solo exposto apresentaram valores de

fluxo de calor no solo superiores a  $65,01 \text{ W.m}^{-2}$ , mostrando um aumento espacial nas classes compreendidas entre  $65,01$  e  $75,00 \text{ W.m}^{-2}$  e uma diminuição na classe de  $G > 75,00 \text{ W.m}^{-2}$ . Grande parte das áreas utilizadas antropicamente estão localizadas no médio e baixo curso do rio Moxotó, nas áreas mais rebaixadas, onde a concentração de calor é maior quando comparadas a áreas mais elevadas. Deste modo, percebe-se que as áreas que apresentaram os menores fluxos de calor no solo (G) se distribuem nas áreas com as maiores elevações. Nesse sentido o objetivo desse estudo é verificar a variação espacial do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo em função do uso e cobertura do solo na bacia hidrografia do rio Salitre, sertão baiano.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 - Área de estudo

A figura 1 esboça a bacia do Salitre com sua localização geográfica no estado da Bahia. Geograficamente está inserida entre as coordenadas geodésicas WGS-84 de  $9^{\circ}27'$  e  $11^{\circ}30'$  sul e entre as longitudes  $40^{\circ}22'$  e  $41^{\circ}30'$  oeste. A área da bacia é de  $14.136 \text{ km}^2$ , e entre os seus limites estão inseridos os municípios de Várzea Nova, Ouroilândia, Campo Formoso, Mirangaba, Umburanas, Jacobina, Juazeiro, Miguel Calmon e Morro do Chapéu. A sua rede hidrográfica é composta pelos rios Vereda da Caatinga da Moura, Rio Pacuí, Rio Escurial e o Rio Salitre, este com  $333,24 \text{ km}$  de extensão. O clima Semiárido predomina na maior parte do território da bacia, cuja precipitação anual é de  $600 \text{ mm}$ . No entanto  $32\%$  da área corresponde ao clima Árido, com precipitação anual inferior a  $500 \text{ mm}$  INGÁ (2010).

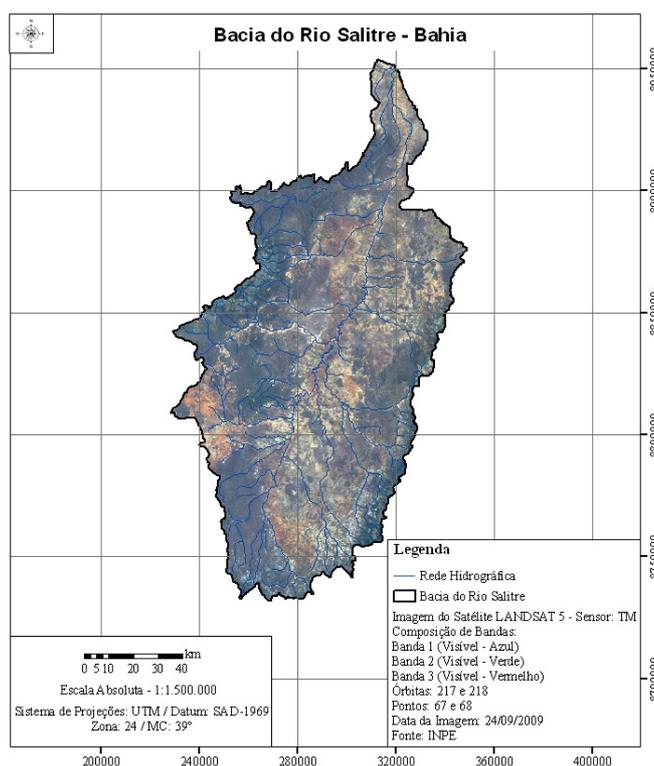


Figura 1. Mapa da bacia do Salitre com limite da bacia, rede de drenagem e imagem Landsat.

### 2.2 Inspeções de campo na Bacia

Em 2010, foi realizada uma visita a bacia quando foram inspecionados os tipos de solo, o uso e cobertura das terras, sendo o uso predominante de solo exposto e ocorrência de agricultura irrigada (norte da bacia), e a cobertura do solo é de vegetação caatinga hiperxerófila, com ocorrência de cerrado e caatinga hipoxerófila.

### 2.3 - Processamento de dados orbitais

Para determinação dos parâmetros foi utilizada a imagem Landsat TM cena 217/67, 217/68 e 218/67 do ano de 2009. A imagem foi georreferenciada com base em outra imagem do ano de 2002, sendo a projeção utilizada UTM, sistema de referência SAD69, fuso 24. Após esses procedimentos a imagem foi recortada conforme o retângulo envolvente da bacia do Salitre.

### 2.3.1 - Parâmetros Físicos e Biofísicos

- NDVI

Com as reflectâncias das bandas 4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) e 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) calculadas, determinou-se o NDVI pela equação (1) em LEGAL (Huete e Warrick, 1990).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

onde  $\rho_{NIR}$  é a reflectância no infravermelho próximo; e  $\rho_{RED}$  é a reflectância no vermelho.

- Albedo

Com os dados espectrais das bandas 1 a 5 e 7, foi calculada a reflectância para cada banda (equação 2) e depois a reflectância aparente que é dada pela soma das reflectâncias de cada banda multiplicada pelo seu peso. Todos os cálculos foram realizados através da programação LEGAL (SPRING-INPE).

$$r_i = \frac{\pi \times L_i \times d^2}{E_{sun_i} \times \cos^2 \theta} \quad (2)$$

onde  $L_i$  é a radiância espectral para a banda  $i$ ;  $d$  é a distância Sol-Terra;  $E_{sun_i}$  é a radiância solar espectral no topo da atmosfera;  $\theta$  é o ângulo zenital solar.

O peso para as bandas  $i$  foi: 0,29 (banda 1), 0,27 (banda 2), 0,23 (banda 3), 0,16 (banda 4), 0,03 (banda 5) e 0,01 (banda 7), conforme descrito por Bastiaanssen (1995). O cálculo do albedo no topo da atmosfera  $r_p$  é dado pela equação 3:

$$r_p = 0,29r_{b1} + 0,27r_{b2} + 0,23r_{b3} + 0,16r_{b4} + 0,03r_{b5} + 0,01r_{b7} \quad (3)$$

Com o albedo no topo da atmosfera calculado para cada passagem, realizou-se o processo do cálculo do albedo da superfície através do processo de iteração entre a transmitância e a energia que é refletida pela atmosfera que atinge diretamente o sensor (Equação 4):

$$r_o = \frac{r_p - r_a}{\tau_{sw}^2} \quad (4)$$

onde  $r_p$ : albedo no topo da atmosfera;  $r_a$ : albedo da atmosfera;  $\tau_{sw}$ : transmitância atmosférica. Os valores encontrados para  $r_a$  e  $\tau_{sw}$  foram de 0,03 e 0,75, respectivamente. O valor de  $\tau_{sw}$  foi encontrado por iteração utilizando o pixel mais escuro de corpos d'água (Bastiaanssen e Baker, 2000).

- Temperatura da superfície

A partir da emissividade, realizou-se o cálculo da radiância no termal, para determinação da temperatura da superfície, de acordo com a equação (5), que é uma inversão da fórmula de Plank:

$$T_{rad} = \frac{1260}{\ln\left(\frac{61,6}{L_{TM6}} + 1\right)} / \varepsilon^{0,25} \quad (5)$$

onde:  $B_{TM6}(b,T)$  é a radiância na banda termal 6 em  $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$  e  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície.

Uma relação empírica foi definida por Vandergriend e Owe (1993) que utilizaram radiômetros para medir simultaneamente o NDVI e a emissividade, determinando assim uma relação entre a emissividade e o NDVI. A partir do NDVI determinado pela equação (5), aplicou-se a função empírica desenvolvendo um programa em LEGAL para determinação da emissividade, descrita na equação (6).

$$\varepsilon_{(8-14)} = 1,009 + 0,047 \ln(NDVI) \quad (6)$$

• Fluxo de calor no solo

Para determinação do fluxo de calor no solo, faz-se necessário calcular primeiro a radiação global. Na sua determinação, são necessários os seguintes parâmetros e variáveis: albedo, radiação de ondas longas incidente, radiação de ondas curtas incidente, emissividade da superfície no infravermelho termal e temperatura da superfície. Para o cálculo da segunda variável, foram necessários os dados de temperatura do ar e umidade relativa que foram adquiridas na página do INMET. Estes dois dados foram necessários para o cálculo da pressão de vapor saturado, pressão de vapor atual, emissividade da atmosfera e por fim a radiação de ondas longas incidente conforme equação (7), que é considerada espacialmente constante, com o valor de 352,8743 W.m<sup>-2</sup> para o ano de 1985 (Basstiaanssen e Beker, 2000):

$$L^{\downarrow} = \varepsilon_{atm} \times \sigma \times T_{air}^4 \quad (7)$$

onde  $\varepsilon_{atm}$  é a emissividade atmosférica,  $\sigma$  é a constante de Boltzmann e  $T_{air}$  é a temperatura do ar.

Para o cálculo da terceira variável, foi calculada a radiação solar instantânea que é função do ângulo solar zenital, constante solar e distância sol-terra. Em seguida, foi determinada a densidade do fluxo de radiação perpendicular ao topo da atmosfera, e finalmente a radiação de onda curta recebida na superfície que é expressa na equação (8):

$$K^{\downarrow}_{(x,y)} = K^{\downarrow}_{TOA} \times \tau_{sw} \quad (8)$$

onde  $K^{\downarrow}_{TOA}$  é a radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera  $\tau_{sw}$  é a transmitância atmosférica.

Os dados de ângulo zenital solar foram determinados para cada pixel através de uma operação no SPRING, e programação no MATLAB em que foi gerado um arquivo dat e importado para o SPRING no formato spr. A quinta variável foi determinada através do albedo, da radiação termal e emissividade de acordo com as equações vistas anteriormente.

A partir da estimativa dos cinco parâmetros e variáveis, foi realizado o cálculo da radiação global, como expresso na equação (9). Todos os parâmetros foram programados em LEGAL.

$$R_n = (1 - r_o)K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - \varepsilon_o \sigma T_o^4 - (1 - \varepsilon_o)L^{\downarrow} \quad (9)$$

onde  $r_o$  é o albedo;  $K^{\downarrow}$  é a radiação de ondas curtas incidente;  $L^{\downarrow}$  é a radiação de ondas longas incidente;  $\varepsilon_o$  é a emissividade da superfície;  $\sigma$  é a constante de Boltzmann e  $T_o$  é a temperatura da superfície. Para a programação do modelo do fluxo de calor no solo, foram necessários os valores de albedo, NDVI, temperatura e radiação global.

$$G_o = \left[ \frac{T_{rad}}{r_o} (0,0038r_o + 0,0074r_o^2) (1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (10)$$

Após a determinação do fluxo de calor no solo, foi realizado cruzamento dos valores encontrados com as classes de uso e cobertura verificando a mudanças existentes no valor da variável em função das mudanças ocorridas na superfície.

### 3. Resultados

Neste estudo procurou-se avaliar as estimativas das componentes dos balanços de radiação e energia nas condições climáticas da bacia hidrográfica do Salitre. Nesse sentido, foi elaborado mapa temático do fluxo de calor no solo - G. Foram realizadas análises estatísticas descritivas nos diferentes usos e coberturas do solo. Esses dados possibilitaram identificar algumas das alterações que a substituição da Caatinga pelos cultivos irrigados e solo exposto promove nas variáveis ambientais consideradas no estudo.

A partir da espacialização da variável  $R_n$  e com os valores de NDVI,  $T_s$  e albedo modelados em LEGAL, foi obtido o mapa temático do fluxo de calor no solo - G. Segundo Feitosa (2005) e Bastiaanssen (1998), dos componentes do Balanço de Energia - BE o fluxo de calor no solo (G) é o que apresenta maior dificuldade do ponto de vista de precisão, quando estimado por processamento

de dados orbitais. Por outro lado, os últimos autores citados não consideram esse fato como um fator limitante quando se trabalha com áreas muito pequenas, nas quais minimizam as influências da variação do tipo de solo e da cobertura vegetativa, incompatível com o tamanho do pixel do sensor TM, mesmo sendo de 30m x 30m. Nesta pesquisa, a estimativa do fluxo de calor no solo foi realizada conforme sugerido por Bastiaanssen (2000), em função do saldo de radiação, albedo da superfície, índice de vegetação por diferença normalizada e temperatura da superfície, com valores próximos do horário de meio-dia. Com relação aos fatores limitantes citados anteriormente, buscou-se avaliar a variável G e Rn em função do tipo vegetativo encontrado na área e tipo de solo conforme mapa de solo da bacia (IBGE, 2010) e inspeções de campo.

Para o dia estudado (data de passagem da imagem), o fluxo de calor no solo (G) em uma área de caatinga arbórea com solo tipo neossolos regolíticos (areia branca) apresentou valores entre 104,55 e 116,10 W m<sup>-2</sup>. Já para uma região de caatinga florestada com ocorrência de Latossolos amarelos, os valores de G variaram entre 77,48 e 79,77 W m<sup>-2</sup>, com desvio padrão baixo, devido a uniformidade da área. Para uma área de solo exposto com classe de solo tipo Cambissolo Háplicos foi observada amplitude de valores entre 117,49 a 128,13 W m<sup>-2</sup>. Para uma região de cerrado na parte oeste da bacia os valores variaram entre 115,52 a 119,56 W m<sup>-2</sup>. Em um cultivo agrícola irrigado foi registrado G de 100,27 a 122,92 W m<sup>-2</sup>. As variações de G em função do uso e cobertura do solo são descritas na Tabela 1, através de variáveis estatísticas.

Tabela 1. Valores de Fluxo de calor no solo em função de seu uso e cobertura

Uso e cobertura do solo		G (W m <sup>-2</sup> )		
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Área degradada	129,04	133,21	131,38	0,93
Agricultura irrigada	100,27	122,92	111,06	6,23
Solo exposto com vegetação rasteira	132,53	136,53	135,11	0,76
Solo exposto	117,49	128,13	122,70	2,61
Cerrado	115,50	119,56	118,38	0,78
Caatinga arbórea	104,55	116,10	110,75	2,16
Caatinga florestada	77,48	79,77	77,57	0,30
Uso e cobertura do solo		Rn (W m <sup>-2</sup> )		
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Área degradada	456,42	536,48	498,42	16,97
Agricultura irrigada	565,54	624,89	590,33	15,45
Solo exposto com vegetação rasteira	489,48	519,44	507,33	6,48
Solo exposto	535,97	624,38	583,80	19,23
Cerrado	637,32	685,10	674,07	4,77
Caatinga arbórea	655,82	699,25	678,45	7,37
Caatinga florestada	725,37	764,75	749,37	9,12

Verifica-se conforme a Tabela 1 que o menor desvio padrão relacionado a G, foi para a caatinga florestada devido a uniformidade da cobertura da classe. Já para o cultivo irrigado foi obtido maior desvio padrão considerando o maior espaçamento e exposição do solo. Observa-se também, que existem amplitudes que separam classes uso e cobertura do solo na bacia verificando-se a não intercessão de valores de G para as classes analisadas (Tabela 1). São observadas diferenças nos valores de G para as classes envolvendo vegetação (caatinga e cerrado), cultivos irrigados e áreas constituídas de solo exposto (degradadas e solo nu). Há uma maior separabilidade da caatinga florestada com as demais classes, em relação aos dois parâmetros. Observa-se, também, uma

sobreposição de área irrigada com a classe do tipo cerrado, o que não ocorre com o Rn. Para o Rn há uma confusão entre agricultura e irrigada e solo exposto

A Figura 2 apresenta a espacialização do fluxo de calor no solo e saldo de radiação para a Bacia do Salitre com os valores em  $W m^{-2}$ . Os valores de uso e cobertura na bacia variaram de 77,48 a 146,94  $W m^{-2}$ , para o Go.

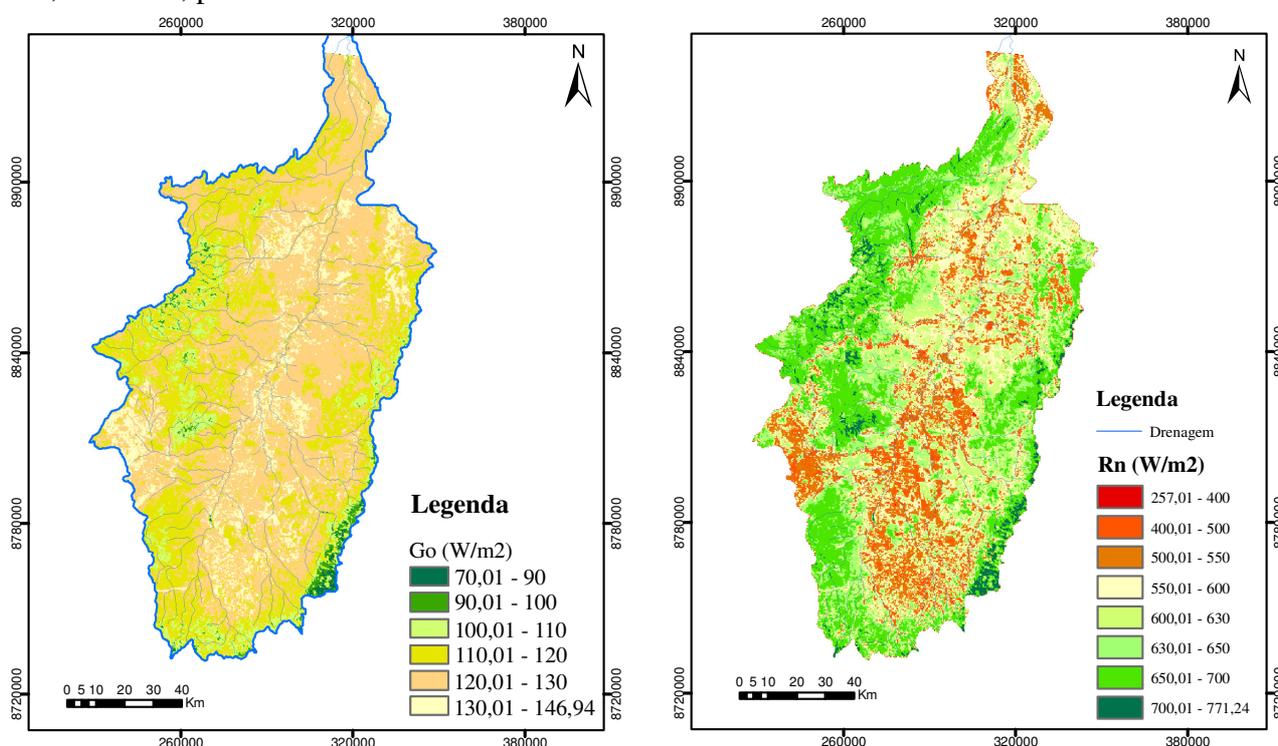


Figura 2. Mapa da variação do fluxo de calor no solo e saldo de radiação para bacia do Salitre.

#### 4. Considerações finais

Objetivou neste estudo avaliar a variação do fluxo de calor no solo e o saldo de radiação em função do uso e cobertura das terras na bacia do Salitre. Através dessa avaliação verifica-se que:

-Há interferência das classes do solo no cômputo da variável Go e Rn.

-Existe a coincidência de algumas classes, e para a diferenciação da variável é necessário estudo *in loco* considerando também a componente solo, cobertura viva e morta e relevo, levando em conta a hora de passagem do satélite.

-O estudo das variáveis, objetivo deste trabalho através de técnicas de sensoriamento remoto é fundamental em trabalhos de modelagem em bacias hidrográficas, visto a sua análise pixel a pixel, em que diversos modelos utilizam grades para obter respostas hidrológicas em bacias hidrográficas, tendo como exemplos a determinação de evapotranspiração e modelagem de deflúvio.

Há uma necessidade mais ampla de estudo de fluxo de calor no solo em bacias hidrográficas levando-se em consideração os diversos componentes e variáveis do ambiente analisado em função dos diversos usos e cobertura do solo preponderantes numa bacia.

#### 5. Bibliografia

Bastiaanssen, W; Bakker, M. **Use of satellite data in agricultural data management**. Embrapa semi-árido, 80p. 2000.

Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p. 1998.

Bastiaanssen, W.G.M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen The Netherlands. 273p. 1995.

Bastiaanssen, W. G. M. Sebal. Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**, v.229, p. 87-100, 2000.

Bastiaanssen, W; Bakker, M. **Use of satellite data in agricultural data managment**. Embrapa semi-árido, 80p., 2000.

Caparrini, F.; Castelli, F.; Entekhabi, D. Mapping of land-atmosphere heat fluxes and surface parameters with remote sensing data. **Boundary-Layer Meteorology**, v.107, p. 605–633, 2003.

Feitosa, J. R. P. **Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat - Tm e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície**. 164p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa Institucional de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2005.

Florenzano, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo/SP: Oficina de Textos. 2002.

Gusso, A., Fontana, D. C., Gonçalves, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com o uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p. 231-237, 2007.

Griend, Van der and Owe, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote sensing**, v.14, p.1119-1131, 1993.

Huete, A. R. & Warrick, A. W. Assessment of Vegetation and Soil Water Regimes in Partial Canopies with Optical Remotely Sensed Data. **Remote Rensing Environment**, v.32, p155-167, 1990.

Leivas, J.; Gusso, A.; Fontana, D. C. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens ASTER, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Abr. 2007, p. 255-262.

Monteith, J.L.; Unsworth, M. H. **Principles of environmental physics**. 2.ed. London: Edward Arnald, 291 p. 1990.

Oliveira, T.H.; Galvêncio, J.D.; Araújo, M.S.B.; Pimentel, Mendonça, R. M.; Silva, B.B. “*Avaliação do fluxo de calor no solo, temperatura da superfície e albedo na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE através de imagens TM - Landsat-5*”. In: XIII Simpósio de Geografia Física Aplicada, Viçosa, 1, pp. 69-89. 2009.

Pezzopane, J. E. M.; Pedro Júnior, M. J.; Ortolani, A. A.; Meyer, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia** 3, pp. 1-4. 1995.

Qin, J.; Liang, S.; Liu, R.; Zhang, H.; Hu, B. A Weak-Constraint-Based Data Assimilation Scheme for Estimating Surface Turbulent Fluxes. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 4, 2007.