



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

## **SAZONALIDADE DO BALANÇO DE ENERGIA NO BIOMA DE CAATINGA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UM ESTUDO DE CASO**

**Carlos Antonio Costa dos Santos<sup>(1)</sup>; Antonio Marcos Delfino de Andrade <sup>(2)</sup>; Lindenberg Lucena da Silva<sup>(3)</sup>; Virgínia Mirtes de Alcântara Silva<sup>(4)</sup>; Salomão de Sousa Medeiros<sup>(5)</sup>; Bergson Guedes Bezerra<sup>(6)</sup>**

**(1)**Professor; Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande; Av Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, Campina Grande, Paraíba; [carlos.santos@ufcg.edu.br](mailto:carlos.santos@ufcg.edu.br);

**(2)**Pós-doutorando; Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas; Universidade Federal de Campina Grande; Av Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, Campina Grande, Paraíba; [marcoslaba@hotmail.com](mailto:marcoslaba@hotmail.com);

**(3)**Doutorando; Programa de Pós-Graduação em Meteorologia; Universidade Federal de Campina Grande; Av Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, Campina Grande, Paraíba; [begapb@gmail.com](mailto:begapb@gmail.com);

**(4)**Doutoranda; Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais; Universidade Federal de Campina Grande; Av Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, Campina Grande, Paraíba; [virginia.mirtes@ig.com.br](mailto:virginia.mirtes@ig.com.br);

**(5)**Pesquisador; Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande – PB, Brasil. Email: [salomao@insa.gov.br](mailto:salomao@insa.gov.br);

**(6)**Professor; Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas – DCAC, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, Brasil. Email: [bergson@ccet.ufrn.br](mailto:bergson@ccet.ufrn.br).

### **Eixo temático: TI Verde**

**Resumo** – O estudo de trocas de energia é fundamental para caracterização do clima local, principalmente em regiões semiáridas, pois o balanço de energia permite realizar os processos físicos, químicos e biológicos de um ecossistema. O objetivo deste trabalho é compreender a dinâmica do balanço de energia e entender as trocas de energia de superfície e a atmosfera no bioma de caatinga nas estações seca e chuvosa, na Estação Ecológica do Seridó (ESEC-Seridó), situada no município de Serra Negra do Norte-RN. Os resultados mostraram que as componentes do balanço de energia apresentaram sazonalidade, com maiores médias na estação chuvosa. Os fluxos de calor latente apresentou maior atenuação da estação chuvosa para a seca, atribuída a menor disponibilidade hídrica no solo e na vegetação. No entanto, o comportamento médio do fluxo de calor sensível, apontou aumento entre as mesmas estações. Através das observações nas estações chuvosa e seca, percebeu-se que a maior proporção de energia disponível foi destinada à densidade de H (36,2% e 64,5%), seguida pela densidade de LE (45,1% e 5,8%) e G (0,5% e 3,1%).

**Palavras-chave:** Caatinga. Balanço de radiação. Fluxos de energia.

**Abstract** – The study of the energy balance of a vegetated surface and atmosphere is important to characterize the local microclimate, identify interactions between environmental variables and vegetation. The objective of this work is to understand the dynamics of the energy balance and understand the surface energy exchanges and the atmosphere in the biome of Caatinga in dry and rainy seasons, in the Ecological Seridó Station (ESEC-Seridó), located in the municipality of the Serra



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

Negrado Norte-RN. The results showed that the components of energy balance showed seasonality, with higher averages in the rainy season. The latent heat fluxes showed higher attenuation of the rainy season to the dry, attributed to lower water availability in soil and vegetation. However, the average behavior of the sensible heat flux, showed an increase between the same stations. Through the observations in the rainy and dry seasons, it was noticed that the highest proportion of available energy was allocated to the density of H (36.2% and 64.5%), followed by the density of LE (45.1% and 5, 8%) and G (0.5% and 3.1%).

**Keywords:** Caatinga. Net radiation. Energy fluxes.

## Introdução

A Caatinga é a única grande região natural brasileira cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional (LEAL et al., 2005), tornando-a assim, o único bioma exclusivamente brasileira. Os supracitados autores ainda afirmam que, termos proporcionais, este bioma é a menos estudada entre as regiões naturais brasileiras, com grande parte do esforço científico estando concentrado em alguns poucos pontos em torno das principais cidades da região. Do ponto de vista climático é caracterizada por um déficit hídrico acentuado, altas taxas de insolação e evapotranspiração, além de reduzida e variável precipitação de ano a ano. Juntamente com os parâmetros climáticos, a vegetação assume papel preponderante na caracterização do bioma (SANTANA e SOUTO, 2011).

Estudos envolvendo a radiação solar são fundamentais por esta ser a fonte principal de energia para todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na vegetação. Cabe ressaltar, que no ambiente de floresta a radiação solar exerce notável relevância, sendo primordial nos processos de fotossíntese, evapotranspiração, aquecimento da superfície e do ar (LEITÃO, 1994). No que se diz respeito à análise do balanço de energia – contabilização líquida entre toda energia radiante recebida e perdida na superfície – Andrade et al. (2009) relatam que a partição do balanço de radiação solar ( $R_n$ ) nos fluxos de calor latente (LE) influenciam diretamente na determinação do ciclo hidrológico, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima, influenciando diretamente na precipitação. Alterações na partição de energia entre calor latente e calor sensível podem afetar os fluxos da superfície e como resultado modificar o clima (FOLEY et al., 2003), o que torna importante conhecer e quantificar os processos relacionados ao balanço de energia, relevantes para a formulação de políticas ambientais e climáticas.

Este presente trabalho objetiva-se compreender a dinâmica do balanço de energia e entender as trocas de energia de superfície e a atmosfera no bioma de caatinga nas estações seca e chuvosa.

## Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido no bioma da Caatinga, inserida na região do Seridó, que se caracteriza por ser um clima bastante quente, com forte insolação e baixa nebulosidade, com dados obtidos no ano de 2014. A área de estudo foi a



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

Estação Ecológica do Seridó (Es Ec-Seridó), com área em torno de 1.166 ha (06° 35' e 06° 40'S e 37° 20' e 37° 39' W), situada no município de Serra Negra do Norte-RN.

De acordo com Santana et al. (2004), a classificação climática da região de estudo, pelo método de Thornthwaite, é identificado como semiárido (DdA'a'), com nenhum excesso de água, megatérmico, evapotranspiração de 733,7 mm e deficiência hídrica de 1.169,7 mm.

A pluviosidade é extremamente variável entre os anos, em que o período da estação chuvosa abrange os meses de fevereiro a maio, ao passo que o quadrimestre de agosto-setembro, é o período mais seco. Também se caracteriza como um ecossistema sazonal, isto é, tipificada por estações seca e chuvosa distintas (BEUCHLE et al., 2015). O regime de precipitação é de verão-outono, com as chuvas concentrando-se entre janeiro e maio. A pluviosidade total varia muito entre anos (232 a 1.135 mm anuais), apresentando precipitação anual média de cerca de 700 mm. As chuvas são geralmente torrenciais, e as condições de solo raso e pedregoso dificultam a retenção de água e favorecem o escoamento superficial. A evaporação potencial anual média mensal é de cerca de 1.900 mm. A temperatura média anual, de 1995 a 2004, foi de 27,6 °C, com a média máxima (29,2 °C) ocorrendo em outubro e a mínima média (25,9 °C) em julho (SANTANA et al., 2004). A média anual da umidade relativa do ar é de 63% apresentando valor máximo de 75% em abril e mínimo de 55% em setembro-outubro.

A aquisição dos dados aqui analisados foi proveniente dos sensores instalados por uma torre micrometeorológicas com altura de 11 m para a medição de fluxos. Este complexo é composto por um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific), que mensura as três componentes do vento e a temperatura do ar e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (LI-7500, LICOR Inc, Lincon USA), os quais os fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) foram medido se também, determina as concentrações de vapor de água, o saldo de radiação foi medido por meio de um saldo radiômetro (Net Radiometer, Kipp&Zonen Delft, Inc., Holland), os fluxos de calor no solo (G) foi obtido por meio de dois fluxímetros de calor no solo (HFT-3.1, REBS, Inc., Seattle, Washington) a 2 cm de profundidade. Estes sensores estão conectados a um *Datalogger* (CR3000, Campbell Scientific, Inc., UT, USA), o qual está programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos. Nos quais foram alimentados com tensão de 12 V por duas baterias de 150 Ah, carregadas por um painel solar de 64 W com regulador de tensão.

## **Resultados e Discussão**

Ao atentar os índices pluviométricos na região para o período de estudo foi aproximadamente de 507 mm, ficando abaixo da climatologia (Figura 1). Fato este causado pelo efeito do fenômeno do *El-Niño*, interferindo na quantidade de chuvas, causando estiagens mais prolongadas na região. Observa-se ainda, que nos meses de fevereiro a maio foram mais frequentes, com maior volume e mais regulares. Nesse mesmo período, o total pluviométrico acumulado registrado foi da ordem de



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

420 mm, representando aproximadamente 83% do volume total. Ainda, na estação seca (julho a dezembro), raramente choveu, com a exceção do mês de novembro, o qual exibiu um acúmulo de aproximadamente 51 mm, totalizando 74% do volume total para a estação. Pode-se destacar que, em apenas um dia (dia 19), choveu 45,4 mm, representando cerca de 90% do mês em questão.

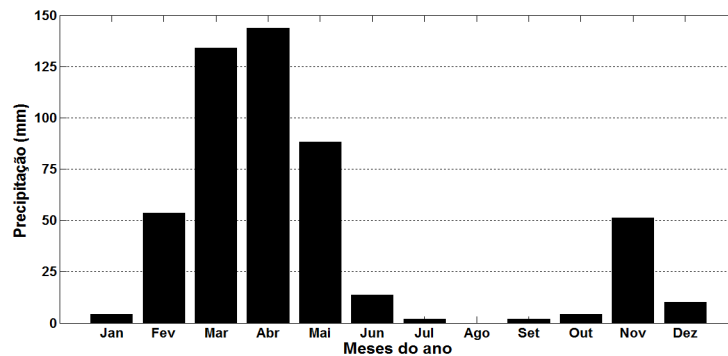


Figura 1. Precipitação mensal acumulada no período de 2014.

Com a intenção de compreender uma visão geral no comportamento da variação média horária dos componentes medidos do balanço de energia entre as estações chuvosa e seca, nota-se que o balanço de radiação solar ( $R_n$ ) apresentam um ciclo diário bem definido (Figuras 2a e b), o qual apresenta os menores fluxos de madrugada, inferior a  $5,0 \text{ W m}^{-2}$ , apresentando crescimento até o período vespertino e logo um decréscimo até as primeiras horas do dia, e apontando decréscimo no início do período vespertino, próximo ao meio dia. Ao observar as estações chuvosa e seca, viu-se que o  $R_n$  se comportou de modo análogo, isto é, apresentou pouca variação, com picos máximos da ordem de  $560$  e  $547 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. Isto ocorre porque no decorrer do período diurno, o  $R_n$  é dominado pelas trocas radiativas de ondas curtas. Já no período noturno, o  $R_n$  é composto exclusivamente pelos fluxos de ondas longas, cujas perdas na superfície são controladas pela temperatura e pela emissividade da superfície.

O fluxo de calor latente (LE), no período da estação chuvosa, exibiu variação similar ao  $R_n$ , enquanto que na estação seca, apresentou um comportamento bastante distinto. Realizando uma comparação entre as estações, observou-se que as maiores amplitudes ocorreram na estação chuvosa, excedendo  $200 \text{ W m}^{-2}$ . Enquanto que na estação seca, esses valores se limitaram a taxas inferiores a  $30 \text{ W m}^{-2}$ , apontando uma atenuação em torno de 87%. Essa redução é explicada, pelo fato das menores taxas de LE encontradas na estação secas e rem atribuídas à menor disponibilidade hídrica na vegetação em decorrência dos menores índices de precipitação nesta época (GALVÃO e FISCH, 2000; PRIANTE FILHO et al., 2004).

O comportamento do fluxo de calor sensível (H) foi similar ao ciclo de  $R_n$ , em ambas as estações. É oportuno salientar que a energia disponível na área de estudo, foi convertida preferencialmente em densidade de H, com maiores valores



# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

na estação seca ( $385 \text{ W m}^{-2}$ ) e os menores na chuvosa ( $\approx 237 \text{ W m}^{-2}$ ). Essa diferença, entre as estações, se deve à maior biomassa presente na vegetação, a qual regula as trocas de energia entre a superfície vegetada e a atmosfera (GALVÃO e FISCH, 2000).

Contudo, foi o fluxo de calor no solo (G) que expos as mínimas variações entre as duas estações. Pois, foi na estação seca que se observou os maiores registros ( $> 60,0 \text{ W m}^{-2}$ ) e também mostrou valores positivos com mais frequência. Para Biudes et al. (2009) valores positivos no período diurno, atestam que o solo libera energia das camadas inferiores para a superfície. Enquanto que valores negativos indicam que a transmissão de calor da superfície para as camadas inferiores foi maior que a liberação de calor.

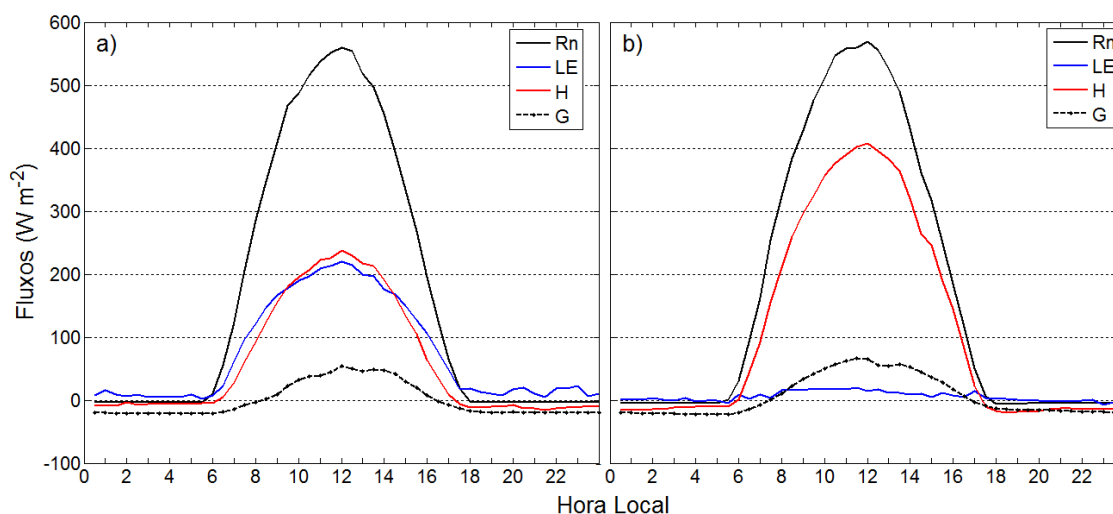


Figura 2. Ciclo médio diário do balanço de radiação solar (Rn), fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor no solo (G) no bioma de Caatinga, durante as estações chuvosa (a) e seca (b).

Tendo em vista os resultados mostrados, nas respectivas estações chuvosa e seca, percebeu-se que a maior proporção de energia disponível, a saber, o Rn, foi destinados à densidade de H (36,2% e 64,5%), à densidade de LE (45,1% e 5,8%) e a G (0,5% e 3,1%). Em relação ao fluxo de calor no solo, Arruda (2011) menciona que, independente da estação, este fluxo é sempre bastante pequeno, limitando-se a 5% da energia total disponível.

Com o propósito de averiguar o fechamento do balanço de energia nas estações chuvosa e seca, ou seja, a relação entre a energia disponível no sistema ( $Rn - G$ ) e a soma dos fluxos turbulentos ( $H + LE$ ) produziu um coeficiente de determinação bastante satisfatório ( $R^2=0,97$ ) (Figura 3), mostrando uma forte relação linear entre a energia disponível no sistema e a soma dos fluxos de calor sensível e latente. É oportuno salientar que os coeficientes aqui encontrados, foram condizentes aos detectados por Heusinkveld et al. (2004), na região semiárida em Israel, que foram iguais a 0,99.



# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE

de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [pocos.com.br](http://pocos.com.br)

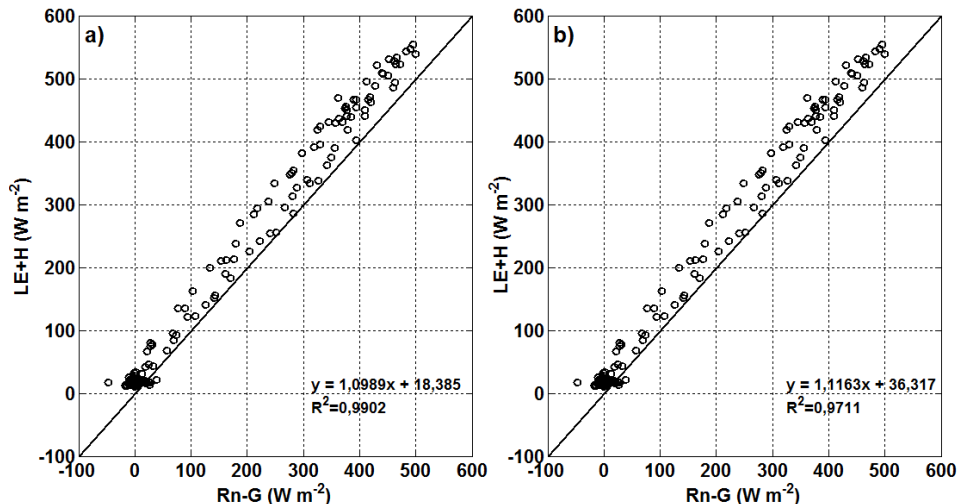


Figura 3. Relação entre a energia disponível no sistema,  $Rn$  é o balanço de radiação e  $G$  e o fluxo de calor no solo ( $Rn- G$ ) e a soma dos fluxos de calor sensível e calor latente ( $H + LE$ ), nas estações chuvosa (a) e seca (b). Os pontos representam medias a cada 30 minutos.

## Conclusões

Com base no que foi relatado neste trabalho e nas discussões realizadas, referentes às análises do comportamento do balanço de energia e suas componentes, pode-se concluir o seguinte:

- A maior parcela do balanço de radiação solar é utilizada para aquecer a superfície e a atmosfera acima da vegetação, sendo que o fluxo de calor sensível foi o principal componente do balanço de energia, contribuindo para esse aquecimento, devido, principalmente, à baixa disponibilidade hídrica ao longo do estudo;
- Durante a estação chuvosa 80% do total do  $Rn$  é disponível para o sistema, em forma de energia. Enquanto que, no decorrer da estação seca este valor é de 73%;
- Acerca do fechamento do balanço de energia, que expressa a correlação da energia disponível no sistema e a soma dos fluxos turbulentos, mostram uma forte correlação, com  $R^2$  superior a 0,97.

## Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Projetos: 471497/2012-6, 446172/2015-4 e 301348/2015-4), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Projeto Pró-Alertas - 88887.091737/2014-01) pelo apoio financeiro e ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) pelo apoio financeiro e logístico para com este projeto.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.pocos.com.br](http://www.pocos.com.br)

## Referências

ANDRADE, N.L.R.; AGUIAR, R.G.; SANCHES, L.; ALVES, E.C.R.F.; NOGUEIRA, J.S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta Amazônica e floresta de transição Amazônia-cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, p.346-355, 2009.

ARRUDA, J.C. Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato Grosso. 2011.113p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, v.58, n.01, p.116-127, 2015.

BIUDES, M.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte dopantanal pelo método da razão de Bowen. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, p.135-143, 2009.

FOLEY, J.A.; COSTA, M.H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet.* v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.

GALVÃO, J.A.C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia (Ji-Paraná, RO). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.15, n.2, p.25-37, 2000.

HEUSINKVELD, B.G.; JACOBS, A.F.G.; HOLTSLAG, A.A.M.; BERKOWICZ, S.M. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.122, n.1-2, p.21-37, 2004.

LEAL, I.R.; SILVA, J.M.C.D.; TABARELLI, M.; LACHER, T.E.Jr. Changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. *Conservation Biology*, v.19, n.3, p.701-706, 2005.

LEITÃO, M.M.V.B.R. Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta amazônica: campina, campinarana e matadensa. 1994. 153p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NUNES, P.C.; SOUZA, L.S.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; PAULO, S.R.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. *Global Change Biology*, v.10, n.5, p.863-876, 2004.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016 [www.meioambiente.pocos.com.br](http://www.meioambiente.pocos.com.br)

SANTANA, J.A.S. SANTANA JÚNIOR, J.A.S.; SOUTO, J.S.; MACÊDO, A.B. Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite da Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte-RN. Brasil Florestal, Brasília, v.23, n.80, p.9-16, 2004.

SANTANA, J.A.S; SOUTO, J.S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. IDESIA (Chile), v.29 , n.2, p.87-94, 2011.