

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO PÓS INCÊNDIOS FLORESTAIS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

P. K. Poon, A. M. Kinoshita, J. A. Da Silva e V.M. Ponce

Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering  
San Diego State University, United States.

E-mail: ppoon@sdsu.edu, akinoshita@mail.sdsu.edu, janainaahd@gmail.com, poncevm@gmail.com

## Introdução

Nos últimos anos, a mudança climática e outros fatores antropogênicos têm contribuído para aumentar a frequência e dimensão de incêndios florestais no oeste dos Estados Unidos. Essa pesquisa tem enfoque na evolução espacial e temporal das mudanças na evapotranspiração (ET) após o Incêndio Las Conchas ocorrido no Novo México (EUA) em 2011, utilizando o modelo SSEBop (Operational Simplified Surface Energy Balance). Valores de evapotranspiração foram associados com severidade da queimada do solo e analisados para 16 bacias hidrográficas de 1 de outubro de 2000 a 30 de setembro de 2014 (anos hidrológicos de 2001 a 2014). Durante o período de estudo, foi observado uma redução média de 120 mm nas regiões afetadas pelo Incêndio Las Conchas. Após o incêndio, a vegetação constituída de coníferas foi substituída por pastagens. Em média, valores de ET anual pós incêndio relacionados com severidade de queimada alta, moderada e baixa são, respectivamente, 130-352 mm, 97-304 mm e 91-268 mm menores do que valores pré incêndio. A relação entre a evapotranspiração pós incêndio e a precipitação (ET/P) é estatisticamente diferente das condições pré incêndio ( $\alpha = 0,05$ ) em nove bacias. A maior redução de ET é, aproximadamente, 13-57 mm por mês e é mais proeminente de abril a setembro (verão do hemisfério norte). A redução observada na ET contribui para o entendimento das mudanças no rendimento hídrico após incêndios florestais, o que é interessante para se modelar e prever, com precisão, os processos hidrológicos em regiões semiáridas.

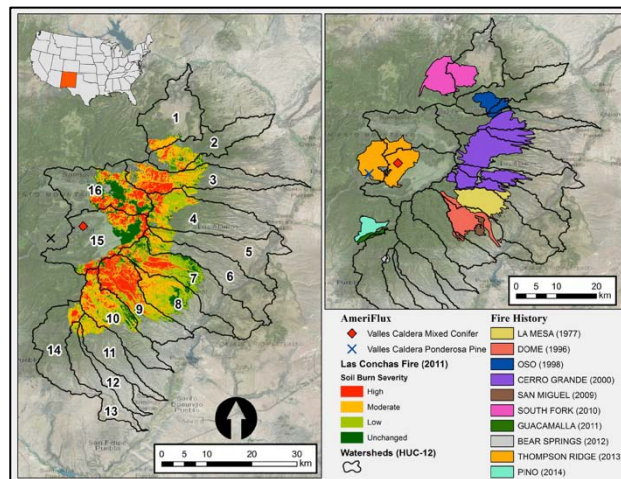
## Área de estudo

Em junho de 2011, o Incêndio Las Conchas afetou 634 km<sup>2</sup> da Floresta Nacional Santa Fe e áreas do Reserva Nacional Valles Caldera, nos condados de Sandoval, Los Alamo e Rio Arriba no Novo México (Fig. 1). Valles Caldera é caracterizado como semiárido, com floresta sazonalmente coberta por neve, onde a principal fonte de escoamento é o derretimento de neve e chuvas de primavera (Liu *et al.*, 2008). Com base na severidade da queimada (SBS- soil burn severity), o Incêndio Las Conchas foi classificado como severidade baixa (30%), moderada (35%), alta (21%) e não afetada (14%) (Fig. 1; RSAC, 2011). A vegetação da região em 2010 consistia de aproximadamente 75% coníferas, 14% madeira de lei, 4% de arbustos e 32% de pastagens (LANDFIRE, 2010). Em 2012, um ano após o incêndio, a vegetação era constituída de 52% de coníferas, 9% de madeira de lei, 0,1% de arbustos e 32% de pastagens (LANDFIRE, 2012). 16 bacias hidrográficas foram afetadas (Fig. 1). Rio Chiquito (ID 9) apresentou a maior porcentagem de SBS alta, enquanto Outlet Borrego Canyon (ID 13) foi minimamente afetado e, por isso, utilizado como controle.

## Métodos

### Comparação entre AmeriFlux e SSEBop –Incêndio Thompson Ridge em 2013

Para validar o modelo SSEBop sob condições de incêndios florestais, foi realizada uma comparação entre ET terrestre e ET SSEBop para o incêndio Thompson Ridge entre 2007 e 2017, a qual consiste de 77 meses pré incêndio e 19 pós incêndio.



**Figura 1.-** (Esq.) Mapa do Incêndio Las Conchas, localização das estações AmeriFlux e distribuição espacial da severidade de queimada do solo. (Dir.) Histórico de incêndios notáveis na área de estudo.\*

\*Onde: 1. Abiquiu Creek; 2. Rio del Oso; 3. Santa Clara Creek; 4. Los Alamos Canyon; 5. Canada Anacha – Rio Grande; 6. Water Canyon – Rio Grande; 7. Alamo Canyon – Rio Grande; 8. Capulin Canyon–Rio Grande; 9. Rio Chiquito; 10. Peralta Canyon; 11. Canon Santo; 12. 130,202,010,603 (Sem nome); 13. Outlet Borrego Canyon; 14. Headwaters Borrego Canyon; 15. East Fork Jemez River e 16. Headwaters San Antonio Creek.

Métricas estatísticas padrão, correlação ( $R^2$ ), erro de viés médio (MBE-mean bias error) e erro médio quadrático (RMSE-root mean squared error) foram utilizadas para avaliar o produto SSEBop.  $R^2$  representa o grau de relação entre AmeriFlux e SSEBop. RMSE prevê a precisão entre os dois modelos supracitados. MBE quantifica a diferença entre SSEBop e Fluxnet. Os resultados foram comparados, também, com estudos anteriores para florestas não afetadas por incêndios e regiões de pastagem realizados por Senay *et al.* (2013), Velpuri *et al.* (2013), e Savoca *et al.* (2013).

### ET Anual e Sazonal – Incêndio Las Conchas em 2011

Valores de ET mensal foram obtidos pelo modelo SSEBop utilizando-se 1km de resolução e dados de anos hidrológicos de 2001 a 2014. Os valores de ET obtidos, bem como valores de precipitação anual (P), pré e pós incêndio, foram utilizados para determinação da média da bacia. Visando minimizar a influência da P nas estimativas de ET, a relação ET/P foi calculada e estatisticamente testada utilizando-se teste t ( $\alpha < 0,05$ ) para identificar as bacias com variações resultantes do incêndio.

### ET Espacial– Incêndio Las Conchas em 2011

Foram analisadas 16 bacias hidrográficas e o presente estudo destaca os padrões de ET de 5 delas: Outlet Borrego Canyon (ID 13; bacia controle), Rio del Oso (ID 2; predominantemente SBS moderada e não afetada), Rio Chiquito (ID 9; SBS alta), Peralta Canyon (ID 10; principalmente SBS moderada e baixa), Headwaters San Antonio Creek (ID 16, todas SBS), fornecendo, assim, uma ampla gama de condições de severidade e

minimizando a influência de outros incêndios. Os tipos de vegetação foram associados à SBS agregada e aos correspondentes valores de ET. Três relações foram investigadas: 1) razão entre ET pós incêndio para cada SBS e ET para regiões não afetadas dentro de uma bacia hidrográfica; 2) a magnitude da mudança na ET baseada na SBS quando comparada a áreas não queimadas; 3) a diferença de percentuais da variação de ET relacionada a tipos de vegetação e SBS dentro de uma bacia hidrográfica.

$$\%ET = \frac{X_{i\text{pós}} - X_{i\text{pré}}}{X_{i\text{pré}}} \quad [1]$$

onde X = ET (mm), i denota classificação SBS (alta, moderada, baixa).

## Resultados

### *Comparação entre AmeriFlux e SSEBop –Incêndio Thompson Ridge em 2013*

Na área de coníferas mistas, o modelo SSEBop apresentou uma correlação pré incêndio de 0,78 e um RMSE de 9,14 mm/mês e o modelo AmeriFlux correlação pós incêndio de 0,56 e RMSE de 26,48. MBE pré e pós incêndio correspondem a 22,58 e 13,30 mm/mês, respectivamente, indicando que SSEBop superestimou os cenários pré e pós Incêndio Thompson Ridge. Na área de pinheiros ponderosa, as correlações pré e pós incêndio foram de 0,77 e 0,74, com valores de RMSE de 18,19 e 25,46 mm/mês, respectivamente. O SSEBop subestimou os cenários para essa área, onde o MBE pré incêndio foi de 8,7 mm/mês e o MBE pós incêndio foi de 17,95 mm/mês.

### *ET Anual e Sazonal – Incêndio Las Conchas em 2011*

Cinco bacias hidrográficas (ID 3, ID 4, ID 8, ID 15 e ID 600) apresentaram valores de ET anual maiores que os valores de P anual antes do incêndio e, após o incêndio, ET reduziu a valores inferiores a P. Duas das cinco bacias apresentaram ET anual pós incêndio maior que P anual pós incêndio (ID 1 e ID 16). ET pós incêndio apresentou redução de 60-250 mm/ano em todas as bacias analisadas. A razão ET/P variou entre 0,4 e 2,5 para todas as bacias e se mostraram sensíveis a P anual e ao incêndio. No ano hidrológico de 2002, os valores de ET/P foram consistentemente superiores aos outros anos para todas as bacias. Após o Incêndio Las Conchas, valores de ET/P calculados para 2012 e 2013 foram os menores para o período analisado. O teste t indicou que os valores anuais de ET/P de 9 das 16 bacias foram estatisticamente diferentes após o incêndio, com  $\alpha = 0,05$ .

### *ET Espacial– Incêndio Las Conchas em 2011*

Foram observados valores de ET anual pós incêndio em solos com altas severidade de queimada em comparação com os valores apresentados por regiões não afetadas (Rio Chiquito), com severidade baixa (Headwaters San Antonio Creek) e severidade moderada (Rio del Oso). Essas bacias englobam as áreas com maior concentração de solo com severidade de queimada alta e moderada, bem como maiores reduções de ET. Enquanto Peralta Canyon apresenta os maiores valores de ET pós incêndio em áreas com SBS moderada ou alta comparadas a áreas com SBS baixa.

A diferença percentual entre os valores de ET pré e pós incêndio foi relacionada com a vegetação em cada região SBS. Nas regiões de quatro bacias atingidas pelo incêndio, todos os tipos de vegetação predominante (coníferas, madeira de lei e arbustos) apresentaram redução, exceto pastagem. A soma da redução de coníferas e madeira de lei corresponde ao aumento de pastagem em todas as regiões afetadas, entretanto não há

relação direta entre o percentual de mudança na ET e a quantidade de vegetação convertida em pastagem. Em regiões não afetadas, as quais se encontram dentro das bacias analisadas, houve variação mínima nos tipos de vegetação e valores de ET.

## Conclusão

Esta pesquisa investiga a evapotranspiração após o incêndio de Las Conchas utilizando modelos e técnicas de sensoriamento remoto para melhorar a compreensão de processos espaciais e temporais. Primeiro, o modelo SSEBop teve um bom desempenho para análise de cenários pré e pós incêndio, considerando-se comparação com observações baseadas em solo (AmeriFlux). Em segundo lugar, as tendências anuais e sazonais de ET foram alteradas após o incêndio. Quando comparada ao ET pré incêndio, a ET média pós incêndio reduziu de 102,6 para 352,2 mm/ano, 97,2-303,9 mm/ano e 90,9 a 267,7 mm/ano para SBS alta, moderada e baixa, respectivamente. A diminuição mais proeminente de ET ocorreu durante o verão (hemisfério norte), a qual corresponde a 13-57 mm/mês, apesar das temperaturas regulares do monções de verão. Terceiro, ET pós incêndio apresentou variação para diferentes severidades de queimada de solo. Em geral, ET pós incêndio foi 19,9-36,1%, 15,0-34,1% e 8,7-29,1% menor em áreas com SBS alta, moderada e baixa, respectivamente, para todas as bacias analisadas. Por último, observou-se uma mudança na vegetação, principalmente de coníferas para pastagens, diminuindo a ET geral de 18 para 51%. Este trabalho tem implicações significativas nos recursos hídricos e incentiva a integração de técnicas de sensoriamento remoto com métodos tradicionais para aprimorar o conhecimento sobre relações hidrológicas complexas em ambientes perturbados. À medida que incêndios florestais aumentam, através de atividades antropogênicas e mudança climática, a compreensão dos padrões de ET pós incêndio pode melhorar a modelagem de repostas hidrológicas após incêndios em regiões semi-áridas.

## Referências

- LANDFIRE (2010). Existing Vegetation Type Layer, LANDFIRE 1.2.0, U.S. Department of the Interior, Geological Survey. <http://landfire.cr.usgs.gov/viewer/> (accessed 10.11.2017.).
- LANDFIRE (2012). Existing Vegetation Type Layer, LANDFIRE 1.3.0, U.S. Department of the Interior, Geological Survey. <http://landfire.cr.usgs.gov/viewer/> (accessed 10.11.2017.).
- Liu, F., Bales, R.C., Conklin, M.H., Conrad, M.E. (2008). Streamflow generation from snowmelt in semi-arid, seasonally snow-covered, forested catchments, Valles Caldera, New Mexico. *Water Resour. Res.* 44 (12).
- Remote Sensing Applications Center (RSAC). US. Forest Service. <http://www.fs.fed.us/eng/rsac/baer/barc.html>
- Savoca, M.E., Senay, G.B., Maupin, M.A., Kenny, J.F., Perry, C.A. (2013). Actual Evapotranspiration Modeling Using Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) Approach. *US Geological Survey*: Reston, VA, USA, pp.14
- Senay, G.B., Bohms, S., Singh, R.K., Gowda, P.H., Velpuri, N.M., Alemu, H., Verdin, J.P. (2013). Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: a new parameterization for the SSEB approach. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 49 (3), 577–591.
- Velpuri, N.M., Senay, G.B., Singh, R.K., Bohms, S., Verdin, J.P. (2013). A comprehensive evaluation of two MODIS evapotranspiration products over the conterminous United States: Using point and gridded FLUXNET and water balance ET. *Rem. Sens. Environ.* 139, 35–49.