

Uso da análise de regressão espacial para o estudo das relações entre queimadas e tipos de cobertura da terra

Thais Michele Rosan¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
Thais.rosan@inpe.br

Resumo: Estudos têm demonstrado que há uma diminuição nas taxas de desmatamento na Amazônia. Entretanto, as queimadas têm aumentado em frequência, principalmente em áreas já desmatadas devido à associação entre práticas de manejo da terra e aumento da frequência de estiagens mais intensas, como no ano de 2010. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar localmente quais as variáveis de cobertura da terra que possuem associação espacial e explicam as áreas queimadas no ano de 2010 em uma área do estado do Pará. Os resultados demonstraram que as queimadas em 2010 tiveram relação direta com áreas de floresta, desmatamento e vegetação secundária e uma relação inversa com proporção de pastagem.

Palavras-chave: queimada; análise espacial; regressão geograficamente ponderada; cobertura da terra

1. Introdução

A Amazônia tem sido palco de diversas transformações na sua paisagem em decorrência da interação entre o homem e a natureza, causando diversos impactos na composição da sua cobertura florestal, como a conversão de suas áreas florestadas em áreas destinadas à exploração madeireira, pastagem e agricultura. Concomitantemente a este processo, a utilização do fogo tornou-se uma prática recorrente associada ao desmatamento e ao manejo de áreas de pastagens. Este tipo de manejo associado às estiagens mais intensas e frequentes tem contribuído para o aumento da frequência de queimadas (ARAGÃO et al., 2007.; ARAGÃO et al., 2008; MORTON et al., 2008).

O fogo tem grande influência no clima e ecossistemas tropicais em decorrência da sua relação com as mudanças de uso e cobertura da terra e ciclo do carbono. Essas queimadas em florestas causam uma série de impactos ambientais, como a degradação da vegetação, perda de biomassa e emissão de carbono (ALENCAR et al, 2006).

A fragmentação da floresta aumenta a vulnerabilidade ao fogo, principalmente em suas bordas, onde o fogo é utilizado como forma de manejo de pastagens e eliminação de florestas regeneradas. Assim focos de queimadas em florestas se tornam mais recorrentes do que deveriam ser, uma vez que não deveria haver queimadas em florestas tropicais, pois queimadas naturais na Amazônia são raras (COCHRANE, 2003).

Nos últimos 10 anos a Amazônia sofreu dois períodos de seca intensos, um em 2005 relacionado ao El niño (Marengo et al, 2008) e que acarretou em intensificação das queimadas na Amazônia (Aragão et al, 2007). Em 2010 houve um evento de seca mais intenso do que 2005 na Amazônia associada a interação de dois eventos El niño e *Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO) (Marengo et al, 2011).

Entretanto, alguns estudos verificaram que apesar da redução da taxa de desmatamento, a ocorrência de queimadas não diminuiu e apresentou uma tendência de aumento, principalmente em anos mais secos, como em 2010 (Aragão e Shimabukuro, 2010; Lima et al, 2012). Lima et al (2012) em seu trabalho concluiu que aproximadamente 55% das queimadas não possuem relação com áreas de floresta madura. Aragão e Shimabukuro (2010) demonstraram que apesar da redução das taxas de desmatamento, as taxas de incêndios na Amazônia aumentaram o que prejudica políticas de créditos de carbono, como o REDD (Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa).

Desse modo, torna-se importante verificar quais os tipos de cobertura relacionados com as queimadas para compreender quais os processos que as desencadeiam. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar localmente quais as variáveis de cobertura da terra que possuem associação espacial e explicam as áreas queimadas no ano de 2010 para uma área no estado do Pará.

2. Área de Estudo

A área de estudo compreende os municípios de São Félix do Xingu, Cumaru do Norte, Santa Maria das Barreiras e Santana do Araguaia no estado do Pará (Figura 1). Esses municípios estão incluídos na lista de municípios prioritários para redução do desmatamento do Ministério do Meio Ambiente, por apresentarem um histórico de altas taxas de desmatamento.

Em 2010 foi estimada uma área queimada de aproximadamente 21.384,91 km² para essa região e por apresentar uma dinâmica mais intensa de pressão de ocupação, por estar inserida no arco de desflorestamento, essa área foi escolhida para este estudo.

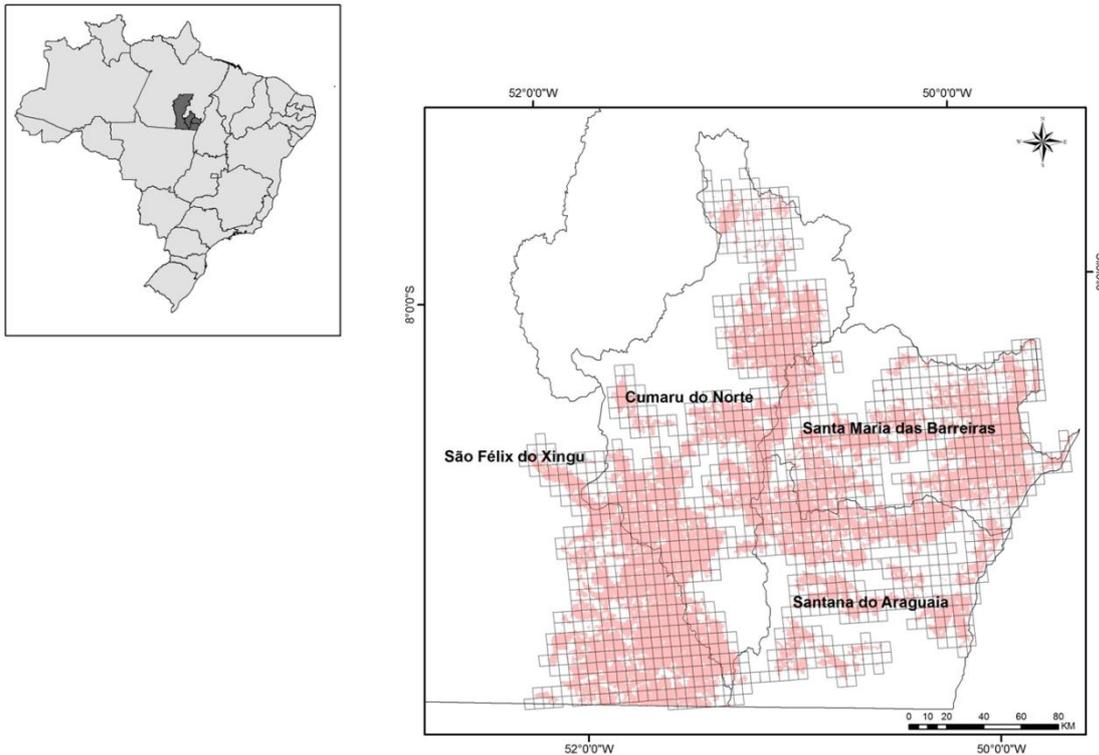


Figura 1 – Área de estudo no sudeste do Pará. Áreas em vermelho representam a área queimada acumulada em 2010.

3. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados de cobertura da terra obtidos do TerraClass 2010 com a finalidade de quantificar a proporção de cada variável em células de 5km x 5km. Os dados de cicatrizes de queimadas acumulados no ano de 2010 foram obtidos por meio do mapeamento de queimadas desenvolvido por Andere *et al* (2015).

As proporções das variáveis nas células foi calculada pela ferramenta *Intersect polygon/raster* disponível no aplicativo *Geospatial Modelling Environment*. Na figura 2 está a distribuição espacial das proporções calculadas para a variável dependente (queimada) e variáveis explicativas.

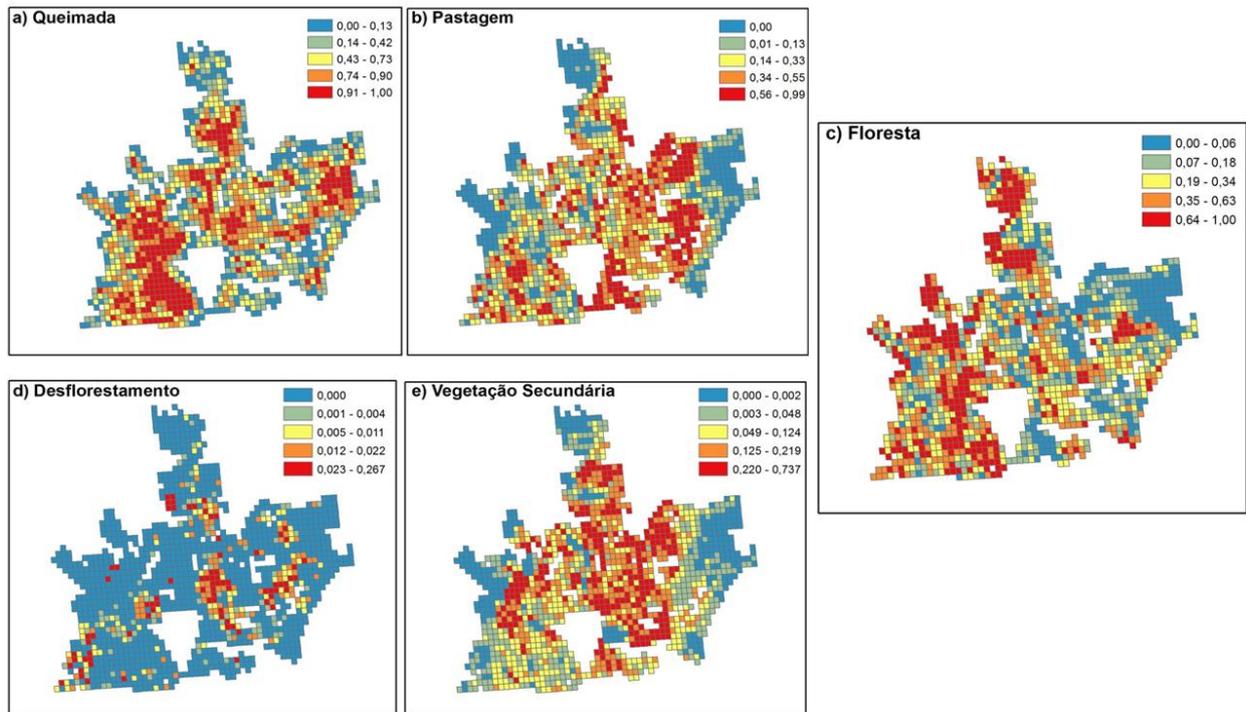


Figura 2 – Proporção das variáveis nas células de 5x5km.

3.2 Modelo de Regressão Linear Global

O objetivo da análise de regressão linear global é quantificar a relação linear entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, expressa pela Equação 1:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon \quad (1)$$

onde Y_i é a i -ésima observação da variável dependente, X_i é a i -ésima observação da variável independente, os parâmetros β_0 e β_1 são, respectivamente, o intercepto e a inclinação da reta, e a constante ε representa os erros, ou resíduos da estimativa do modelo (NETER et al., 1996).

No modelo de regressão linear simples assume-se que as observações não são correlacionadas, e que os resíduos do modelo também são independentes e não correlacionados com a variável dependente, além de apresentar variância constante e distribuição normal com média zero.

Neste trabalho a variável dependente é a proporção de queimadas e as variáveis explicativas são proporção de pastagem, floresta, não floresta, desflorestamento e vegetação secundária. Foram gerados modelos de regressão linear global da variável dependente com cada variável explicativa para analisar qual(is) variável(is) possuem mais poder explicativo localmente. A descrição das variáveis pode ser observada na tabela 1.

Variável	Premissa	Operação	Fonte
Queimada (independente)			Andere et al, 2015.
Floresta	Células com maior proporção de floresta tem menor proporção de área queimada.	Preenchimento de célula com a proporção da variável.	TerraClass 2010.
Pastagem	Células com maior proporção de pastagem tem maior proporção de área queimada.		
Vegetação secundária	Células com maior proporção de vegetação secundária tem maior proporção de área queimada.		
Desmatamento	Células com maior proporção de desmatamento tem maior proporção queimada.		

Tabela 1 – Descrição e premissas das variáveis utilizadas no estudo.

Por meio da análise dos resíduos é possível observar se o modelo de regressão satisfaz os pressupostos do modelo, como, por exemplo, a premissa da independência dos resíduos. No caso de dados espaciais, onde há dependência espacial entre as variáveis, o pressuposto de independência quase nunca é satisfeito. Assim, foi realizado o cálculo de índice de Moran I para resíduos para avaliar o grau de autocorrelação espacial dos resíduos. O índice de Moran quantifica o grau de autocorrelação espacial e seus valores variam de -1 a +1, onde -1 indica autocorrelação inversa, 0 indica aleatoriedade e +1 autocorrelação positiva.

Na tabela 2, é possível observar o *scatterplot* de Moran para os resíduos dos modelos de regressão linear global e seus respectivos valores do teste de Moran, no qual todos apresentaram autocorrelação espacial positiva.

Modelo	Scatterplot de Moran I
Quei~past	
Moran's I: 0,52	
Quei~flo	
Moran's I: 0,51	
Quei~desf	
Moran's I: 0,52	
Quei~vsec	
Moran's I: 0,52	
Quei~past+flo+desf+vsec	
Moran's I: 0,51	

Tabela 2 – Scatterplot de Moran dos resíduos da regressão linear.

3.3 Modelo de Regressão com Efeitos Espaciais Locais

A regressão geograficamente ponderada (*Geographically weighted regression* – GWR) ajusta um modelo de regressão linear a cada ponto observado, ponderando as demais em função da distância a esse ponto. Desse modo, as observações mais próximas do ponto onde foi ajustado o modelo de regressão local terão maior peso do que observações mais distantes, assim, são realizados tantos ajustes quantas observações existirem, resultando em um conjunto de parâmetros para cada ponto (DRUCK et al., 2004).

A modelagem por GWR apresenta melhor desempenho em relação aos modelos tradicionais de regressão e permite uma leitura diferenciada de seus coeficientes, contribuindo para agregação de novas interpretações do fenômeno analisado (NAKAYA, 2009).

Os resultados da GWR foram executados no pacote *Spatial Analyst* do aplicativo ArcInfo 10.1. Para a ponderação das observações foi utilizada a função gaussiana com largura de banda adaptativa. A largura de banda foi dinamicamente selecionada pelo algoritmo baseando-se no menor valor de Akaike Information Criterion – AICc, ou seja, a menor distância que abrangesse os vizinhos mais próximos para fazer a estimativa do modelo (GATTREL et al, 1996; DÓRIA, 2013).

Na tabela 3 estão os modelos gerados pela regressão linear (OLS) e regressão geograficamente ponderada (GWR). Foram gerados modelos com uma variável e um modelo com todas as variáveis. Com a finalidade de utilizar a GWR como uma ferramenta exploratória o modelo com todas as variáveis foi escolhido para discussão dos resultados.

Modelo	OLS		GWR	
	R ² ajustado	AICc	R ² ajustado	AICc
Quei~past	0,027	921,77	0,53	68,53
Quei~flo	0,025	922,60	0,56	12,33
Quei~desf	0,003	927,56	0,41	296,35
Quei~vsec	0,002	955,97	0,48	195,10
Quei~past+flo+desf+vsec	0,068	864,86	0,39	333,12

Tabela 3 – Resultados dos modelos de regressão linear e regressão geograficamente ponderada.

4. Resultados

O modelo escolhido para avaliar as relações entre a variável dependente e as independentes foi o modelo utilizando todas as variáveis, uma vez que o objetivo de utilizar a GWR era como uma ferramenta exploratória. Na figura 3 estão os resultados da GWR, no qual o R² (Figura 3a) apresenta o quão ajustado é o modelo, pode-se observar que as células com cores laranja e vermelho, na região mais central da área de estudo, apresentam os melhores ajustes.

Nas figuras 3b,c,d e f é possível observar os coeficientes angulares com cada variável independente. As regiões em tons avermelhados apresentam coeficientes angulares positivos, portanto, indicam que há uma relação direta entre as variáveis. Já os coeficientes angulares negativos, em tons azuis, representam uma relação inversa entre as variáveis. É possível observar padrões espaciais bem definidos, no qual as variáveis desflorestamento, vegetação secundária e, principalmente, floresta, apresentam relações mais diretas com a maior proporção de queimada em grande parte das células, já a pastagem apresenta uma relação inversa.

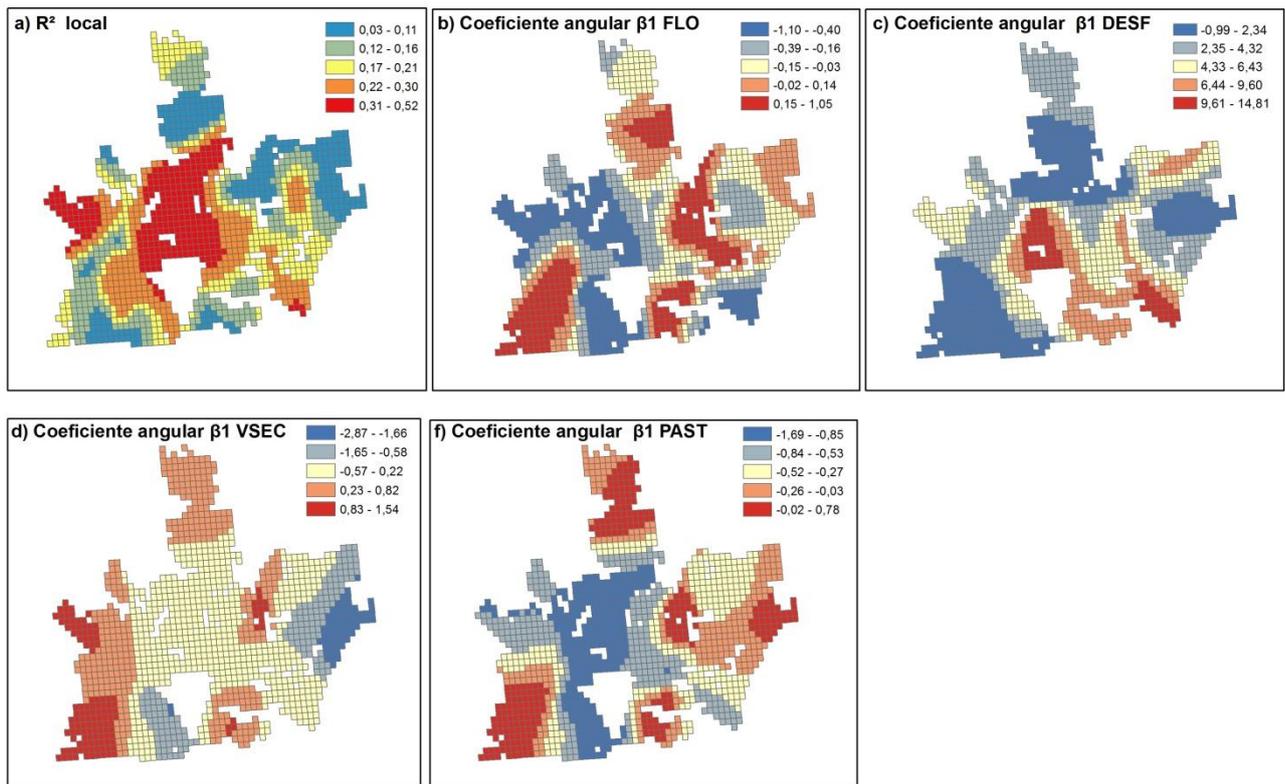


Figura 3 – Resultado da regressão geograficamente ponderada.

Os ruídos da GWR foram analisados e calculados os índices de Moran Global e Local para explorar a autocorrelação espacial existente. Ferramenta utilizada para esta finalidade fora o GeoDa (Anselin, Syabri e Kho 2006) e o resultado é apresentado na Figura 4, no qual a autocorrelação dos resíduos foi de 0.30, portanto, ainda apresenta algum padrão de autocorrelação espacial, porém com menor intensidade.

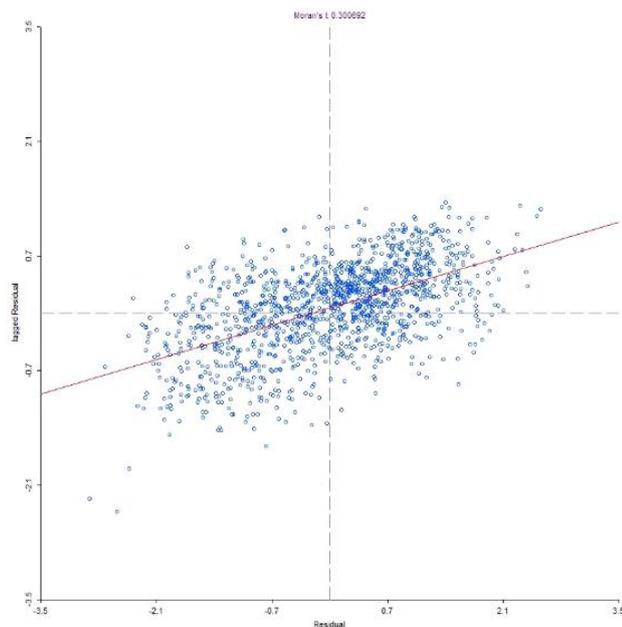


Figura 4 – Scatterplot de Moran para os resíduos da regressão geograficamente ponderada.

5. Considerações finais

Os modelos GWR com uma variável de proporção de queimada com pastagem e proporção de queimada com floresta apresentaram os melhores resultados de ajuste (r^2) em relação ao desmatamento e vegetação secundária. Entretanto, a finalidade do estudo foi realizar uma análise exploratória para verificar relações existentes entre todas as variáveis e identificar padrões espaciais, desse modo, foi utilizado um modelo GWR com múltiplas variáveis.

Os resultados demonstram que a pastagem apresentou relação inversa com a proporção de queimada em grande parte da área de estudo, refutando a premissa de que maior proporção de pastagem apresentaria maior proporção de queimada, uma vez que o uso de fogo para a limpeza do pasto é frequente. Entretanto, esse resultado poderia ser melhorado utilizando outras variáveis, como distância das áreas de pastagem.

REFERÊNCIAS

ANDERE, L.; ANDERSON, L. O.; DUARTE, V.; ARAI, E.; ARAGÃO, J. R. L.; ARAGÃO, L. E. O. C. Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais...São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3534-3541. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4BQA>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis**, v. 38, n. 1, p. 5–22, jan. 2006. ISSN 0016-7363. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>

ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, vol. 34, 2007.

ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian Forests with implications for REDD. **Science**, vol. 328, 2010.

COCHRANE, M.A. Fire Science for rainforests. **Nature**, vol. 421, 2003.

DÓRIA, V. E. M. **Avaliação Do Potencial Das Imagens De Luzes Do Viirs Em Estimar A População Urbana Da Região Metropolitana De São Paulo, Brasil**. São José dos Campos - SP, Brasil: [s.n.], 2013. 36 p. Disponível em: http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser3012013:alunos:doria_monoaedg_v1.pdf.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 186 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>.

GATRELL, A. C. et al. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 21, p. 256–274, 1996. ISSN 00202754.

LIMA, A.; SILVA, T. S. F.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FEITAS, R.; M. ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography** 34 (2012) P. 239-246.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. DE; OLIVEIRA, R. DE; CAMARGO, H.; ALVES, D. S.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, vol. 38, 2011.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; WERF, G. R. VAN DER. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, v.14, n. 10, p. 2262-2275, out. 2008.
NAKAYA, T. GWR4 User Manual. [S.l.], 2009. Disponível em: https://geodacenter.asu.edu/drupal_files/gwr/GWR4manual.pdf.