

## Extensão e distribuição de derrubadas por vento na Amazônia, associados a uma única linha de instabilidade em janeiro de 2005

Raquel Fernandes de Araujo<sup>1</sup>  
Bruce Walker Nelson<sup>1</sup>  
Jeffrey Quintin Chambers<sup>2</sup>  
Julia Valentim Tavares<sup>1</sup>  
Carlos Henrique Souza Celes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA  
Caixa Postal 69060-001 – Manaus – AM, Brasil  
veloziaeca@gmail.com  
bnelsonbr@gmail.com  
maya\_jvt@hotmail.com  
carlosceles@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Climate Sciences Department, Lawrence Berkeley National Laboratory,  
Berkeley, CA 94720, USA  
jchambers@lbl.gov

**Abstract.** A large number of blowdowns occurred in Amazonia in mid-January of 2005 when a squall line traversed 4.5 million km<sup>2</sup> of forest, propagating from SW to NE. This paper describes the spatial distribution of forest damage across Amazonia for that event, considering disturbance patches > ~3 ha in size. Damage was found to be highly concentrated near Manaus, not widespread. Nonetheless, blowdowns attributed to this single squall line contributed over half of all annual blowdown area detected in 30 samples across Amazonia for that year. Leaving a single Landsat scene out of the sample would cause a large difference in the estimate of total damage. **Methods:** In Landsat images, blowdowns associated with the January 2005 squall line exhibit a distinct geometry. They are either diffuse or have SW to NE directed lineaments. Thirty sample polygons were allocated across the Amazon region, each containing 15,000 km<sup>2</sup> of continuous forest. These were visually inspected at 1:80,000 scale in Landsat TM RGB images (bands 5-4-3) from the 2005 dry season. All blowdown footprints <~1y old and >~3 ha were recognized by spectral pattern and geometry. After linear spectral unmixing with CLASLite, the disturbed pixels were identified within each blowdown by a threshold of the pure vegetation fraction (<85%) then summed within each 15,000 km<sup>2</sup> sample. The percent of forest damaged and attributed to this single squall line was then interpolated between the 30 sample centroids.

**Palavras-chave:** *blowdowns*, Amazônia Central, linha de instabilidade, Central Amazonia, squall line.

### 1. Introdução

Um *downburst* é uma forte corrente de ar descendente que induz uma explosão de ventos fortes no chão ou próximo a ele (Fujita, 1985). Segundo Nelson *et al.* (1994), *blowdowns* ou *downbursts* são descritos como perturbações naturais causadas por tempestades de vento convectivas que atravessam a região amazônica. Os autores descreveram e quantificaram pela primeira vez a ocorrência desse fenômeno na Amazônia brasileira utilizando imagens do satélite Landsat 5, sensor TM.

Ainda segundo Nelson *et al.* (1994), os *blowdowns* são reconhecidos pelo formato de leque e padrão espectral típico de vegetação não-fotossinteticamente ativa quando recentes e padrão espectral típico de floresta secundária quando esta oculta as árvores caídas. O

encobrimento ocorre após ~1 ano (Negrón-Juárez *et al.*, 2011). Os *blowdowns* na Amazônia são maiores e mais frequentes em uma faixa norte-sul que se estende da Venezuela até os estados do Acre e Rondônia no Brasil, provavelmente devido à formação de linhas de instabilidade no litoral atlântico durante a tarde. Estas transitam pela Amazônia oriental durante a noite e aumentam sua atividade convectiva na tarde do segundo dia, quando alcançam Amazônia central e ocidental (Garstang *et al.*, 1998).

Com a análise de 27 imagens Landsat ETM+ da região Amazônica, no período de 1999 a 2001, Espírito-Santo *et al.* (2010) também verificaram que a ocorrência de *blowdowns* não é uniforme. Muitos agrupamentos foram detectados na porção oeste da Amazônia (58°00'W e 66°49'W) enquanto que na porção oriental (51°51'W a 58°00'W) foram infreqüentes. Foram mapeadas 279 manchas de perturbação por vento > 5 ha, totalizando uma área de 21.931 ha. A maior mancha apresentou 2.223 ha.

Segundo Negrón-Juárez *et al.* (2010), nos dias 16 a 18 de janeiro de 2005 uma linha de instabilidade (*squall line*) atípica propagou do sudoeste para o nordeste da Amazônia, afetando uma área de  $4,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> de floresta. A linha de instabilidade provocou velocidades de vento de 26 a 41 m/s. O distúrbio produzido pela linha de instabilidade dentro dos 13.200 km<sup>2</sup> de floresta da cena Landsat de Manaus (órbita-ponto 231/062) abrangeu uma área de 2.668 ha e causou a morte de  $320 \pm 0,05$  mil árvores.

As manchas de dano observadas em imagens Landsat da região de Manaus, obtidas na estação seca de 2005, exibiram um padrão geométrico difuso ou com poucos lineamentos orientados SO/NE. Linhas de instabilidade que se propagam de SO para NE são raras na Amazônia (Negrón-Juárez *et al.*, 2010). O formato difuso é também raro em outros anos. Esta assinatura geométrica é diferente dos *blowdowns* associados com linhas de instabilidade que propagam de leste para oeste, que possuem forma predominante de leque (Nelson *et al.* 1994; Espírito-Santo *et al.* 2010).

Presumindo que os *blowdowns* com padrão geométrico difuso são relacionados à linha de instabilidade de janeiro de 2005, o objetivo desse trabalho é (1) verificar se a área de dano provocada por este tipo de *blowdown* está homogênea distribuída na região amazônica e (2) determinar se este evento foi a causa predominante de todos os *blowdowns* >~3 ha ocorridos naquele ano.

## 2. Metodologia

Para responder às perguntas acima, os *blowdowns* ocorridos durante o ano de 2005 foram identificados em imagens Landsat e classificados visualmente quanto a seu padrão geométrico e orientação do vento. A área de dano de cada *blowdown* foi posteriormente calculada. Para isso, foram selecionadas 30 amostras de 15.000 km<sup>2</sup> de floresta contínua (Figura 1) espalhadas regularmente dentro da área de  $4,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> transitada pela linha de instabilidade em janeiro de 2005 (Negrón-Juárez *et al.*, 2010, figura s7). Na delimitação das regiões foram excluídas áreas antropizadas e áreas de várzeas extensas, identificadas com a máscara de áreas alagadas da Amazônia Central ([http://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds\\_id=1049](http://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1049)). A vegetação predominante da área analisada é a Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1992).

As cenas Landsat TM5 do ano de 2005 selecionadas foram adquiridas do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS GLOVIS) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para cada imagem foi feita uma composição colorida RGB 543 com ampliação de contraste. Os polígonos de 15 mil km<sup>2</sup> de floresta foram delimitados e sobre eles foi plotada uma grade de 10 x 10 km.

Em cada polígono foi feita uma inspeção visual, analisando cada quadrado da grade em uma escala de 1:80.000. Os *blowdowns* que ocorreram nos 12 meses anteriores à data de cada imagem de 2005 foram reconhecidos pelo seu padrão espectral e pela sua forma geométrica.

A coloração vermelha ou magenta indica um *blowdown* com até 1 ano de idade (Negrón-Juárez *et al.*, 2011). Foram considerados apenas os *blowdowns* que incluem pelo menos 33 *pixels* de dano (>~3 ha).

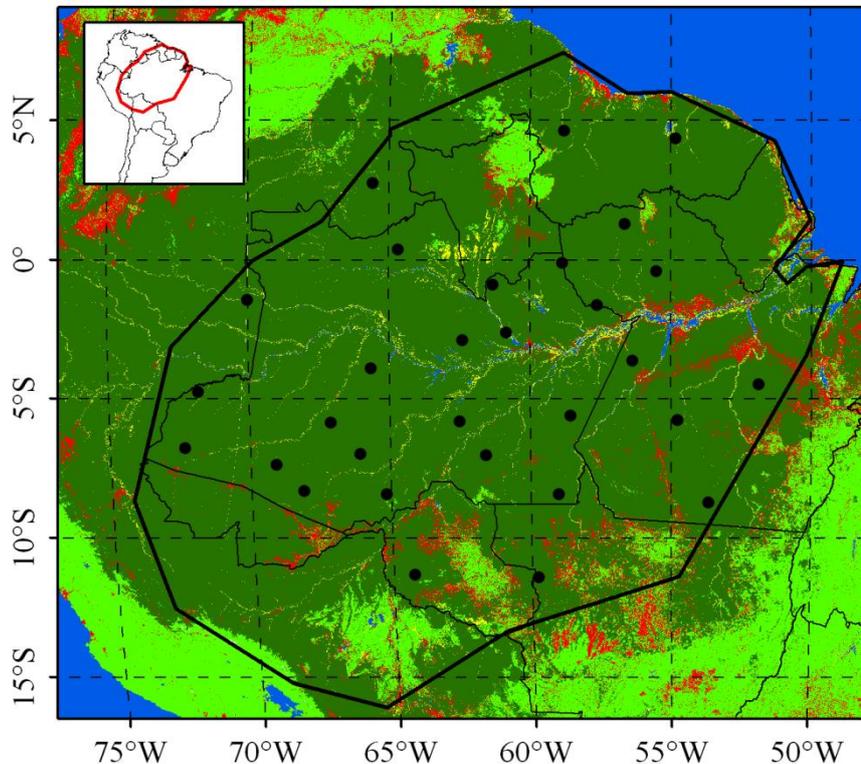


Figura 1. Mapa de localização das 30 áreas de 15 mil km<sup>2</sup> analisadas (pontos pretos). A linha preta espessa corresponde à área de  $4,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> de floresta afetada pela linha de instabilidade de janeiro de 2005.

Cada *blowdown* contendo pelo menos 33 *pixels* de dano foi circunscrito por um polígono em um arquivo *shapefile* contendo na sua tabela seis classes de padrão geométrico dos *blowdowns*. São elas: (1) em leque com lineamentos que não são provenientes do sudoeste (LEQUE); (2) em leque com lineamentos que são provenientes do sudoeste (LEQUE\_SO); (3) difusos, não possuindo lineamentos (DIFUSO); (4) com lineamentos provenientes de outras direções que não do sudoeste (LINEAMENTOS\_NAO\_SO); (5) com lineamentos provenientes do sudoeste ou nordeste (LINEAMENTOS\_SO\_NE) e (6) indefinidos, com tamanhos pequenos, não sendo possível definir seu padrão geométrico (INDEFINIDOS).

Para o cálculo da área dos *blowdowns*, as imagens Landsat TM5 foram corrigidas atmosféricamente pelo modelo 6S e convertidas para reflectância utilizando o *software CLASlite v.2* (Asner *et al.*, 2009). No mesmo *software* foi feito o modelo de mistura linear, obtendo imagens fração de solo, de vegetação pura e de vegetação não-fotossintetizante (NPV). Para a classificação dos *pixels* de dano dentro do polígono que circunscribe cada *blowdown*, foi estabelecido um limiar da fração vegetação variando de menor ou igual a 83% à menor ou igual a 85% e fração solo menor ou igual a 5%.

O limiar da fração solo serve como máscara de nuvens, pois a tonalidade clara das nuvens em todas as bandas é interpretada como alta fração de solo. Em áreas sem nuvens, as frações de solo e NPV são afetadas pela variação na iluminação associada com a topografia. A fração vegetação não inclui este artefato, sendo portanto escolhida para detectar os *pixels* de dano.

A partir da imagem *booleana* resultante da classificação, foram calculadas as áreas de dano para cada *blowdown*. O limiar da fração de vegetação foi escolhido para tornar este

método comparável com aquele empregado por Negrón-Juárez *et al.* (2010). Esta calibração foi realizada na imagem de Manaus de 29 de julho de 2005, onde o limiar de <85% de vegetação pura isolou uma área similar aos 2.668 ha de dano identificados na mesma imagem no estudo anterior.

Os *blowdowns* com padrão geométrico DIFUSO foram atribuídos à linha de instabilidade de janeiro de 2005 em uma estimativa conservadora (Grupo A). Os *blowdowns* das classes LEQUE\_SO, LINEAMENTOS\_SO\_NE e INDEFINIDOS foram atribuídos à linha de instabilidade de janeiro de 2005 em uma estimativa abrangente (Grupo B), pois estes podem ser também causados por ventos provenientes do sudoeste. As classes LEQUE e LINEAMENTOS\_NAO\_SO foram atribuídas a outros ventos que ocorreram em 2005 (Grupo C).

A porcentagem de dano causada pelos *blowdowns* em cada amostra de 15.000 km<sup>2</sup> de floresta foi calculada para cada grupo, A, B e C. Esta porcentagem foi atribuída ao centróide de cada amostra. Foram geradas duas superfícies (uma para o grupo A e outra para o grupo A+B) do atributo “porcentagem de floresta que sofreu dano pela linha de instabilidade de janeiro de 2005”. Os valores dos pixels foram interpolados usando a média ponderada pelo inverso da distância ao quadrado (IDW). A interpolação incluiu até 12 centróides mais próximos de cada pixel estimado dentro de um raio de 1.000 km.

### 3. Resultados e Discussão

Das 30 áreas analisadas foram encontrados *blowdowns* com padrão geométrico do tipo difuso (Grupo A) em apenas sete delas. O dano provocado esteve concentrado na região da Amazônia Central (Figura 2a). A porcentagem de dano decorrente dos *blowdowns* do grupo A variou de 0 a aproximadamente 0,16%. O maior valor ocorreu na amostra alocada na região de Manaus, com 2.378 ha de floresta afetadas por este grupo. Isto corresponde a 39% de todo o dano detectado.

As classes do grupo B também podem ser atribuídas à linha de instabilidade de janeiro de 2005. Este grupo, porém, acrescentou pouca área de dano (Figura 2b). Os *blowdowns* ocasionados pela linha de instabilidade de janeiro de 2005 ainda assim permaneceram concentrados na região da Amazônia Central.

No trabalho de Negrón-Juárez *et al.* (2010), a porcentagem de dano encontrada na região de Manaus (0,2% da área florestal) foi extrapolada homogeneamente para toda a região de 4,5 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> de floresta transitada pela linha de instabilidade em três dias em janeiro de 2005. Esta extrapolação foi justificada pela observação de danos tidos como similares àqueles perto de Manaus, em outras 35 imagens Landsat do ano 2005 (Negrón-Juárez *et al.* 2010, figura s7). Ainda é possível que parte do dano da linha de instabilidade de janeiro de 2005 ocorreu longe de Manaus em cenas Landsat que não foram incluídas nas 30 amostras do presente estudo. No entanto, a extrapolação homogênea não encontra respaldo. Ela acarretou em uma superestimativa da mortalidade provocada pelo fenômeno.

Por outro lado, aqui se confirma que uma única linha de instabilidade pode causar grande parte das manchas de dano por vento >~3 ha, que ocorrem na Amazônia durante um ano. Os *blowdowns* atribuídos ao evento de janeiro de 2005 foram responsáveis por mais da metade da área de dano naquele ano, dentro das 30 amostras de floresta (Tabela 1). Se somente o grupo A for atribuído ao evento de janeiro, este contribuiu com 60% do total de área afetada. Se o grupo B também for atribuído, a contribuição é de 73%.

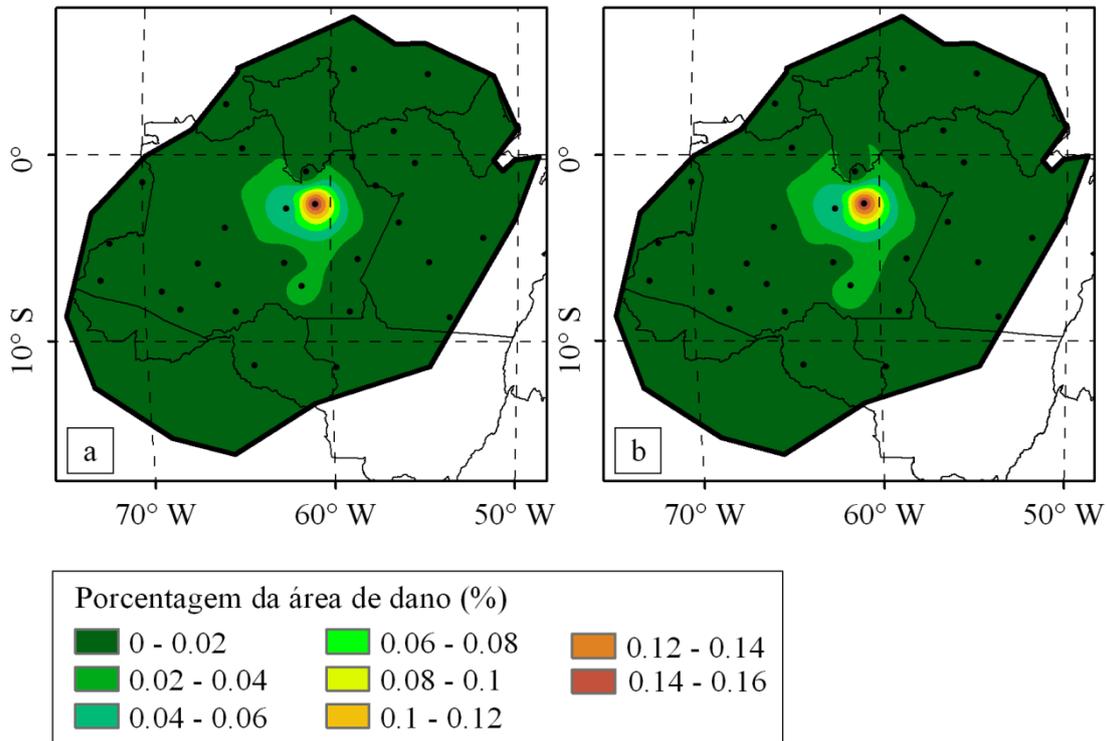


Figura 2. Dano florestal (%) ocasionado pelos *blowdowns* com área acima de 3 ha do grupo A (a) e dos grupos A e B juntos (b). A área de trânsito da linha de instabilidade de janeiro de 2005 é delimitada pelo polígono maior.

Tabela 1. Área total de dano para os *blowdowns* com área acima de 3 ha dos grupos A, B e C ocorridos em 2005 em hectares (ha) e suas respectivas porcentagens.

| Grupos | Área total de dano por classe (ha) | Porcentagem da área total de dano por classe (%) |
|--------|------------------------------------|--|
| A      | 3718                               | 60.2   |
| B      | 769                                | 12.5   |
| C      | 1688                               | 27.3   |
| Total  | 6175                               | 100%   |

#### 4. Conclusões

Considerando as 30 amostras de 15.000 km<sup>2</sup> de floresta, os *blowdowns* com área acima de 3 ha, atribuídos à linha de instabilidade de janeiro de 2005, contribuíram com mais da metade da área de *blowdowns* detectados naquele ano. Este dano foi altamente concentrado no espaço, tendo uma única amostra contribuído com 39% de todo dano encontrado. Isto sugere que estimativas de fluxos de carbono associados com os danos por ventos convectivos do ano 2005 serão confiáveis apenas se baseados em levantamento *wall-to-wall* de todas as cenas Landsat. As clareiras menores causadas por vento e não detectados por imagens Landsat são muito mais abundantes (Fisher *et al.*, 2008). Se estas também tiveram uma distribuição altamente heterogênea haverá implicações importantes para a estimativa de fluxo líquido de carbono nas poucas parcelas permanentes de inventário florestal estabelecidas na Amazônia.

## Agradecimentos

À Capes, instituição financiadora. Ao INPE e USGS pelas imagens Landsat. À Instituição Carnegie de Washington pelo uso de CLASLite, um aplicativo desenvolvido com o apoio das Fundações Gordon & Betty Moore e John D. & Catherine T. MacArthur.

## Referências Bibliográficas

- Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Balaji, A.; Páez-Acosta, G. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASLite. **Journal of Applied Remote Sensing**, vol. 3, 2009.
- Espírito-Santo, F.D.B.; Keller, M.; Braswell, B.; Nelson, B.W.; Frohling, S.; Vicente, G. 2010. Storm intensity and old-growth forest disturbances in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, 37: L11403.
- Fisher, J.I.; Hurtt, G.C.; Thomas, R.Q.; Chambers, J.Q. 2008. Clustered disturbances lead to bias in large-scale estimates based on forest sample plots. **Ecology Letters**, 11: 554–563.
- Fujita, T.T. 1985. **The Downburst: Microburst and Macrobust**. Satellite and Mesometeorology Research Project (SMRP), University of Chicago, Chicago, Illinois, USA.
- Garstang, M.; White, S.; Shugart, H.H.; Halverson, J. 1998. Convective clouds downdrafts as the cause of large blowdowns in the Amazon Rainforest. **Meteorol. Atmos. Phys.**, 67: 199-212.
- IBGE, 1992. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. n.1. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, RJ. 92 p.
- Negrón-Juárez, R.I.; Chambers, J.Q.; Marra, D.M.; Ribeiro, G.H.P.M.; Rifai, S.W.; Higuchi, N.; Roberts D. 2011. Detection of subpixel treefall gaps with Landsat imagery in Central Amazon forests. **Remote Sensing of Environment**, 115: 3322–3328
- Negrón-Juárez, R.I.; Chambers, J.Q.; Guimarães, G.; Zeng, H.; Raupp, C.F.M.; Marra, D.M.; Ribeiro, G.H.P.M.; Saatchi, S.S.; Nelson, B.W.; Higuchi, N. 2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin squall line event. **Geophysical Research Letters**, 37: 1-14.
- Nelson, B. W.; Kapos, V.; Adams, J.B.; Oliveira, W.J.; Braun, O.P.G.; Amaral, I.L. 1994. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. **Ecology**, 75(3): 853-858.