

# EXPERIMENTO DE VALIDAÇÃO EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE MONITORAMENTO DE ÁREA QUEIMADA

Alice dos Santos Macedo<sup>1</sup>, Marcos Adami<sup>2</sup>, Fabiano Morelli<sup>3</sup>, Thales Sehn Körting<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

<sup>1</sup>alice.santos@inpe.br; <sup>2</sup>marcos.adami@inpe.br; <sup>3</sup>fabiano.morelli@inpe.br; <sup>4</sup>thales.korting@inpe.br

## RESUMO

Este trabalho mostra o andamento dos experimentos preliminares de relacionados à validação de produtos de área queimada. As etapas aqui mostradas são seleção de área amostral, determinação do tamanho e alocação da amostra para classes de cicatrizes de queimada. Os resultados obtidos apontam para a influência de uma adequada escolha dos parâmetros sobre as respostas no tamanho e alocação da amostra validada.

**Palavras-chave** — Validação, área queimada, sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

*This work presents preliminary results of validation techniques for the burned area mapping. The steps were: sample area selection, sample size determination and sample allocation to burned area classes. As the main results we observed how the choice of parameters affects the answers in the size and allocation of the sample of the area to be validated.*

**Key words** — Validation, burned area, remote sensing.

## 1. INTRODUÇÃO

Em sensoriamento remoto, validações são usadas para determinar de forma quantitativa a habilidade de um produto obtido a partir do espaço em descrever um dado parâmetro geofísico, medido por meios independentes. Uma das importâncias em validar produtos de satélites se deve ao fator de que, informações quantitativas sobre a qualidade do produto, são fundamentais para diferentes usuários [1] e [2]. Os usuários e produtores destes mapas têm foco em comunicar e entender a qualidade dos mesmos, sustentando a confiança na informação gerada, permitindo inferir sobre os resultados e replicar tanto para atividades científicas quanto para geração de políticas. Além disto, se os mapas serão utilizados para realizar inferências estatísticas, os mesmos devem passar por um processo de validação [2].

Usualmente a validação de áreas queimadas baseia-se em medidas realizadas *in situ*, obtidas durante campanhas de campo e que são consideradas como verdades. Entretanto, a

validação de estimativas de área queimada por meio da comparação direta com medidas de campo apresenta dificuldades, relacionadas não só com a larga extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Neste sentido, torna-se necessário que informações *in situ* acerca das áreas queimadas sejam obtidas simultaneamente, ou no máximo após alguns dias/semanas da ocorrência do fogo, em locais de livre acesso. Informações com estas características nem sempre estão disponíveis, devido ao alto custo envolvido. Um exemplo disto foi o mapeamento da cicatriz de queimada de 171,062 ha na Terra Indígena do Kadiwéu, situada no Mato Grosso do Sul (MS), ao final da operação ocorrida de 12 a 30/08/2010 (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/ciman/operacao/138>).

Na ausência de dados *in situ*, uma forma possível de solucionar o problema consiste na comparação visual e estatística com informações de satélites de alta resolução espacial, que permitem observar a superfície terrestre com o detalhamento adequado [1] e [3]. Apesar de permitirem ampla análise da cobertura espacial da área de interesse, os processos de mapeamento a partir de sensoriamento remoto podem conter erros sobre as áreas calculadas, por exemplo na contagem de pixels, e estão potencialmente sujeitos a viés. As principais etapas e métodos que são necessários para a avaliação de precisão de um mapa de mudança da cobertura da terra e para estimar a área de mudança, por meio de sensoriamento remoto estão sintetizadas em [4].

Este trabalho tem por objetivo apresentar os primeiros resultados da aplicação das recomendações para validação de áreas queimadas, seguindo as recomendações sugeridas por [4]. Os procedimentos aqui discutidos baseiam-se nas etapas de seleção de painel amostral, determinação do tamanho amostral e alocação da amostra para dados de cicatrizes de queimada, do satélite Landsat-8, durante o período da operação Kadiwéu, ocorrida de 12 a 30/08/2021, na reserva indígena Kadiwéu, situada no Mato Grosso do Sul (MS) e que foi iniciada após a detecção de focos de calor.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Painel amostral

O painel amostral é um protocolo seguido para amostrar uma região de interesse (ROI – *region of interest*). O subconjunto de unidades espaciais (por exemplo: pixels ou polígonos), formarão a base da avaliação de precisão. Dentre os critérios desejáveis em um painel amostral, tem-se de levar em conta: a facilidade e praticidade de implementação, o custo-benefício e a distribuição espacial representativa da ROI.

As boas práticas recomendam o uso da amostragem aleatória estratificada, como um painel prático que satisfaz os objetivos básicos de avaliação de precisão. Esta metodologia é familiar à comunidade de sensoriamento remoto e inclui a maioria dos critérios desejáveis de painel amostral [4], [5], [6] e [7]. Este tipo de método oferece a opção de aumentar o tamanho da amostra em classes que ocupam uma pequena proporção da área, para reduzir os erros padrão das estimativas de precisão específicas para essas classes raras. Assim, este painel aborda o objetivo principal de estimar a precisão específica da classe. Com relação aos critérios desejáveis, a amostragem aleatória estratificada é um painel de amostragem probabilística e um dos mais fáceis de implementar.

A ROI do presente estudo é o bioma cerrado e o subconjunto escolhido é a reserva indígena Kadiwéu, situada no estado do Mato Grosso do Sul (MS). Foi estudado o período da operação ocorrida entre 12/08/2021 e 30/08/2021 (<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/ciman/operacao/138>).

### 2.1.1. Imagens utilizadas nos experimentos

Foram selecionadas cicatrizes de queimadas obtidas a partir da interpretação de imagens do satélite Landsat-8, sobre área da reserva Kadiwéu, as quais contemplam as órbitas- pontos 226/74 e 226/75. Parte da área da reserva, que não contemplou a passagem de órbita-ponto, foi excluída.

A resolução espacial do satélite Landsat-8 é de 30m e a resolução temporal é de 16 dias, podendo haver datas sem informação devido a cobertura de nuvens ou falha no imageamento. As datas dos dados de cicatriz, mais próximas à operação foram: 07/08, 23/08 e 24/09, sendo apenas o 23/08 concomitante com o período da operação Kadiwéu.

As informações de cicatriz utilizadas foram unidas em um arquivo único, dentro da área do polígono da reserva indígena Kadiwéu (Figura 1a).

## 2.2. Determinação do tamanho da amostra

Na determinação do tamanho da amostra, define-se a quantidade pontos serão usados para validar um produto de sensoriamento remoto.

### 2.2.1. Parâmetros para determinação do tamanho amostral

A determinação do tamanho amostral é uma ciência inexata e uma etapa especulativa, a priori, dependente das informações

de área e precisão [4]. Esta etapa tem objetivo de fornecer *insights* antes que se defina a melhor escolha do tamanho da amostra e da alocação por estratos.

A Equação 1 mostra a os parâmetros para determinação do tamanho de uma amostra aleatória estratificada ( $n$ ) e refere-se à Equação 13 de [4].  $W_i$ , é a proporção de área mapeada para cada classe determinada no estudo.  $S_i$  é o desvio padrão por estrato, e é obtido por  $\sqrt{U_i(1-U_i)}$ . Onde  $U_i$ , é a precisão do usuário, que representa a estimativa do erro por classe e leva em conta o quanto valores altos de precisão podem reduzir o tamanho da amostra.  $S(\hat{O})$  é o erro padrão estimado da precisão geral e representa quanto as amostras do sorteio podem ser enviesadas.

Na determinação de uma amostra aleatória estratificada, é uma possibilidade determinar diferentes  $U_i$  para cada classe. Sabe-se, por exemplo, que áreas de mudança de cobertura solo tendem a apresentar mais erros de inclusão do que áreas estáveis e, neste caso, pode-se determinar  $U_i$  com maior precisão para áreas estáveis do que as demais [8] e [9].

Uma base de dados contendo o tamanho amostral em função da variação de  $S(\hat{O})$  e  $U_i$  foi elaborada a fim de mostrar a medida de impacto dos parâmetros sob o tamanho da amostra (Tabela 1).

### Equação 1. Tamanho amostral

$$n = \left( \frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right)^2$$

## 2.3. Alocação da amostra

Na etapa de alocação da amostra, define-se o número de pontos da amostra que serão destinados a cada classe  $n_i$ . Recomenda três formas de alocação [4]: a alocação ótima (Equação 2) e duas formas de alocação de poder (Equação 3) considerando  $a=1/2$  e  $a=1/3$ , baseadas na Equação 14 e Equação 19, respectivamente, de [10]. O resultado de cada alocação por classe pode ser visualizado na Figura 1 Figura 1b.

### Equação 2. Alocação ótima

$$n_i = n \frac{h a_i \sqrt{U_i Q_i}}{\sum_{i=1}^2 h a_i \sqrt{U_i Q_i}}$$

### Equação 3. Alocação de poder

$$n_i = n \frac{h a_i^a \sqrt{(1-U_i)/U_i}}{\sum_{i=1}^2 h a_i \sqrt{(1-U_i)/U_i}}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, uma base de dados mostra o impacto da variação do tamanho amostral em função da variação de  $S(\hat{O})$  e  $U_i$ . Observa-se que quanto menor o erro de precisão do geral e menor o erro do usuário, maior o tamanho amostral.

Considerando-se os parâmetros que devem ser levados em conta para definir o tamanho da amostra, selecionou-se a amostra de 300 pontos, em que o  $S(\hat{O})$  é igual a 2,5% e o  $U_i$  é igual a 0,75 (Tabela 1).

Para a alocação da amostra, considerou-se que alocação ótima (Equação 2) dedicou poucos pontos às classes de menor área, tornando pouca a sua representatividade. O resultado das estratificações por alocações de poder (Equação 3) foi escolhido para dar continuidade ao trabalho, sendo a que considera  $a=1/2$ , a apresentada nos resultados deste trabalho (Tabela 2).

Amostra de 300 pontos, devido a perdas por arredondamento, totalizam 299 pontos na etapa de estratificação. A distribuição por classe, pode ser visualizada na Figura 1b.

		$U_i$							
		0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
$S(\hat{O})$	1%	2400	2275	2100	1875	1600	1275	900	475
	1,5%	1067	1011	933	833	711	567	400	211
	2%	600	569	525	469	400	319	225	119
	2,5%	384	364	336	300	256	204	144	76
	3%	267	253	233	208	178	142	100	53
	3,5%	196	186	171	153	131	104	73	39
	4%	150	142	131	117	100	80	56	30
	4,5%	119	112	104	93	79	63	44	23
	5%	96	91	84	75	64	51	36	19

Tabela 1. Variação do  $n$  em função do  $S(\hat{O})$  e do  $U_i$ .

Classes,	$h_a$	$W_i$	$n = 299$			
			Alocação ótima	Alocação de poder		
				$a = 1/3$	$a = 1/2$	
Não queimada	10	6445409	0,771	231	134	164
Queimada	19	151104	0,018	5	38	25
	35	1541303	0,184	55	83	80
	67	219388	0,026	8	44	30
Total		8357204	1	299	299	299

Tabela 2. Proporções e alocações

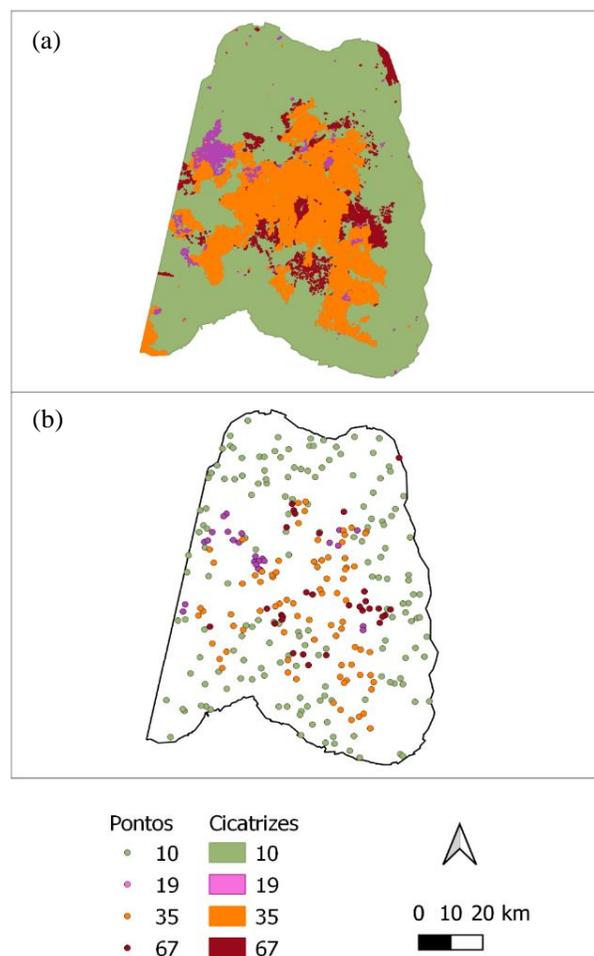


Figura 1. Classes: (a) Cicatrizes (b) Pontos.

### 4. CONCLUSÕES

O estudo cauteloso e preliminar, sobre a determinação do tamanho e alocação das amostras por classe é fundamental para a boa representatividade das áreas envolvidas, bem como para o sucesso nas etapas seguintes. O tamanho da amostra e o custo de obtenção sempre devem ser levados em conta. Quando a validação de área queimada é feita *in situ*, é necessário considerar o custo gerado para deslocar e manter o profissional no local de validação durante a execução das medições. Quando a validação de área queimada é realizada por sorteio de pontos amostrais, deve-se levar em conta o custo do profissional que está verificando, no sentido de tempo para execução da atividade e experiência que o mesmo possui. Para trabalhos futuros, estão sendo feitas avaliações visuais para verificar a precisão do método.

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] Miranda, V.; Rodrigues, J.; Santos, F.; Setzer, A.; Libonati, R. Validação do produto de área queimada mensal 1km (MODIS), *Seminário de iniciação científica e iniciação em desenvolvimento tecnológico e inovação – SICINPE*, páginas (pp. 106), 2017.
- [2] Ronald E. McRoberts. Satellite image-based maps: Scientific inference or pretty pictures. *Remote Sensing of Environment*, volume (v. 115), páginas (p. 715-724), 2011.
- [3] Adami, M., Mello, M.P., Aguiar, D.A., Rudorff, B.F.T., Souza, A.F.d. A Web Platform Development to Perform Thematic Accuracy Assessment of Sugarcane Mapping in South-Central Brazil. *Remote Sensing*, volume (v.4), páginas (pp. 3201-3214), 2012.
- [4] Olofsson, P.; Foody G. M.; Herold, M.; Stehman S. V.; Woodcock, C. E.; Wulder, M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*. volume (v. 148), páginas (pp. 42–57), 2014.
- [5] Cakir, H. I., Khorram, S., & Nelson, S. A.C. Correspondence analysis for detecting land cover change. *Remote Sensing of Environment*, volume (v. 102), páginas (pp. 306–317), 2006.
- [6] Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., & Vogelmann, J. E. An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, volume (v. 114), páginas (pp. 183–198), 2006.
- [7] Mayaux, P.; Eva, H.; Gallego, J.; Strahler, A. H.; Herold, M.; Agrawal, S. et al. Validation of the Global Land Cover 2000 map. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume (v. 44), páginas (pp. 1728–1739), 2006.
- [8] Olofsson, P.; Kuemmerle, T.; Griffiths, P.; Knorn, J.; Baccini, A.; Gancz, V.; Blujdea, V.; Houghton, R. A.; Abrudan, I.V.; Woodcock, C.E. Carbon implications of forest restitution in post-socialist Romania. *Environmental Research Letters*, volume (v.6), 2011.
- [9] Olofsson, P., Torchinava, P., Woodcock, C. E., Baccini, A., Houghton, R. A., Ozdogan, M., et al. (2010). Implications of land use change on the national terrestrial carbon budget of Georgia. *Carbon Balance and Management*, 2010.
- [10] Stehman, S. V. Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sensing Letters*, volume (v. 3), páginas (pp. 111–120), 2012.