

O SEMI-ARIDO BRASILEIRO DELIMITADO POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

Paulo Roberto Martini¹, Valdete Duarte¹, Egidio Arai¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos astronautas, 1758 - 12227-010, São José dos Campos - SP, Brasil
{paulo.martini, valdete.duarte, egidio.arai}@inpe.br

RESUMO

Este artigo descreve as etapas de trabalho seguidas para a delimitação da região através de Sensoriamento Remoto Orbital. São destacadas as imagens usadas, o processamento nelas aplicado, a metodologia desenvolvida e os principais resultados obtidos. Estes realçam o zoneamento da cobertura vegetal em 3 categorias: vegetação verde, vegetação seca e vegetação intermediária. Este zoneamento foi avaliado sazonalmente seguindo os picos máximos de chuvas e de secas dos anos 2000, 2010, 2020 e 2021. Foi possível definir então um “core” perenemente seco que poderia ser entendido como o verdadeiro Bioma Caatinga. Verificou-se também que este núcleo se expande nos períodos mais úmidos permitindo então se definir uma área máxima de Caatinga. Foi observado que ao longo dos anos o domínio interno ou “core” de secura mais intensa tem sofrido uma deriva ou mesmo um avanço. A confirmação destes importantes aspectos depende ainda de uma verificação em campo. A recomendação é que estes novos procedimentos com base nos atributos espectro-sazonais sejam inseridos nas próximas forças de trabalho que envolvam a delimitação do Semi-árido Brasileiro.

Palavras-chave — Semi-árido, Sensoriamento Remoto, MODIS.

ABSTRACT

The article describes the working steps followed to outline the Brazilian Semi-arid through Satellite Remote Sensing. Emphasis are directed to the kind of images, procedures, methodology of image analysis, and the main results that were obtained. The results enhance the zoning of vegetation coverages which lie within three themes: green vegetation, dry vegetation and dry-to-green vegetation. The zoning was evaluated seasonally following the peaks of rain/lack of rain of the wet and the dry seasons of 2000, 2010, 2020 and 2021. A deeply dry and perennial “core” was recognized which indicated the true-minimum limit of Bioma Caatinga. The “core” expands along the rainy seasons allowing to define a maximum limit as well. It was also perceived that through the years all themes of low-dry coverages are drifting and even growing. This perception must be supplied by field observations and checking. Recommendation is for these new procedures need to be adopted for the next

coming task-forces that get involved with the limits of the Brazilian Semi-arid.

Key words — Semi-arid, Remote Sensing, MODIS.

1. INTRODUÇÃO

A região semi-árida brasileira tem sido delimitada ao longo dos anos por métodos extremamente válidos e coerentes envolvendo indicadores climáticos medidos por estações em terra e satélites meteorológicos. Estes dados tem sido nos últimos anos tratados por artifícios de geoprocessamento com as generalizações normalmente associadas.

A delimitação válida para o quadriênio 2021-20125 incluiu como um adendo o uso de metodologias alternativas com base em Sensoriamento Remoto Orbital. Este adendo foi obra das autoridades científicas do INPE que vislumbraram um atalho eficiente e somador ao conjunto da obra que envolve a delimitação de área sensível do Brasil.

Este artigo descreve as etapas de trabalho envolvidas na atividade destacando as imagens usadas, o processamento nelas aplicado, a metodologia desenvolvida e os principais resultados obtidos. Estes realçam o zoneamento da cobertura vegetal em 3 categorias: vegetação verde, vegetação seca e vegetação verde-médio. Este zoneamento foi avaliado sazonalmente seguindo os picos máximos de chuvas e de secas dos anos 2000, 2010, 2020 e 2021. Foi possível definir então um “core” perenemente seco que poderia ser entendido como o verdadeiro Bioma Caatinga. Foi observado que ao longo dos anos todo o conjunto mapeado como semi-árido tem sofrido uma deriva ou mesmo um avanço em área os biomas de vegetação mais densa tanto para o lado amazônico quanto para o lado atlântico. Este aspecto, entretanto carece de uma verificação em campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As fontes de informação foram os dados dos sensores MODIS coletados pelas plataformas TERRA e AQUA, disponibilizados através do sistema de distribuição de arquivos do EOS-Earth Observation System da NASA. Os mosaicos foram gerados no contexto do ambiente do GEE-Google Earth Engine.

As composições escolhidas foram das bandas 126(BGR) que compreendem faixas do vermelho, infravermelho próximo (NIR) e de ondas curtas (SWIR). Neste tipo de composição estão registrados tanto o brilho da

verdura quanto o pico de resposta da vegetação sadia e a humidade superficial de folhas ou de solos nus.

O elemento original de resolução no terreno (pixel) é de 250 metros e as medidas de resposta espectral são registradas em 11 bits permitindo uma fina resolução radiométrica de 4096 níveis de cinza por banda.

A faixa de imageamento dos sensores MODIS (~2330 km) e a duplicidade (á bordo do Terra e do Aqua) permitem duas revisitas diárias aos alvos terrestres a nível global. Com esta geometria de aquisições foi possível se obter mosaicos de toda a região de estudo de uma forma sazonal envolvendo vários anos e as diferentes estações máximas de secas e de chuvas.

Figurativamente seria como se existisse uma estação de coleta remota de dados de Sensoriamento Remoto a cada terreno de 250x250 metros operando duas vezes ao dia. Nestes termos pode-se afirmar que para a região de estudo foram tomadas 2x723.500 medidas radiométricas diariamente para os períodos analisados.

Mosaicos MODIS compostos com imagens contendo estes atributos foram selecionados dos anos de 2000, 2010, 2020 e 2021 (junho) sendo que no ambiente GEE foram criados os quadros regionais dos máximos de chuvas (fevereiro-abril) e de secas (agosto-outubro). As figuras 2, 3 e 4 mostram os mosaicos gerados e os números obtidos.

O processamento e a análise destes produtos derivados seguiram a metodologia adiante descrita.

O acervo de imagens MODIS baixadas desde os arquivos EOSDACC são dotadas de acurácia cartográfica de nível próximo do geodésico, pois foram corrigidas por Mosaicos GEOCOVER. A precisão planimétrica destes mosaicos originalmente gerados com pixel de 15 metros podem ser assumidos como da ordem de 0.5 arco-segundo ao máximo no terreno.

As imagens foram inicialmente submetidas ao Modelo de Mistura Espectral (MME) [1] dali saindo três imagens cinzentas separadas, cada uma delas contendo informações espectrais específicas para solos, vegetação e águas. As composições RGB geradas a partir desta frações estão dispostas na Figura 1. Estes novos produtos foram então segmentados por limiares científicos definidos pelos autores. Estes limiares permitiram que os temas mapeados pudessem ser estudados sazonalmente ao longo dos anos. Uma última etapa talvez a mais importante foi a edição matricial em tela de computador realizado pelo segundo autor dotado de mais de 30 anos de experiência no mapeamento de coberturas vegetais tipos Amazônia, Cerrados e Pantanal [2], [3], [4].

3. RESULTADOS

Os números resultantes do trabalho podem ser seguidos nos mapas, tabelas e diagramas das figuras que seguem. Elas traduzem bastante bem a dinâmica com que os temas mapeados variam em acordo com as sazonalidades estudadas.

A Figura 1(A) mostra o mosaico destacando os limitados dos estados inseridos no Semi-árido com destaque em azul escuro para o zoneamento da vegetação seca e intermediária.

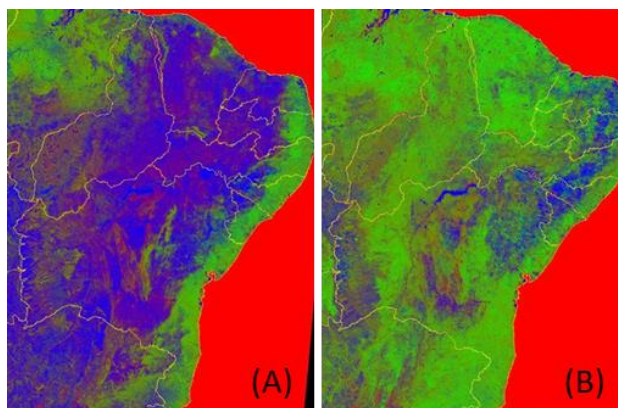


Figura 1. (A) Composições RGB das frações MME do período máximo de seca e (B) do período máximo de chuvas do ano 2000.

A Figura 1(B) gerada do período máximo de chuvas mostra a mesma região com destaque agora para a expansão da verdura para todos os temas estudados. O azul escuro da vegetação mais seca se reduz substancialmente mas se mantém com destaque ao longo dos limites mais verdes do lado leste do mosaico.

A Figura 2(A) é o mapa vetorizado do mosaico referente ao período máximo de estiagem do ano 2000. A quantificação em área dos temas aparece na tabela de cores que acompanha o mapa. A Figura 2(B) é o mapa equivalente do período de chuvas máximas do mesmo ano.

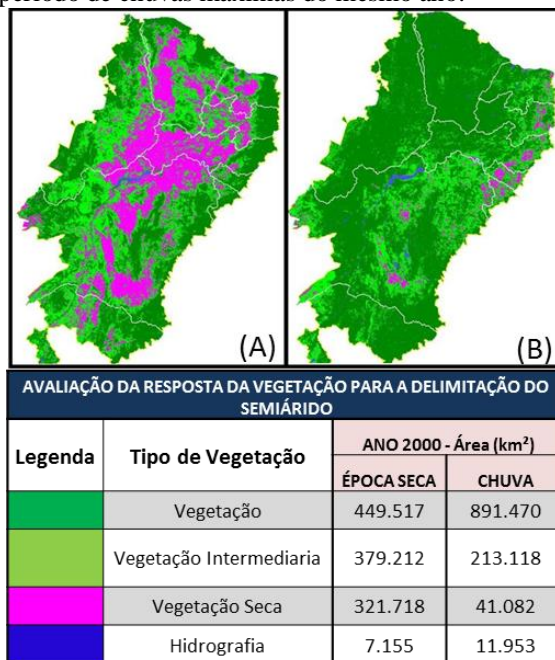


Figura 2. Limites vetorizados dos temas no período de seca máxima (A) e no período chuvoso (B) de 2000 seguindo o contorno do Semi-árido definido pela SUDENE em 2017.

Esta seqüência de resultados mostrados nas figuras de 1 e 2 foram obtidos igualmente para 2010, 2020 e para o primeiro semestre de 2021.

Os resultados integrados estão mostrados nos números da Figura 3 e nos diagramas da Figura 4.

Legenda	Tipo de Vegetação	ANO 2000			
		SECA		CHUVA	
		Área (km²)	% Relativa	Área (km²)	% Relativa
	Vegetação	449.517	38,83%	891.470	77,01%
	Vegetação Intermediária	379.212	32,76%	213.118	18,41%
	Vegetação Seca	321.718	27,79%	41.082	3,55%
	Hidrografia	7.155	0,62%	11.953	1,03%
TOTAL		1.157.602	100,00%	1.157.623	100,00%
ANO 2010					
	Vegetação	370.548	32,01%	743.989	64,26%
	Vegetação Intermediária	395.757	34,18%	320.180	27,66%
	Vegetação Seca	385.196	33,27%	85.692	7,40%
	Hidrografia	6.199	0,54%	7.861	0,68%
TOTAL		1.157.700	100,00%	1.157.722	100,00%
ANO 2020					
	Vegetação	462.313	39,93%	972.090	83,96%
	Vegetação Intermediária	408.490	35,28%	139.118	12,02%
	Vegetação Seca	282.750	24,42%	37.237	3,22%
	Hidrografia	4.157	0,36%	9.294	0,80%
TOTAL		1.157.710	100,00%	1.157.739	100,00%
ANO 2021					
	Vegetação			721.314	62,31%
	Vegetação Intermediária			267.738	23,13%
	Vegetação Seca			159.151	13,75%
	Hidrografia			9.493	0,82%
TOTAL				1.157.696	100,00%

Figura 3. Áreas dos principais temas estudados de acordo com os respectivos anos e período analisados, em acordo com os limites do Semi-árido gerados pela SUDENE em 2017.

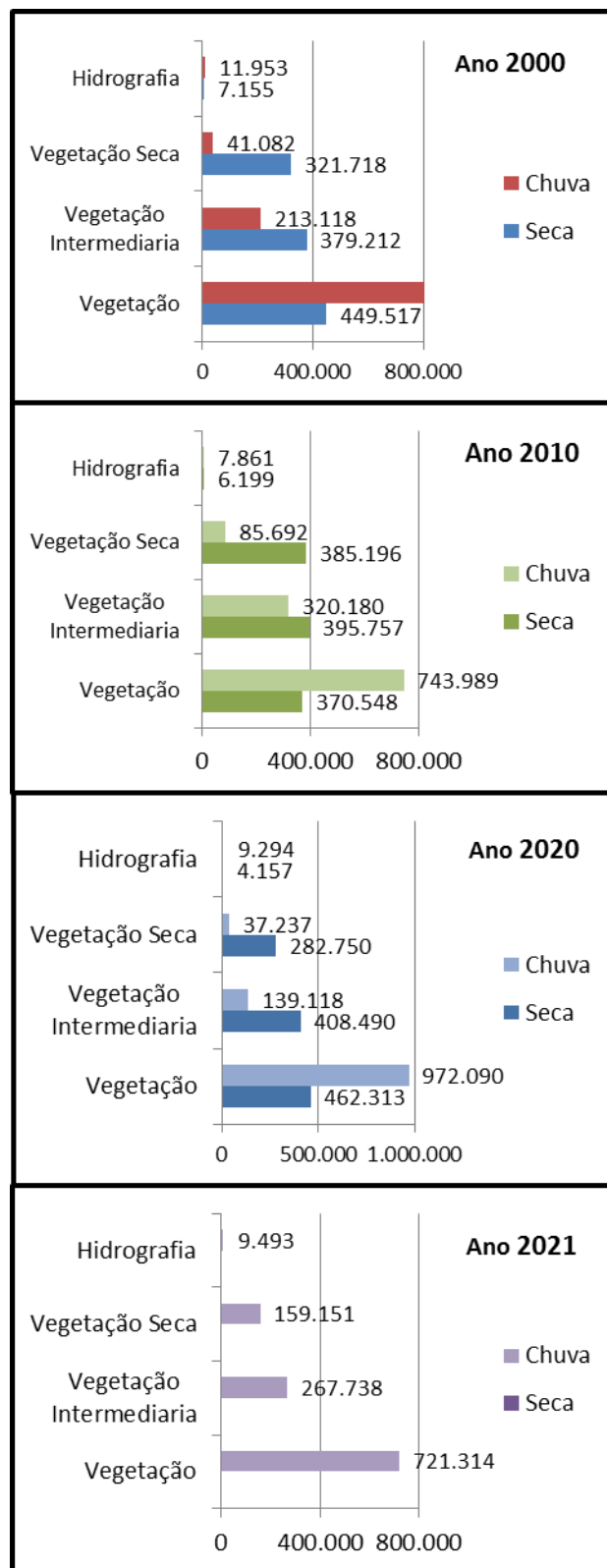


Figura 4. Diagramas em linha com os resultados mostrados na figura anterior para melhor visualização.

4. DISCUSSÃO

A leitura das tabelas e dos diagramas destacam muitos assuntos para discussão mas realçam-se alguns bem marcantes entre outros:

1. O primeiro ponto é aquele que envolve a secura mais intensa dada pela vegetação seca somada aquela intermediária ambas nas series secas dos anos 2000-2010-2020. O percentual em área destes dois temas soma 62,56% do Semi-árido. Este número pode apontar para o núcleo mais profundo do território seco, talvez aí um bom indicador para a dimensão do Bioma Caatinga.
2. Nesta mesma leitura a vegetação medida como verde cobre nas estações secas dos mesmos anos uma área média de 33.25%. Esta parte do território estudado então não seria colocada como parte do Bioma Caatinga.
3. Seguindo o histórico (2000-2020) aqui abordado por Sensoriamento Remoto, o território total ocupado pelos temas analisados incluindo a hidrografia soma 1.157.602 quilômetros quadrados. Destes poderiam ser atribuídos ao Bioma Caatinga 722.501,25 quilômetros quadrados ou pouco mais que 7.22 milhões de hectares.
4. O primeiro semestre do ano de 2021 aponta um crescimento muito intenso da área de vegetação seca no período de chuvas. Os números cresceram para ordem de 13,75% quando na média dos períodos anteriores vinha se mantendo ao nível de 3%. Prefere-se entretanto não se antecipar qualquer cenário enquanto não forem conhecidas as medidas do período de estiagem.
5. As derivas ou expansões dos temas estudados principalmente aqueles que tratam das coberturas vegetais mais ralas, embora indicativas, necessitam de visitas ao campo para verificações..

6. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A recomendação é que estes novos procedimentos com base nos atributos espectro-sazonais sejam inseridos nas próximas forças de trabalho que envolvam a delimitação do Semi-árido Brasileiro. O cenário do Sensoriamento Remoto orbital no Brasil vem de se tornar uma excelente base de estudos regionais pelos instrumentos de grande campo (WFIs) a bordo dos satélites CBERS 4, 4A e Amazônia-1. Eles geram imagens em faixas de mais de 600 quilômetros com resoluções geométricas 5 vezes mais finas que aquelas utilizadas neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

[1] Y. E. Shimabukuro and J. A. Smith. The Least-squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived from Remote Sensing Multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 29 n.1, pp.16-20, 1991.

[2] V. Duarte, P.R.Martini, Y.E.Shimabukuro, E.Arai. Aplicação de Metodologia do Projeto Panamazônia no Pantanal, Município

de Barão do Melgaço, MT. Anais do I Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil. EMBRAPA-INPE, pg. 608-612, 2006.

[3] V. Duarte, P. R. Martini, Y. E. Shimabukuro, R. M. Freitas and E. Arai. Monitoramento do Desflorestamento em Escala Global: uma Proposta baseada nos Projetos PRODES Digital e DETER. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, INPE, pg. 6687-6694, 2007.

[4] Y. E. Shimabukuro, V. Duarte, E. Arai, R. M. Freitas, P. R. Martini and A. Lima. Monitoring Land Cover in Acre State, Western Brazilian Amazonia Using Multi-Temporal Remote Sensing Data. *International Journal of Image and Data Fusion*, v. 1, Issue 4, pp.325-335, 2010.