

Análise fenológica das fitofisionomias do bioma Cerrado: Critérios de amostragem e validação

Jimmy Alexander Hernández Linares¹
Marlon Nemayer Celestino de Pontes²
Laerte Guimarães Ferreira²

¹Universidade de Brasília - UnB
Instituto de Ciências Humanas - IH Departamento de Geografia
Caixa Postal: 4661 - CEP: 70.919-970 - Brasília - DF, Brasil
jimmyahl@unb.br

²Universidade Federal de Goiás - UFG
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - IESA
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
marlon@posgrad.ufg.br
laerte@iesa.ufg.br

Abstract. Phenological studies are key to understand the role of distinct physiognomies regarding carbon and energy fluxes. This is particularly true in the Cerrado biome, marked by a strong seasonality in its vegetative cover. To this end, we are currently evaluating the seasonal and phenological responses of the main Cerrado physiognomic types, in order to map and characterize its functional diversity, as well as to understand how the severe changes taking place affect and are accommodated by its different ecosystems. This paper is focused on our sampling scheme, which consider the most prominent physiognomies and is restricted to pristine areas. Specifically, a set of random points, over 33 physiognomies, were evaluated regarding their spatial distribution and ability to depict the Cerrado landscapes. As morphometric and precipitation data shows, our 330 samples comprehensively encompasses the Cerrado heterogeneity. Regarding temporal signatures over distinct domains of the cerrado *strictu sensu* class, these were mostly noisy, indicating the need of additional filtering approaches and the use of specific metrics in the temporal domain.

Palavras-chave: MODIS *EVI*, fenologia, diversidade funcional, MODIS *EVI*, Cerrado, phenology, functional diversity, Cerrado

1. Introdução

O conhecimento da distribuição dos tipos de cobertura vegetal e suas variações fenológicas são de suma relevância nos programas de desenvolvimento, tanto locais e regionais, quanto globais (Canavesi et. al 2005). Estimativas precisas da fenologia são essenciais para a quantificação do intercâmbio de carbono e água entre os ecossistemas e a atmosfera e sua resposta às alterações climáticas (Ahl et. al, 2006). Além disso, estudar a comparação da distribuição e a mudança da variabilidade espacial de tipos funcionais de plantas (TFs) - definidos como grupos de espécies compartilhando a mesma resposta a uma perturbação (Gitay & Noble, 1997) - em larga escala, pode nos ajudar a determinar os padrões gerais de mudança na vegetação, como consequência das alterações ambientais (Chen & Li, 2005).

O monitoramento global da vegetação para compreensão de seu papel em relação às mudanças ambientais e climáticas, tem influenciado o uso de dados de sensores remotos orbitais como uma fonte importante de informação, haja vista proverem a necessária visão temporal da superfície terrestre (Antunes & Esquerdo, 2009). Um sensor particularmente importante é o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo do satélites TERRA e AQUA. A alta resolução temporal do MODIS é um aspecto determinante em estudos fenológicos e na discriminação espectral, podendo ser utilizada para obter

conhecimento aprofundado a respeito das variações em biomassa em regiões com forte contraste sazonal, como o Cerrado (Ferreira & Huete, 2004; Liesenberg et al., 2007).

Neste contexto, o objetivo deste artigo é discutir e validar um protocolo de amostragem das classes remanescentes de vegetação do Cerrado brasileiro, com base no mapa de cobertura e uso da terra PROBIO (Sano et al., 2007) (Figura 1) e imagens do sensor MODIS, com vistas à melhor compreensão dos padrões fenológicos do Cerrado, os quais, em grande parte, determinam a diversidade funcional encontrada no bioma (Pirani et al., 2009).

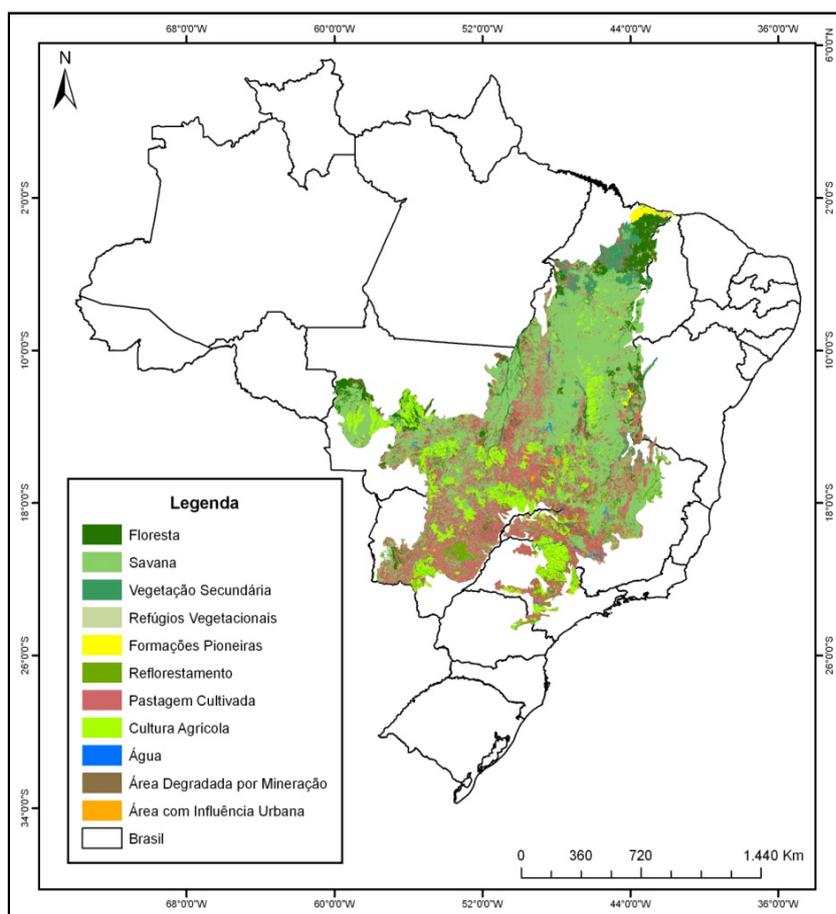


Figura 1. Bioma Cerrado - mapa de cobertura e uso da terra. Fonte: Probio/MMA (Sano et al., 2007)

2. Desenho experimental

2.1 Área de Estudo

Considerou-se neste trabalho as 30 classes de vegetação remanescente do Cerrado, conforme mapeamento realizado no âmbito do PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira). Também foram incluídas, para uma avaliação preliminar, as cinco subclasses discriminadas por Pontes (2010) no âmbito da classe Savana Arborizada (com e sem floresta de galeria), cujas diferentes respostas à sazonalidade podem ser indicativas de subfácies desta fisionomia, com diferentes proporções de densidade arbórea (i.e. quanto maior o contraste sazonal, menor a expectativa de densidade arbórea).

Em relação às imagens MODIS, foram considerados os cinco *tiles* MODIS (H12V10, H12V11, H13V09, H13V10 e H13V11) correspondentes à área do Cerrado. Especificamente,

foram utilizados os 23 *composites* para cada ano, relativos ao período 2000 a 2009, totalizando 227 cenas.

2.2 Amostragem Aleatória

Em um primeiro momento, procedeu-se à “atualização” do mapa PROBIO, re-projetado para o sistema WGS 84. Especificamente, as classes Savana florestada com floresta de galeria (SFS) e sem floresta de galeria (SAF) foram substituídas pelas cinco subclasses citadas de Pontes (2010), bem como foram eliminadas as áreas indicadas como novos desmatamentos entre 2002 e 2009 (Rocha, 2010). Em seguida, para cada uma das 33 classes remanescentes de vegetação, foram gerados randomicamente 10 pontos (Figura 2).

2.3 Validação

2.3.1. Imagens

Para avaliar a "integridade" dos pontos, foram utilizadas imagens disponibilizadas no Google Earth e imagens LANDSAT do ano 2008, previamente processadas e georreferenciadas no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG). No programa ArcGis 9.3, após a confirmação que cada um dos dez pontos, para cada classe vegetacional, coincidiam com áreas remanescentes, foram gerados 33 layouts. É importante ressaltar que os pontos sobre áreas já convertidas foram realocados para áreas *pristine*.

2.3.2 SRTM, localização e precipitação

Com o fim de analisar a diversidade ambiental e a variabilidade dos pontos amostrais, avaliou-se a distribuição dos pontos em relação às latitudes e longitudes. Com base nos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), foram feitos histogramas para valores de altitude, considerando os 330 pontos (Figura 3), bem como declividade (Figura 4). Para cada um dos pontos, também se obteve um valor médio de precipitação de um período de 20 anos (1987 - 2007), utilizando uma imagem de precipitação média, gerada a partir da interpolação de dados de campo (Figura 5).

2.4 Imagens MODIS

A primeira etapa de processamento das imagens MODIS, consistiu na re-projeção e geração de mosaicos dos cinco *tiles*, entre os 227 *composites*, através do programa MRT 4.0 (*Modis Reprojection Tool*). Cada um dos mosaicos EVI foram filtrados com base nas respectivas imagens *Pixel Reliability* e recortados conforme os limites das classes de interesse.

Em função das imagens MODIS EVI disponibilizadas pelo produto MOD13Q1 serem baseadas em um algoritmo principal (que utiliza a banda do azul) e, também, um algoritmo alternativo (*backup* algoritmo), sempre que a banda azul não apresenta qualidade satisfatória (i.e. contaminação atmosférica), optou-se pela geração de imagens EVI com base em um único algoritmo, o *backup* algoritmo (Jiang et. al., 2008), através da função *band math*, no software ENVI 4.7 (e após o reescalonamento dos valores de reflectância das bandas Red e NIR).

3. Resultados

Se obteve uma boa representatividade tanto espacial do bioma Cerrado, com os pontos gerados randomicamente dentro de cada fito-fisionomia (Figura 2), quanto com a distribuição dos pontos em relação às latitudes e longitudes.

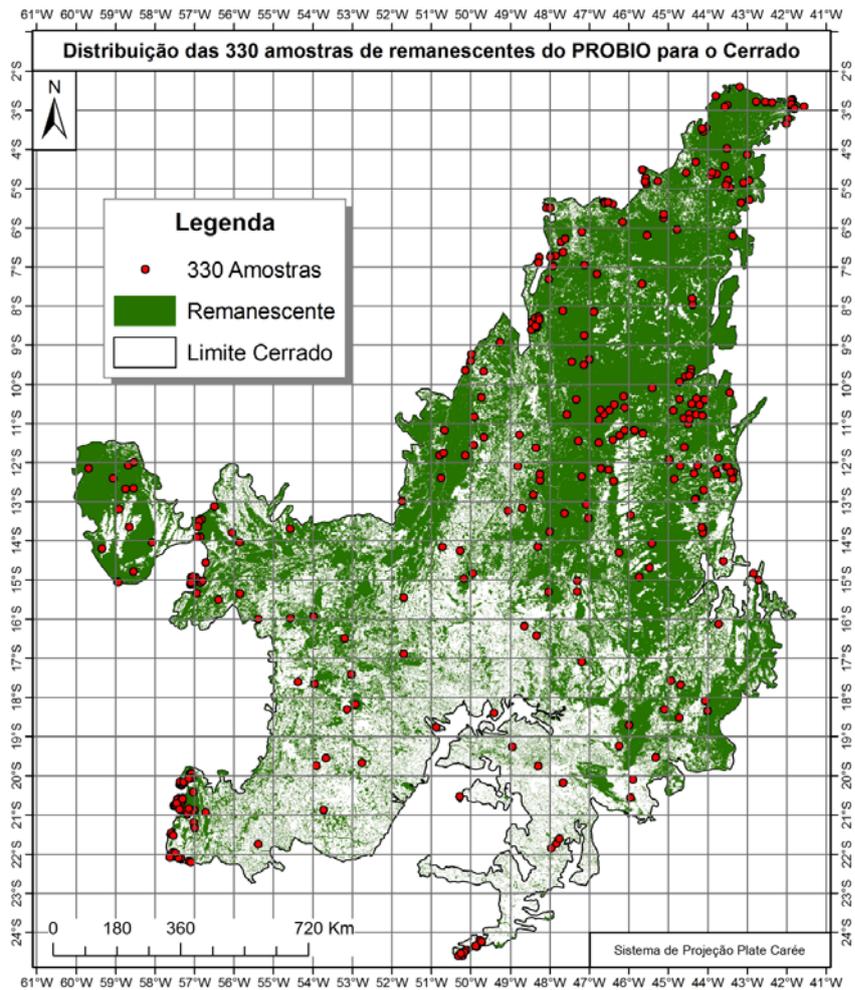


Figura 2. Bioma Cerrado - Distribuição das 330 amostras de áreas remanescentes do PROBIO.

Os resultados obtidos em relação à altimetria (Figura 3) e declividade (Figura 4), confirmam a diversidade "ambiental" dos pontos coletados. Os valores de altitude foram: Mínima=1; Média=379,55; e Máxima=1231.

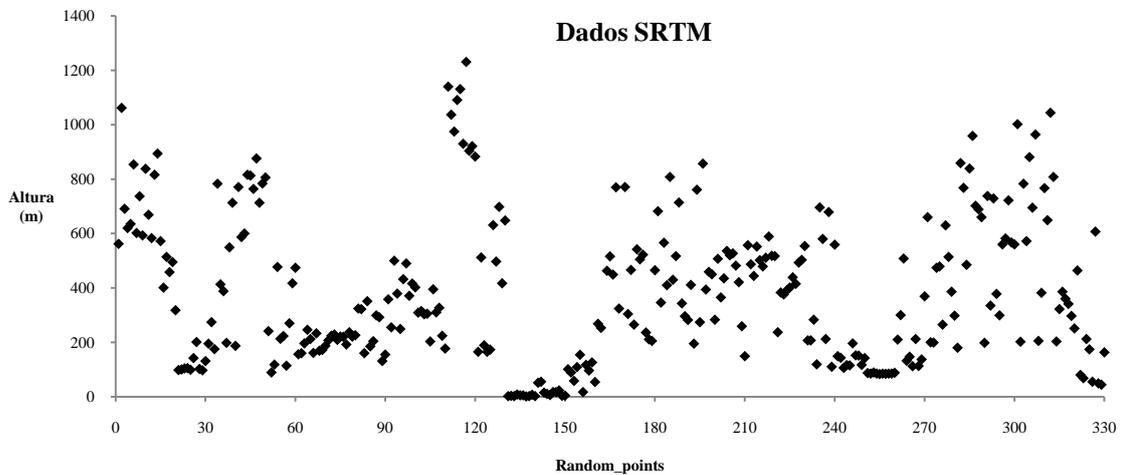


Figura 3. Valores de altitude dos pontos coletados randomicamente ao longo do cerrado.

Quanto aos valores de declividade, os resultados obtidos foram: Mínima= 0; Média=4,45; e Máxima=89,59.

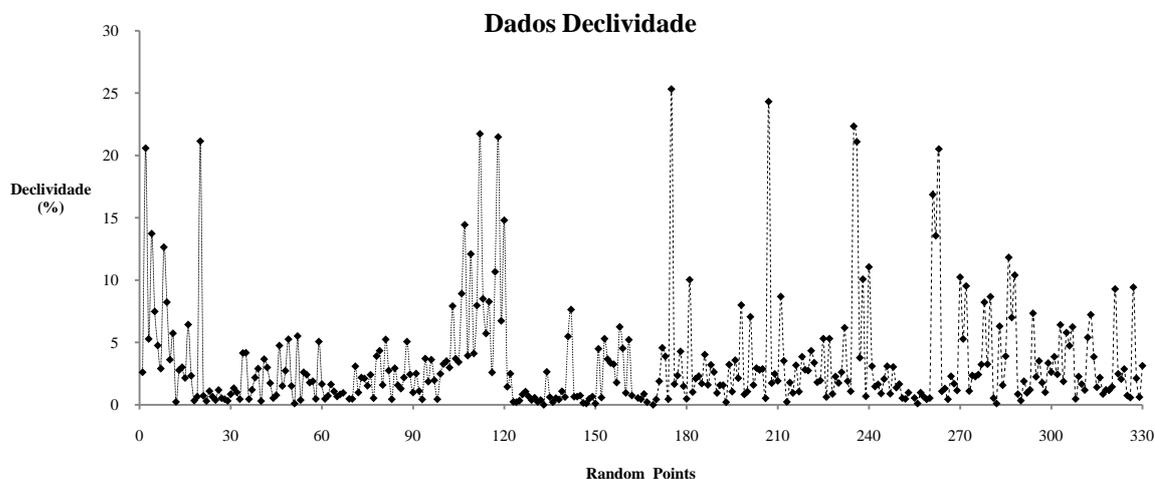


Figura 4. Valores de declividade dos pontos coletados aleatoriamente ao longo do cerrado

Da mesma forma, a média de precipitação dos 20 anos para cada um dos 330 pontos mostrou a variedade dos valores pluviométricos (valores de precipitação: Mínima=74,58; Média=118,03; e Máximo=179,12) (Figura 5).

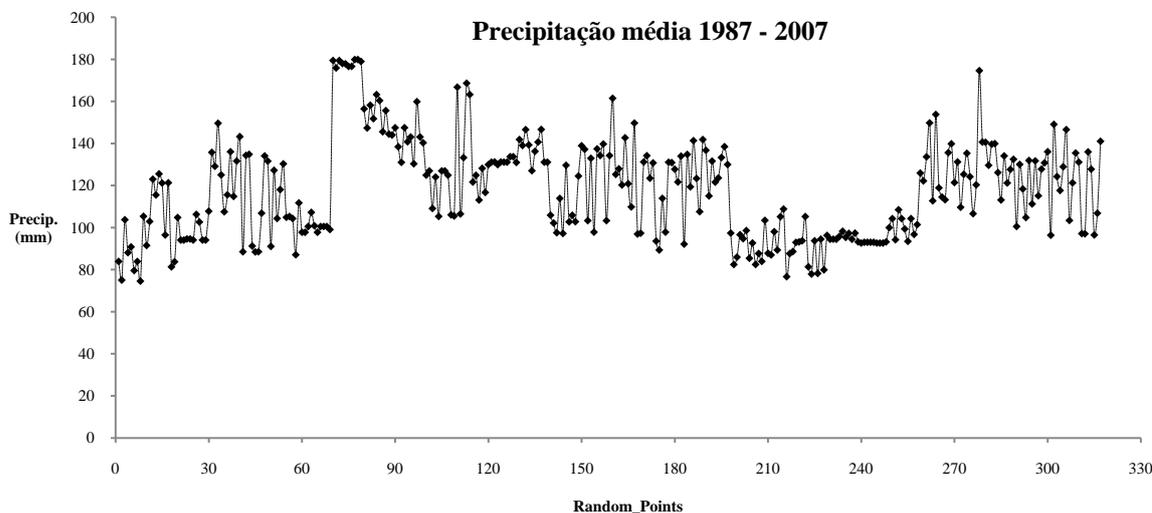


Figura 5. Gráfico com os valores da precipitação média no período 1987 - 2007, para os pontos coletados aleatoriamente ao longo do cerrado.

De acordo com os dados obtidos do índice de vegetação para os 10 anos de estudo, se observou diferenças significativas nos valores de EVI para cada uma das 33 classes. As figuras 6 a 10, mostram as curvas médias obtidas para as cinco subclasses de Savana arborizada com e sem floresta de galeria, que equivalem a fito-fisionomia *Cerrado sentido restrito*, segundo o sistema de classificação proposto por Ribeiro e Walter (1998).

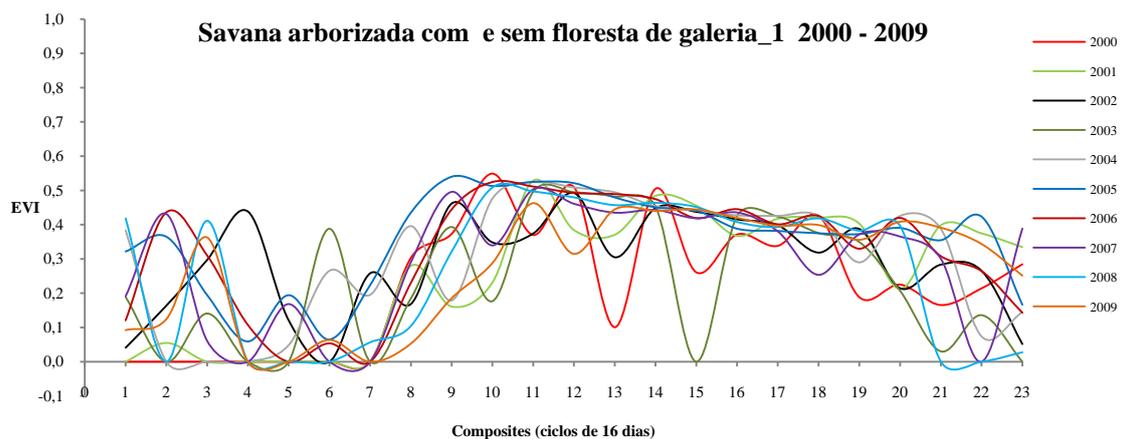


Figura 6. Gráfico com os valores médios de EVI, período 2000 - 2009, subclasse savana arborizada com e sem floresta de galeria 1.

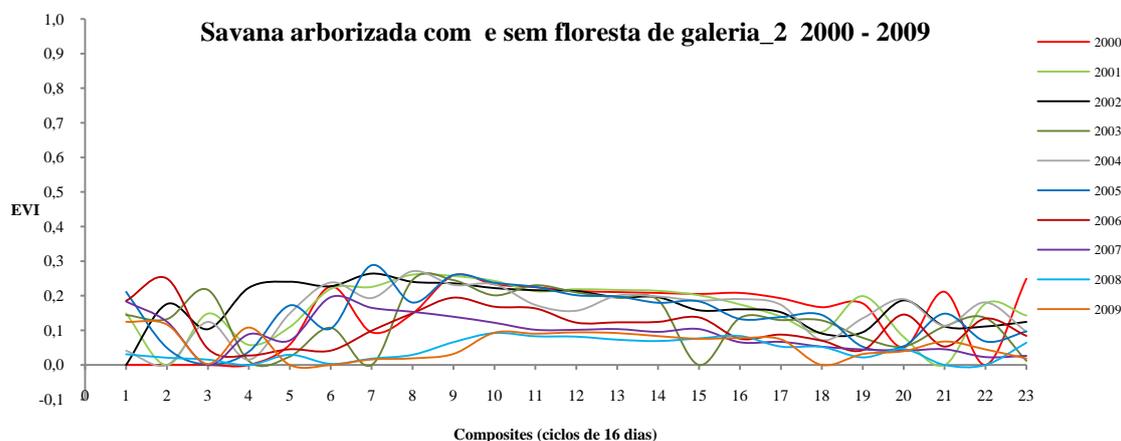


Figura 7. Gráfico com os valores médios de EVI, período 2000 - 2009, subclasse savana arborizada com e sem floresta de galeria 2.

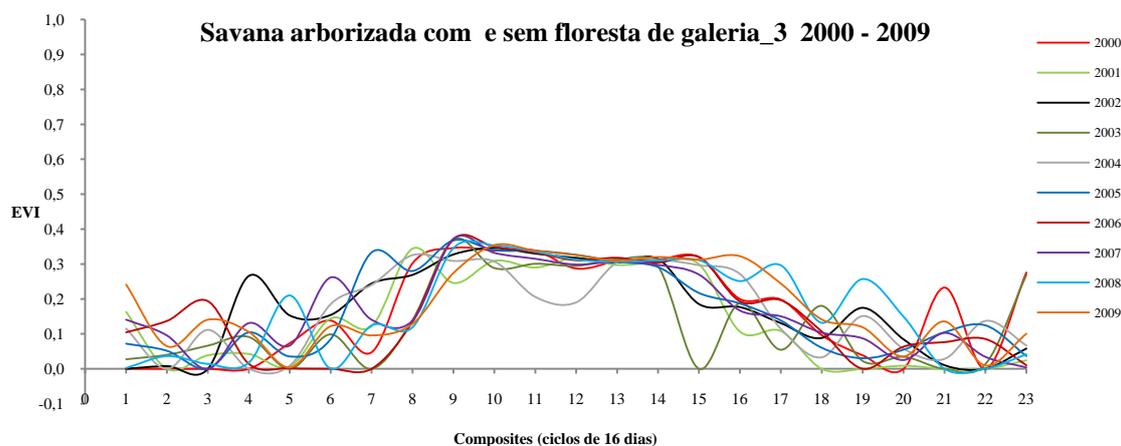


Figura 8. Gráfico com os valores médios de EVI, período 2000 - 2009, subclasse savana arborizada com e sem floresta de galeria 3.

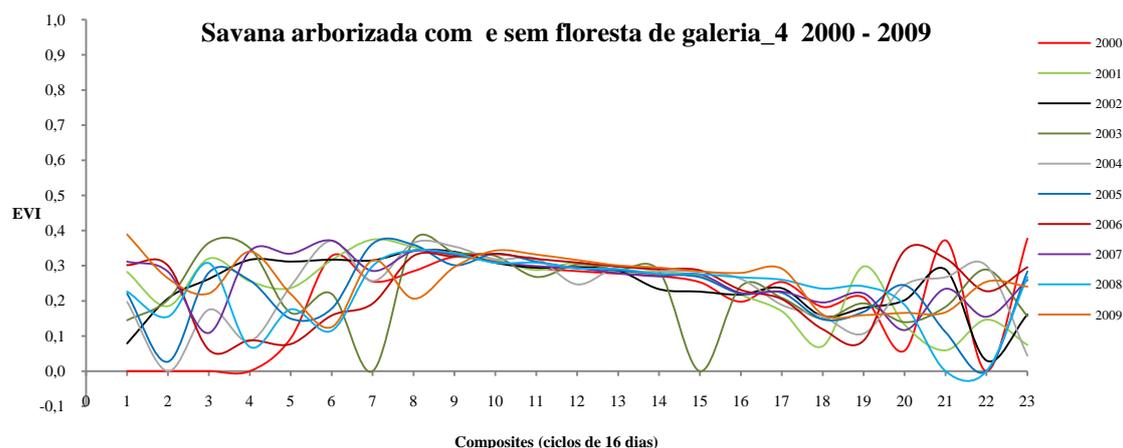


Figura 9. Gráfico com os valores médios de EVI, período 2000 - 2009, subclasse savana arborizada com e sem floresta de galeria 4.

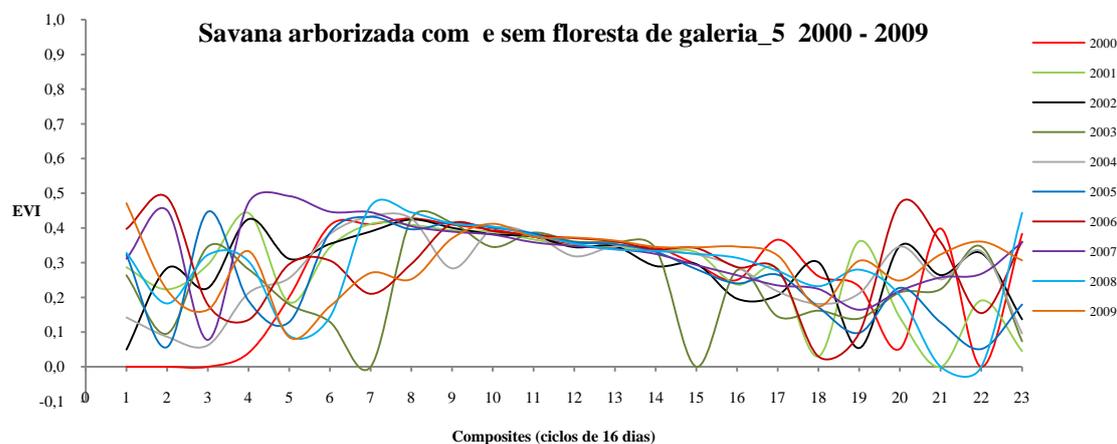


Figura 10. Gráfico com os valores médios de EVI, período 2000 - 2009, subclasse savana arborizada com e sem floresta de galeria 5.

4. Considerações finais

De acordo com os resultados obtidos no processo de validação dos pontos amostrais gerados randomicamente, se observou que estes apresentam uma variedade quanto à localização geográfica, gradiente altitudinal, declividade e valores pluviométricos, assim como nos valores de EVI. Isto indica que a metodologia utilizada para a seleção dos pontos se mostrou eficiente e que poderia ser usada em posteriores estudos de fenologia, diversidade funcional e emissão de carbono no bioma Cerrado. Espera-se que em trabalhos futuros, possam ser analisados os possíveis padrões fenológicos associados a fatores ambientais e mudanças climáticas, e que este processo de validação seja complementado com dados de campo, para que os resultados possam ser utilizados na gestão territorial e no planejamento ambiental.

Agradecimentos

Esta pesquisa está sendo desenvolvida no escopo do projeto “*A Historical Reconstruction of Vegetation Change and a Carbon Budget for the Brazilian Cerrado Using Multiple Satellite Sensors and Historical Aerial Photography*”, projeto financiado no âmbito do NASA Carbon Cycle Award e fruto da colaboração envolvendo a *University of New Hampshire*

(*Complex Systems Research Center*), o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da UFG (LAPIG) e o Departamento de Ecologia da UnB. O terceiro autor é bolsista de produtividade do CNPq.

Referências bibliográficas

Ahl, Douglas E.; Gower, Stith T.; Burrows Sean N.; Shabanov, Nikolay V.; Myneni, Ranga; Knyazikhin, Yuri. Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n.104, p. 88–95, 2006

Antunes, G. João Francisco & Esquerdo, D. M. Júlio César. Monitoramento agrícola usando análise harmônica de séries temporais de dados NDVI/AVHRR-NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, Brasil, 2009. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 49-55. CD - ROM, On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.15.51.23>>. Acesso em: 15 jul. 2010

Canavesi, V.; Coura, S. M.; Formaggio A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Quirino, V. F. Dinâmica espectro-temporal MODIS em região de Cerrados e intenso uso Agropecuário. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia, Brasil, , **Anais**. INPE, 2005. Artigos, p. 1435-1442. CD - ROM, On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.17.06>>. Acesso em: 15 jul. 2010

Chen, X. & Li B. L. Spatial variability of plant functional types of trees along northeast china transect. **Applied ecology and environmental research**, n. 3(2), p. 39-49, 2005

Ferreira Jr., L.G.; Huete, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (10), p. 1837-1860. 2004.

Gitay, H. & Noble, I.R.. What are functional types and how should we seek them? – In: Smith, T.M., Shugart, H.H. & Woodward, F.I. (eds): *Plant functional types*. **Cambridge University Press**, Cambridge, p. 122–152. 1997

Jiang, Z.; Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, vol. 112, p. 3833 – 3845, 2008.

Liesenber V.; Ponzoni, F. J.; Galvão L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore, Sociedade de Investigações Florestais**. Março-abril, vol. 31, número 002, p. 295-305. 2007

Pirani, F.R.; Sanchez, M.; Pedroni, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, 23 (4): p. 1096-1109. 2009.

Pontes, M. N. Detalhamento de áreas de savana arborizada no bioma cerrado a partir da análise de séries temporais MODIS EVI para o período de 2004 a 2008. 2010. 58 p. Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010

PROBIO. Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado (Relatório Final) Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002//cerrado/documentos/relatorio_final>. Acesso em 30 abr. 2009.

Ribeiro e Walter (1998) Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (Ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC. cap. 3, p. 87-166, 1998.

Rocha, G. F. Análise espacial dos alertas de desmatamento no bioma cerrado no período de 2002 a 2009: tendências, cenários e impactos. 2010. 76 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira Jr, L. G. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados. Planaltina: **Embrapa Cerrados (Boletim de Pesquisa)**, 2007.