

## Primeira aproximação dos Tipos Funcionais de Vegetação do Rio Grande do Sul

Tatiana Mora Kuplich  
Luis Fernando Flenik Costa  
Viviane Capoane  
Andreas Barbieri

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS  
Caixa Postal 5021 – 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil  
tatiana.kuplich@inpe.br, {flenikcosta, capoane, andreas.barbieri}@gmail.com

**Abstract.** Time series of vegetation indices describe the temporal and spatial path of primary productivity or biomass, allowing its characterization and mapping according to functional types of vegetation, which might be monitored in face of climate change. This work aims to generate products from an annual series of EVI/MODIS on a first approximation of Functional Types of vegetation (TFV) for the state of Rio Grande do Sul. The *Google Earth Engine* (GEE) platform facilitated obtaining and processing a large volume of remote sensing data, motivating the accomplishment of this work. The products generated from a 2014 EVI series were: the Integral (representing the annual primary productivity), the Range (range of EVI, representing the seasonality in the year considered) and date of Maximum EVI or maximum vegetative vigor. These products were classified by density slicing (based on the histogram) and integrated via map algebra (with decreasing weights to integral, range and maximum), resulting in 42 classes. Those were subsequently grouped into 11 TFV, with 4 predominant classes in terms of spatial coverage. The different TFV found, expressing the dynamics of productivity, are dependent on several factors besides the phenology characteristic of each individual or group. The climate is an important abiotic factor for the TFV, but also topography, soils and their degradation, and land use dynamics. The ability to identify phenological patterns and the reasons for changes in these patterns will make possible the assessment and prediction of effects of global climatic changes in ecosystems.

**Palavras-chave:** EVI/MODIS, vegetation functional types, time series, sensoriamento remoto, tipos funcionais de vegetação, séries temporais.

### 1. Introdução

A premência de ações de conservação e recuperação de ecossistemas tem impulsionado a pesquisa com dados de sensoriamento remoto para a geração de mapas “espaço-temporais” da vegetação. Comumente denominados mapas-base (ou *baselines*), estes mapas auxiliam na identificação da extensão de vegetação remanescente em determinada região e adicionam a informação temporal através da caracterização de seu estado fenológico ou dinâmica de desenvolvimento.

As tendências atuais nos conceitos ecológicos mostram a incorporação da ação humana na análise dos ecossistemas, como na Ecologia da Paisagem (Forman, 1995). Outra característica observável nos dias de hoje é a busca de variáveis ambientais que sejam sensíveis às mudanças climáticas, funcionando como um sensor da saúde do meio ambiente e aumentando nossa capacidade preditiva de cenários futuros.

O conceito de tipos funcionais de plantas ou de vegetação (TFV) aparece como ideal em abordagens que busquem a classificação da vegetação em face de mudanças ambientais, sobretudo climáticas, induzidas pelo homem. Ao invés das tradicionais classificações taxonômicas, centradas em espécies, os TFV focam em características morfológicas, fisiológicas, fenológicas e reprodutivas, não necessariamente ligadas à filogenia. Estas características atendem às funções específicas de uso de recursos naturais e controle de fatores bióticos e abióticos por parte das plantas, revelando-se ideais para monitoramento (Duckworth et al., 2000). Os TFV representam grupos de plantas com atributos (*traits*) funcionais que geram respostas similares às condições ambientais. Como exemplo, alguns atributos funcionais relacionados à fertilidade do solo para vegetação campestre são teor de

matéria seca, área foliar específica, duração de vida das folhas, taxas de fotossíntese e de respiração.

O sensoriamento remoto (SR) é ferramenta essencial para a identificação de TFV, pois imagens e produtos de SR trazem informações diretas ou indiretas sobre a vegetação, tornando possível seu mapeamento e monitoramento. Os índices de vegetação como o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*), calculados a partir de bandas nas regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo, têm sido usados há décadas como substitutos (*proxies*) da vegetação em estudos biológicos, meteorológicos, físicos, etc. Desde o ano de 2000, as bandas do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites Terra e Aqua, aumentaram a resolução espacial destes dados para 250 m, e com isso, suas aplicações em estudos ambientais (Kuplich et al. 2013).

A utilização de índices de vegetação para descrever o funcionamento dos ecossistemas teve como base inicial os conceitos de fenologia por retratarem a dinâmica da produtividade primária (Lloyd, 1990, *apud* Paruelo et al., 2001) como o atributo funcional mais integrador dos ecossistemas (Paruelo et al., 2001). Neste tipo de abordagem, séries temporais de NDVI, por exemplo, descrevem a trajetória temporal e espacial da produtividade primária ou biomassa, permitindo a caracterização e mapeamento desta em diferentes tipos funcionais (Petorelli et al., 2005; Alcaraz et al., 2006; Paruelo, 2008).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação de produtos gerados a partir de série anual EVI/MODIS numa primeira aproximação dos Tipos Funcionais de Vegetação no Rio Grande do Sul.

## 2. Área de estudo

O Rio Grande do Sul (RS), estado mais meridional do Brasil, foi escolhido como área para o teste da metodologia proposta (Figura 1). O RS é coberto em grande parte por vegetação campestre, parte dos biomas Pampa e Mata Atlântica (nos Campos de Cima da Serra). Formações florestais também são presentes nas encostas do Planalto Meridional, em mosaicos com campos e matas ciliares em ambos biomas. A maior parte das atividades econômicas do RS se realiza nos campos, nativos ou resultado de desmatamento e conversões, já que a agricultura e pecuária são importantes fontes de renda. Nos últimos anos as monoculturas de eucalipto, *Pinus* sp. e acácia também aparecem destacadas na paisagem gaúcha, principalmente no bioma Pampa.

Conforme Rossato (2011), o RS apresenta regiões climaticamente bem diferenciadas, situado em área de domínio do clima subtropical, subdividido em quatro tipos principais: Subtropical I - pouco úmido (*Subtropical Ia* pouco úmido com inverno frio e verão fresco e, *Subtropical Ib* pouco úmido com inverno frio e verão quente); Subtropical II - medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; Subtropical III - úmido com variação longitudinal das temperaturas médias e; Subtropical IV muito úmido (*Subtropical IVa* muito úmido com inverno fresco e verão quente e, *Subtropical IVb* muito úmido com inverno frio e verão fresco). Os sistemas polares são os principais dinamizadores dos climas do estado em interação com os sistemas tropicais. A região sofre influência direta de fenômenos oceânicos de grande escala como El Niño e La Niña, trazendo aumento e redução nos totais pluviométricos do estado, respectivamente. A precipitação é relativamente bem distribuída ao longo do ano no RS, mas a quantidade de chuva varia muito espacialmente.

## 3. Materiais e métodos

Através do aplicativo *Google Earth Engine* (GEE) foi selecionado o índice de vegetação EVI, produto MOD13Q1 do MODIS, para ano de 2014, totalizando 23 cenas.

Como fonte auxiliar de dados e para comparação com os mapas obtidos, foi utilizado o mapa dos remanescentes de vegetação do RS, elaborado com base em imagens Landsat/Thematic Mapper de 2002 e 2003 (Cordeiro e Hasenack 2009). Neste mapa se observam as principais coberturas do RS: áreas antrópicas rurais (cinza claro - incluindo agricultura e monoculturas florestais), formações campestres (amarelo), formações florestais (verde escuro), mosaico campo-floresta (laranja) e áreas antrópicas urbanas (vermelho). Para validação com dados mais recentes, foram visualizadas as imagens de alta resolução espacial disponíveis no aplicativo *Google Earth*.

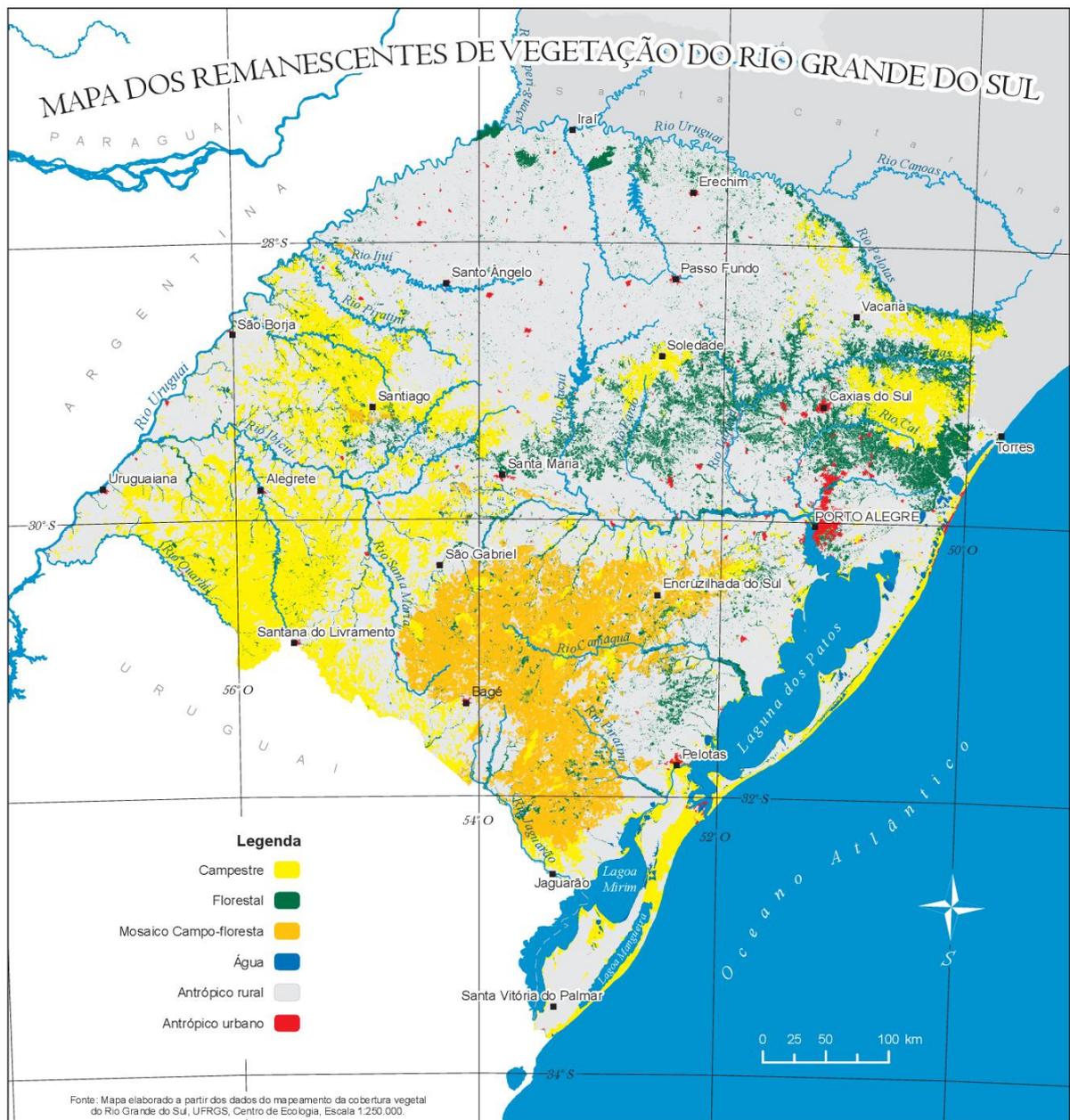


Figura 1: Mapa dos remanescentes de vegetação no RS. Fonte: Cordeiro e Hasenack (2009).

O GEE, além de ser a fonte dos dados, também foi utilizado como processador da série anual EVI/MODIS. O GEE é uma plataforma gratuita para “análise geoespacial em escala

planetária” (*Google Earth Engine*, 2016) que disponibiliza dados de sensoriamento remoto e um terminal para o processamento destes. Através de códigos escritos em linguagem Java, as imagens foram selecionadas e os seguintes produtos gerados:

- (a) Integral do EVI: é usada como estimativa da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel e, conseqüentemente, da produção primária. É a média dos valores do EVI do período analisado.
- (b) *Range* (ou intervalo de variação) do EVI: indicador da sazonalidade ou variação intra-anual da produtividade, obtido através da diferença entre valores máximos e mínimos da série para cada pixel.
- (c) Data do máximo EVI da série: indicador do período de máxima produtividade ou biomassa.

Estes três produtos foram importados para o sistema SPRING (Sistema de Processamento de Imagens Georeferenciadas), onde foram classificados por fatiamento em quatro classes, após a observação do histograma, para, por exemplo, agrupar valores digitais pouco numerosos e realçar os valores digitais predominantes. Vários testes foram realizados até os resultados das classificações serem considerados visualmente adequados em termos da distribuição das principais tipologias vegetais do RS, a saber, campos, florestas e agricultura (perene e anual).

Os intervalos dos valores digitais para as quatro classes foram: A (0 – 0.240), B (0.241-0.419), C (0.420-0.598) e D (0.599-0.8) para o produto Integral; a (0 – 0.08), b (0.09-0.353), c (0.354-0.626) e d (0.627-0.9), para o *Range*. No mapa Máximo, os dados foram agrupados de acordo com as quatro estações do ano.

Estes mapas/classificações foram integrados através de operações de álgebra de mapas na linguagem LEGAL (no SPRING), com peso maior atribuído para o mapa Integral, em seguida para o mapa de *Range* e por último para o de Máximo. A integração dos intervalos de classes resultou em 42 classes das possíveis 64 ( $4^3$ ) combinações, que foram posteriormente agrupadas em 11 classes de TFV, considerando principalmente a produção primária (Integral) e sua variação (*Range*), sendo assim gerado o mapa dos TFV (Figura 3).

#### 4. Resultados e discussão

Os produtos Integral, *Range* e Máximo para a série EVI do ano 2014 são apresentados na Figura 2. No mapa Integral, as quatro classes podem ser interpretadas como segue: Classe A - áreas sem vegetação, como corpos d’água, dunas, zonas urbanas e solos descobertos; Classe B - Áreas de vegetação campestre, com produtividade/biomassa relativamente alta; Classe C - Formações florestais e áreas agrícolas, com grande produtividade primária anual; Classe D - áreas com grande produtividade primária, mas com pequena representatividade espacial.

No mapa do *Range* (Figura 2), tem-se a clara noção da sazonalidade da vegetação no RS. Na classe (a), os valores de range são reduzidos e a área coberta é mínima. Na classe (b), com extensão de mais de 60% no mapa, agruparam-se as formações florestais e campestres, com range intermediário. Para a classe (c) visualiza-se a maior parte das áreas agrícolas do estado, principalmente lavouras de arroz (região central, sul e fronteira oeste), soja e cereais de inverno (noroeste) e demais culturas. A classe (d), com o maior range da série, pode corresponder a lavouras anuais únicas, representando o contraste entre valores baixos do EVI para solo nu e culturas no auge de produtividade.

No mapa do máximo valor de EVI (Figura 2) na série, nota-se o claro predomínio das regiões com produção maior de biomassa no verão e primavera, podendo agrupar vegetação do tipo florestal, campestre e/ou agrícola. Causa surpresa a extensa área na classe “outono” e em menor área “inverno”, mas pode-se supor a colheita tardia de cultivos estivais e/ou cultivos hibernais únicos.

O mapa de tipos funcionais de vegetação (Figura 3) apresenta onze classes, das quais quatro são predominantes. Ficou evidenciado que a abordagem temporal/funcional pode agrupar coberturas diversas, mas com sazonalidade semelhante (como áreas campestres e florestais), assim como coberturas semelhantes com sazonalidades diversas (entre tipologias campestres) (Paruello et al. 2001, Baeza et al. 2006).

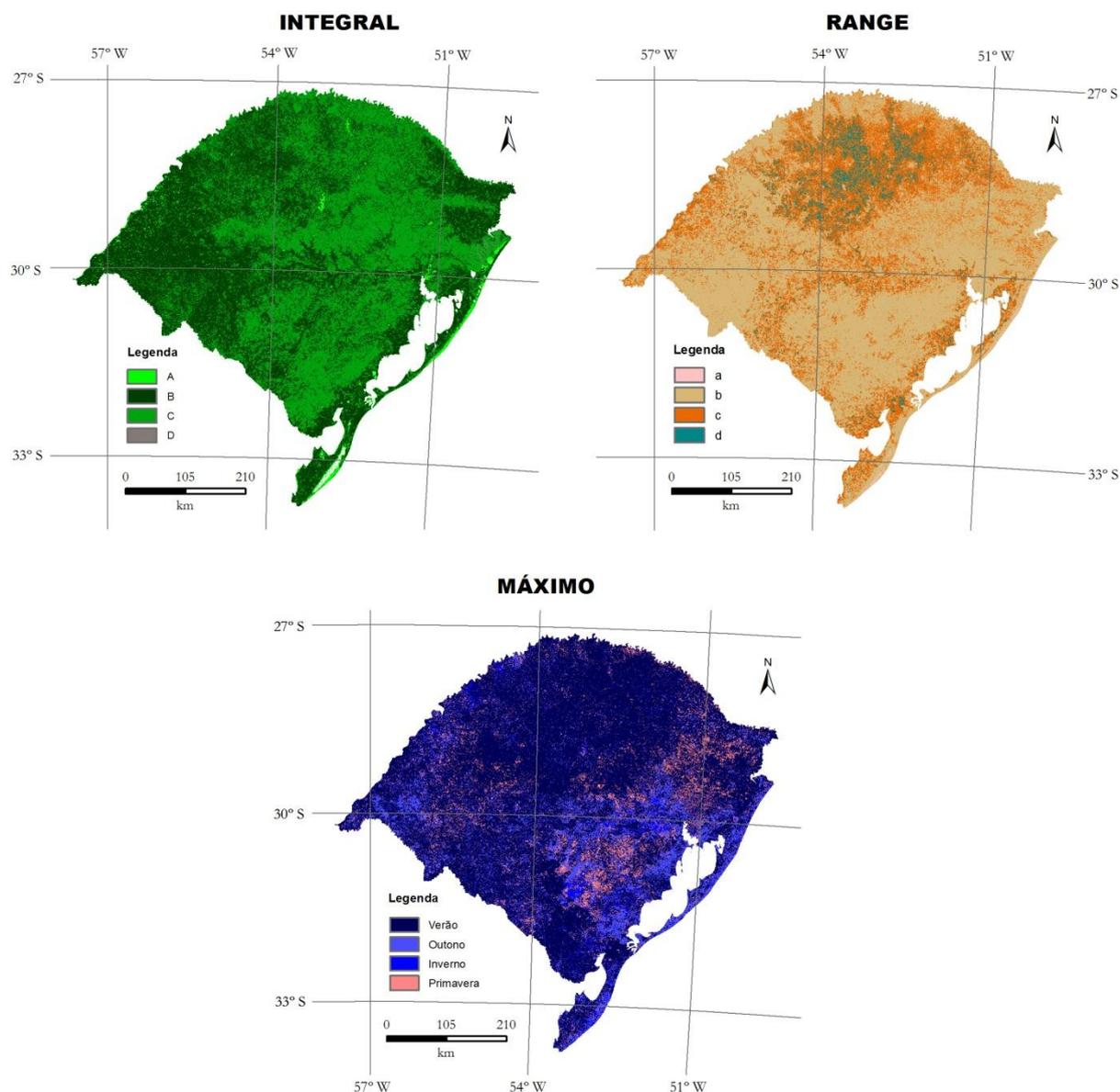


Figura 2: Mapas Integral, Range e valor Máximo de EVI/MODIS com base em série de 23 imagens de 2014 do Rio Grande do Sul.

Em termos de cobertura espacial no RS, as classes B2 (31%), B3 (18%), C2 (31%) e C3 (12%) dominaram. A classe B2 corresponde na maior parte aos campos, no Pampa e nos Campos de Cima da Serra. A classe B3 é composta por florestas de galeria e áreas agrícolas associadas, com influência de corpos d'água, como arroz irrigado. A classe C2 domina nas regiões de tipologias florestais, como nas encostas do Planalto Meridional, Serra do Sudeste e encostas declivosas ao longo do Rio Uruguai. Monoculturas de espécies florestais estão incluídas na classe C2 (presença marcante na região sudeste do RS). A classe C3 representa, na maior parte, zonas agrícolas do planalto, associada com as classes B4 e C4 (ambas

cobrindo 2% do RS). A classe C3 também ocorre na depressão central e planície litorânea, além de pontos nas florestas em relevo forte ondulado nos rebordos do planalto. As demais classes não parecem corresponder a nenhuma tipologia vegetal específica, como a classe A1 (3% do RS), que representa áreas não vegetadas (corpos d'água, zonas urbanas, dunas). As classes B1, C1, D2 e D3 também se encontram nesta última categoria e com extensão espacial mínima.

### TIPOS FUNCIONAIS DE VEGETAÇÃO

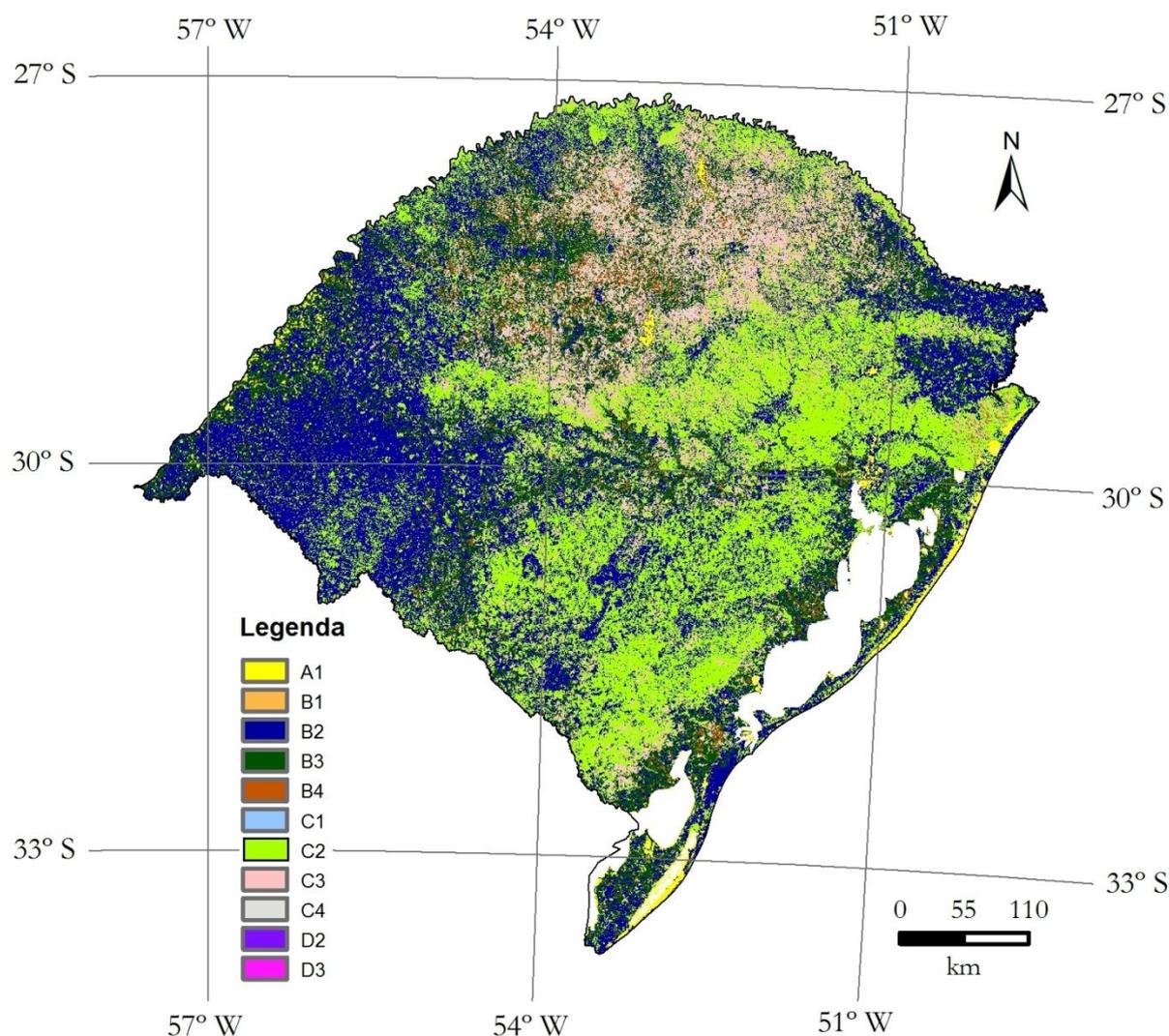


Figura 3: Mapa dos Tipos Funcionais de Vegetação feito com base na integração de mapas da integral, *range* e valor máximo em série de 23 imagens EVI/MODIS de 2014 do Rio Grande do Sul.

Neste tipo de análise, cada pixel é classificado de acordo com sua produtividade que, além de ser característica biológica de cada espécie, é dependente da localização geográfica (e solos e relevo associados) e clima (Baeza et al. 2006). Até 60% da sazonalidade dos TFV da América do Sul temperada foi explicada pela variação da temperatura e precipitação anuais médias, além da precipitação do verão (Paruelo et al. 2001), confirmando a dependência climática da sazonalidade dos TFV. Baeza et al. (2006) atribuíram a distribuição espacial dos TFV mapeados para o Uruguai (cuja cobertura vegetal campestre, apesar de bastante convertida recentemente, é muito semelhante à do RS) às grandes unidades geomorfológicas, salientando o papel do substrato como um dos determinantes da heterogeneidade da

vegetação: TFV menos produtivos estavam associados a unidades geomorfológicas com solos rasos (Baeza et al. 2006).

Embora se tenha buscado avaliar e mapear os TFV em escala anual para mitigar os efeitos das mudanças de uso da terra nos valores de EVI, estes efeitos podem ter sido presentes nos mapas e análise apresentados aqui. Igualmente, mesmo com resolução espacial de 250m, os pixels estão sujeitos à contaminação pela resposta de coberturas diversas, que pode ter alterado os valores de EVI e as classes derivadas.

## 5. Considerações finais

A primeira aproximação da distribuição dos tipos funcionais de vegetação no RS mostrou similaridades com a distribuição conhecida dos remanescentes de vegetação nativa e vegetação agrícola do estado, mas, ao mesmo tempo, revelou que tipologias vegetais distintas (p.ex. campo e floresta) podem apresentar sazonalidade semelhante (aparente no mapa de *range*), ou que a estrutura dominante não necessariamente evoca a mesma sazonalidade para todos os indivíduos da classe. As diferentes classes ou TFV encontrados, expressando dinâmicas de produtividade, são dependentes de diversos fatores além da fenologia característica de cada indivíduo ou grupo vegetal. O clima é o fator abiótico mais relevante para os TFV, mas se deve considerar também o relevo, os solos e sua degradação, até a ação antrópica e dinâmica de uso da terra.

A capacidade de identificar padrões fenológicos e as razões de alterações nestes, tornará possível a avaliação e previsão de consequências de mudanças ambientais globais nos ecossistemas. A sequência deste trabalho incluirá o detalhamento da análise apresentada, com o teste de novas combinações das classes iniciais de cada produto. A combinação dos mapas gerados com dados geomorfométricos (principalmente declividade e altitude) será realizada, para verificar a preferência dos TFV em relação ao relevo. Dados de precipitação pluvial e temperatura do ar serão também integrados para completar a descrição dos TFV e ampliar a caracterização para o nível ecossistêmico.

Finalmente, cabe compartilhar que a plataforma GEE é uma ferramenta valiosa para estudos ambientais, tornando possível e facilitando a obtenção e processamento de grande volume de dados de sensoriamento remoto.

## Referências

- Alcaraz-Segura, D.; Paruelo, J.; Cabello, J. Identification of current ecosystem functional types in the Iberian Peninsula. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n.2, p. 200-212, 2006.
- Baeza, S., Paruelo, J. M., Altesor, A. Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores remotos. **Interciencia**, v. 31, p. 382-388, 2006.
- Cordeiro J.L.P.; Hasenack, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade** (eds. Pillar V.D., Müller S.C., Castilhos Z.M.S., Jacques A.V.A.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 285-299, 2009.
- Duckworth, J. C., Kent, M., Ramsay, P. M. Plant functional types: an alternative to taxonomic plant community description in biogeography? **Progress in Physical Geography**, 24(4), p. 515-542, 2000.
- Forman, R.T.T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape Ecology**, v. 10 n. 3, p. 133-142, 1995.
- Google Earth Engine* (GEE). Disponível em: <:https://earthengine.google.com/> Acesso em março 2016.
- Kuplich, T.M., Moreira, A., Fontana, D.C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10 n. 17, p. 1116-1123, 2013

Lloyd, D. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, p. 2269-2279, 1990.

Paruelo, J. M.; Jobbágy, E. G.; Sala, O. E. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. **Ecosystems**, v. 4, p. 683-698, 2001.

Paruelo, J.M. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. **Ecosistemas**, v. 17, n. 3, p. 4-22, 2008.

Pettorelli, N.; Vik, J. O.; Mysterud, A.; Gaillard, J.-M.; Tucker, C. J.; Stenseth, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n.9, p. 503-510, 2005.

Rossato, M.S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.