



Análise da distribuição espacial da fenologia de vegetação, precipitação e evapotranspiração, com base em imagens de sensoriamento remoto orbital em Angola

Anacleto Marito Diogo¹, Marcos Wellausen Dias de Freitas¹, Victor Fernandez Nascimento¹, Cláudio Wilson Mendes Junior¹, Humberto Alves Barbosa²

¹ Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil, E-mail: anacletoamarito@gmail.com (autor correspondente); marcoswfreitas@gmail.com; victorfnascimento@gmail.com; claudio.mendes@ufrgs.br; ² Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, CEP 57072-900, Maceió, AL, Brasil, E-mail: barbosa33@gmail.com.

Artigo recebido em 13/09/2021 e aceito em 10/11/2021

RESUMO

Neste estudo foram analisadas as formações vegetais em Angola levando em consideração dois níveis de classificação, o de fitofisionomia (N1) e o de uso e cobertura da terra (N2). Além disso, foi analisado através de parâmetros estatísticos zonais o comportamento da distribuição espacial e temporal da fenologia da vegetação por um período de 18 anos levando em consideração algumas características físicas como o relevo, índices de vegetação (EVI), evapotranspiração normalizada (ETn) e precipitação. As séries temporais foram processadas para se extrair as métricas fenológicas do início, fim e comprimento, taxas de rebrota e senescência da vegetação. Os resultados permitiram observar grande heterogeneidade na representação das métricas fenológicas, pela qual, foi possível caracterizar os diferentes tipos de vegetações. As áreas representadas por vegetação nativa como florestas, savanas e formações de estepes apresentaram maiores áreas se comparadas com as restantes classes como solo exposto, água e deserto no nível N1, e dunas arenosas, corpos d'água e agricultura no nível N2. As estações chuvosas, apresentaram influência tanto na ETn como na duração da estação do crescimento da vegetação, mas com uma alta variabilidade espaço-temporal. No entanto, as classes de vegetação nativa tanto em N1 como em N2 mostraram uma resposta do início do aumento do verdor mais rápido após o início das chuvas, quando comparadas por exemplo com outras classes de vegetação antropizadas. Portanto, a partir deste estudo é possível entender como se dá a distribuição espacial da vegetação em Angola e entender como diversos fatores ambientais contribuem para a sua explicação.

Palavras-chave: Métricas fenológicas, Classificação, Séries temporais, Sazonalidade.

Spatial-temporal analysis of the vegetation phenology, precipitation, and evapotranspiration in Angola based on orbital remote sensing images

ABSTRACT

This study analyzed different vegetation formations in Angola, considering two classification levels: phytophysiology (N1) and land use and cover (N2). In addition, the spatial and temporal vegetation phenology behavior was analyzed through zonal statistical parameters, taking into account some physical characteristics such as relief, precipitation, vegetation indices (EVI), and normalized evapotranspiration (ETn). The time series were processed to extract the phenological metrics of the vegetation's beginning, end, length, regrowth, and senescence. The results allowed us to observe significant heterogeneity in the representation of the phenological metric, by which it was possible to characterize the different vegetation formations in Angola. Areas represented by native vegetation such as forests, savannas, and steppe had larger areas than the other classes, such as exposed soil, water, desert at the N1 level, sandy dunes, water bodies, and agriculture at the N2 level. The rainy seasons influenced the duration of the ETn and vegetation growth but with high spatiotemporal variability. However, the native vegetation classes in both N1 and N2 showed a faster response of the greenness increase after the rains when compared, for example, with other anthropized vegetation classes. Therefore, it is possible to understand how the vegetation's spatial distribution occurs in Angola and to understand how several environmental factors contribute to its explanation.

Keywords: Phenological metrics, Classification, Time series, Seasonality.

Introdução

A distribuição e as mudanças constantes da cobertura vegetal associados às condições climáticas, exigem cada vez mais informações detalhadas e contínuas para uma boa gestão da sustentabilidade dos ecossistemas (Hosen et al, 2020).

Recentemente no âmbito das mudanças das distribuições e classificações da cobertura vegetal, várias pesquisas têm sido feitas para o continente africano. É o caso do mapa de cultivo no Oeste da África feito por Vintrou et al., (2012), usando imagens de séries temporais do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e mapas de caracterização fenológica para reserva do Niassa em Moçambique (Nhongo et al., 2017).

Segundo Gonçalves (2021), vários projetos em Angola têm sido desenvolvidos em nível local, contudo, a maior parte das áreas do país ainda apresenta uma grande deficiência de informação, dificultando a sua aplicação para todo o território angolano. Desta forma, surge a importância de analisar um mapeamento da vegetação em Angola, uma vez que a partir da resposta espectral de imagens analisadas em diferentes classes é possível estudar áreas agrícolas e de conservação ambiental, permitindo analisar a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal (Eklundh e Jonsson, 2015).

Primeiramente, para investigar a distribuição da cobertura vegetal em Angola, é necessário identificar o padrão do comportamento fenológico da vegetação. De acordo com Chen e Pan (2002) e Gu et al. (2010) a fenologia é um processo biofísico que ocorre na planta, influenciado pelo fotoperíodo, precipitação, solo, temperatura do ar, iluminação solar, dentre outros fatores ambientais. Deste modo, a fenologia varia de forma substancial ao longo das diferentes coordenadas geográficas, zonas climáticas e tipos de vegetação, e tem uma alta variabilidade devido às diferenças das estações climáticas a cada ano (Richardson et al., 2013).

Estudos voltados para compreensão dos fatores climáticos e ambientais da fenologia da vegetação em Angola são escassos na literatura. As informações detalhadas de clima e vegetação no território Angolano permitem melhorar o planejamento do uso da água na região, principalmente para analisar o potencial de

irrigação, o quanto de água é utilizado na agricultura e a época de maior demanda hídrica. Sendo assim, informações sobre a evapotranspiração torna-se fundamental para entender a disponibilidade de água no solo para a vegetação, sendo esta quantificada pela demanda de água da planta e da atmosfera e pela intensidade de fluxo da água do solo para a raiz (Xiang et al., 2020).

Portanto, pesquisas que buscam investigar o impacto das mudanças da cobertura vegetal, na fenologia de vegetação e no balanço hídrico são de fundamental importância para compreender a sensibilidade e a resiliência da vegetação às alterações do clima e como elas estão correlacionadas. Desta forma, este estudo teve como objetivo analisar o comportamento e a distribuição espacial da cobertura vegetal de Angola para um período de 18 anos de 2001 a 2018 através de dados de sensoriamento remoto.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

De acordo com as informações disponíveis no sítio do Consulado Geral da República de Angola no Estado de São Paulo (<http://consuladogeraldeangolasp.net/geografia.html>), Angola está localizada na região ocidental da África Austral, tendo as seguintes coordenadas geográficas: latitude 04°22' (norte) e 18°02' (sul), longitude 24°05' (leste) e 11°41' (oeste). Seu território se estende entre o litoral de cerca de 1.600 km e 5.000 km de fronteiras terrestres. Limita-se a norte e leste com a República Democrática do Congo (2.511 km), República da Zâmbia (1.110 km), ao sul com a Namíbia (1.376 km) e ao norte com a República do Congo Brazzaville (201 km) (Figura 01). Sua área terrestre é de 1.246.700 km², equivalente ao estado do Pará o segundo maior estado brasileiro. Angola encontra-se dividida territorialmente em 18 províncias, que possuem uma população total de 24.3 milhões de habitantes e densidade demográfica de 19,49 hab/km² (INE, 2014).

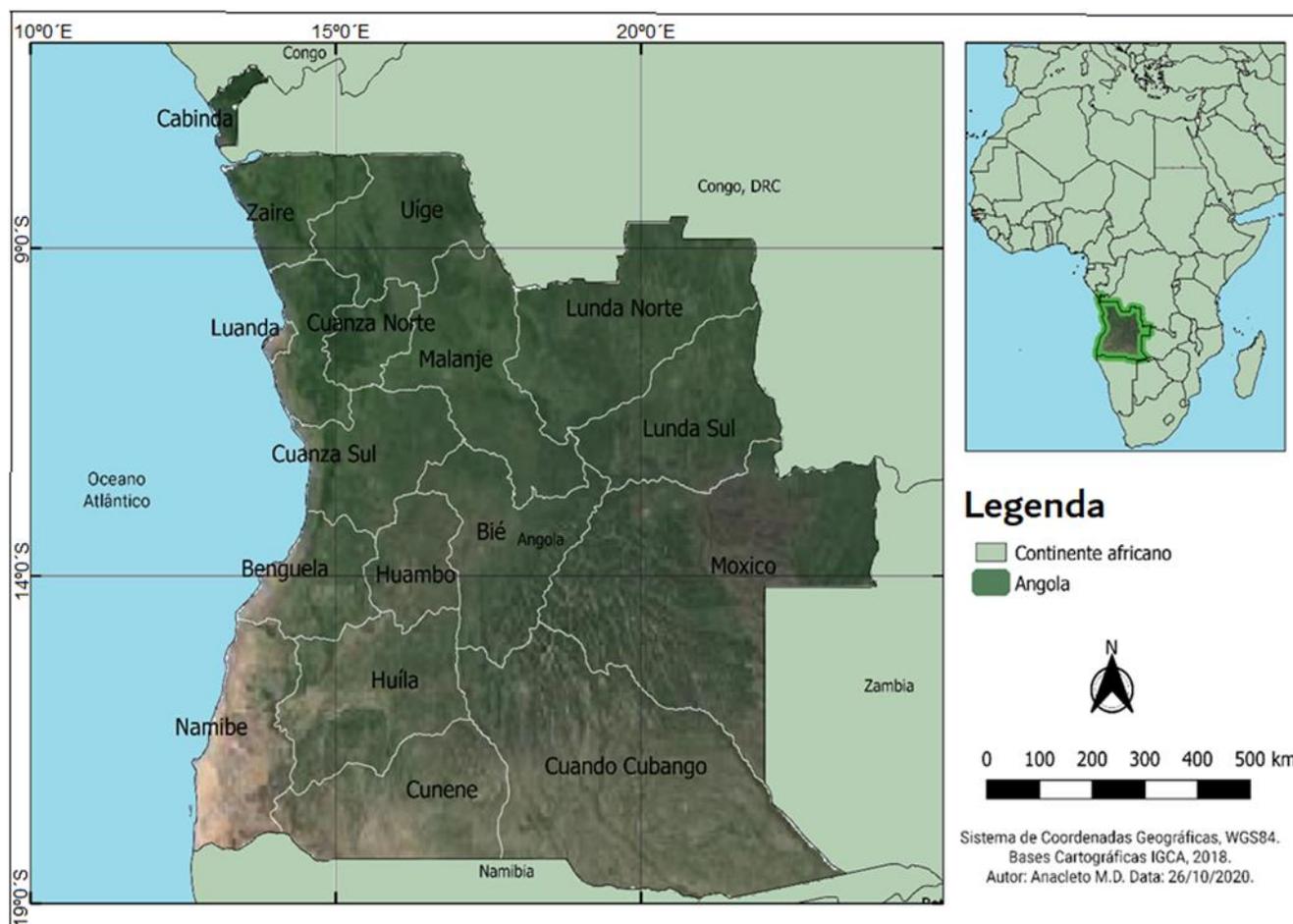


Figura 01. Mapa de Localização de Angola e suas províncias.

O climatologia de Angola varia desde a região norte (Cabinda), com clima tropical, até à região sul, caracterizada por condições quase desérticas (Namibe). O país é influenciado pelo anticiclone subtropical Santa Helena e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e está próximo a uma área de alta variabilidade oceânica (Fonseca e Xavier, 2009).

Devido à localização de Angola, o conhecimento da época das chuvas e da sua variabilidade ao longo do período de observação é fundamental para o aprimoramento dos sistemas de previsão sazonal (Xavier, 2013). A principal característica do clima em Angola são a estação das chuvas, mais quente, durando de setembro a abril, e a

estação de seca, denominada regionalmente como *Cacimbo*, consideradas menos quente, e variando de maio a agosto.

Metodologia

Neste capítulo estão descritos com maior detalhamento os dados utilizados e as etapas realizadas para a classificação da vegetação de Angola e a análise de suas correlações espaciais e estatísticas, conforme apresentação do fluxograma da (Figura 02).

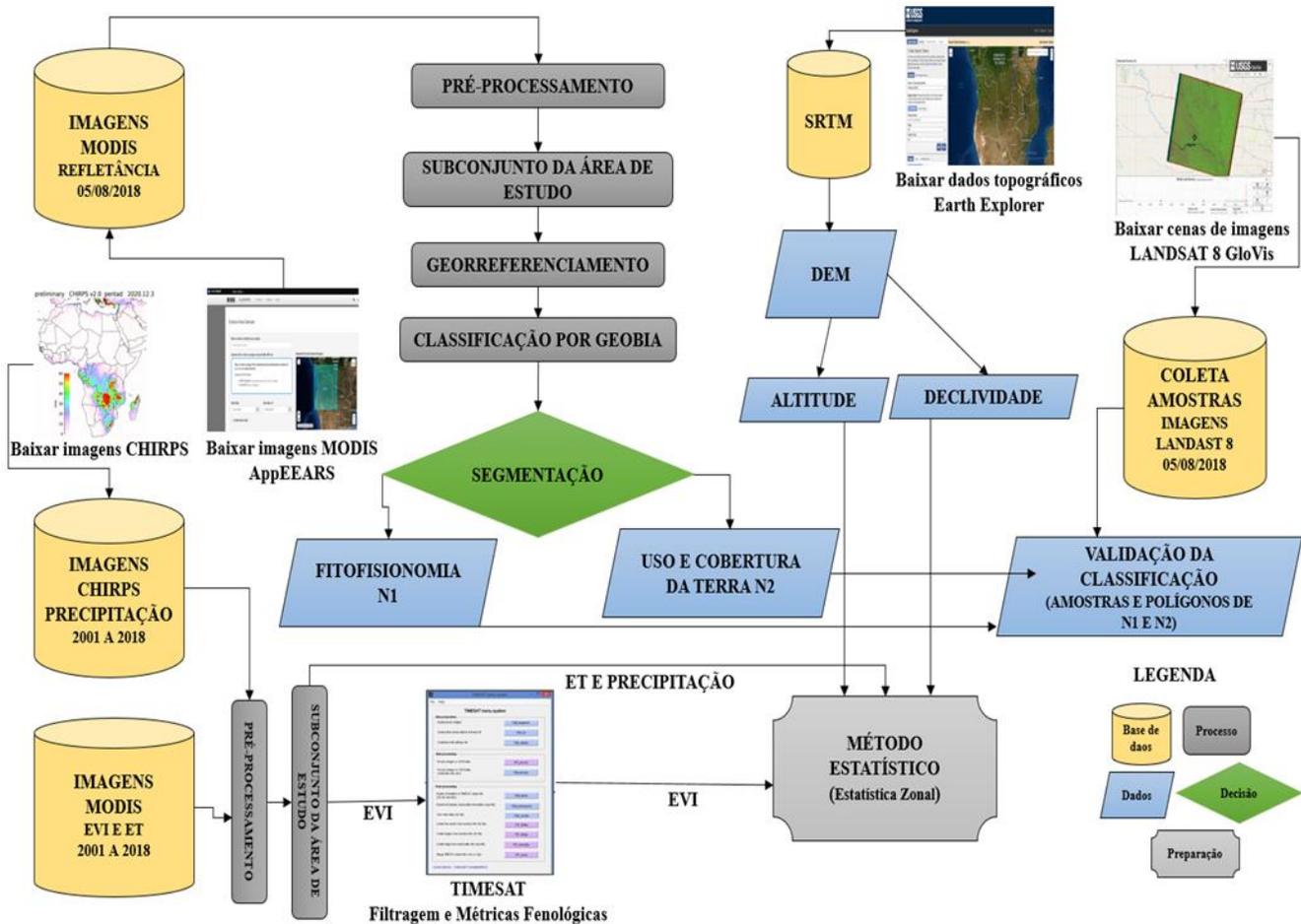


Figura 02. Fluxograma dos processos metodológicos.

Dados

Neste estudo foram utilizados para todo o território Angolano dados de sensoriamento remoto. Os resultados gerados do processamento desses dados encontram-se disponíveis na plataforma do Laboratório Angolano de Observação da Terra - LAOT (www.laot.com.br).

Foram utilizados dados de sensoriamento remoto de radar para obtenção das características do relevo, dados meteorológicos do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS) para a obtenção da precipitação e dados do sensor MODIS (EVI e evapotranspiração) abordo dos satélites AQUA e TERRA, para a obtenção das características de vegetação e evapotranspiração. Cada um dos dados utilizados são descritos com mais detalhamento a seguir.

SRTM

Os dados de relevo foram obtidos da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizados pelo site <https://earthexplorer.usgs.gov/> do centro de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS), que por meio do processamento de imagens interferométricas adquiridas por um par de sensores de radar de abertura sintética (SAR) resultaram em Modelos Digitais de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 m. As cenas de imagens SRTM que formaram o mosaico para Angola (nas latitudes de -4.22° e -18.02°), foram datadas do período de 11/02/2000 a 21/02/2000. As imagens SRTM foram usadas neste estudo para a obtenção de dados de altitude e para o cálculo da declividade de todo o território Angolano, por meio da ferramenta *Spatial Analyst* do programa ArcGIS™.

CHIRPS

Neste estudo foram utilizados dados de precipitação obtidos do CHIRPS, para o período de 01/01/2001 a 31/12/2018, adquiridos no site (chg.geog.ucsb.edu/data/chirps). Estes dados foram obtidos a partir de técnicas de interpolação automática e de alta resolução (0,05°) de um longo período de estimativas de precipitação no infravermelho, baseadas nas baixas temperaturas do topo da nuvem, interpolados com dados de estações meteorológicas (Funk et al., 2015).

MODIS

As imagens MODIS foram obtidas gratuitamente na plataforma *AppEARS/Earthdata Search* da *EOSDIS* (search.earthdata.nasa.gov/search) no formato GEOTIFF, com correção atmosférica, ortorretificação e com valores convertidos para reflectância superficial, em inglês *Bottom of Atmosphere* (BOA), previamente realizados. Dentre os vários produtos do sensor MODIS utilizaram-se o MOD13 (índice de vegetação) e MOD16 (evapotranspiração), dos quadrantes H19V10, H19V09, H20V10 e H20V09, para todo o período analisado.

O Índice de Vegetação Aperfeiçoado, em inglês *Enhanced Vegetation Index* (EVI), foi escolhido devido a algumas limitações de outros índices de vegetação, como o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, em inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Normalmente há uma saturação do NDVI em regiões com altos valores de biomassa, como é o caso das florestas tropicais, e pode ocorrer à interferência dos constituintes atmosféricos nas imagens durante a sua aquisição. Huete et al. (2002) afirma ainda que enquanto o NDVI é mais sensível às variações nas atividades fotossintéticas da vegetação, o EVI é mais sensível às variações na estrutura do dossel, relacionados a variações nos índices de área foliar, fisionomia das plantas e arquitetura do dossel. O EVI está descrito na (Equação 1).

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1RED + C_2BLUE + L} \quad (1)$$

Onde:

NIR, *RED* e *BLUE* referem-se, respectivamente, à reflectância espectral nas bandas do Infravermelho Próximo, Vermelho e Azul, corrigidas dos efeitos de espalhamento Rayleigh e absorção da radiação eletromagnética pelo ozônio; *G* é o fator de ganho; *C1* e *C2* são coeficientes para o termo resistente ao aerossol; e *L* é o fator de ajuste ao solo. Os valores dos coeficientes são segundo Huete et al. (1994) e Huete et al. (1997): *G* = 2,5, *C1* = 6, *C2* = 7,5 e *L* = 1.

As séries temporais do MODIS foram inicialmente processadas no software TIMESAT, o qual permite a filtragem dos dados para a remoção dos ruídos por meio de três filtros de suavização: filtros adaptativo e passa-baixa Savitzky-Golay, Gaussiano assimétrico e logístico duplo (Jonsson e Eklundh, 2002, 2004).

O TIMESAT é um software de domínio público, desenvolvido por meio das linguagens de programação MATLAB e FORTRAN, e é dedicado principalmente à análise de séries temporais de índices de vegetação, permitindo extrair informações sazonais fenológicas a partir dessas séries temporais (Figura 03).

Para este estudo foi escolhido o filtro logístico duplo, pois corresponde a uma função polinomial e harmônica que suaviza séries temporais anuais em função do tempo por meio da (Equação 2).

$$g(t; x_1, x_2, \dots, x_4) = \frac{1}{1 + \exp(\frac{x_1 - t}{x_2})} - \frac{1}{1 + \exp(\frac{x_3 - t}{x_4})} \quad (2)$$

Onde:

x1 e *x3* determinam as posições dos pontos de inflexão esquerda e direita; *x2* e *x4* determinam as taxas de mudança nesses pontos; e *t* é igual ao intervalo de tempo.

O produto MOD16, desenvolvido por Mu et al. (2011) para o sensor MODIS, contém conjuntos de dados da evapotranspiração global (ET), calor latente (LE) e potencial (PET) da superfície terrestre, com resolução espacial de 1 km e temporal de 8 dias, organizados em intervalos mensais e anuais.

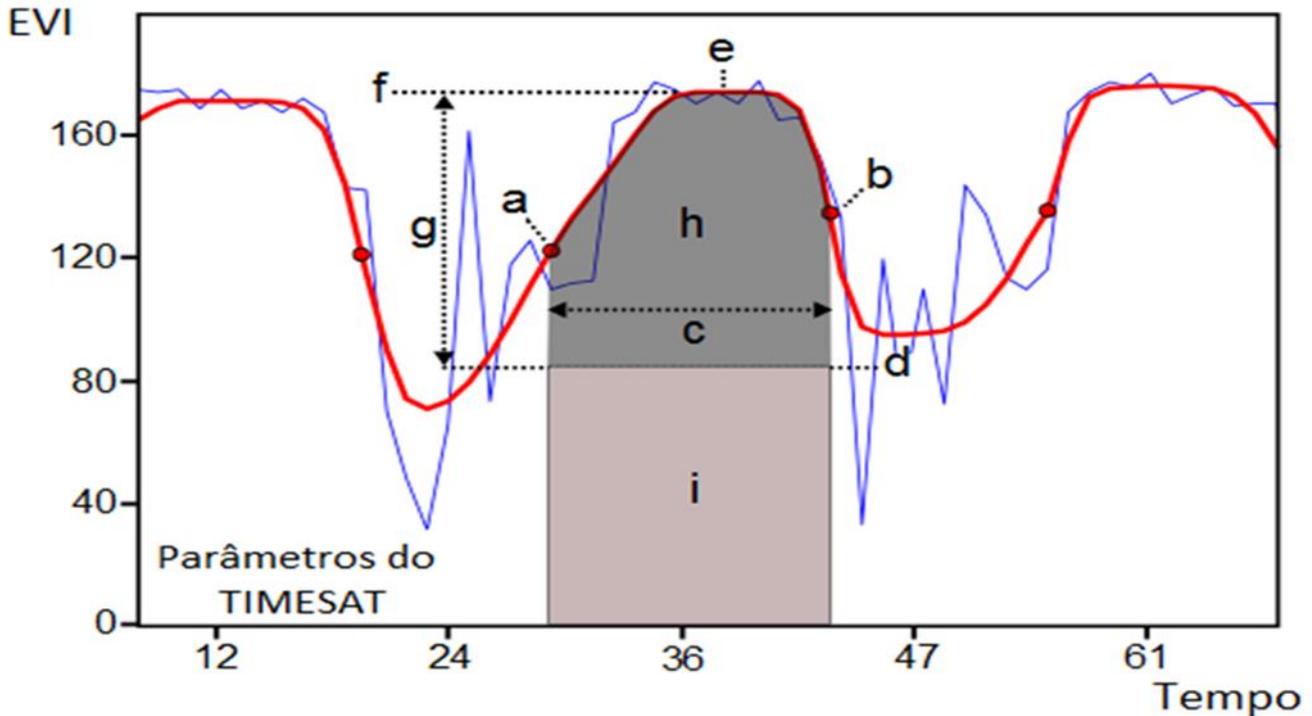


Figura 03. Parâmetros de sazonalidade gerados no TIMESAT: (a) início da estação (b) final da estação, (c) comprimento da estação, (d) valor mínimo, (e) tempo do meio da estação, (f) valor máximo (g) amplitude, (h) pequeno valor integrado, (h + i) grande valor integrado. A linha em vermelho é o resultado dos três filtros aplicados sobre o perfil original demarcado pela linha em azul (Eklundh e Jonsson, 2015).

As variáveis de saída incluem, ET, LE, PET e Controle de Qualidade anual da ET (QC_ET) nas resoluções temporais de 8 dias, mensal e anual, sendo que estes dados são disponibilizados somente para 8 dias. Este intervalo de 8 dias do MOD16A2 é proveniente do MOD15A2 no mesmo período.

Para o produto MOD16A3, Zhao et al. (2005) utilizaram o método da (Equação 3) para definir um QC anual mais significativo.

$$QC = 100.0 \times NU_g / Total_g \quad (3)$$

Onde:

NU_g é o número de dias durante a estação de crescimento, e $Total_g$ é o número total de dias na estação de crescimento da planta.

Atualmente, a equação de Penman-Monteith (1965) é o método padrão da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) para modelar a evapotranspiração. Baseia-se nas medidas das resistências da superfície e do ar, assumindo que

toda a energia disponível para a evapotranspiração das superfícies vegetadas incide diretamente no dossel das plantas de acordo com a (Equação 4) (Ruhoff, 2011).

$$\lambda E = \frac{\frac{sA + \rho_a C_p (e_s - e_a)}{r_a}}{s + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (4)$$

Onde:

λE o fluxo de calor latente ($W \cdot m^{-2}$), $s = \frac{d(e_s)}{dT}$ que é a declividade da curva da pressão de vapor saturada (Pa); A é a energia disponível ($W \cdot m^{-2}$); ρ_a é a densidade do ar ($kg \cdot m^{-3}$); C_p é a capacidade específica do ar ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$); e_a é a pressão atual de vapor (Pa); e_s é a pressão de vapor na saturação (Pa); r_a é a resistência aerodinâmica ($s \cdot m^{-1}$); r_s é a resistência da superfície ($s \cdot m^{-1}$); e γ é a constante psicométrica ($Pa \cdot K^{-1}$).

Classificação da vegetação de Angola

O banco de dados utilizado para a classificação da vegetação de Angola foi composto por imagens orbitais do sensor MODIS e dados de relevo do SRTM. A imagem de reflectância do MODIS, com resolução espacial de 500 m, de 05/08/2018 foi processada no software ArcGIS 10.3, na qual a imagem recortada e mosaificada.

No software *Ecognition Developer*, a partir da abordagem de classificação orientada a objeto *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA), foi gerada a segmentação da imagem para dois níveis de escala de segmentação: fitofisionomia (N1) e uso e cobertura da terra (N2), com a finalidade de avaliar a cobertura vegetal em duas escalas de nível de classificação. Além disso, foi usado o algoritmo *multiresolution segmentation*, para criação do tamanho apropriado dos objetos presentes na imagem, separando cada feição para os dois níveis. Os parâmetros de forma e compacidade dos objetos utilizados para cada nível da imagem estão relacionados na (Tabela 01). O campo forma, que varia de 0 a 1, modifica a relação entre os critérios de homogeneidade espacial e informação espectral e a compacidade modifica os critérios de contorno (Piazza e Vibrans, 2014).

Tabela 01. Tipos de parâmetros utilizados pelo algoritmo *multiresolution segmentation*.

Níveis	Parâmetros		
	Escala	Forma	Compacidade
N1	350	0.1	0.5
N2	10	0.1	0.5

Posteriormente, definiram-se os atributos para maior separabilidade entre as classes de classificação, através da ferramenta *Edit Standard Nearest Neighbor Feature Space* (Tabela 02). Desta forma, foram categorizadas as seguintes classes para cada nível fitofisionômico (N1) e de uso e cobertura da terra (N2):

N1: Dunas arenosas; Floresta úmida, guineense-periguineense; Floresta úmida, planáltica e sub-montanha; Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas; Miombo mediano; Mosaico de Floresta densa, periguineense, zambeziaco-guineense; e Mosaico de savana e floresta tropófitas.

N2: Agricultura; Arbusto de folha caduca; Bosque caducifólio aberto; Bosque caducifólio fechado; Deserto; Floresta; Floresta-Vegetação

natural; Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos; Solo exposto; e Corpos d'água.

A construção de uma rede semântica baseou-se na análise de atributos e definição de um grupo de regras e algoritmos baseados nas funções de pertinência, organizadas em uma sequência para ser aplicada sobre o conjunto de objetos obtidos pela segmentação visando discriminar a classe correspondente.

A execução de um algoritmo representa um único processo, ou seja, um conjunto de regras que fornece uma solução para um problema específico da análise da imagem. Um conjunto de regras é uma sequência de processos que são executados em uma ordem definida. A sequência de etapas estabelecidas para a classificação no *eCognition* é denominada árvore de processos (*tree process*).

Tabela 02. Tipos de atributos utilizados pelos dois níveis de classificação na ferramenta *Edit Standard Nearest Neighbor Feature Space*.

Feição dos objetos	Tipos de feição
Medidas de camada	Média das bandas, diferença máxima de valores e desvio-padrão das bandas.
Geometria	Área poligonal, compacidade e arredondamento, com base em polígonos e desvio padrão de comprimento de arestas.
Caracterizado	Reflectância da Superfície

A árvore de processos elaborada permitiu a realização dos procedimentos em etapas. A cada etapa, uma subclasse foi analisada, e os objetos que pertenciam a ela foram classificados. Na etapa subsequente, a análise e a classificação da subclasse seguinte foram concretizadas considerando apenas o conjunto de objetos ainda não classificados nas etapas anteriores. Ao final da classificação, as subclasses foram agrupadas em suas respectivas classes, utilizando-se a ferramenta *Class Hierarchy*, que possibilitou o agrupamento das subclasses em uma estrutura hierárquica para cada nível de classificação.

Vale salientar que as classes N1 e N2 utilizadas neste trabalho foram escolhidas de maneira que fosse possível identificá-las na imagem, de acordo com as resoluções espacial, temporal e espectral disponíveis. Dessa forma, a legenda escolhida foi generalizada e aplicada a toda a imagem.

Em seguida foram sobrepostas a classificação realizada aos dados orbitais, que compreendem um plano de informação (PI), os quais contém polígonos das áreas identificadas e classificadas. Com uma amostragem aleatória e distribuída por toda a área de estudo para a realização de uma análise sem viés, os dados foram usados como referência para uma análise preliminar dos acertos e erros da classificação. Seu uso justificou-se pela qualidade, apresentando um fiel retrato da realidade.

Depois dos processos de classificação dos mapas de fitofisionomia e de uso e cobertura da terra, os dados foram exportados para o software ENVI 5.3 para a validação dos resultados obtidos, sendo utilizados os polígonos dos dois níveis de classificação e imagens do sensor Imageador Operacional Terrestre (*Operational Land Imager - OLI*) do satélite

LANDSAT 8, totalizando 168 polígonos para as classes de fitofisionomia e 3.846 polígonos para as classes de uso e cobertura da terra (Figura 04), calculados com erro amostral de 8%, nível de confiança 92%, considerando o método de Gonçalves et al. (2015). Os polígonos de cada nível da classificação foram utilizados para determinar as áreas e porcentagens pertencentes a cada classe de vegetação.

Considerando a afirmação de Foody (2002), de que no mapeamento temático de imagens de sensoriamento remoto a acurácia é utilizada para expressar o grau de correção de um mapa ou classificação, utilizou-se a estatística de Kappa que, de acordo com Fitzgerald e Lees (1994), é um método estatístico utilizado na avaliação da precisão de classificação.

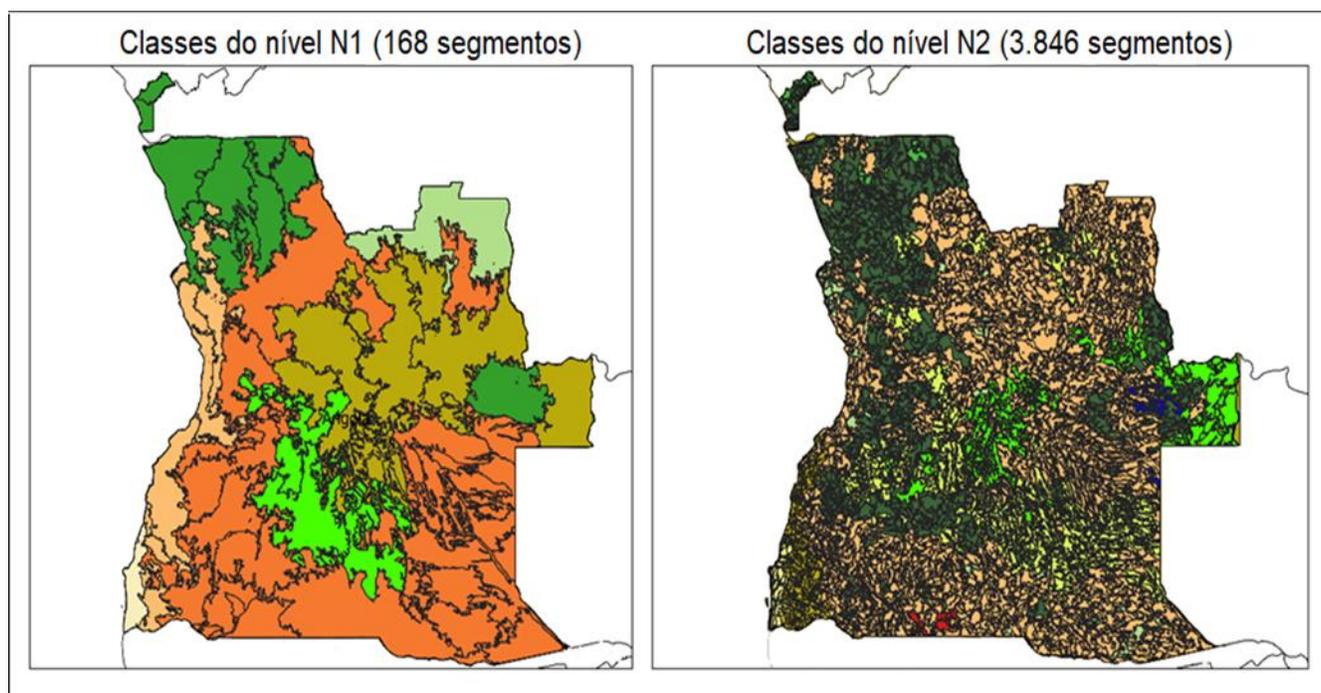


Figura 04. Distribuição espacial dos segmentos dos dois níveis de classificação de vegetação (N1 e N2).

Análise espacial da fenologia de vegetação, precipitação e ET

Para analisar as variações da fenologia da vegetação e dos dados de umidade, como precipitação e evapotranspiração, foram calculados os parâmetros de tempo de início da estação, em inglês *Start of Season* (SOS), final da estação, em inglês *End Of Season* – (EOS), e comprimento da estação para os dados de

umidade, taxa de rebrota e a taxa de senescência das imagens EVI para todo o período da série temporal.

A ET foi dividida pela Evapotranspiração potencial (ETP), para reduzir diferenças locais, oriundas da variação latitudinal da radiação solar, denominada de ET normalizada (ETn). Em seguida, foram calculados os valores máximos, mínimos e a amplitude das imagens de precipitação do CHIRPS e

ETn, que representam a SOS, EOS e o comprimento das estações de crescimento.

Relações entre as classes de vegetação dos níveis N1 e N2 com o relevo, precipitação, ETn e EVI

Para analisar como as variáveis do meio físico e das métricas da vegetação estão associadas com as classes fenológicas da vegetação (N1) e de uso e cobertura da terra (N2) foi utilizada a estatística zonal (*Zonal Statistics*) do software ArcGIS 10.3. O objetivo foi entender como os dados de altimetria, declividade, precipitação, evapotranspiração, além das métricas da vegetação obtidas pelo EVI estão correlacionados espacialmente com os dois níveis de classificação N1 e N2. Para isso, além dos valores mínimos e máximos também foram analisados os parâmetros estatísticos descritos na (Tabela 03).

Tabela 03. Parâmetros estáticos utilizado na análise espacial.

Descrição	Fórmula
Média	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$
Desvio Padrão	$S = \sqrt{\frac{\sum X_i - \bar{X} ^2 \cdot f_i}{N}}$
Variância	$S^2 = \frac{\sum X_i - \bar{X} ^2 \cdot f_i}{N - 1}$
Amplitude	$Amplitude = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}$

Resultados e discussão

Altitude e Declividade de Angola

Um cinturão costeiro ondulante de baixa altitude (29-456 m) se estende do norte até ao sul de Angola, como pode ser observado na (Figura 05a).

Segundo MUA (2006) esta unidade é composta por rochas sedimentares e sedimentos fracamente consolidados, varia em largura de 200 km a sul de Luanda a cerca de 10 km entre Benguela e Namibe. À leste, uma faixa separa o cinturão costeiro do planalto interior e áreas montanhosas. Essa unidade de transição, inclui xistos, arcoses e quartzitos e varia de 200 a 500 m de altitude com 60 a 250 km de largura. Geomorfologicamente, é composto de sedimentos no sul árido e colinas residuais e vales estreitos que ganham altitude mais para o interior do continente. Nos trechos meridionais, o cinturão de transição inclui inselbergues maciços que se elevam 1.000 m acima do nível da base regional (Lopes et al., 2016).

Uma protuberância de elevação entre 1.500 e 2.000 m localizada na região centro-oeste do país é conhecida como planalto central (Dinis et al. 2021 e Paul, 2021). Essa é uma superfície erosiva rolante, constituída principalmente por rochas complexas de embasamento, como gnaisse, granito e migmatito.

Em Angola, cerca de 78% de sua área possui baixa declividade (Figura 05b), grande parte de seu território é constituída de regiões planas, 51% a suavemente onduladas, 30%. Isso evidencia o intenso grau de entalhamento da região, resultado das ações erosivas que desgastaram o relevo. As áreas que concentram as inclinações mais elevadas com relevo ondulado, 11%, forte ondulado, 5%, e montanhoso, 3% são aquelas que também possuem as maiores cotas altimétricas e divisores de água, como é o caso da região central do país, que apresenta as principais zonas de elevadas altitudes.

Cardoso et al. (2006) afirmou que um número de montanhas importantes separam o planalto central da zona de transição de oeste inclinada. Estes pontos elevados excedem 2.000 m e apoiam as florestas afro-montanas consideradas centros de alta biodiversidade e endemismo, incluindo o ponto mais alto em Angola, o Morro do Moco que possui altitude máxima de 2.620 m.

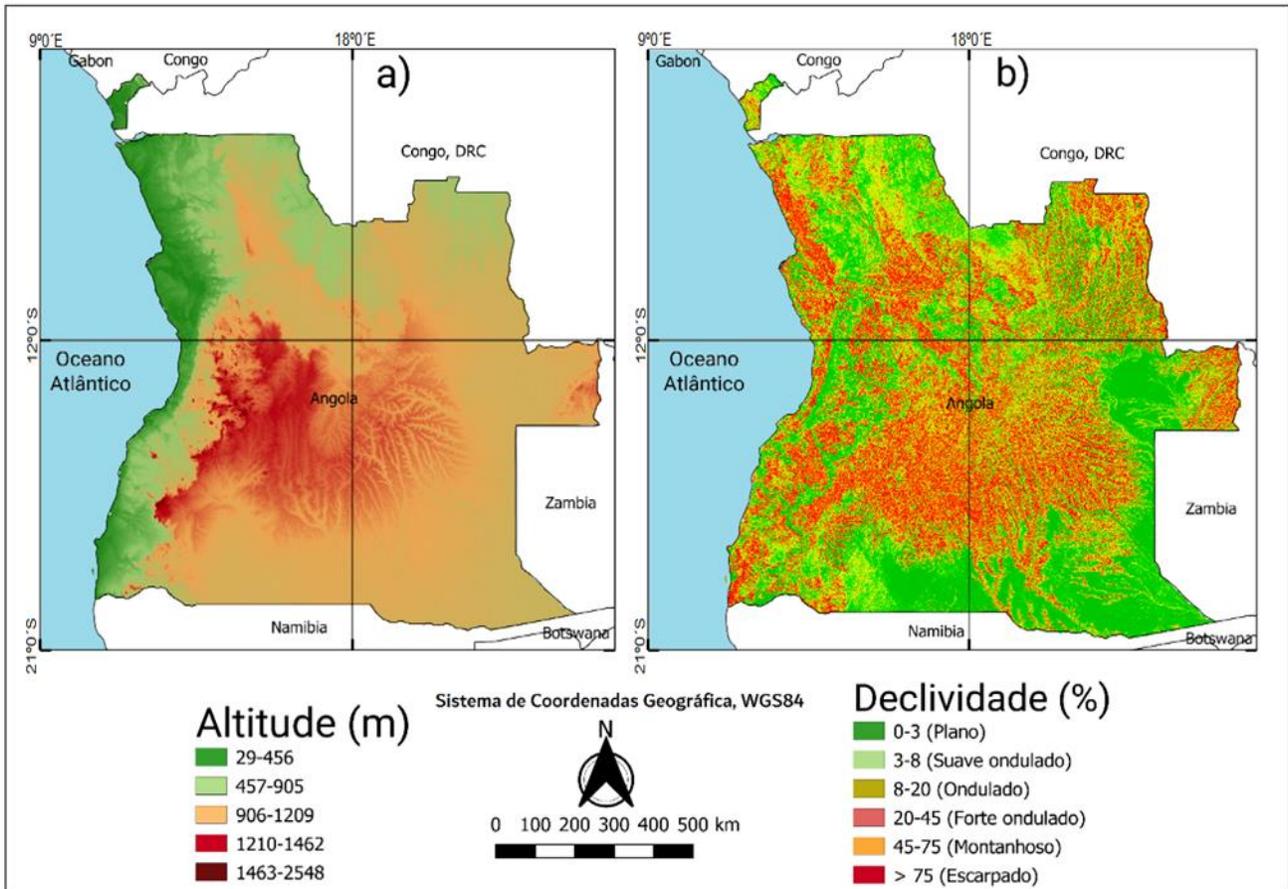


Figura 05. Características Geomorfológicas de Angola. a) Mapa de Altitude e b) Declividade.

Classificação

Os resultados apresentados em mapas temáticos dos dois níveis N1 e N2 de classificação e os valores das dimensões das áreas de cada classe de vegetação e exatidão encontram-se apresentados a seguir. Estes mapas foram gerados para analisar o comportamento da distribuição espacial da vegetação de Angola nos níveis de fitofisionomia e de uso e cobertura da terra, sendo possível quantificar as áreas das classes de cada nível.

Foram amostradas 17 classes em dois níveis, sendo 7 classes no nível N1 e 10 no nível N2, com representações dimensionais de 1.240.646 km² em N1 e 1.242.391 km² para N2. Estes valores evidenciam também grandes variações por área em cada espécie da vegetação de Angola. MUA (2006), em seu relatório para o estudo do meio ambiente de Angola quantificou a vegetação de Angola em níveis fitofisionômicos em diferentes ecorregiões, utilizando elementos climáticos

e de altitude como fatores influenciadores para cada tipo de cobertura vegetal.

Essa grande variabilidade de tipologias dentro do mesmo território é decorrente da grande extensão da área de estudo, como também observou Cabral (2008), quando avaliou a cartografia de Angola e suas classes de vegetação baseada em dados orbitais. MUA (2006) comenta ainda que os números de classes identificadas dependeram de um conjunto de fatores, tais como situação topográfica, profundidade e permeabilidade do solo, além da precipitação anual das áreas analisadas levando em conta cada categoria de vegetação.

Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1

A classe fitofisionômica do Miombo mediano, que se encontram em áreas de média e alta elevação topográfica de acordo com o Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF, 2004), contabiliza

uma área de 201.913 km², cerca de 20,8% do território mapeado, o que a torna uma das classes de vegetação mais predominante em Angola junto com a classe de vegetação de Savanas e Florestas Tropófitas que apresentam juntas uma área de 338.876 km², cerca de 31,7% do território, enquanto que as Dunas arenosas possuem 81.451 km² de extensão e representam apenas 2,2% de ocupação entre as classes no nível N1 (Tabela 04). Das sete classes fitofisionômicas da vegetação identificadas no nível N1 de classificação (Figura 06), duas delas (Mosaico de savana e floresta tropófitas e Miombo mediano) se somadas são mais da metade de todo o território, enquanto quatro classes (Mosaico de floresta densa, periguiense, zambeziaco-guineense, Floresta úmida, planáltica e sub-montanha, Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas e Floresta úmida, guineense-periguiense) se somadas formam 45% do restante do território angolano coberto por espécies vegetais.

As duas classes fitofisionômicas da vegetação de maior extensão no nível N1, Mosaico de savana e floresta tropófitas e Miombo mediano, são aquelas encontradas mais frequentemente em estudos de levantamento de espécie de vegetação de Angola, concordando com vários outros trabalhos desenvolvidos na região (Siquilile et al., 2021).

A partir dos polígonos gerados da classificação fitofisionômica da vegetação do nível N1 e de imagens do satélite LANDSAT 8, foi possível elaborar a matriz de confusão, com resultados de 0,87% de índice Kappa e Exatidão Global de 91,40%, como demonstrado na (Tabela 04). Os resultados mostraram ser ligeiramente diferentes aos de Cabral (2008) que apresentaram o índice Kappa de 0,77 e margens de erros relativamente altos, mas aceitável, de 20.3% e 22.1% em uma das análises do seu trabalho de cartografia de cobertura do solo em Angola, utilizando imagens do sensor MODIS e classificadores em árvores simples, considerando dezessete classes de uso.

Tabela 04. Informações sobre as classes fitofisionômicas da vegetação encontrada na classificação N1 para o território angolano.

Classes de Fitofisionomia	Nível – N1		
	Área (Km ²)	Território (%)	Exatidão (%)
Dunas arenosas	81.451	2,22	99,67
Floresta úmida, guineense-periguiense	198.631	14,05	93,89
Floresta úmida, planáltica e sub-montanha	144.867	10,17	87,87
Formações estepóides sublitorais, arbustivos e herbosas	161.694	11,32	90,84
Miombo mediano	201.913	20,84	96,91
Mosaico de floresta densa, periguiense, zambeziaco-guineense	113.214	9,65	89,31
Mosaico de savana e floresta tropófitas	338.876	31,75	81,04
Total das Classes	1.240.646	100,00	-----
Exatidão Global	-----	-----	91,40
Índice Kappa	-----	-----	0,87

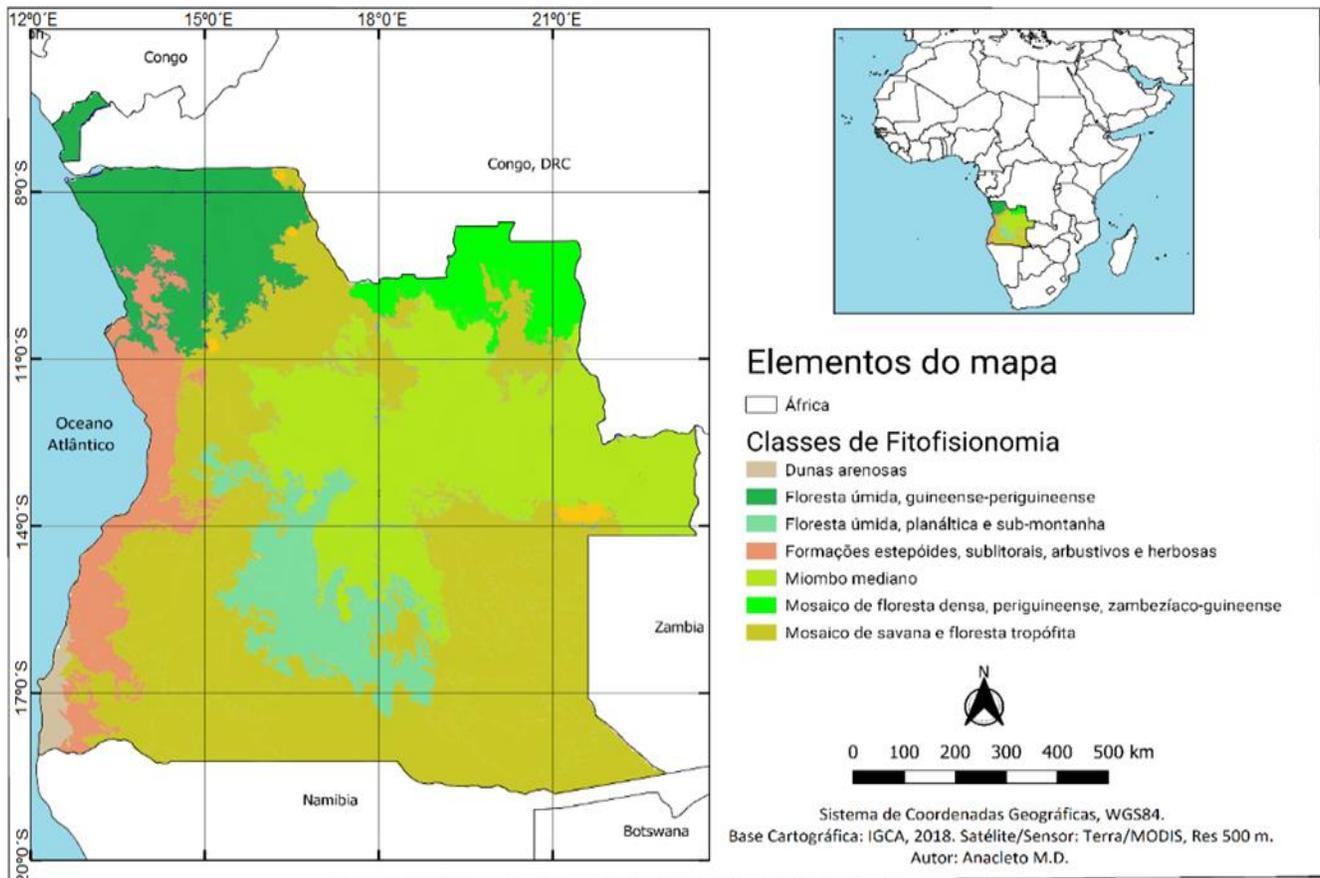


Figura 06. Classificação fitofisionômica da vegetação de Angola em nível N1

Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2

De acordo com o mapeamento de uso e cobertura da terra a classe de vegetação de Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos mostra-se como a classe mais predominante com uma área de 581.948 km² representando mais da metade de todo o território Angolano. (Tabela 05). A maior extensão de classe de vegetação, se estende em área de alto relevo com 906 a 1209 m de altitude, no sul, passando pelo oeste, norte e leste da região em estudo. Contudo, essa medida pode estar superestimada, pois essas regiões são divididas em alguns setores distintos, interligados por pequenas áreas de matas ciliares. As classes de Solo exposto, Floresta e Arbustos de folha caduca também apresentam áreas significativas e somadas chegam a mais de 33% de todo o território Angolano. A identificação das dimensões dessas classes é fator importante, pois extensões maiores de vegetação e com mais corredores de conexão têm maior capacidade de

suporte à vida selvagem, uma vez que provêm mais segurança e alimentos aos animais. Esta classificação em uso e cobertura da terra (Figura 07) também permitiu perceber que a vegetação com a menor área é a de Agricultura que contém 0,03% do território mapeado. Em seguida aparecem as áreas de Corpos aquosos com um total de 0,23% de extensão, o Deserto com 0,31% e a classe floresta vegetação natural com 2,11% de ocupação de todo território mapeado.

Os valores de exatidão observados na classificação de uso e cobertura da terra em nível N2, foram relativamente semelhantes aos do nível N1, com 0,85% de índice Kappa e a Exatidão Global de 91,45% como demonstrado na (Tabela 05). Sendo as classes com valores de exatidão mais baixas a Agricultura e Arbustos de folha caduca, com 73,6% e 79,4%, respectivamente. Por outro lado, os valores mais altos encontraram-se nas classes de Deserto, Floresta e Corpos aquosos todos com 100% de exatidão. Com esses resultados Landis e Koch (1977), permitem considerar que os níveis do índice Kappa são substancialmente a quase perfeita, próxima a 100%.

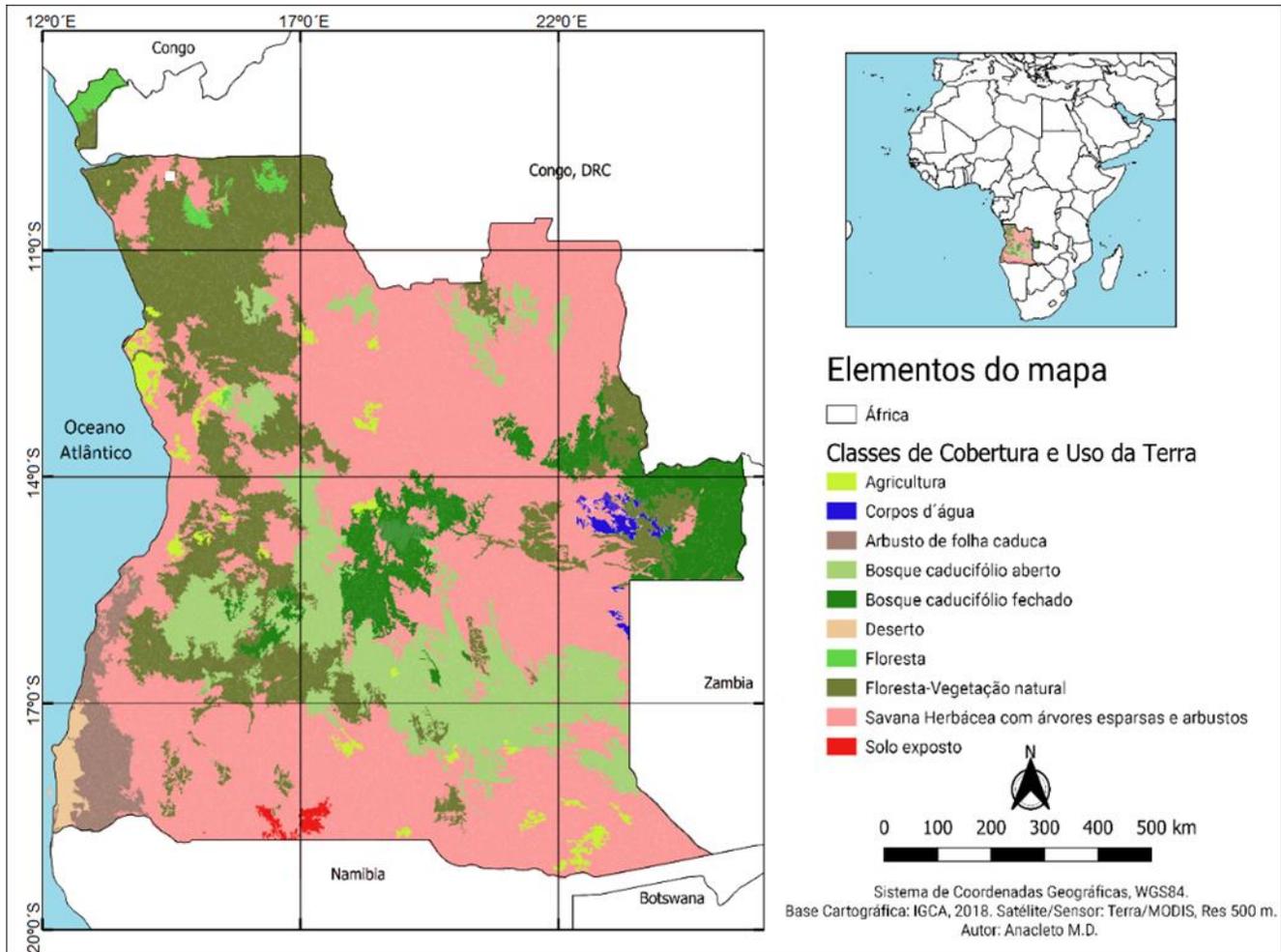


Figura 07. Classificação da vegetação de acordo com a classe de uso e cobertura da terra de Angola em nível N2. setembro-outubro como pode ser observado na (Figura 08b).

Análise dos períodos chuvosos

A estação chuvosa ocorre mais cedo no extremo sul de Angola, mais para o oeste e no Noroeste, nos meses de outubro-novembro e novembro-dezembro, como pode ser observado na (Figura 08a). Do Sudoeste atravessando todo o corredor central até ao leste, o SOS de precipitação ocorre nos meses de dezembro-janeiro. E em toda a região central até ao nordeste e algumas manchas de precipitação isolada ocorrem nos meses de janeiro-fevereiro, fevereiro-março e março-abril.

O fim da estação chuvosa, ocorre em quase 80% do território angolano, nos meses de maio-junho e setembro-outubro, enquanto algumas regiões mais ao norte ocorrem nos meses de agosto-setembro e

Em relação ao comprimento da estação chuvosa, percebe-se na (Figura 08c) que na região extremo sudoeste que faz um corredor se estendendo até ao noroeste apresentam comprimento da estação chuvosa menores do que 3 a 4 meses. Em grande parte de Angola o comprimento da estação chuvosa perdura entre 5 a 8 meses. Sendo que as regiões em que predominam precipitações entre 8 a 9 meses do ano se localizam nas regiões mais centrais (província do Huambo), leste (província do Moxico) e mais ao norte da província de Cabinda.

Tabela 05. Informações sobre as classes da vegetação de acordo com o uso e cobertura da terra encontrada na classificação N2 para o território Angolano.

Classes de Uso e Cobertura da Terra	Nível – N2		
	Área (Km ²)	Território (%)	Exatidão (%)
Agricultura	73	0,03	73,61
Arbustos de folha caduca	110.857	9,97	79,48
Bosque caducifólio aberto	71.392	6,64	91,71
Bosque caducifólio fechado	44.392	3,99	88,10
Deserto	81.000	0,31	100,00
Floresta	101.867	10,97	100,00
Floresta-Vegetação natural	24.153	2,11	95,97
Savana Herbácea com árvores esparsas e arbustos	581.948	53,54	88,78
Solo exposto	164.840	12,21	96,88
Corpos d'água	61.869	0,23	100
Total das Classes	1.242.391	100,00	-----
Exatidão Global	-----	-----	91,45
Índice Kappa	-----	-----	0,85

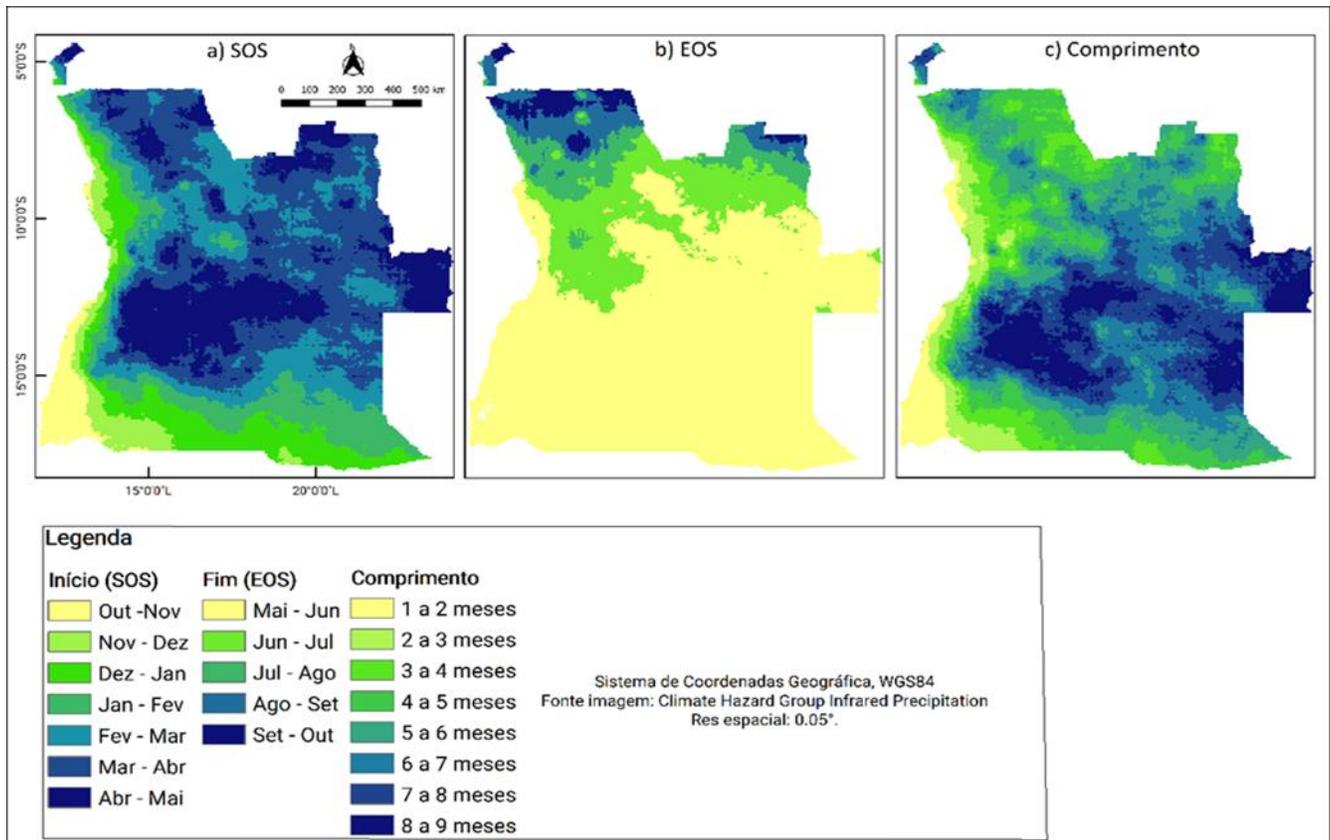


Figura 08. Padrões de precipitação em Angola. a) início da estação chuvosa (SOS), b) fim da estação chuvosa (EOS), e c) comprimento da estação chuvosa utilizando dados do CHIRPS de 01/01/2001 a 31/12/2018.

Análise da evapotranspiração

O início da estação de aumento da evapotranspiração como era esperado assemelha-se à resposta da precipitação, apresentando uma duração de cerca de três meses entre março, abril e maio em grande parte do território. A estação de aumento da ETn ocorre mais cedo nos meses de verão de outubro-novembro no extremo sudoeste de Angola, como pode ser observado na (Figura 09a).

O final da estação de decréscimo de ETn, ocorrem predominantemente nos meses de maio-junho

em grande parte do território Angolano, enquanto em algumas partes do eixo noroeste e nordeste são verificados a ocorrência dos meses finais da ETn entre junho-julho e julho-agosto (Figura 09b).

Quando se analisa o comprimento da estação de ETn, observa-se na (Figura 09c), que a regiões com valores de 1 a 2 meses se encontram no extremo sudoeste e que grande parte do território Angolano possui comprimentos de ETn com valores de 2 a 5 meses, sendo que valores maiores de duração da ETn são encontrados no extremo noroeste do país.

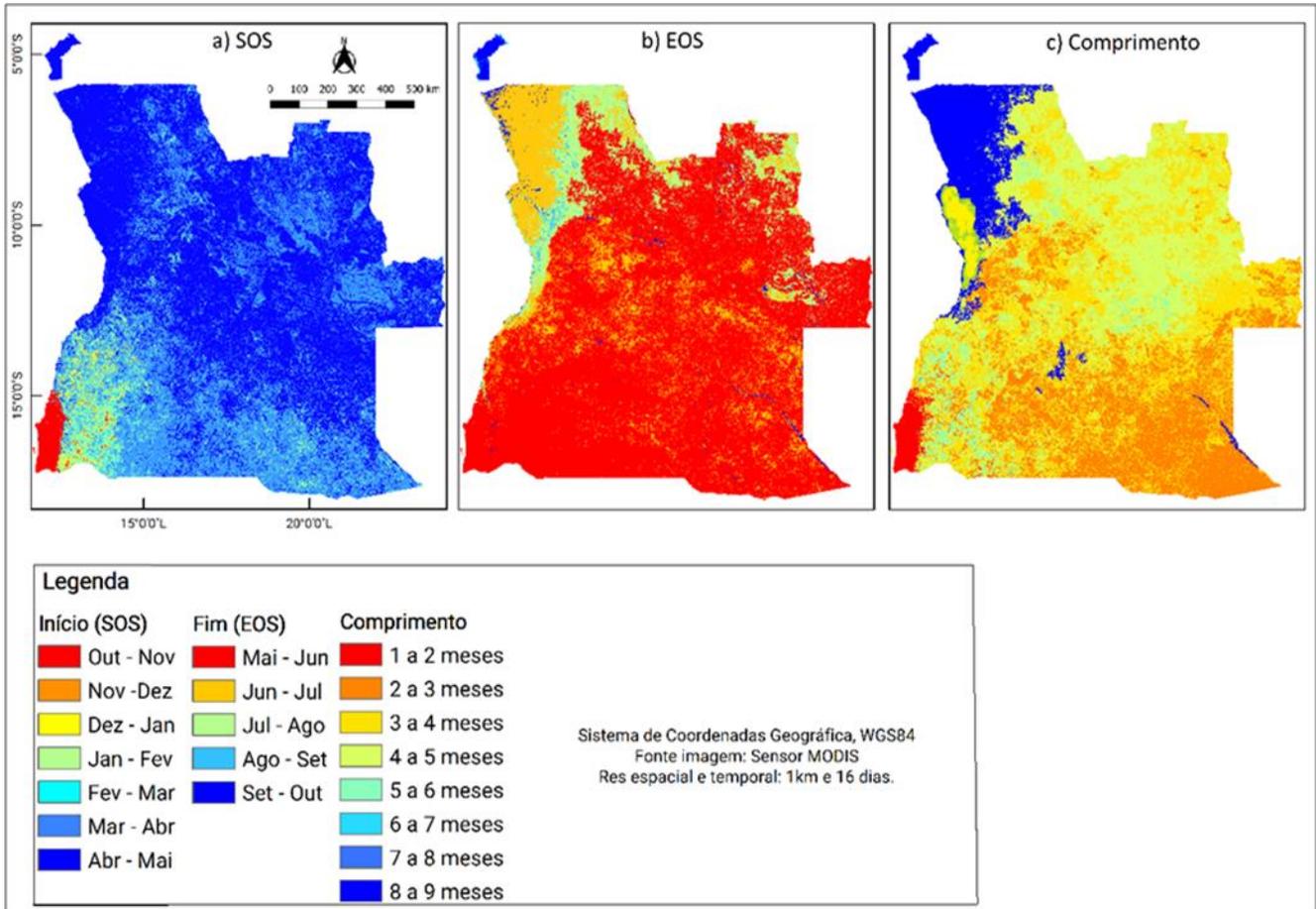


Figura 09. Padrões da estimativa da evapotranspiração (ETn) em Angola. a) início da estação do aumento da ETn (SOS), b) fim da estação do decréscimo da ETn (EOS), c) comprimento da estação da ETn utilizando dados do sensor MODIS (MOD16) de 01/01/2001 a 31/12/2018.

Análise das métricas fenológicas

A resposta do início do crescimento dos dados do EVI aproxima-se das respostas do início das estações chuvosas e da ETn, apresentando um período de duração de cerca de três meses. Nas regiões leste e um corredor que se estende do Sudoeste até ao oeste de Angola, o início do crescimento da vegetação variou entre meses de outubro e janeiro (Figura 10a), coincidindo fortemente com o início das estações chuvosas e mais levemente com o início do aumento da ETn. No entanto, ao final deste período de duração da estação chuvosa de verão é quando as folhas apresentam picos plenos da capacidade fotossintética (LUO et al., 2017), que podem ser observadas nas manchas mais claras em tons de verde nas regiões norte e centro de Angola que em geral correspondem à vegetação nativa.

Para a maior parte de Angola, o fim da estação de crescimento da vegetação ocorre entre os meses de julho a outubro (Figura 10b), sendo que o fim das chuvas ocorre predominantemente nos meses de maio-junho, ou seja, com um tempo de atraso de um mês. O maior tempo de atraso entre o fim da estação chuvosa e a redução da resposta fotossintética da vegetação se deve ao armazenamento de água no solo e a capacidade da vegetação de utilizar esta água, possibilitando a planta manter o seu verdor mesmo após o início da estação seca. Portanto, além das características de precipitações e do tipo da vegetação consideradas neste estudo, deve-se levar em consideração também as características físicas do solo.

Por último, percebe-se também, que o fim da estação de crescimento da vegetação apresenta maior homogeneidade espacial, com pequenas variações ao longo de toda região, ou seja, fortalece a hipótese de que a senescência em Angola é um processo mais

complexo, que depende menos das chuvas do que a rebrota e a sua resposta está condicionada a outros fatores ambientais. Segundo Lenza e Klink (2006) os valores mínimos de EVI mais elevados estão claramente associados às formações savânicas, as quais

mesmo durante a seca, apresenta alguma atividade fotossintética, pois algumas das espécies que integram estas fitofisionomias não perdem totalmente as folhas durante a estação e/ou estão sempre verdes.

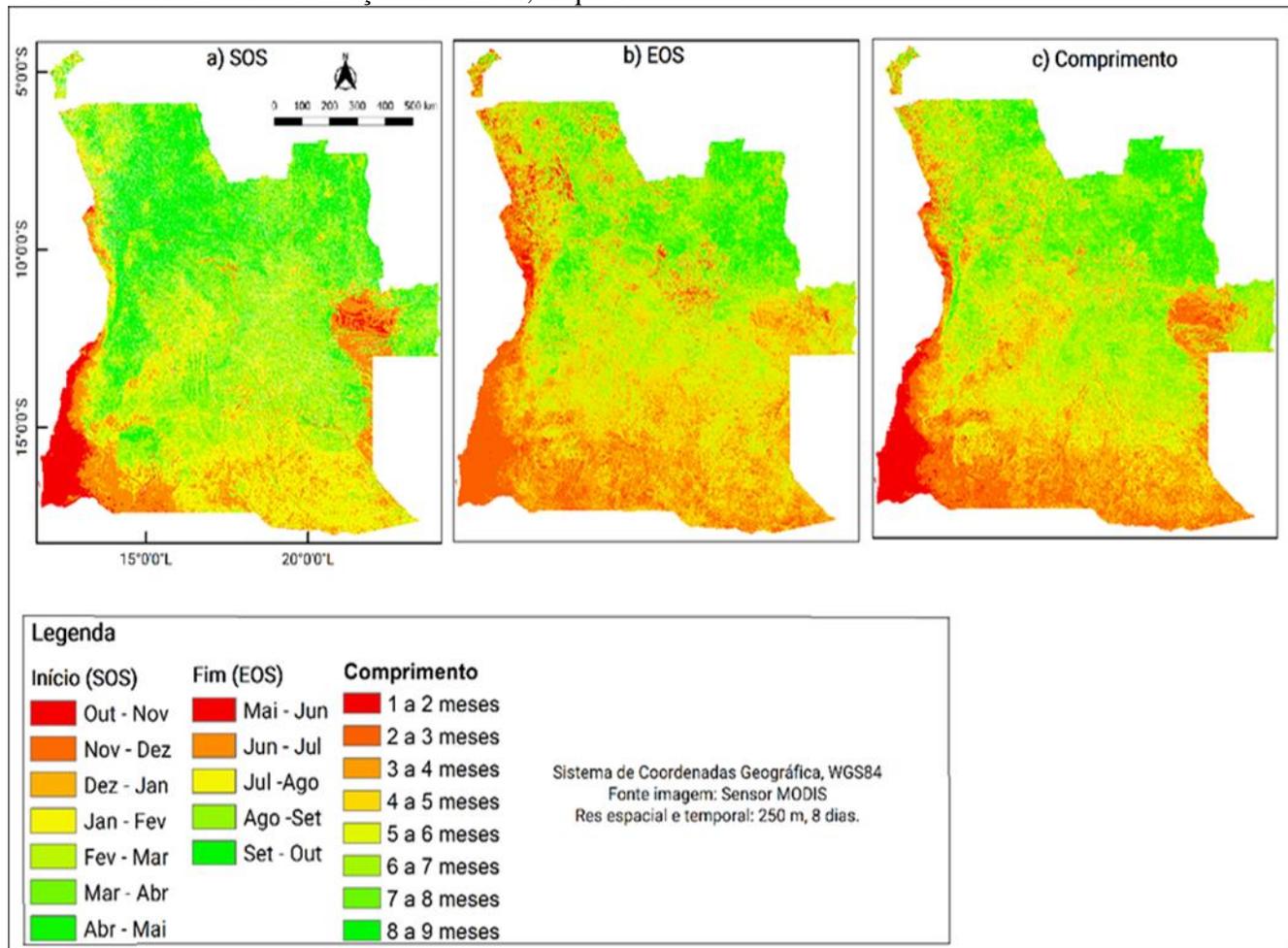


Figura 10. Padrões do Índice de Vegetação (EVI) em Angola. a) início da estação do aumento de EVI (SOS), b) fim da estação do decréscimo do EVI (EOS), c) comprimento da estação de crescimento da vegetação utilizando dados de EVI obtida pelo sensor MODIS (MOD13) de 01/01/2001 a 31/12/2018.

Com relação ao comprimento da estação de crescimento da vegetação através do EVI, há uma menor duração do período de crescimento da vegetação na região sul de Angola e dois corredores que se estendem latitudinalmente desde o Sul do país, mais forte no extremo leste, mas também presente no extremo oeste de Angola, variando de 1 a 4 meses (Figura 10c). Por outro lado, ao longo de todo o território Angolano, há diversas manchas verdes e amarelas, indicando maiores comprimentos da estação de 5 a 6 meses até 8 a 9 meses, o que corresponde, em alguns casos, a grandes áreas do Miombo mediano,

Floresta densa e úmida periguinnense-guinnense e vegetação natural. Considerando a região central e norte como um todo, a maior parte deste tem comprimento da estação de crescimento de 5 a 9 meses. Tal fato deve-se à maior capacidade adaptativa das classes de vegetação identificadas em N1 e N2 às características da sazonalidade climática.

De acordo com Becerra et al. (2009), a compreensão dos ciclos fenológicos da vegetação perpassa pela análise das suas características. A etapa de produção de novas folhas e aceleração dos processos metabólicos na estação chuvosa, está relacionada com

a disponibilidade hídrica e ao fotoperíodo, em que as plantas atingem o maior pico de fotossíntese ou estágio de verdor, independentemente do tipo de formação vegetal (Pereira et al., 2008; Dugarsuren e Lin, 2016). Estas curvas permitiram analisar, respectivamente, os estágios de sucessão e fenologia das plantas.

Taxa de Rebrotas e Senescência

Na (Figura 11a) pode ser observada valores médios de taxa de rebrotas para todo o território Angolano. O valor máximo encontrado foi de 0,6, que se assemelha com os valores detectados por Diogo et al. (2019) em seu estudo sobre a identificação da dinâmica da fenologia da vegetação do sul de Angola, onde na qual o índice de vegetação NDVI, atingiu um pico máximo de 0,6, devido as características fisiográficas e climáticas da região. O solo exposto, dunas arenosas e deserto do Namibe no extremo sudoeste de Angola apresentam-se marcadas pelo contraste entre os menores valores de taxa de rebrotas, devido à ausência de água e ocorrências de secas na estação de inverno, enquanto que na região sul nas províncias de Cunene, Namibe, Huíla e Cuando Cubango a escassez de água é constante, devido à seca meteorológica que predomina na região. Em geral, na estação não chuvosa a vegetação é mais seca, enquanto a taxa de rebrotas com a volta das chuvas é mais intensa nestas regiões que nas áreas onde a vegetação já se encontra verde.

Outra informação relevante é que onde o índice de precipitação é menor em Angola, a rebrotas é mais rápida, por causa da adaptação destes tipos de vegetação a essa característica climática restritiva, o que corresponde a uma estratégia adaptativa da vegetação para otimizar os processos fenológicos vegetativos e reprodutivos em ambientes tipicamente sazonais, como afirma Oliveira et al. (2008) em seu estudo no cerrado brasileiro, que apresenta características climatológicas semelhantes ao do sul de Angola.

Portanto, os valores mais altos de taxa de rebrotas são mais intensos nas manchas de verdor, que apresentam picos máximos e são oriundos da estação chuvosa, quando estas áreas ficam alagadas, gerando uma falsa impressão de alto crescimento da vegetação com a descida da água e o aumento do EVI em função da vegetação natural que recobre a superfície. As amostras de vegetação natural em geral, tiveram os maiores intervalos entre 0,4 a 0,5 de taxa de rebrotas, seguido pela floresta e savanas com intervalos de 0,2 a 0,3. Os valores muito baixos e próximos a zero referem-se a uma vegetação que pouco ou nunca atingem os altos índices de verdor, no entanto, os valores baixos estão ligados a pequenas regiões com influência fluvial ou climas mais úmidos e fatores de altitude.

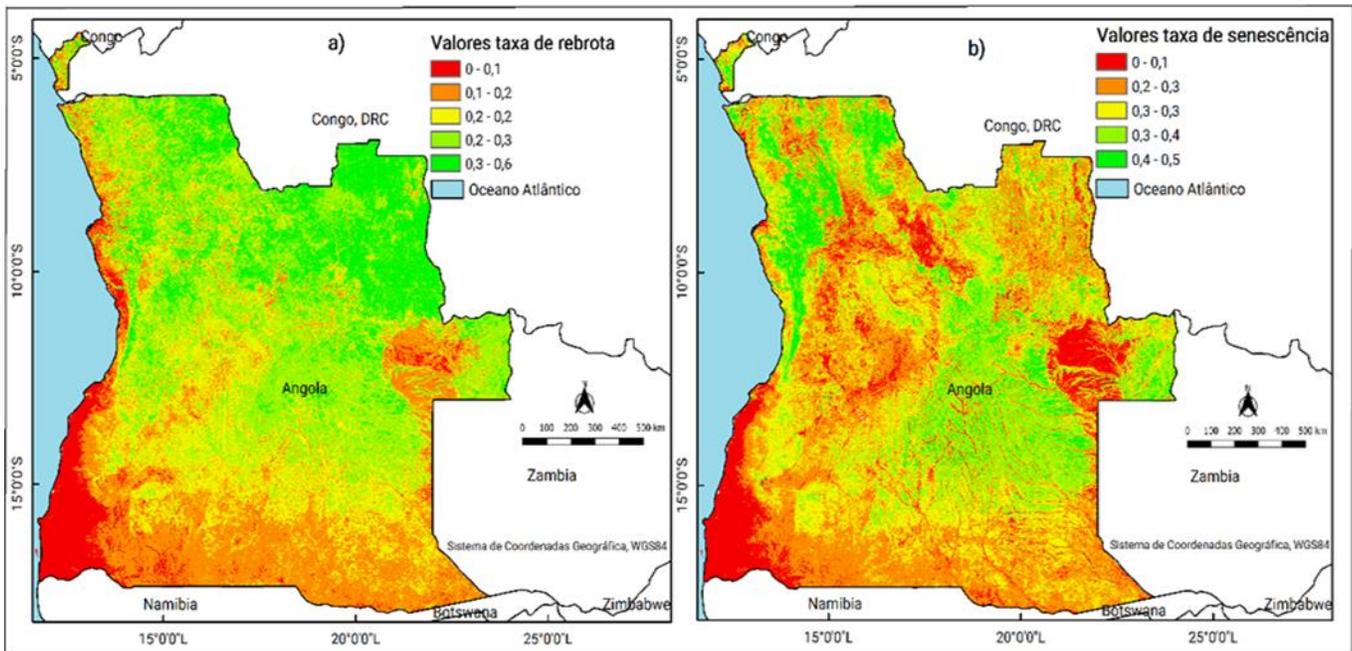


Figura 11. Valores médios da a) taxa de rebrota e b) taxa de senescência em Angola calculado a partir de dados de EVI do sensor MODIS (MOD13) de 01/01/2001 a 31/12/2018.

Por outro lado, a taxa de senescência mede a variação com a qual a vegetação perde verdor, ou seja, a intensidade com que a vegetação seca. Seu valor máximo para Angola chegou a 0,5 (Figura 11b), corroborando com o estudo de Gonçalves et. al (2017) da diversidade e composição do Miombo na região centro-sul de Angola, em que detectou valores mínimos do verdor próximos a 0,5 em períodos secos.

Os aspectos da senescência da vegetação apresentam-se espacialmente bem delimitados com um contraste entre as baixas taxas de senescência na área imediatamente a leste, sul e principalmente sudeste do território Angolano, oriundas de uma vegetação que muito sofre por ocorrências de secas severas. Principalmente mais ao sul do país, por se tratar de uma região com clima predominantemente seco e pelos solos não terem características de armazenamento de águas superficiais.

No entanto, os valores mais altos da taxa de senescência estão distribuídos pelas regiões central e noroeste de Angola. Na região norte esses valores são gerados principalmente pelas poucas áreas desmatadas, que quando inundadas fazem o EVI cair acentuadamente, aumentando artificialmente seu valor de taxa de senescência. Na região central esses altos valores de taxa de senescência podem ser gerados pela questão antrópica, mas também por regiões nas quais a vegetação está sujeita a escassez de água drásticas por

ter um solo muito permeável. As amostras de vegetação nativa em geral, tiveram os maiores intervalos entre 0,5 a 0,6 de taxa de senescência, seguido pela floresta e savanas com intervalos de 0,3 a 0,4.

Por outro lado, vale destacar que os valores baixos próximos a zero encontrados de taxas de senescência trata-se de uma vegetação que pouco ou nunca atingem os altos índices de verdor, enquanto os valores baixos estão associados a pequenas regiões com influência fluvial ou climas mais úmidos e fatores de altitude. Desta forma, este tipo de vegetação pouco seca pela influência fluvial, climática ou geomorfológica e se mantém mais constante ao longo do tempo. A senescência gradual, também é indicada pelo baixo declive da derivada a direita do EVI, que está relacionada à diferentes respostas das classes ao *stress* hídrico. Algumas espécies de vegetação mantêm a transpiração no início da estação seca, devido ao acesso à água nas camadas profundas do solo (Garcia-Monteil et al., 2008).

Análise estatística do relevo, precipitação, ETn e EVI para as classes fitofisionômica da vegetação do nível N1

Análise dos parâmetros estatísticos do relevo

As características do relevo como a altitude e a declividade foram correlacionadas espacialmente com as sete classes fitofisionômica da vegetação identificadas no nível N1 para todo o território de Angola (Figura 12).

Algumas classes de vegetação apresentaram grandes valores de variância em relação a altitude como as Formações estepóides sublitorais, arbustivos e

herbosas e a Floresta úmida, guineense-periguineense. Isso demonstra que essas classes apresentaram valores mais distantes da média, ou seja, esses valores indicam o quão longe se encontram do valor esperado, em detrimento as demais classes.

Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos MAX (736-2617 m), RANGE (665-2616 m) e MEAN (212-1456 m) para a altitude. A declividade, teve o mesmo comportamento das variações da altitude, tendo variações de MAX (64,8-82,4%), RANGE igual a MAX e MEAN (2,9-6,3%).

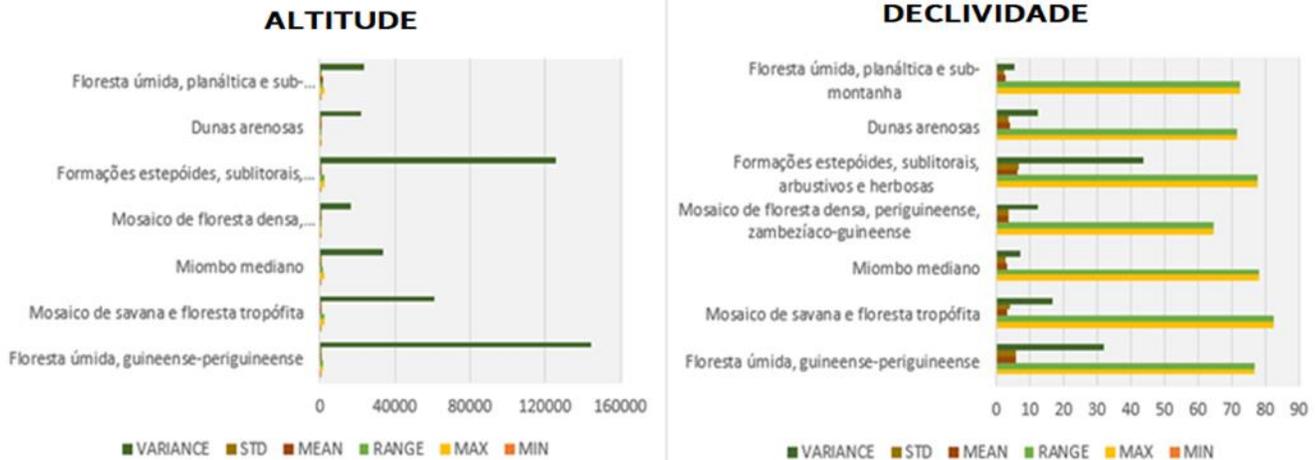


Figura 12. Análise estatística para os elementos do relevo: altitude e declividade correlacionados com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1.

As análises das classes fitofisionômicas podem ser separadas com base nas condições topográficas do terreno. Essas variáveis morfométricas indicaram distinções entre os parâmetros estatísticos dos tipos vegetacionais com relação a altitude e a declividade. O desvio padrão apresentaram valores variando entre 128 a 379 m de altitude, e 2,3 a 6,6 % para declividade se considerarmos todas as classes de N1. Sendo que os valores mais altos de desvio padrão se encontram em todas as classes de vegetação, exceto as classes de Dunas arenosas.

Os valores da variância para a altitude e declividade variou de 33.670 a 144.143 m e 5,5 a 43,6 %. Na qual, as variâncias mais baixas também corresponderam as classes de Dunas arenosas, enquanto valores altos foram encontrados para o restante das classes que vão de acordo com as métricas de vegetação EVI.

Com esta análise, foi possível identificar diferenças entre as classes de fitofisionomia com a altitude e a declividade com base nos parâmetros estatísticos apresentados. Estudos envolvendo a relação de unidades fitofisionômicas com a topografia foram abordados por Mandalal e Mariano (2014) que realizaram um estudo da dinâmica espacial da ocupação do solo em regiões de Moçambique e Zâmbia. Esses autores verificaram que existe uma disparidade entre as variáveis topográficas com as decorrentes de ações antrópicas, tais como solo exposto e agricultura, com a de vegetação nativa, como os Miombos.

Análise dos parâmetros estatísticos da precipitação

Valores estatísticos no início e no final das estações de chuvas, além da sua duração foram

correlacionados com as sete classes fitofisionômica da vegetação encontradas no N1 (Figura 13).

Todas as classes N1 apresentaram valores de precipitação entre 0 e 234 mm, com exceção as classes Dunas arenosas, que obteve o valor zero em todos os parâmetros estatísticos.

O desvio padrão variou de 0 a 27,4 mm em todas as classes das estações de chuva sendo mais altos em quase todas as classes de vegetação e mais baixos na classe de Dunas arenosas. A variância apresentou o

mesmo padrão do desvio padrão, com valores de 0 a 2333 mm, mais baixos também nas classes de Dunas arenosas, e altos no restante das classes de vegetação.

Este comportamento das variáveis estatísticas das classes fitofisionômicas da vegetação do N1 se mantiveram constantes tanto no EOS e EOS, como no comprimento e duração do período chuvoso.

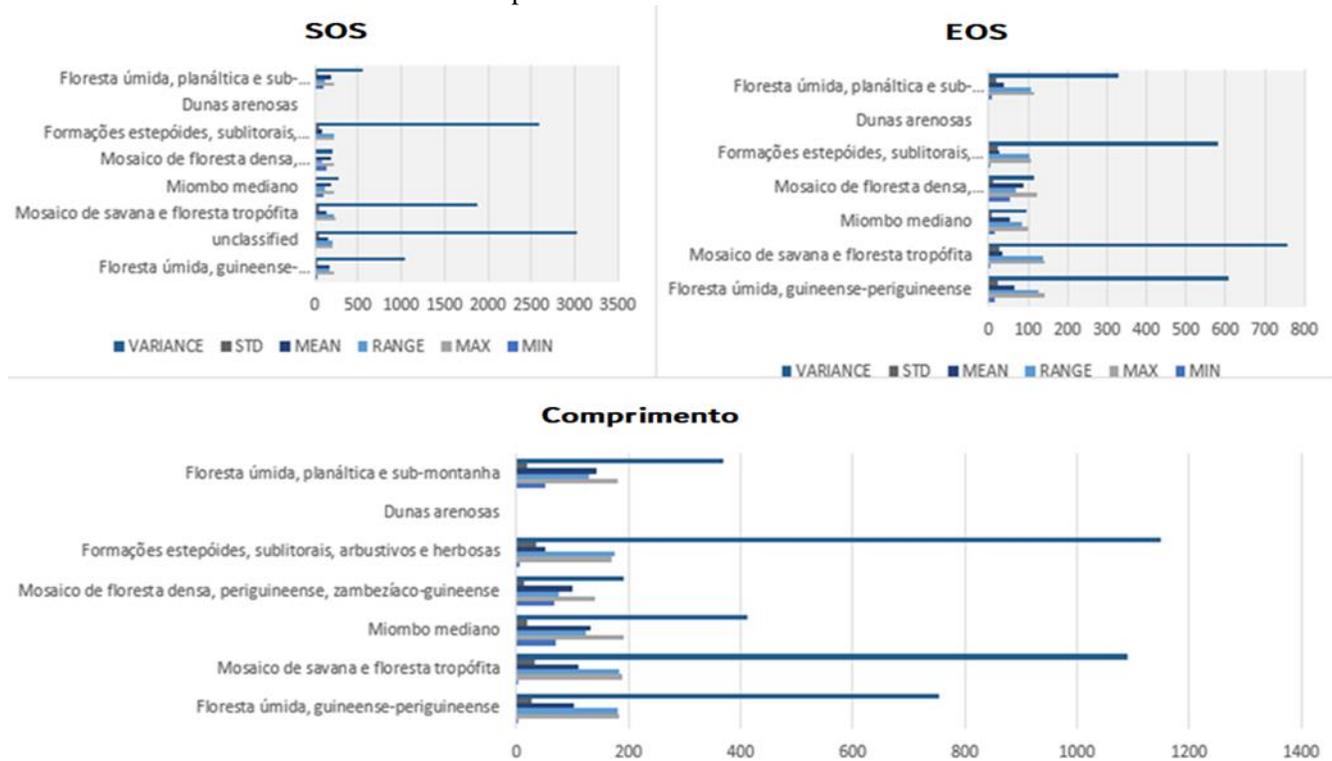


Figura 13. Análise estatística do início da estação (SOS), fim da estação (EOS) e Comprimento de duração do período da precipitação correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1.

Análise dos parâmetros estatísticos da ETn

Valores da ETn foram correlacionados com as sete classes fitofisionômicas da vegetação N1 em relação ao início, fim e comprimento das estações (Figura 14).

Pode-se comentar que o comportamento da ETn se apresentou similar aos perfis das estações de chuvas e das métricas do EVI. Tal situação ocorre devido ao aumento e diminuição da evapotranspiração que regulamentam basicamente as condições hídricas locais e da vegetação. Desta forma, a diminuição do valor do EVI deve-se ao estresse hídrico pela redução da evapotranspiração, isto porque a maior parte das plantações na região são conduzidas em condições não

irrigadas, apresentando alta variabilidade interanual na cobertura vegetal.

No entanto, na vegetação nativa, quanto mais alto o valor do pixel, maior será a densidade da vegetação ou sua atividade fotossintética (Simonneaux et al., 2008). Quando a cobertura vegetal é máxima e não há restrição hídrica, o fluxo de calor latente pode representar até 70% do saldo de radiação, refrigerando o dossel da vegetação (Allen et al., 1998).

Em épocas de estiagem, devido às baixas precipitações e umidade que acabam promovendo grandes perdas por evapotranspiração temos os mais baixos valores de EVI, resultando consequentemente em menores valores de biomassa. Nessas épocas do ano as perdas são mais elevadas que a capacidade de

absorver H₂O pelas raízes e pela condução nos caules, os tecidos fotossintetizantes se desidratam e os estômatos se fecham, desse modo as perdas de água são reduzidas juntamente com a entrada de CO₂ e a produção de biomassa.

O contrário acontece nas épocas chuvosas, que devido as maiores precipitações e umidade, ocorre uma

maior absorção de H₂O e ganhos na entrada de CO₂ que são consequentemente refletidos em uma maior produção de biomassa, resultando em maiores valores de EVI, ou seja, a vegetação sadia, resulta em maior refletância no infravermelho próximo (Menezes e Sampaio., 2000).

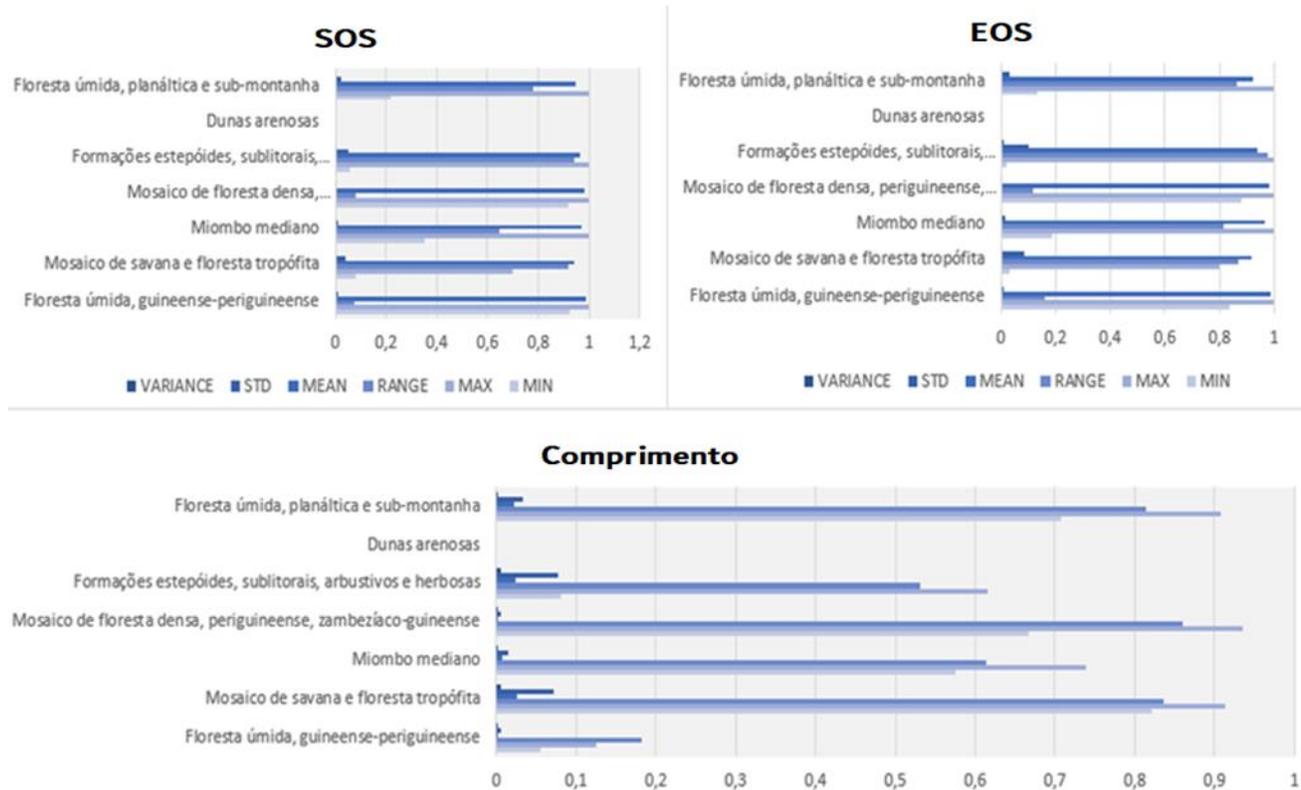


Figura 14. Análise estatística da ETn no início (SOS); fim (EOS); e comprimento da estação da evapotranspiração correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1.

Análise dos parâmetros estatísticos do EVI

Os valores de SOS, EOS e Comprimento, assim como a Taxa de Rebrotas e Senescência obtidos através do EVI foram correlacionados espacialmente com as sete classes fitofisionômica da vegetação identificadas no nível de classificação N1 para todo o território de Angola (Figura 15).

Primeiramente, pode-se perceber que nas cinco métricas estatísticas obtidas para o EVI os valores máximo e mínimo para as classes fitofisionômicas da vegetação N1 apontaram valores relativamente altos entre 0,6 e 0,9 com exceção para a classe de dunas arenosas, o que era esperado visto que a vegetação

nesta classe é escassa. Os valores de desvio padrão variaram de 0 a 0,14 em todas as métricas de vegetação.

O mesmo padrão ocorreu para o parâmetro variância que apresentou valores baixos para a classe de Dunas arenosas e valores altos para o restante das classes de vegetação. Este comportamento padronizado manteve-se em todas as métricas de vegetação EVI do nível N1. Kuenzer et al. (2015) em seu trabalho sobre séries temporais de sensoriamento remoto revelando a dinâmica da superfície terrestre, observou também valores semelhantes nos parâmetros estatísticos dos polígonos de cada espécie de vegetação analisados.

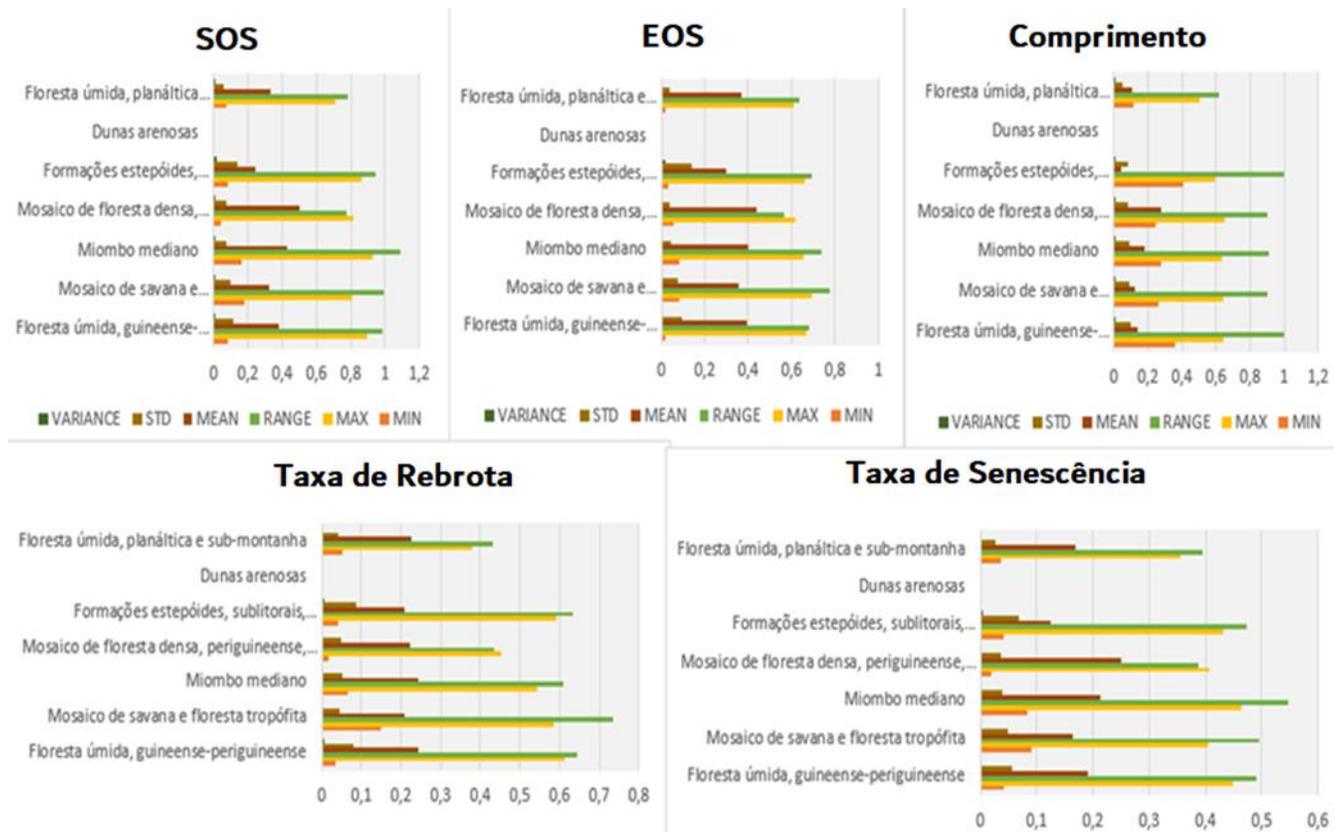


Figura 15. Análise estatística para as métricas obtidas através do EVI correlacionadas com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N1 para: início da estação (SOS), fim da estação (EOS), comprimento da estação, d) taxa de rebrotas, e e) taxa de senescência.

Análise estatística do relevo, precipitação, ETn e EVI para as classes de uso e cobertura da terra do nível N2

Análise dos parâmetros estatísticos do relevo

As características do relevo como a altitude e a declividade foram correlacionadas espacialmente com as dez classes de uso do solo identificadas no nível N2 para todo o território de Angola (Figura 16).

Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos MAX (1.126-2.548 m), RANGE (70-2548 m) e MEAN (189,82-1306,80 m) para a altitude. E a declividade, seguiu o perfil das variações da altitude, tendo a declividade variando: MAX (15,2-82,4%), RANGE igual a MAX e MEAN (1,5-8,1%). Estes valores significam que as classes de uso do solo com maiores altitudes e declividades são diretamente proporcionais as classes das métricas de vegetação EVI.

O parâmetro estatístico desvio padrão apresentou valores médios entre 11 a 519 m e 0,9 e 7,4 % para altitude e declividade, respectivamente se considerarmos todas as classes de N2. No entanto, os valores mais altos de desvio padrão se encontram em todas as classes de vegetação, exceto as classes de Deserto, Água e Solo exposto que apresentaram valores baixos. Este comportamento é verificado tanto para a altitude quanto para a declividade.

Os valores da variância para a altitude e declividade variaram de 129 a 96.001 m e 0,8 a 55 %, respectivamente. As mais baixas variâncias, assim como os valores de desvio padrão, também corresponderam as classes de Deserto, Água e Solo exposto, e valores altos de variância foram encontrados para a maioria das classes que vão de acordo as classes das métricas de vegetação EVI.

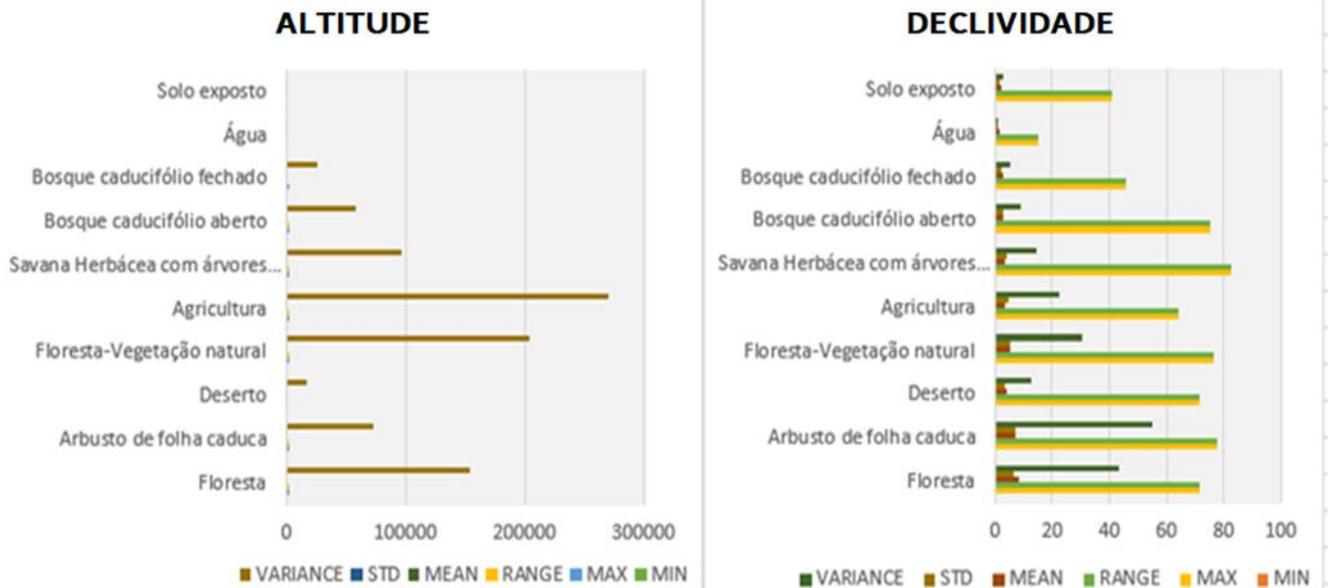


Figura 16. Parâmetros estatísticos zonal da altitude e declividade das classes de interesse do nível de classificação N2.

Análise dos parâmetros estatísticos da precipitação

Valores estatísticos no início (SOS) e no final (EOS) das estações de chuvas, além da sua duração (Comprimento) foram correlacionados com as dez classes de uso do solo encontradas no N2 (Figura 17).

Foram verificados altos valores nos parâmetros estatísticos zonais RANGE, MAX e MEAN, enquanto o MIN mostrou valores baixos em todas as classes das três estações de chuva. Este comportamento é também encontrado no trabalho de Guimarães et al (2018), na qual o mesmo método para análise das estatísticas zonais de precipitação foi aplicado.

Todas as classes de vegetação nas três estações de chuva apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos variando de 0 a 234 mm, com exceção das classes Deserto, com valor de zero em todos os parâmetros zonais e em todas as estações de chuva, e a classe de Solo exposto com valores variando de 6 a 101 mm. Isto provavelmente ocorre porque as chuvas em Angola são influenciadas por duas causas de natureza físico-climática gerais, uma planetária considerada

latitudinal e outra local. A primeira provoca diminuição das chuvas conforme afasta-se do equador, isto é, aproxima-se do anticiclone tropical. E a segunda, provoca elevada humidade atmosférica e elevada ausência de chuvas, próximas ao litoral atenuando-se para o interior, ocasionando uma alta variabilidade climática na distribuição das chuvas e consequentemente na vegetação (MUA, 2006).

O desvio padrão, apresentou valores variando entre 0 e 48,3 mm em todas as classes das estações de chuva. Os valores mais altos, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média estão localizado nas classes de vegetação. Uma vez que nas classes de solo exposto e deserto, as quais apresentam valores baixos de desvio padrão, as variações estacionais e monomodais de precipitação são bem mais definidas.

A variância obteve valores 0 a 2.334 mm com o mesmo padrão anteriormente visto no desvio padrão, com valores baixos nas classes solo exposto e deserto, e altos no restante das classes de vegetação.

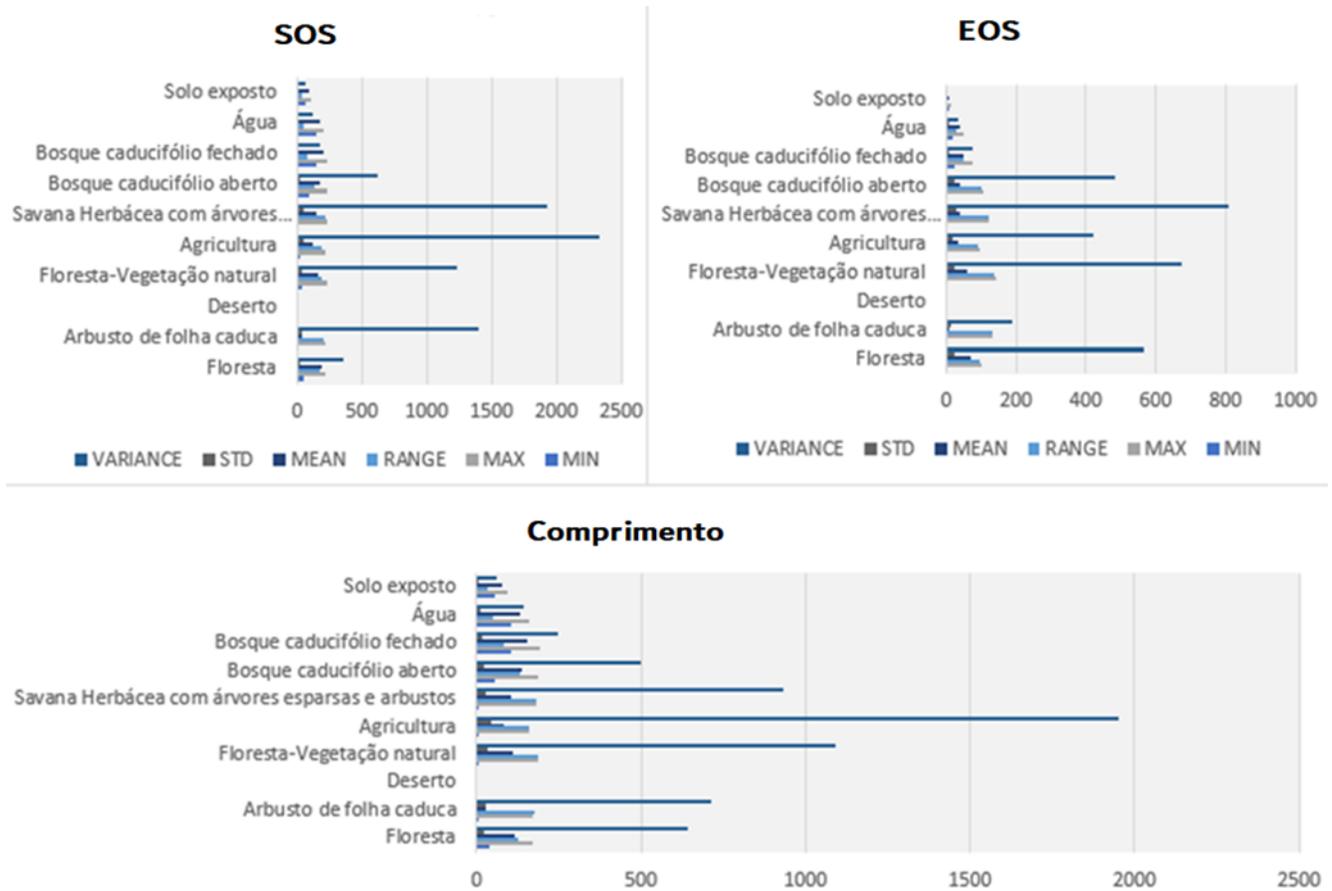


Figura 17. Análise estatística do início da estação (SOS) (a), fim da estação (EOS) (b) e (comprimento) duração do período da precipitação correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N2.

Análise dos parâmetros estatísticos da ETn

Valores da ETn foram correlacionados com as dez classes de uso do solo N2 em relação ao início, fim e comprimento das estações (Figura 18).

Os valores de evapotranspiração apresentaram comportamento similar aos perfis das estações de

chuvas e das métricas do EVI, assim como ocorreu no nível N1. Conforme discutido no nível N1, tal situação ocorre devido ao aumento e diminuição da ET que regulamentam basicamente as condições hídricas locais e da vegetação. Sendo assim, toda a discussão feita anteriormente é também válida para a análise dos parâmetros da ETn no nível N2.

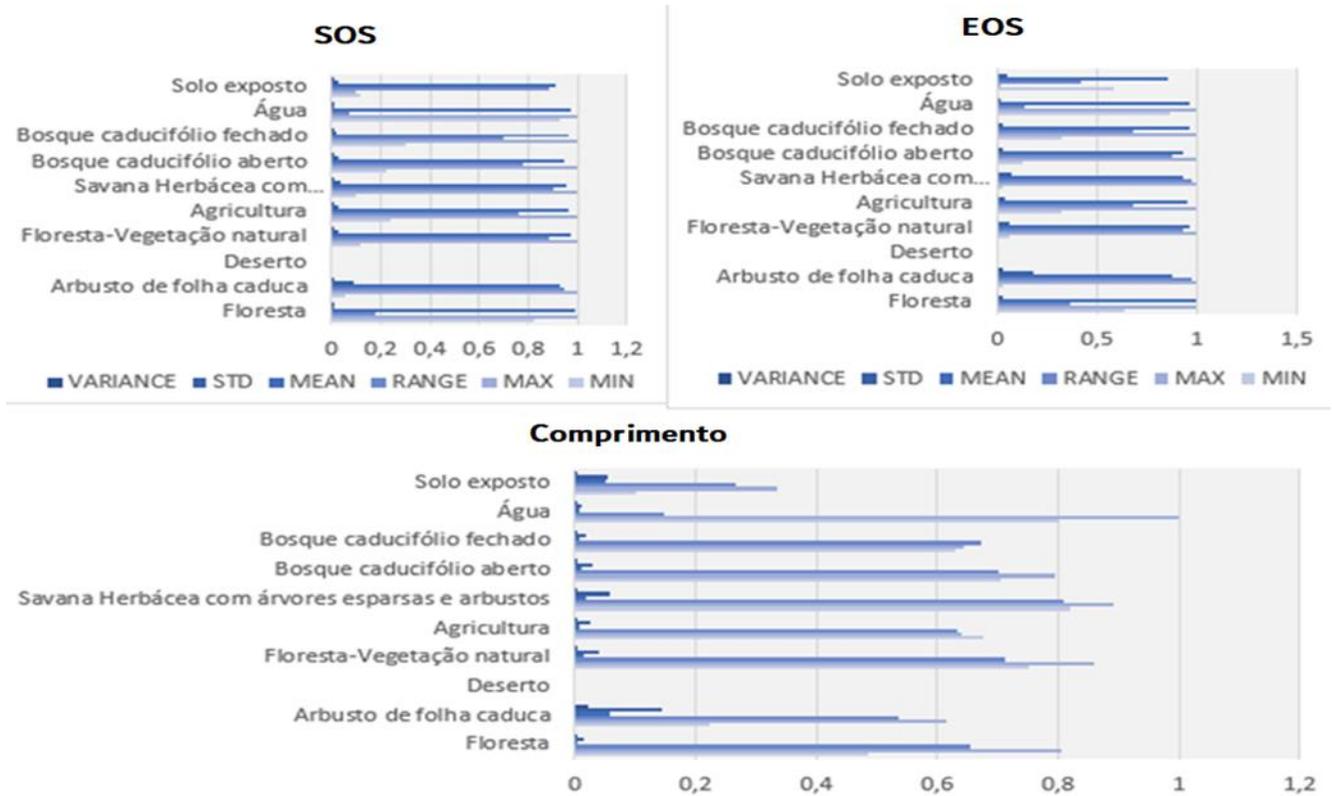


Figura 18. Análise estatística da ETn no início (SOS); fim (EOS); e comprimento da estação da evapotranspiração correlacionada com as classes fitofisionômica da vegetação no nível N2.

Análise dos parâmetros estatísticos do EVI

Em um grande período das séries temporais, devido à quantidade de dados, uma das formas de analisar e resumir o comportamento temporal é através da sumula estatística das variáveis estudadas no tempo. De acordo com Kuenzer et al. (2015), os cálculos de parâmetros estatísticos por polígonos em séries temporais mostram variações e tendências. Através da série temporal completa de EVI, com 414 imagens durante 18 anos, filtradas com a função Gaussiana/Logística e juntamente com os valores médios de precipitação, ETn e altitude e declividade, foi realizado o cálculo de parâmetros estatísticos para cada polígono de classe que também foi aplicado por outros autores, como Melos et al. (2015) e Ferreira et al. (2020).

Os valores mais altos do EVI para as dez classes identificadas no nível N2 demonstrado na (Figura 19), são verificados nos parâmetros estatísticos zonais RANGE (amplitude ou diferença entre máximo e mínimo), MAX (máximo) e MEAN (média), enquanto o MIN (mínimo) apresentou valores muito

baixos em todas as classes das cinco métricas de vegetação EVI estudadas.

Para os parâmetros estatísticos, não existe moda e nem a mediana para o conjunto de dados, que segundo Melos et al. (2015), indica a inexistência de um ponto de concentração do conjunto. Todas as classes de vegetação apresentaram altos valores dos parâmetros estatísticos de 0,4 a 0,9, com exceção as classes Deserto, com valor de zero em todos os parâmetros, corpos d'água, com valores abaixo de zero em todas as métricas, e Solo exposto com valores de 0 a 0,4. Estes resultados corroboram com os estudos do MUA (2006) e Cabral (2008) que por meio de seus estudos auxiliaram no entendimento da cobertura dos biomas presentes em Angola.

Ao considerar o parâmetro estatístico do desvio-padrão, que mede a dispersão dos dados em torno da média do EVI, com valores variando entre 0 a 0,10 em todas as classes das métricas de vegetação EVI. Os valores mais altos de desvio padrão, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média estão localizados nas classes de vegetação.

No entanto, as classes de solo exposto, água e deserto apresentam intervalos baixos de desvio padrão. Isso ocorre porque nessas classes as variações estacionais e monomodais de EVI são bem mais definidas, devido a dependência do verdor com o regime de chuvas, igualmente visto no estudo de Filho et al. (2018), em que diagnosticou o EVI e o regime de precipitação no nordeste brasileiro, o qual apresenta características climatológicas semelhantes ao do sul de Angola.

Outra importante medida de dispersão dos valores de verdor é a variância. Trata-se da expectativa do desvio quadrático de uma variável aleatória e sua média. Dessa forma a variância quantifica a variabilidade do verdor para com sua média. Este

parâmetro da estatística zonal, mostra uma variação entre 0 a 0,001 nas classes de solo exposto, água e deserto, e alta variância no restante das classes de vegetação. As quais mantiveram este comportamento padronizado em todas as métricas de vegetação EVI do nível N1, o que significa, segundo Pires (2011) que pode gerar facilidades quanto a sua estimativa.

Este comportamento, deve-se ao fato de que o a vegetação varia sazonalmente de acordo com o período de chuvas. (2011) que pode gerar facilidades quanto a sua estimativa. Este comportamento, deve-se ao fato de que a vegetação varia sazonalmente de acordo com o período de chuvas.

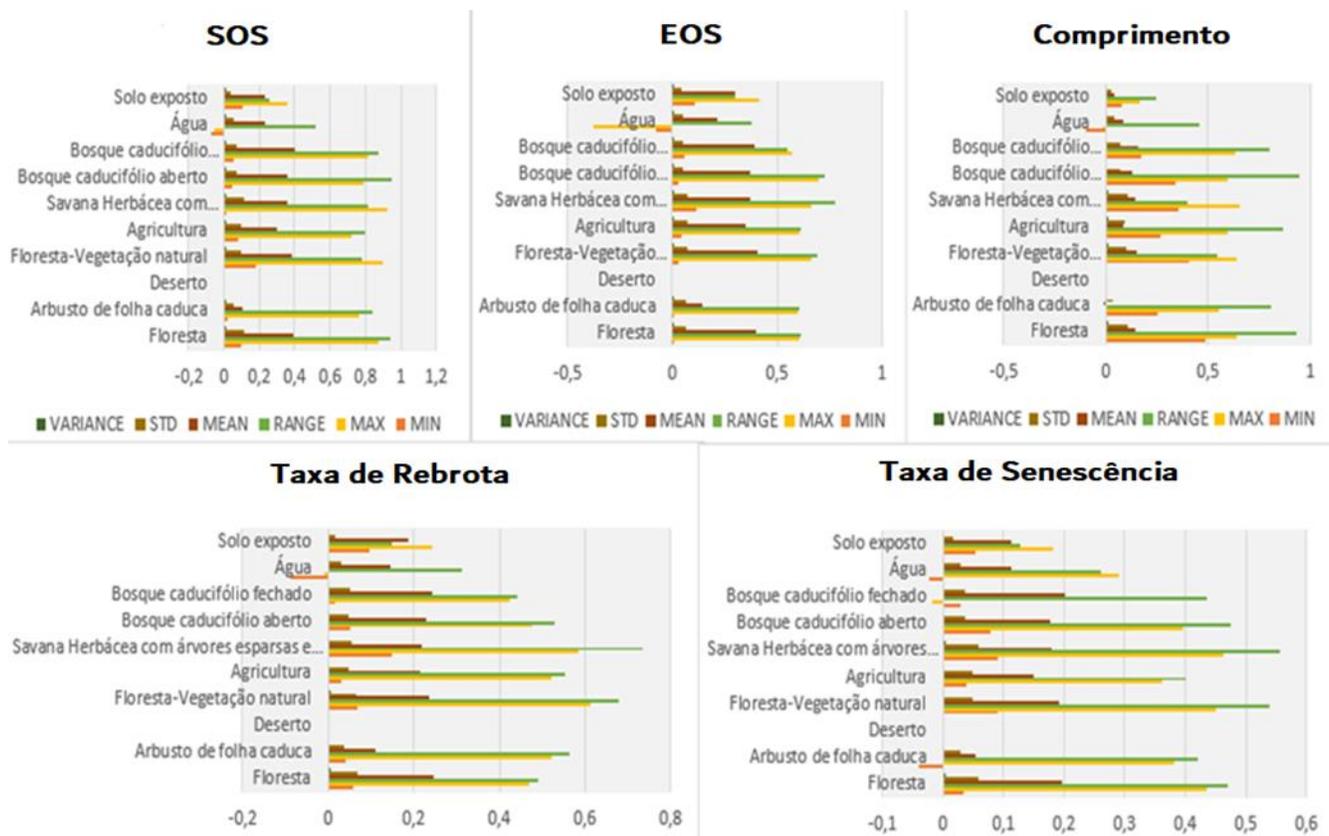


Figura 19: Análise estatística para as métricas de vegetação obtidas através do EVI correlacionadas com as classes de vegetação N2 para: início da estação (SOS), fim da estação (EOS), comprimento da estação, taxa de rebrotas, e taxa de senescência.

Conclusão

As características físicas do meio ambiente como o relevo, precipitação, evapotranspiração juntamente com as métricas fenológicas de vegetação obtidas por dados de sensoriamento remoto permitiram caracterizar as formações vegetais nativas e antropizadas em Angola. As áreas representadas majoritariamente por vegetação nativa, tais como, florestas, savanas e formações de estepes, apresentaram maiores porções de áreas, contrários as restantes classes como solo exposto, água e deserto quando analisamos a classificação no nível de uso e cobertura da terra N2. Além disso, no nível fitofisionômico da vegetação realizado no mapeamento N1 o comportamento foi similar, tendo apenas a classe Dunas arenosas com a menor porção de área. Nestes dois níveis de classificação a distribuição da fenologia de vegetação foi semelhante, mesmo que N2 tenha um maior número de classes, o que significou uma convergência ao analisar os dois níveis.

Para a maior parte de Angola, o fim da estação de crescimento da vegetação ocorre entre os meses de julho a outubro, sendo que o fim das chuvas ocorre predominantemente nos meses de maio-junho, ou seja, com um tempo de atraso de um mês.

A precipitação e evapotranspiração, influenciaram na duração da estação do crescimento da vegetação, por apresentarem uma alta variabilidade temporal e espacial. Há também diferenças oriundas das características de cada tipo de vegetação e solo, uma vez que as classes de vegetação nativa mostraram uma resposta do início do aumento do verdor mais rápido após o início das chuvas, quando comparadas por exemplo com a agricultura. Entretanto, a altitude e a declividade do local também acabam influenciando na taxa de crescimento da vegetação.

E por fim, com esse estudo proporcionou-se uma análise sinóptica acerca da distribuição espacial da vegetação em Angola, potencializando a expansão de estudos de fenologia feitos de forma pontual ou envolvendo uma ou poucas espécies vegetais para regiões geográficas maiores, com o intuito de se conhecer melhor a dinâmica fenológica das suas fitofisionomias.

Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, 10-50
- Becerra, J., Shimabukuru, Y., Alvares, R., 2009. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia legal, usando índices espectral de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 125-134.
- Cabral, A., 2008. Cartografia de coberto do solo para o território Angolano utilizando imagens de satélite MODIS. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais* 15, 65-78.
- Cardoso, J., Duarte, M., Costa, E., 2006. Comunidades vegetais da Serra da Leba. *Agricultura, Recursos Naturais e Desenvolvimento* 18, 205-223.
- Chen, X., Pan, W., 2002. Relationships among phenological growing season, time-integrated normalized difference vegetation index and climate forcing in the temperate region of eastern China. *International Journal of Climatology* 22, 1781-1792.
- Dinis, P.A., Huvi, J., Pinto, M.C., Carvalho, J., 2021. Disastrous Flash Floods Triggered by Moderate to Minor Rainfall Events. Recent Cases in Coastal Benguela (Angola). *Hydrology* 8, 73-88.
- Diogo, A.M., Fonseca, E.L.; Nhongo, E.J.S., 2019. Identificação da dinâmica da fenologia da cobertura vegetal do sul de Angola com dados orbitais. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, SP, Brasil 21, 1214-1216.
- Dugarsuren, N., Lin, C., 2016. Temporal variations in phenological events of forests, grasslands and desert steppe ecosystems in Mongolia: a remote sensing approach. *Annals of Forest Research*, 175-190.
- Eklundh, L., Jonsson, P., 2015. *TIMESAT: A Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics*. Springer International Publishing 22,141-158.
- Ferreira, A.B.R., Fonseca, M., Pereira, G., 2020. Compartimentação do relevo baseada em parâmetros morfométricos: uma análise da região do extremo oeste da Bahia. *Caderno de Geografia* 30, 236-251.
- Filho, W.L.F.C., Dos Santos, T.V., Diogo, A.M., De Amorim, R.F.C. 2018. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* 35, 102-112.
- Fitzgerald, R.W., Lees, B. G., 1994. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 47, 362-368.

- Fonseca, B.R., Xavier, J.A., 2009. Reconstrucción de la precipitación en Angola en el periodo de Guerra. *Física de la Tierra* 21,191-205.
- Foody, G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80, 185-201.
- Funk, C., Pete, P., Martin, L., Diego, P., James, V., Shraddhanand, S., Gregory, H., James, R., Laura, H., Andrew, H. Joel, M. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2, 0-66.
- Garcia-Montiel, D.C., Coe, M.T., Cruz, M.P.; Ferreira, J.N., Silva, E.M., 2008. Estimating Seasonal Changes in Volumetric Soil Water Content at Landscape Scales in a Savanna Ecosystem Using Two-Dimensional Resistivity Profiling. *Earth Interactions* 12, 1-25.
- Gonçalves, A.K., Da Silveira, G.R.P., De Barros, Z.X., Campos, S., 2015. Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, São Manuel/SP. *GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeeducacionais* 6, 52-62.
- Goncalves, F.M.P., Revermann, R., Gomes, A.L., 2017. Tree species diversity and composition of Miombo woodlands in south-central Angola, a chronosequence of forest recovery after shifting cultivation. *International Journal of Forestry Research*, 1-14.
- Gonçalves F.M.P., Chisingui, A.V., Luís, J.C., Rafael, M.F.F., Tchamba, J.J., Cachissapa, M.J., Caluvino, I.M.C., Bambi, B.R., Alexandre, J.L.M., Chisingui, M.D.G., Manuel, S.K.A., Jacinto, H.D., Finckh, M., Meller, P., Jürgens, N., Revermann, R., 2021. First vegetation-plot database of woody species from Huíla province, SW Angola. *Vegetation Classification and Survey* 2, 109-116.
- Gu, Y.; Brown, J.; Miura, T.; Leeuwren, W. J.; Reed, B., 2010. Phenological Classification of the United States: A Geographic Framework for Extending Multi-Sensor Time-Series data. *Remote Sensing* 2, 526-544.
- Guimarães D.P., Landau, E.C., Santos, M.C.B., Mendes, S.H.G., Da Silva., 2018. Caracterização das chuvas no Pantanal Mato-grossense. *Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS*, 555-562.
- Hosen, N., Nakamura, H., Hamzah., A., 2020. Adaptation to Climate Change: Does Traditional Ecological Knowledge Hold the Key? *Sustainability* 12, 676-698.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Huete, A.R., Justice, C., Liu, H., 1994. Development of vegetation and soil indices for MODIS EOS. *Remote Sensing of Environment* 49, 224-234.
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., Van Leeuwen, W., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59, 440-451.
- Instituto de Desenvolvimento Florestal (IDF)., 2004 Estimativa por área do Bioma e cobertura vegetal de Angola. Disponível em: <https://www.ciencia.ao/artigos/divulgacao-cientifica>. Acessado em 16/08/2018.
- Instituto Nacional de Estatística (INE)., 2014. Recenseamento Geral da População e Habitação. Disponível em: <http://censo.ine.gov.ao/xportal/xmain?xpid=censo2014>. Acessado em 16/08/2018.
- Jonsson, P., Eklundh, L., 2002. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 40, 1824-1832.
- Jonsson, P., Eklundh, L., 2004. TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers and Geosciences* 30, 833-845.
- Kuenzer, C., Dech, S., Wagner, W., 2015. Remote sensing time series revealing land surface dynamics: status quo and the pathway ahead. *Remote Sensing Time Series* 22, 458-474.
- Landis, J.R., Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174.
- Lenza, E., Klink, C.A., 2006. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um Cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Revista Brasileira de Botânica* 29, 627-638.
- Lopes, F.C., Pereira, A.J., Mantas, V.M., Mpeno, H.K., 2016. Morphostructural characterization of the western edge of the Huila Plateau (SW Angola), based on remote sensing techniques. *Journal African Earth Science* 117, 114-123.
- Luo, Z., Guan, H., Zhang, X., Liu, N.A., 2017. Photosynthetic capacity of senescent leaves for a subtropical broadleaf deciduous tree species *Liquidambar formosana* Hance. *Scientific Report* 7, 1-9.

- Mandala, S.D., Mariano, D.A., 2014. Dinâmica espacial da ocupação do solo em regiões do Moçambique e Zâmbia. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, 67-79.
- Melos, N.D., Aimon, J.G. S., Facco, D.S., Amaral, L.P., Sebem, E., 2015. Análise através da geoestatística aplicada em dados obtidos por NDVI de um fragmento da floresta ombrófila mista. IV Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 2236-2118.
- Menezes, R.S.C., Sampaio, E.V.S.B., 2000. Agricultura sustentável no semiárido nordestino. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 20-46.
- Monteith, J., 1965. Radiation and Crops. *Experimental Agriculture* 4, 241-251.
- Ministério do Urbanismo e Ambiente (MUA), 2006. Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola, 1-43.
- Mu, Q., Zhao, M., Running, S.W., 2011. Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. *Remote Sensing of Environment* 13, 167-198.
- Nhongo, E. J. S.; Fontana, D. C.; Guasselli, L.A.; Esquerdo, J.C.D.M. 2017. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal NDVI/MODIS na reserva do Niassa - Moçambique. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69 (6).
- Oliveira, P.E., Sano, S.M., Almeida, S.P., Ribeiro, J.F., 2008. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado Cerrado: Ecologia e Flora. *Embrapa Informação Tecnológica* 1, 273-287.
- Paul, J.D., 2021, Controls on eroded rock volume, a proxy for river incision, in Africa. *Geology* 49, 422-427.
- Pereira, T.S., Costa, M.L., Moraes, L.F.D., Luchiari, C., 2008. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Série Botânica* 63, 329-339.
- Piazza, G.A., Vibrans, A.C., 2014. Classificação orientada a objetos para mapear florestas secundárias em Santa Catarina, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, 66, 993-1005.
- Pires, C.A.F., 2011. Geoestatística: caderno técnico. Departamento de Geociências. CCNE Série Naturais e Exatas UFSM, 184-201.
- Richardson, A.D., Keenan, T.F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O., Toomey, M., 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks, to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 156-173.
- Ruhoff, A. L., 2011. Sensoriamento Remoto Aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Simonneaux, V., Duchemin, B., Helson, D., Erraki, S., Olioso, A., Chehbouni, A.G., 2008. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco, *International Journal of Remote Sensing* 29, 95-116.
- Siquilile, E.J., Griffith, D.M., Mateos, D.A., Rodriguez, G.P., 2021. Impacto del fuego en los patrones espaciales de especies arbóreas en un bosque de Miombo en la provincia de Huambo (Angola). *Meio Ambiente (Brasil)* 3, 1-4.
- Vintrou, E., Annie, D., Agnès, B., Sibiry, T., Christian, B., Danny, L.S., 2012. Crop area mapping in West Africa using landscape stratification of MODIS time series and comparison with existing global land products, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 14, 83-93.
- Xavier, J.A., 2013. Reconstrucción de la variabilidad pluviométrica en Angola en el período 1979-2003. Tese de Doutorado, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Espanha.
- Xiang, K.Y., Li, Y., Horton, R., Feng, H., 2020. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration-a review. *Agriculture Water Management*, 217-232.
- Zhao, M., Heinsch, F.A., Nemani, R., Running, S. W., 2005. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, v.95, p.164-176.