



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Características da Cobertura do Solo em Anos de Contrastes Climáticos (chuvoso e seco) no Oeste da Amazônia, Rio Branco – Acre, Utilizando Sensoriamento Remoto

Jório Bezerra Cabral Júnior¹, Helder José Farias da Silva², Jean Souza dos Reis³

¹Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) na Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Graduado em Geografia (UEPB), Mestre e Doutor em Ciências Climáticas (PPGCC, UFRN).

²Doutor (2015-2019) e Mestre (2013-215) em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC, UFRN). Graduado em Meteorologia pela UFPA (2012). Atualmente é Professor Substituto da Universidade Federal de Alagoas. <http://orcid.org/0000-0002-0044-7270>

³Doutorando e mestre em Ciências Climáticas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC, UFRN) na área de análise e simulação de eventos extremos e graduado em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). <http://orcid.org/0000-0002-1674-7518>

Artigo recebido em 14/03/2022 e aceito em 05/09/2022

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a cobertura do solo na região oeste da Amazônia (Rio Branco, Acre) em anos de contrastes climáticos (chuvoso, normal e seco). Para isso, utilizou-se série de dados mensais de precipitação disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1985 a 2014. Em seguida, selecionaram-se imagens de satélite, de superfície do solo, para representar, destacadamente, um ano chuvoso (2009) e outro seco (2005), utilizando a plataforma de satélite Landsat 5-TM do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado e as categorias do tipo de superfície foram definidos. Essas imagens foram processadas no *software* de livre acesso R 4.3. Os resultados mostraram que o ano de 2005 foi um dos mais secos e o de 2009 um dos mais chuvosos. O ano de 2005 apresentou 66% de cobertura com vegetação densa, quanto que o ano de 2009 apresentou o maior percentual (87,4%), resultado de uma variação considerável da biomassa da floresta em Rio Branco. Entre os anos analisados, a seca ocorrida em 2005 mostrou os mais elevados percentuais de vegetação esparsa (29,8%) e solo exposto (4,1%). Portanto, reforça-se a influência da precipitação na região, onde em anos mais secos (2005), há uma diminuição na capacidade de resiliência da vegetação, que pode ter sido intensificada pelo processo de desmatamento e/ou queimadas.

Palavras-chave: NDVI. Sensoriamento Remoto. Climatologia.

Land Cover Characteristics in Years of Climatic Contrasts (rainy and dry) in the West of the Amazon, Rio Branco – Acre, Using Remote Sensing

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize the soil cover in the western region of the Amazon (Rio Branco, Acre) in years of climatic contrasts (rainy, normal and dry). For this, a series of monthly precipitation data provided by the National Institute of Meteorology (INMET), from 1985 to 2014, was used. rainy year (2009) and a dry year (2005), using the Landsat 5-TM satellite platform of the National Institute for Space Research (INPE). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated and the surface type categories were defined. These images were processed using open access software R 4.3. The results showed that 2005 was one of the driest years and 2009 was one of the rainiest. The year 2005 presented 66% of coverage with dense vegetation, while the year 2009 presented the highest percentage (87.4%), as a result of a considerable variation in the biomass of the forest in Rio Branco. Among the years analyzed, the drought that occurred in 2005 showed the highest percentages of sparse vegetation (29.8%) and exposed soil (4.1%). Therefore, the influence of precipitation in the region is reinforced, where in drier years (2005), there is a decrease in the resilience of the vegetation, which may have been intensified by the process of deforestation and/or fires.

Keywords: NDVI. Remote sensing. Climatology.

Introdução

A Amazônia possui importância global inquestionável nos mais diversos aspectos: contribui para regular o clima e o balanço de água, absorção e estoque de carbono, na manutenção da imensa biodiversidade existente e por ser a maior floresta tropical úmida do planeta. Essas variáveis são bastante dependentes das características atmosféricas, embora, também sejam importantes influenciadoras para as mesmas. Entre os exemplos disso, pode-se citar as respostas da vegetação em relação à variabilidade da precipitação pluvial, que em anos atípicos, demonstra sensibilidade em termos de quantidade da cobertura de biomassa no solo e os aspecto fisiológico, portanto, é importante o monitoramento dessa influência para a compreensão do quanto isso ocorre, no tempo e no espaço, e também para melhor compreensão de outros impactos associados, dentre eles, destacam-se a seca de 2005 e as grandes enchentes de 2009 (Marengo et al., 2016; Phillips et al., 2009; Chen et al., 2010; Tomasella et al., 2011; Filizola et al., 2014; Feldpausch et al., 2016; Marengo et al., 2016)

Entre as metodologias mais utilizadas para realização de monitoramento de cobertura do solo, destaca-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI (sigla em inglês para *Normalized Difference Vegetation Index*), que é o indicador de vegetação mais difundido (Cohen et al., 2003; Dorigo et al., 2007) e tem se tornado uma ferramenta de grande utilidade na caracterização da vegetação e de culturas agrícolas (Moreira; Shimabukuro, 2004). Na literatura, existem mais de 50 índices de vegetação com diversas vantagens e limitações, entretanto, as mais utilizadas são a Razão Simples (RVI) e o NDVI (Moreira, 2003). Do ponto de vista matemático, esses dois índices apresentam equivalência funcional, no entanto, o NDVI é mais sensível à vegetação esparsa do que o RVI (Jackson; Huete, 1991). O NDVI é dado pela razão entre as bandas de alta correlação entre si e serve para realçar os alvos de interesse, por exemplo, a biomassa vegetal (Freire; Pacheco et al., 2005; Pacheco et al., 2006). Esta técnica também pode ser utilizada para auxiliar estudos que tratam da temática da degradação do solo, pois a partir das imagens geradas é possível observar áreas que apresentem níveis baixos ou ausentes de NDVI, característica de áreas que estejam sob processo de degradação ou potencialmente suscetível.

Para os biomas tropicais brasileiros, dentre eles a Floresta Amazônica, tem sido foco de atenção mundial devido a sua grande diversidade biológica e

também pelos efeitos que o desmatamento, o uso e ocupação da terra em grande escala, podem estar provocando no clima, na hidrologia e nos ciclos biogeoquímicos em escalas regionais e globais. Saatchi et al. (2013), em seu estudo sobre os efeitos de seca sobre a Floresta Amazônica, por meio de imagens de satélites e observações *in situ*, observaram que as regiões localizadas no oeste da Amazônia sofreram um forte déficit hídrico durante a intensa seca de 2005 e uma perda correspondente na estrutura do dossel das árvores e na umidade, que apesar da recuperação gradual das chuvas nos anos seguintes, o declínio na estrutura e conteúdo de água associado ao superior do dossel da floresta persistiram até a grande seca seguinte, em 2010 (Marengo et al., 2011). Essas secas favoreceram, por exemplo, incêndios florestais que afetaram dezenas e até centenas de milhares de hectares de floresta (Brown et al., 2011).

Secas como a de 2005, uma das mais intensas registrada nos últimos 100 anos (Marengo, 2008), quando prolongadas podem resultar em altas taxas de mortalidade das árvores e aumentar a inflamabilidade da floresta (Nepstad et al., 2004; Aragão et al., 2008). Previsões de modelos climáticos sugerem que a intensidade das estações secas e eventos extremos de seca irão aumentar com as mudanças no clima, afetando o funcionamento do ecossistema e a saúde das florestas na Amazônia (Malhi et al., 2009; Cox et al., 2008). Segundo Aragão et al. (2008), há uma preocupação crescente com os impactos de mudanças climáticas na estabilidade dos processos ecológicos na Amazônia, os *feedbacks* resultantes da escala local para o sistema de circulação global e as consequências para as populações vegetais, animais e humanas.

O estado do Acre, inserido na região Oeste da Amazônia, tem sofrido nas últimas décadas com secas severas (2005 e 2009) e cheias históricas como as de 2012 e 2015, com impactos significativos tanto na floresta como na população local (Brown et al., 2011; Silva et al., 2012; Saatchi et al., 2013). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2011), dos 22 municípios do Estado, 17 foram atingidos por algum tipo de desastre natural (enchentes, inundações, erosão fluvial e, incêndios florestais), entre os anos de 1991 e 2010. O mais afetado, segundo os documentos oficiais levantados, foi o município de Rio Branco, capital do Acre situado na região leste do Estado. Desta forma, pesquisas direcionadas para essa região no que concerne a análise e processamento de imagens

digitais na geração de NDVI são cruciais para subsidiar políticas públicas aplicáveis no monitoramento ambiental e controle dos recursos naturais, tais como: monitoramento de cultivo agrícola regional, estudos sobre degradação ambiental, monitoramento de seca e estudos globais de balanços de água e energia (Roy et al., 1997; Manso et al., 1998; Figueiredo et al., 2015).

Metodologia

Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção leste do estado do Acre que corresponde o município de Rio Branco (Figura 1). A localidade ocupa uma área de 9.222,58 km² com, aproximadamente, 336.038

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi analisar, no oeste da Amazônia (Rio Branco, Acre), a relação entre os índices de cobertura vegetal em três condições climáticas contrastantes (ano chuvoso, normal e seco).

habitantes (IBGE, 2010). A climatologia local é caracterizada por temperatura média oscilando entre 23,5 °C em julho a 26,0 °C em outubro, com média anual de 25,1 °C. A precipitação pluvial média acumulada no mês mais seco é de 35,6 mm (agosto) com máxima de 293,2 mm (março) e um total anual médio entorno de 1963,4 mm (da Silva et al. 2016).

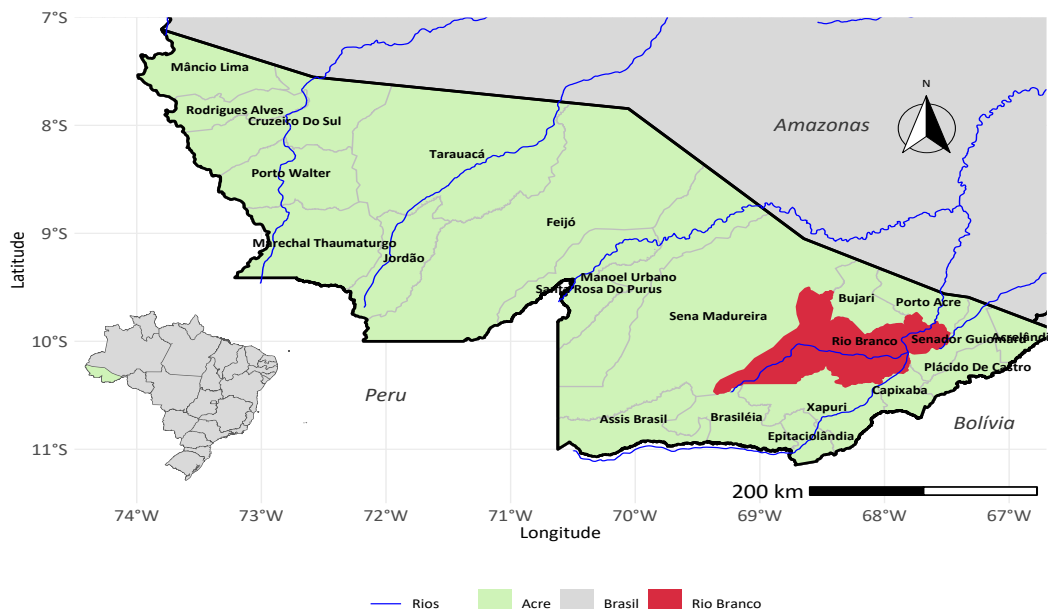


Figura 1 - Localização da área de estudo, Oeste da Amazônia, município de Rio Branco, Acre.

Dados

Utilizaram-se dados de precipitação mensais referentes ao período de 1985 a 2014, coletados em estações meteorológicas convencionais e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Rio Branco (9° 57' 36" S e 67° 52' 12" O).

Metodologia

De posse dos dados, calculou-se as estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, quartis, valores máximos e mínimos), mensal e anualmente, para estabelecer a estação chuvosa e

seca da referida localidade, assim como para identificar anos que choveram significativamente abaixo e acima da média, ou seja, ano seco e ano chuvoso, respectivamente. Considerou-se, nesta pesquisa, ano normal de precipitação aquele em que o acumulado anual foi entorno do valor climatologicamente esperado (valor médio).

Após identificação dos anos: seco, normal e chuvoso, selecionaram-se imagens de satélite, de superfície do solo, para representar cada ano em questão. O critério de seleção consistiu em extrair imagens LANDSAT no período de menor cobertura

de nuvens (entre julho e agosto), essa escolha foi justamente para evitar a incidência de cobertura de nuvens (Duarte, 2006), no momento de captação da imagem, que pudesse prejudicar a visualização total da superfície do solo, e posteriormente, pudesse inviabilizar as análises e interpretações através do NDVI.

As imagens empregadas para os cálculos do NDVI foram obtidas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), utilizando a plataforma do satélite Landsat 5-TM, cobrindo a faixa espectral do visível ao infravermelho próximo na órbita 2, ponto 67 compreendendo as coordenadas geográficas de latitudes entre 9° 13' S e 11° 1' S e longitude entre 67° 35' O e 68° 58' O. Essas imagens foram processadas no *software* livre R 4.3.3 para projeção SIRGAS 2000. Foi criado um banco de dados para onde foram importadas as imagens do tipo

TIFF, com o objetivo de armazenar as imagens de NDVI geradas. As correções atmosféricas e radiométricas foram realizadas nas bandas 3 e 4, utilizando dados da Tabela 1, que possibilita a determinação, manipulação e análise desses dados através do R a fim de se obter valores físicos mais confiáveis, conforme sugerido por Neto et al. (2008).

Os anos 2005 (seco), normal (2006) e chuvoso (2009) foram escolhidos por apresentarem comportamento pluviométrico distinto. Além do que, somente nesses anos foi possível encontrar imagens do Landsat 5-TM que apresentavam a condição de céu claro (pouca nebulosidade), um fator fundamental que possibilitou a estimativa do NDVI para análise da cobertura de solo da região. Assim, as datas selecionadas foram: 10 de agosto de 2005 (seco), 12 de julho de 2006 (normal) e 05 de agosto de 2009 (chuvoso).

Tabela 1 - Descrição das bandas TM do Landsat 5, com intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (mínima [a] e máxima [b]) e irradiância espectral no topo da atmosfera (TOA).

Descrição dos Canais	Comprimento de Onda (µm)	Coeficientes de Calibração (W.m ⁻² st ⁻¹ µm ⁻¹)		TOA, kλ(k _i) (W.m ⁻² µm)
		a	b	
Bandas				
1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,53 - 0,61	-2,84	365,0	1829
3 (vermelho)	0,62 - 0,69	-1,17	264,0	1557
4 (infravermelho próximo)	0,78 - 0,90	-1,51	221,0	1047
5 (infravermelho médio)	1,57 - 1,78	-0,37	30,20	219,3
6 (infravermelho termal)	10,4 - 12,5	1,2378	15,303	-
7 (infravermelho médio)	2,10 - 2,35	-0,15	16,50	74,52

Fonte: Chander e Markhan (2007)

O NDVI é um índice utilizado principalmente em estudos de cunho ambiental, que permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região (Freire; Pacheco, 2005; Pacheco et al., 2006; Melo et al., 2011).

A equação é definida pela diferença entre a reflectância do infravermelho próximo (NIR) e a reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das duas reflectâncias (Rouse et al., 1973). Essa equação gera um índice que varia de -1 a 1. Quanto maior o valor do índice maior a presença de vegetação densa e vigorosa, enquanto os menores valores se referem à vegetação alterada ou áreas desnudas, e os valores negativos à corpos d'água.

O NDVI foi definido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Sendo, NIR o Infravermelho próximo (0,75 – 0,90 µm) e R o Vermelho (0,63 – 0,70 µm).

Após o processamento das imagens, realizou-se a classificação quanto ao uso e cobertura do solo por meio da Classificação Supervisionada, através do método da Máxima Verossimilhança que de acordo com Figueredo e Carvalho (2007) é a modalidade de classificação digital mais eficiente para o mapeamento de uso e ocupação do solo. Para a validação da classificação, utilizou-se da ferramenta “matriz de confusão”, onde obteve-se resultados de acurácia de 96% e coeficiente Kappa

0,94. Desta forma foram definidas quatro classes temáticas de acordo com os seguintes valores de NDVI estipulados pela classificação supervisionada (Figueiredo et al., 2007): Floresta Nativa, Vegetação Rasteira, Solo Exposto e Corpos d'água, cuja principais características são:

- **Floresta Nativa:** engloba formação vegetal de portes variáveis e densa;

- **Vegetação Rasteira:** classe que engloba as áreas utilizadas na atividade agrícola (pastagem, Agricultura), sendo caracterizada por polígonos de lados bem definidos que se encontra em descanso ou preparado para o plantio;

- **Solo exposto:** abrange as áreas onde não há cobertura vegetal devido a diversos tipos de atividades humanas, como áreas degradadas, estradas, aglomerados urbanos e etc;

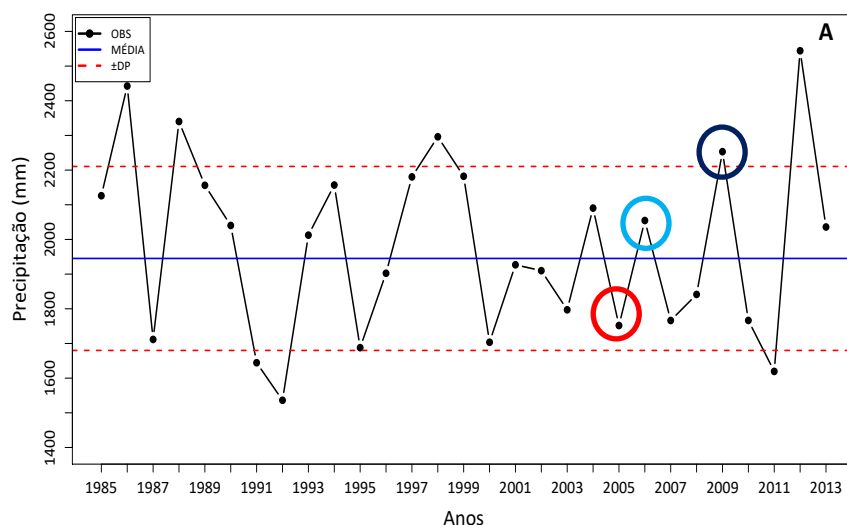
- **Copos D'água:** engloba os corpos hídricos tais como açudes, rios, lagoas e aquicultura.

Todas as análises foram realizadas através de softwares livres (SPRING, QGIS e R), que possibilitaram a realização do processamento de imagens de satélites e análises estatísticas de forma mais direta e viável, conforme já mencionado em vários estudos (Silva, 2009; Silva et al., 2016; Cabral Júnior e Bezerra, 2018; Cabral Júnior et al., 2019; Da Silva et al., 2019; Cabral Júnior e Lucena, 2020; Rodrigues et al., 2021; Medeiros et al., 2021).

Resultados e discussão

Observou-se nas Figuras 2A e 2B as variabilidades anuais e mensais, respectivamente, da precipitação para o oeste da Amazônia, representada pelo município de Rio Branco. Em termos anuais a precipitação média foi de 1.981,9 mm com desvio padrão de $\pm 261,2$ mm. Destacou-se que em alguns anos os desvios, em relação à média, são mais elevados, contribuindo para repercussões ambientais diversas, por exemplo variações da cobertura do solo pela biomassa que são governados por interações complexas entre clima e as perturbações na paisagem incluindo o desmatamento, fogo e seca (Haghtalab et al., 2020). Notou-se que até mesmo em anos muito próximos há irregularidade na distribuição pluvial, a citar os anos de 2005, 2006 e 2009 que são considerados, sucessivamente, anos seco (1.751,7 mm), normal (2.054,6 mm) e chuvoso (2.253,1 mm) e que serviram de base para as análises comparativas de NDVI como exemplos de extremos climáticos (Marengo, 2008; Phillips et al., 2009).

A variabilidade mensal da precipitação, para o oeste da Amazônia, apresenta duas estações bem definidas: seca e chuvosa (Figura 2B). O período chuvoso é compreendido entre novembro e março associado a mecanismos convectivos e de transporte de umidade de meso e grande escala, durante a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), enquanto que para o período seco, este ocorre entre os meses de maio e setembro associado a migração da ZCIT ao norte do equador, conforme já relatado por Espinoza et al. (2018), Da Silva et al. (2015), Da SILVA et al. (2016).



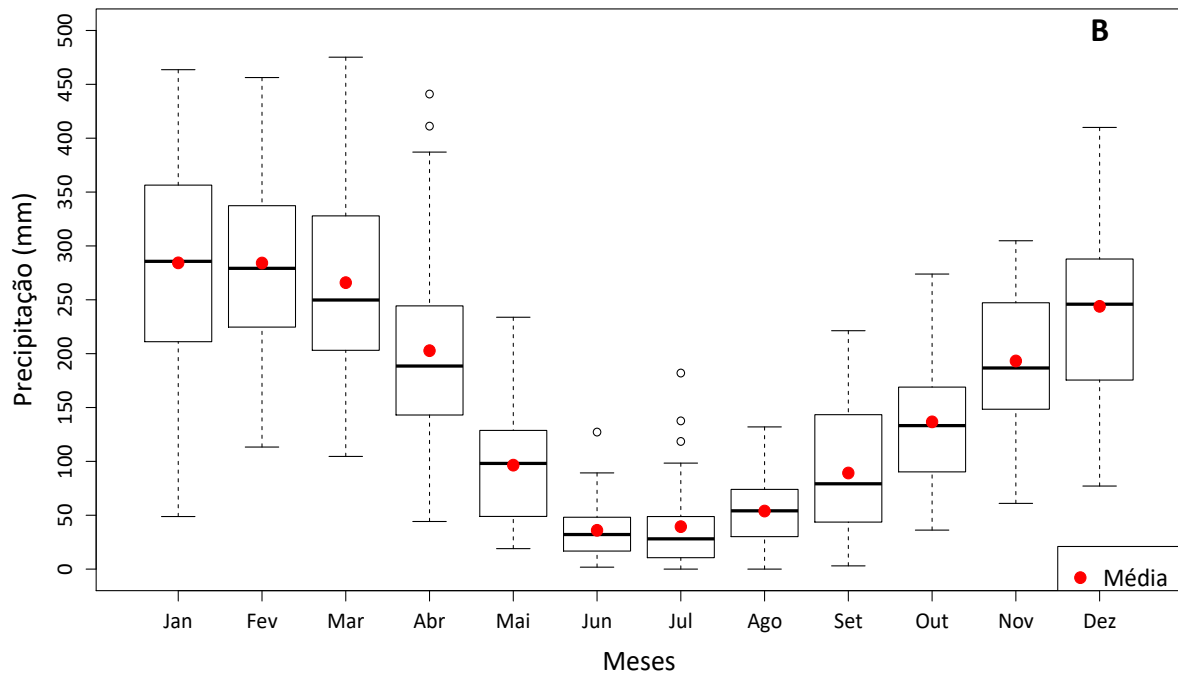


Figura 2 - Variabilidade da precipitação acumulada anual com a respectiva média e desvios normal (A) e boxplot dos valores mensais de precipitação (B) em Rio Branco-AC, 1985 a 2014.

Baseando-se nas oscilações do regime pluvial, verificou-se na Figura 3 as variações do NDVI embasado nos valores dos pixels. De acordo com a Classificação Supervisionada (Lillesand et al., 2004), os valores menores que -0,1, foram categorizados como corpos d'água (cor azul) e aqueles com valores compreendidos entre -0,2 e 0,2 corresponderam a vegetação esparsa e solo exposto (cor vermelha), enquanto os pixels com valores entre 0,2 e 0,5 foram classificados como áreas com vegetação rasteira (cor amarelo) e os pixels com valores maiores que 0,5 foram relacionados às áreas férteis de vegetação densa (cor verde).

Para o município de Rio Branco, foi possível observar que o processo de degradação do solo encontrava-se presente independente do quantitativo de precipitação no ano chuvoso (Figura 3A), normal (Figura 3C) e seco (Figura 3E), que representam os anos de 2009, 2006 e 2005, respectivamente. Fazendo-se uma análise comparativa entre esses anos torna-se perceptível a contribuição pluvial para a cobertura do solo, especialmente pela relação direta com a vegetação nativa, ou seja, o ano mais chuvoso (2009, Figura 3A), apresenta o maior percentual desse tipo de cobertura com 87,4% (Figura 3B), esse percentual decai para os anos normal (80,7%) e seco (66%) registrando-se uma diminuição gradativa da biomassa de Floresta Nativa.

Por outro lado, há uma relação inversa com o tipo de cobertura da superfície considerada rasteira (áreas de agricultura, pastos, desmatadas), ou seja, quanto menor ocorrência de chuva no leste da Amazônia maior foi a expansão dessas áreas consideradas rasteiras, que possivelmente pode estar relacionada também com as queimadas, que devido ao déficit de umidade no solo em anos mais secos, são provavelmente impulsionadas pela ação antropogênica. Além desses fatores que podem estar contribuindo para a expansão dessa área, adiciona-se ainda outros fatores naturais, como por exemplo, o recuo de corpos d'água (rios, açudes dentre outros) que resulta em uma superfície sem cobertura vegetal associado a sazonalidade do ciclo dos rios sujeitos às variações de intensidade e duração (Magalhães e Gomes, 2013; Guilherme et al., 2016), o que pode justificar o aparecimento e consequentemente o aumento de porções de solo exposto.

Essa ação ficou mais evidente ao observar um ano de seca, em 2005, que além de ter o maior percentual de área rasteira (29,8% - Figura 3F) obteve também o maior percentual de solo exposto (4,1%) possivelmente, resultante de impacto conjunto entre redução de precipitação e ações humanas. Ressalta-se que estas áreas de solo exposto se localizam próximas a rodovias, no perímetro urbano de Rio Branco, e comunidades ribeirinhas em meio à área leste da cidade, onde o NDVI exibiu

valores menores (tons de amarelo e vermelho). Estes resultados corroboram com os resultados encontrados por Guilherme et al. (2016) que relacionaram a intensificação de degradação no solo exercida pelas atividades antrópicas na região

amazônica, explicitando a agropecuária, urbanização, desmatamento, entre outros, que desenvolvidas de maneira desordenada impactam sobre os recursos naturais e desencadeiam processos de deterioração do solo.

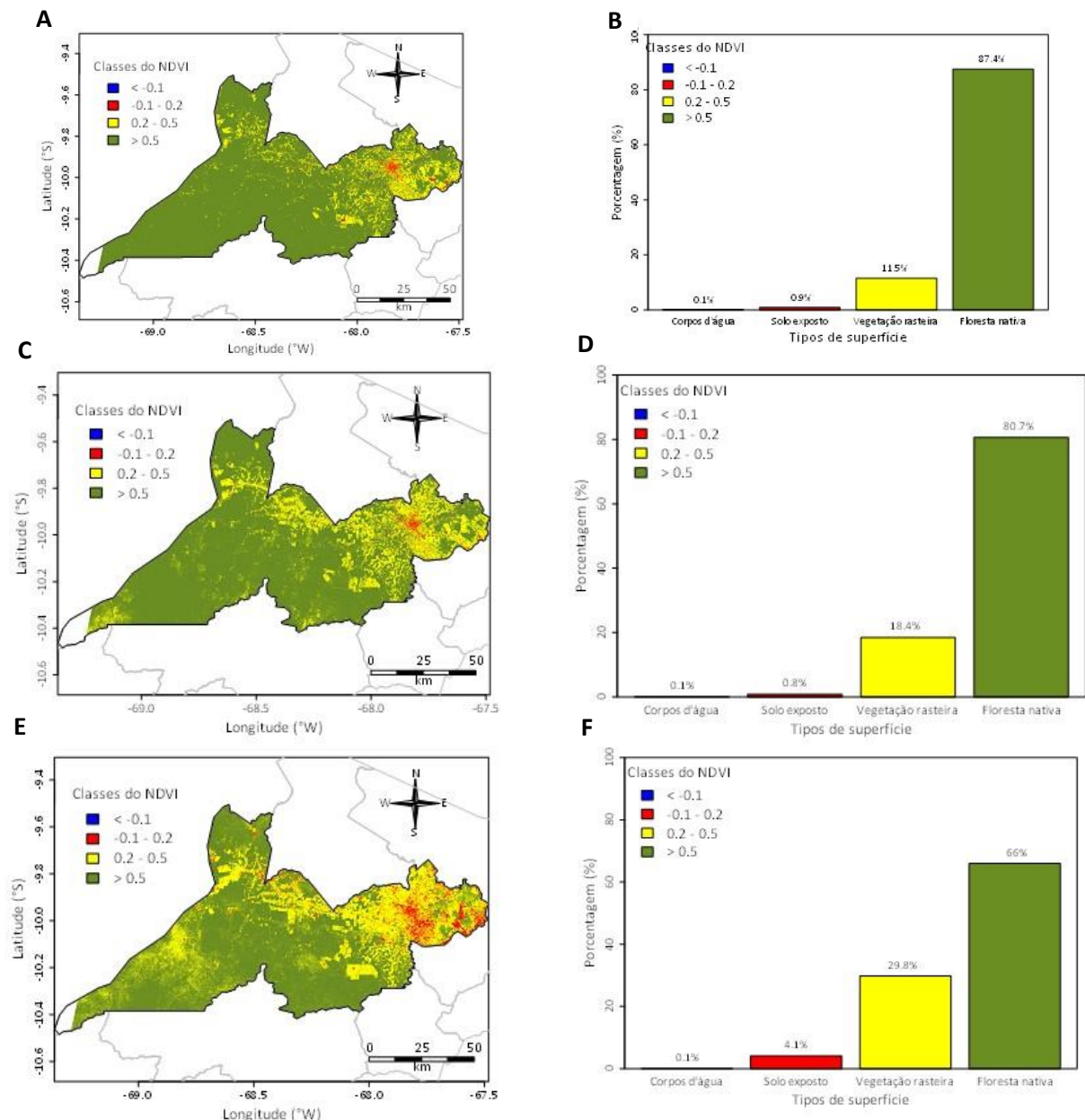


Figura 3 - Perfil da cobertura de solo com base no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), imagens Landsat 5-TM, para anos chuvoso (A, do dia 05.08.2009), normal (C, do dia 12.07.2006) e seco (E, do dia 10.08.2005), com os respectivos percentuais do tipo de cobertura do solo (B, D e F) para Rio Branco, Acre.

Conclusão

De acordo com resultados encontrados neste trabalho, pode-se concluir que:

O ano de 2005, ano de seca, reverberou em impactos apresentando um percentual de cobertura vegetal nativa 14,7% menor comparada ao ano de 2006 (ano padrão) e 21,4% a menos que o ano 2009 (ano chuvoso). O ano de 2005 resultou ainda o mais elevado percentual de solo exposto (4,1%), entre os anos analisados, ou vegetação esparsa.

Embora o ano de 2005 tenha sido caracterizado como uma das secas mais severas na Amazônia, observou-se que, com o regime pluvial intensificado nos anos posteriores (2006 e 2009), regiões que anteriormente estavam associados a desmatamento/urbanização, assumiram valores de NDVI pertencentes a classe de vegetação densa/nativa, evidenciando a forte dependência da floresta com as chuvas para manutenção do vigor da superfície vegetada.

A utilização das imagens Landsat 5-TM neste estudo configurou-se como satisfatória para a

obtenção dos resultados esperados na produção do NDVI assim como a utilização do software R para realização do geoprocessamento, que contribuiu de forma facilitada por conta da rotina de programação.

Destaca-se ainda que os mapas de NDVI permitiram estabelecer um critério para classificar o tipo de cobertura do solo. No entanto, observou-se que o regime pluvial influencia nos quantitativos do NDVI, alterando assim os percentuais de classes de superfície terrestres que podem estar associados aos fatores naturais, entretanto, ações antropogênicas também podem estar associadas a expansão do processo de degradação ambiental na Amazônia, principalmente em anos mais secos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelos dados através das imagens de satélites e ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, pela disponibilização dos dados de precipitação.

Referências

- ACRE. Governo do Estado do Acre, 2010. Zoneamento Ecologico-Economico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2. Ed. Rio Branco: SEMA, 356p.
- Aragão L., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., Saatchi, S. 2008. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in Brazilian Amazonia. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 363 (1498):1779–1785. Disponível: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0026>
- Atlas Brasileiro De Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Acre / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011.
- Brown, F., Santos, G., Pires, F., Da Costa, C. 2011. Brazil: Drought and Fire Response in the Amazon. *World Resources Report: Decision Making in a Changing Climate* (<http://www.worldresourcesreport.org/>). 2011.
- Cabral Júnior, J.B., Bezerra, B.G., 2018. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, n. 1, p. 71-89. Disponível: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/14746>
- Cabral Júnior, J.B., Lucena, R.L., 2020. Analysis of precipitation by non-parametric tests of Mann-Kendall and Kruskal-Wallis. *Mercator*, v. 19, p. 1-14. Disponível: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>
- Cabral Júnior, J.B., Silva, C. M. S., Almeida, H. A., Bezerra, B. G., Spyrides, M. H. C., 2019. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. *Theoretical And Applied Climatology*, v. 138. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02816-w>
- Chander, G.; Markham, B. L., 2007. Revised Landsat 5 Thematic Mapper radiometric calibration. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, v. 4, n. 3. Disponível: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2007.898285>
- Chen, J. L.; Wilson, C. R.; Tapley, B. D., 2010. The 2009 exceptional Amazon flood and interannual terrestrial water storage change observed by GRACE. *Water Resources Research*, v. 46, n. 12. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2010WR009383>
- Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts, R.A., Collins, M., Jones, C.D., Jupp, T.E., Marengo, J.A., Nobre, C. A., 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol

- pollution. *Nature* 453(7192):212–215. Disponível: <https://doi.org/10.1038/nature06960>
- Cohen, W. B.; Maersperger, T. K.; Gower S. T.; Turner, D. P., 2003. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, v.84, p.561-571. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00173-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00173-6)
- Da Silva, H.J.F.; Gonçalves, W. A.; Bezerra, B. G., 2019. Comparative analyzes and use of evapotranspiration obtained through remote sensing to identify deforested areas in the Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 78, p. 163-174. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.015>
- Da Silva, H.J.F.; Lúcio, P.S.; Brown, I.F., 2015. Análise mensal, sazonal e interanual da evapotranspiração de referência para o sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v. 08, n.6, 1711-1729. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150097>
- Da Silva, H.J.F.; Lúcio, P.S.; Brown, I.F., 2016. Análise mensal, sazonal e interanual da Evapotranspiração potencial para o leste do estado do Acre, Brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria v.38 n.1, 326 – 340. Disponível: <https://doi.org/10.5902/2179460X15881>
- Dorigo, W.A.; Milla, R.Z.; De Wit, A.J.W.; Brazile, J.; Singh, R.; Schaepman, M.E., 2007. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.9, p.165-193. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.05.003>
- Duarte, A.F. Aspectos da climatologia do acre, Brasil, com base no intervalo 1971 – 2000. 2006. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 308-317. Disponível: http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=219
- Espinoza, J.C.; Ronchail, J.; Marengo, J.A.; Segura, H., 2018. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Clim Din*. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>
- Feldpausch, T. R. et al., 2016. Amazon forest response to repeated droughts. *Glob. Biogeochem. Cycles* 30, 964–982. <https://doi.org/10.1002/2015GB005133>
- Figueiredo, S.M.M.; Carvalho, L.M.T. 2007. Análise comparativa entre técnicas de classificação digital em imagens Landsat no mapeamento do uso e ocupação do solo em Capixaba, Acre. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE, p. 6729-6736.
- Figueiredo, S.M.M.; Venticinque, E.M.; Figueiredo, E.O.; Ferreira, E.J.L., 2015. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. *Acta Amazônica*. vol. 45(2), p.167 – 174. Disponível: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1038606>
- Filizola, N., Latrubesse, E.M., Fraizy, P., Souza, R., Guimarães, V., Guyot, J. L. 2014. Was the 2009 flood the most hazardous or the largest ever recorded in the Amazon?. *Geomorphology*, 215, 99-105. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.028>
- Freire, N.C.F, Pacheco, A. P. 2005. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. XII. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais, Goiânia, Brasil, INPE.
- Guilherme, A.P.; Mota, A.B.S; Mota, D.S.; Machado, N.G.; Biudes, G. S. 2016. Uso De Índice De Vegetação Para Caracterizar a mudança no uso do solo em Coari-AM. *Soc. & Nat.*, Uberlândia, 28 (2): 301-310. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160209>
- Haghtalab, N; Moore, N.; Heerspink, B.P.; Hyndman, D. W. 2020. Evaluating spatial patterns in precipitation trends across the Amazon basin driven by land cover and global scale forcings. *Theor Appl Climatol.*, v. 140, p: 411–427. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03085-3>
- Holben, B. N. 1986. Characterization of maximum value composites from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417–1434. Disponível: <https://doi.org/10.1080/01431168608948945>
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Geração de Imagens. 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/>, acesso em: 28 de setembro de 2020.
- Jackson. R. D.; Huete. A. R. 1991. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*. v.11, p.185-200. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2)

- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W.; Chipman, J. W., 2004. Remote sensing and image interpretation. 5.ed. New York: Wiley & Sons, 763 p.
- Malhi, Y.; Aragão, L.E.O.C.; Galbraith, D.; Huntingford, C.; Fisher, R.; Zelazowski, P.; Sitch, S.; McSweeney, C.; Meir, P., 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proc Natl Acad Sci USA* 106(49): 20610–20615. Disponível: <https://doi.org/10.1073/pnas.0804619106>
- Magalhães, R.C.; Gomes, R.C.M. 2013. Mineralogia e química de solo de várzea e suas susceptibilidades no processo de terras caídas na comunidade do Divino Espírito Santo-AM. *Sociedade & Natureza*, v.25, n.3, pp.6009-621. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000300013>
- Manso, A.F.; Illera, P.; Delgado, J.A.; Unzueta, A.F. 1998. Climatic interpretation of the NDVI: applications for vegetation monitoring in Castilla y Leon (Spain)", *Proc. SPIE* 3499, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, v. 3499, p. 372-383. Disponível: <https://doi.org/10.1117/12.332772>
- Marengo, J.A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Oyama, M.D., Sampaio de Oliveira, G., De Oliveira, R. and Brown, I.F., 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21(3), 495–516. Disponível: <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- Marengo, J.A., Williams, E.R., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A. 2016. Extreme seasonal climate variations in the Amazon basin: droughts and floods. Interactions between biosphere, atmosphere and human land use in the Amazon Basin (pp. 55-76). Springer, Berlin, Heidelberg. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3_4
- Marengo, J. A. Água e mudanças climáticas. 2008. *Estud. av.*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., E Rodriguez, D. A. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L1270. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Medeiros, FJ; Oliveira, CP; Gomes, RDS; Silva, MI; Cabral Júnior, JB. 2021. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012-2017 period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200198>
- Melo, E.T.; Sales, M.C.L.; Oliveira, J.G.B. 2011. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *Ra'e-ga-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 23. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v23i0.24919>
- Moreira, M.A. 2003. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2. ed. Viçosa: UFV. 307 p.
- Moreira, M.A.; Shimabukuro, Y.E. 2004. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: Ferreira, N. J. (Cord.). *Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIRO-N*. São Paulo: Oficina de Texto. cap. 4, p.79-101.
- Nepstad D.; Lefebvre, P.; Silva, U.L.; Tomasella, J.; Schlesinger, P.; Solórzano, L.; Moutinho, P.; Ray, D.; Benito, J.G., 2004. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Glob Change Biol* 10:704–717. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00772.x>
- Neto, R.T.B; Filho, M.B.B.B, Lopes, H.L; Pacheco, A.P. 2008. Determinação de valores físicos de imagens TM/LANDSAT- 5 utilizando a linguagem LEGAL para obter índices de vegetação. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Anais, Recife, Pernambuco, Brasil.
- Pacheco, A.P; Freire, N.C.F; Borges, U.N. 2006. Uma contribuição do sensoriamento remoto para detecção de áreas degradadas na Caatinga Brasileira. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v.26, n.1, p.49-68. Disponível: <https://doi.org/10.5216/bgg.v26i1.3546>
- Phillips, O.L., Aragao, L.E.O.C., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., ... Quesada, C.A. 2009. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323(5919), 1344–1347. Disponível: <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Rodrigues, D.T.; Silva, C.M.S.; Reis, J.S.; Palharini, R.S.A.; Cabral Júnior, J.B.; Silva, H.J.F.; Mutti, P. R.; Bezerra, B. G.; Goncalves, W. A. 2021. Evaluation of the Integrated Multi-Satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (IMERG) Product in the São Francisco Basin (Brazil). *Water*, v. 13, p. 1-12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w13192714>

- Roy, D.P.; Kennedy, P.; Folving, S. 1997. Combination of the Normalized Difference Vegetation Index and surface temperature for regional scale European Forest cover mapping using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 5, p. 1189-1195. <https://doi.org/10.1080/014311697218665>
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.
- Saatchi, S.; Asefi-Najafabady, S.; Malhi, Y.; Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; Myneni, R.B.; Nemani, R., 2013. Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Harvard University, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.1073/pnas.1204651110>
- Silva, H. D. B., Estudo do Índice de Vegetação no Município de Floresta - PE, utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Rural de Pernambuco – UFRPE. Recife-PE, 2009.
- Silva, H.J.F.; Araujo, E.P.; Reis, V.L.; Bruce, I.; Assis, L.M.M: Previsão e Monitoramento de Tempo e de Focos de Calor Aplicada À Elaboração de Boletins de Alertas para ações de Defesa Civil no Acre. XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado/RS, 2012.
- Silva, H.J.F.; Santos, M.S.; Cabral Júnior, J.B.; Spyrides, M. H. C. 2016. Modeling of reference evapotranspiration by multiple linear regression. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 6, n.1, p. 44-58. Disponível: <https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160005%20>
- Tomasella, J., Borma, L.S., Marengo, J.A., Rodriguez, D.A., Cuartas, L.A., Nobre, A.C. and Prado, M.C. 2011. The droughts of 1996–1997 and 2004–2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. *Hydrological Processes*, 25(8), 1228–1242. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.7889>