Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

IMPACTOS CLIMÁTICOS NA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO PARA A AMAZÔNIA OCIDENTAL

GOMES, Dênis José Cardoso – deniss.feg@gmail.com
Universidade Federal de Santa Maria/ UFSM

SILVA, Letícia Pereira da - goleticia67@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

FERREIRA, Nedilson Sanches- nedilsonlive@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

LOBATO, Richard Reno da Costa- richardlobato7@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

SERRÃO, Edivaldo Afonso de Oliveira - oliveiraserrao@gmail.com
Universidade Federal de Campina Grande / UFCG

LIMA, Aline Maria Meiguins de- alinemeiguins@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

Submetido em: 18/05/2020
Aceito para publicação em: 26/02/2021
Publicado em: 06/04/2021
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.73853

RESUMO: A intensa variabilidade climática na Amazônia provoca alguns desastres naturais como a erosão hídrica do solo. O objetivo deste trabalho foi analisar o quanto espacialmente as variabilidades climáticas afetam, através da precipitação pluvial, a erosão do solo na bacia hidrográfica do médio-baixo rio Madeira. Utilizaram-se o Índice de Oscilação Sul e o Índice Oceânico Niño para identificação dos fenômenos climáticos e as variáveis declividade, precipitação pluvial, uso e ocupação da terra e tipos de solo no processo de álgebra de mapas. Os anos extremos (2009-La Niña; 2015-El Niño) ultrapassaram o desvio padrão pluvial. As áreas próximas à foz do rio Madeira apresentaram a maior extensão de estabilidade à erosão, e essa condição pode ser localmente alterada pela ação de episódios de precipitação pluvial intensa, enquanto a parte sul da bacia possui os setores críticos agravados pelas mudanças do uso da terra, em regiões naturalmente instáveis. O monitoramento das ações antrópicas nessas áreas de alerta é a maneira mais viável de contingência do avanço da erosão do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Teleconexão; Desastres Naturais; Bacia Hidrográfica.

CLIMATE IMPACTS ON SOIL HYDRO EROSION, WESTERN AMAZON

ABSTRACT: The intense climatic variability in the Amazon causes some natural disasters such as soil water erosion. The objective of this work is to analyze how spatially the climatic variability affects, through precipitation, soil erosion in the lower-middle Madeira river basin. The Southern Oscillation Index and the Oceanic Niño Index were used to identify climatic phenomena and the variables slope, rainfall, land use and occupation and soil types in the map algebra process. The extreme years (2009-La Niña; 2015-El Niño) exceeded the rainfall standard deviation. The areas near the mouth of the Madeira river presented the greatest extent of stability to erosion, and this condition may be altered locally by the action of episodes of intense rainfall, while the southern part of the basin has critical sectors aggravated by changes in land use, in naturally unstable regions. The monitoring of anthropic actions in these warning areas is the most viable way of contingent on the progress of soil erosion.

KEYWORDS: Teleconnection; Natural Disaster; Watershed.

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais são fenômenos hidroclimáticos, geológicos e biológicos que atingem áreas habitadas pelo homem causando perturbação na ordem de uma comunidade, ocasionando em perdas humanas e materiais, além de provocar impactos negativos no âmbito econômico e socioambiental em grandes proporções cujas consequências excedem a capacidade de auto recuperação da sociedade afetada (NOY, 2009; TOMINAGA et al., 2009; LONDE et al., 2014). A este respeito, destaca-se a região Amazônica brasileira, marcada nos últimos anos por eventos climáticos extremos que provocam secas, inundações e processos erosivos do solo (MARENGO et al., 2008; MARENGO et al., 2012; SERRÃO et al., 2015; SZLAFSZTEIN, 2015). Tadesse et al. (2017) apontam que tais problemas ambientais por meio da erosão do solo ocasionam redução da qualidade dos solos impactando de forma negativa as populações.

Na região Amazônica são comuns habitações às margens dos rios tradicionalmente conhecidas como palafitas, e são construídas levando em consideração as variações de nível sazonais das águas dos rios. Porém, as ocorrências de eventos extremos provenientes de oscilações climáticas favorecem o aumento pluvial, ocasionando erosão hídrica do solo e aumentando a vulnerabilidade destas comunidades (CARVALHO; CUNHA, 2011).

De certa forma, as populações amazônicas adaptam-se aos processos de erosão hídrica, porém sua expansão, principalmente ao longo das margens de rios e consequente alteração topográfica com aterros e outras estratégias de engenharia não adaptadas as condicionantes naturais, levam a ampliação das perdas de solo. Para Ferreira et al. (2010), a erosão é o processo de desprendimento, arraste e deposição das partículas do solo causada por fatores naturais e antropogênicos; podendo ser classificada conforme a especificidade de cada ocorrência: erosão hídrica (laminar, linear, ravinas, sulcos e boçorocas); erosão fluvial; erosão costeira ou marinha; erosão eólica; erosão glacial; erosão por gravidade; erosão antrópica; erosão geológica ou natural (ENDRES et al., 2006; TOMINAGA et al., 2009; DYONISIO, 2010; MACEDO; SOUZA, 2016).

Assim, na Amazônia, uma região com alta densidade de rios, há muitos processos erosivos fluviais relacionados ao fenômeno de terras caídas (FREITAS; ALBUQUERQUE, 2012; VALE et al. 2019). A intensificação das áreas de ocorrência desses problemas ambientais, que ocorre primeiramente por uma variação volumétrica elevada do perfil de solo, sendo inicialmente saturada em água e depois, com a perda deste volume, se desestabiliza e colapsa; o segundo processo está associado às áreas onde ocorre alguma variação de declive, ou onde a atividade antrópica aterrou a declividade original, com ação das águas dos rios e da chuva favorecendo a alta saturação e a movimentação gravitacional do solo (MAGALHÃES et al., 2011; TORRES DE FREITAS; REBELLO ALBUQUERQUE, 2012; RODRIGUES, 2014). Neste sentindo, Queiroz et al. (2018) alertam sobre o avanço ocupacional nas áreas de várzea amazônica que pode colocar em perigo os habitantes e afetar negativamente as atividades agrícolas com a perda de solos férteis.

O uso e ocupação desordenado em áreas de risco ambiental são os fatores mais agravantes do atual cenário de desenvolvimento populacional. Dias

e Silva (2015) ressaltam que a degradação do solo é um fenômeno recorrente no Brasil, por apresentar características climáticas tropicais dominantes e um solo susceptível predominante em seu território, sendo a erosão do solo um dos tipos de degradação mais recorrentes (ESTEVAM-ALVES et al., 2016). Sua compreensão passa a ser melhor entendida quando analisada no sistema bacia hidrográfica, uma vez que os condicionantes do balanço hídrico (que incluem a precipitação pluviométrica, escoamento superficial e o subterrâneo) são os principais agentes influenciadores do processo nos ambientes Amazônicos (MOQUET et al., 2016). Por isso, faz-se necessário o monitoramento hídrico.

Carvalho et al. (2012) e Coutinho et al. (2015) discutem a importância do estudo da precipitação pluvial em bacias hidrográficas para o balanço hídrico regional, pois as consequências da infiltração e escoamento superficial da água pluvial são fatores essenciais para a manutenção dos recursos hídricos que sofrem influência direta dos eventos extremos climáticos, em que tais etapas do ciclo hidrológico controlam os processos erosivos influenciados pelas variações hidroclimáticas (BALBINOT et al., 2008; LICCO; MAC DOWELL, 2015).

A análise regional do ciclo hidrológico da Amazônia é marcada pela redução do volume hídrico nas últimas décadas com a substituição da floresta tropical por savanas (COHEN et al., 2007); nesta perspectiva é necessário discutir a influência de fatores de larga escala de variabilidade interanual da distribuição espacial da precipitação, como é o caso das condições de El Niño e La Niña, que afetam principalmente partes norte e central da bacia com anomalias positivas ou negativas de precipitação associadas a La Niña ou El Niño (GLOOR et al., 2015). Tais fenômenos climáticos denominados como El Niño Oscilação Sul (ENOS) promovem através da precipitação impactos negativos na superfície terrestre, principalmente no excedente hídrico provocado pela La Niña (GRIMM; TADESCHI, 2009). Sendo considerada ainda sua interação com os efeitos das mudanças do uso da terra que agravam ainda mais a susceptibilidade à desastres naturais na Amazônia (BARBOSA; FEARNSIDE, 2000).

Almagro et al. (2017) destacam a necessidade da intensificação dos estudos sobre a influência do clima no risco à erosão do solo na bacia hidrográfica amazônica e suas consequências, principalmente na região transfronteiriça, dada as modificações antrópicas e naturais nesta região oeste da Amazônia brasileira, com importância ambiental e econômica internacional. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar o quanto espacialmente as variabilidades climáticas afetam, através da precipitação pluvial, a erosão do solo na Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo rio Madeira (BHMBM).

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A BHMBM, como mostra a Fig. 1, localiza-se em território brasileiro na região Norte (oeste amazônico) abrangendo uma área de aproximadamente 548.872,2 km², e está distribuída entre os estados do Acre, Amazônia, Mato Grosso e Rondônia, com a nascente do rio situada na região dos Andes da Bolívia (rio Beni e Madre Dios) percorrendo até próximo de Itacoatiara-AM na sua foz (rio Amazonas), sendo o trecho do rio Madeira (BHMBM) medindo cerca de 1.413,1 km de extensão. De acordo com Bernardi et al. (2009), seu regime

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

hidrológico está associado ao clima andino e caracterizado por estiagem entre os meses de julho a outubro e cheias entre os meses de fevereiro a maio.

AQUISIÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO

Os dados de índices climáticos foram adquiridos pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2020). Este disponibiliza dados trimestrais do Índice Oceânico Niño (ION) e Índice Oscilação Sul (IOS) caracterizando as anomalias climáticas do oceano Pacífico (ION-IOS). Dias et al. (2020) sugerem que quando o ION for maior que + 0,5 °C por no mínimo 5 meses consecutivos será caracterizado como anomalia positiva, ou seja, aquecimento superficial das águas oceânicas em relação à média histórica da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que indica a atuação do El Niño; quando a TSM for menor que – 0,5°C em 5 meses respectivos ou mais, será considerado anomalia negativa, isto significa o resfriamento superficial das águas oceânicas em relação à média histórica da TSM, sugerindo a presença do fenômeno La Niña.

Os dados de precipitação pluvial (1988 – 2017) foram obtidos na plataforma HidroWeb, onde estão disponibilizadas medições dos 40 pluviômetros distribuídos espacialmente pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2019). Os estudos foram concentrados nas sub-bacias do Médio e Baixo Madeira (BHMBM), adotando os critérios de Gomes et al. (2019). Assim optou-se pela análise dos dados apenas da parte brasileira da Bacia Hidrográfica do rio Madeira devido a baixa densidade espacial das estações pluviométricas na região boliviana, onde situa-se o Alto Madeira, o que inviabiliza a geração da espacialização desta variável.

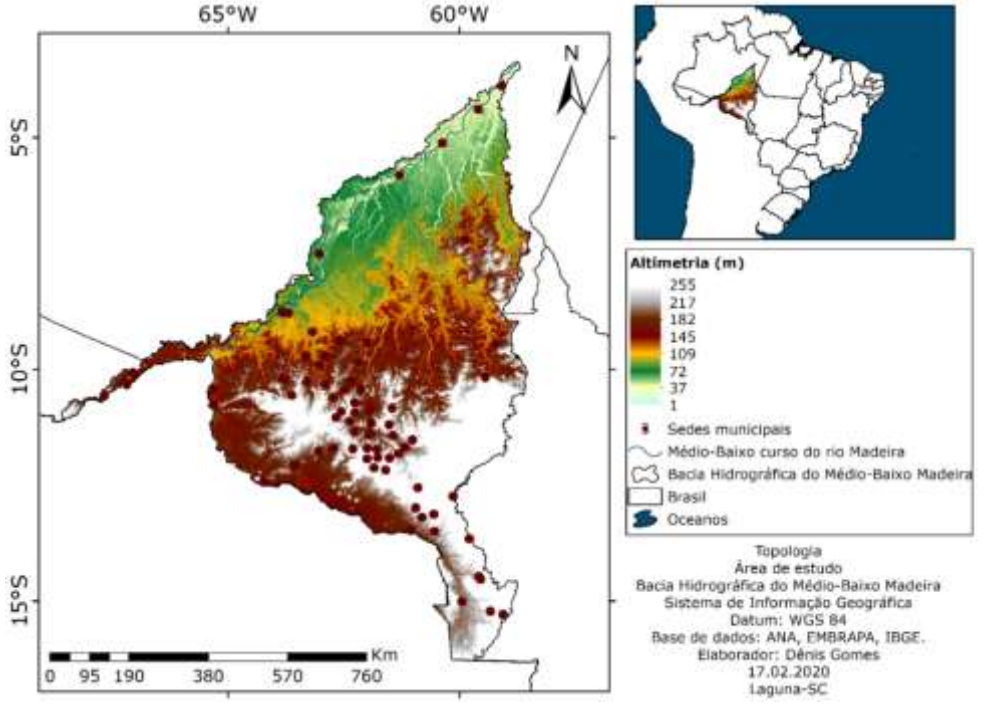


Figura 1 - Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: EMBRAPA (2018). Adaptado por autor (2020).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Calculou-se a média da precipitação pluvial anual assim como o seu desvio padrão para observar-se a associação dos índices climáticos e a precipitação pluvial. Baseando-se em outros estudos (BRITTO et al., 2008; SOUSA et al., 2015; JORGE; LUCENA, 2018), foi identificado o excedente ou escassez hídrica através do maior ou menor acumulado pluvial de 2009 e de 2015, adotando o critério de seleção dos anos extremos á condição de que o valor da precipitação anual ultrapasse a média histórica e o desvio padrão, correspondendo aos eventos de La Niña e El Niño. Considerou-se a precipitação pluvial somente desses anos de eventos extremos climáticos como componente para o cálculo do produto final de erosão do solo.

A técnica de álgebra de mapas, utilizada neste estudo, para produzir a representação dos processos erosivos, segundo Pavanin et al. (2017), consiste na utilização de dados ambientais que podem ser correlacionados espacialmente através de ferramentas matemáticas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, calculou-se o risco da erosão do solo a partir de uma sequência de produtos rasterizados (variáveis) na função calculador de raster usando a espacialização pluviométrica da BHMBM com base na interpolação dos dados da ANA (2019), conforme utilizados em Gomes et al. (2019); a declividade do terreno baseando-se nos dados SRTM (INPE, 2019), discutidos por Valeriano e Rossetti (2012), e validados por Polidori et al. (2014); o uso e ocupação da terra (PROJETO MAPBIOMAS, 2020) que foi utilizado por Mas et al. (2019) e a distribuição espacial das classes de solos através dos dados do Sistema Brasileiro de classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). O produto de vulnerabilidade à erosão hídrica do solo é representado pela Eq. 1 (CREPANI et al., 2001; RIBEIRO; CAMPOS, 2007; MOTA; VALLADARES, 2011; XAVIER et al., 2016; MATULE; MACARRINGUE, 2020):

$$V = \frac{P+D+U+S}{4} \quad (1)$$

Onde: V = Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo; P = Precipitação pluvial (mm); D = Declividade (Graus); U = Uso e ocupação da terra; S = Solos.

Na avaliação da vulnerabilidade natural associada à distribuição espaço-temporal da precipitação pluvial (SICILIANO et al., 2018) e das demais variáveis (RIBEIRO; CAMPOS, 2007; XAVIER et al., 2016), foram adotados os critérios apresentados na Tab. 1. Esta apresenta a relação escalar do risco à erosão hídrica do solo com a classificação ponderada conforme padrões de estabilidade e/ou vulnerabilidade das variáveis em estudo, no qual os pesos foram atribuídos de acordo com a classificação de cada variável.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Escala e classificação de Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo.

Grau de Vulnerabilidade (V)	Escalas de valores	Critérios
Vulnerável	V > 2,6	Processos de retrabalhamento das formas de relevo são preponderantes
Moderadamente Vulnerável	2,2 < V ≤ 2,6	Existe o retrabalhamento superior as formas de estabilidade
Medianamente Estável/Vulnerável	1,7 < V ≤ 2,2	O padrão de estabilidade e retrabalhamento das formas de relevo são próximos
Moderadamente Estável	1,3 < V ≤ 1,7	Existe o retrabalhamento inferior as formas de estabilidade
Estável	V < 1,3	A estabilidade das formas de relevo é preponderante

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Campos (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 2a apresenta as anomalias climáticas, TSM e balanço barométrico do acoplamento (oceano-atmosfera) oriunda do Pacífico. Na região tropical do Pacífico observa-se que as maiores alterações na TSM, anomalamente quentes, foram nos anos de 1997 (1,17 °C) e 2015 (1,49 °C), favorecendo a ocorrência de eventos de El Niño com tempo de resposta via teleconexão observado também nos anos seguintes, inibindo a convecção do ar na Amazônia e formação de nuvens indutoras de precipitação pluvial. Nestas mesmas águas, registrou-se os resfriamentos mais intensos em 1999 (-1,23 °C) e em 2008 (-0,76 °C), caracterizando o fenômeno de La Niña e seus efeitos nos anos posteriores elevando a precipitação pluvial na região amazônica devido ao aumento do movimento de ascendência do ar. Esta região possui características de intensa variabilidade interanual pluviométrica, sendo geralmente relacionadas a extremos climáticos como ENOS que podem modular o posicionamento de sistemas meteorológicos indutores de precipitação, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (RAO et al., 2016; BRAVO-CABRERA et al., 2017).

Para Limberger (2016), o termo teleconexão é usado para denominar o processo provocado pelas anomalias barométricas e de TSM que alteram o padrão de circulação do ar devido a troca de energia gerada pela interação oceano-atmosfera de regiões remotas. Anyamba et al. (2012) reforçam que a influência do ENOS no clima global e tropical através de variações interanuais como o El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria) podem ser um exemplo de teleconexão.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

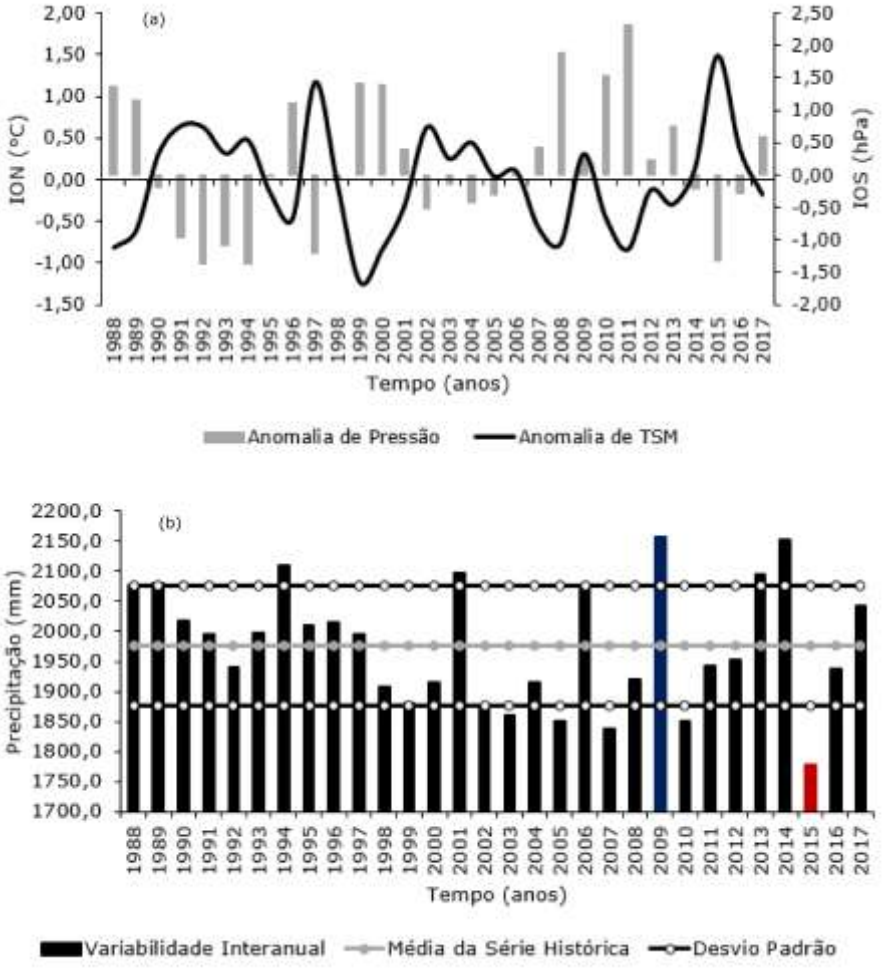


Figura 2 - Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e de pressão no oceano Pacífico, o Índice Oceânico Niño (ION) e Índice Oscilação Sul (IOS) respectivamente, no período de 1988 – 2017 (a). Variabilidade Interanual pluviométrica (1988 - 2017): Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo Madeira (b). Fonte: NOAA (2020). ANA (2019). Adaptado por autor (2020). *Anos de extremos climáticos com precipitações pluviais observadas acima (azul) e abaixo (vermelho) do desvio padrão.

O padrão de anomalias de pressão (Fig. 2a) apresenta valores positivos em 2008 (1,88 hPa), correspondendo ao resfriamento das águas superficiais do Pacífico tropical discutidos anteriormente, caracterizando possíveis eventos de La Niña e influenciando precipitações pluviais extremas no ano subsequente, 2009 (2.157,8 mm) como mostra a Fig. 2b em que 9,2 % das chuvas estão acima da média histórica regional e 3,9 % acima do desvio padrão. Pode-se identificar tendências de pressões negativas persistindo até 2015 (-1,33 hPa) devido as águas anomalamente quentes, assim apresentando tendências de formação do fenômeno El Niño com precipitação pluvial de 1.777,3 mm (Fig. 2b), no qual os totais pluviométricos estão 10,0 % abaixo da média histórica e 5,2 % abaixo do desvio padrão.

A Fig. 3 apresenta distribuição espacial média anual pluviométrica na BHMBM, onde observa-se que a precipitação pluvial aumenta no sentido sudoeste-nordeste. Em 2015 (El Niño), os menores valores de precipitações

pluviais (771,6 mm - 1.251,3 mm) estão na região sul-sudoeste. De maneira complementar, ressaltam-se as informações registradas pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SNPDC, 2020), em que no ano de 2016 (clima desfavorável ao aumento das chuvas), foram observadas situações de emergências decorrentes de eventos extremos de estiagens em zonas de baixa densidade pluvial nas cidades de Acrelândia e Plácido de Castro. Na parte central da BHMBM, a precipitação pluvial anual é mediana (1.544,3 mm – 1.837,3 mm) e na região nordeste há os maiores volumes de precipitações pluviais (2.130,3 mm – 2.429,1 mm), destacando que apesar dos elevados regimes pluviométricos nestas áreas, em 2005 (clima desfavorável ao aumento das chuvas) foram decretados (SNPDC, 2020) estado de calamidade pública nos municípios de Apuí, Borba e Humaitá devido a ocorrência de eventos de estiagens.

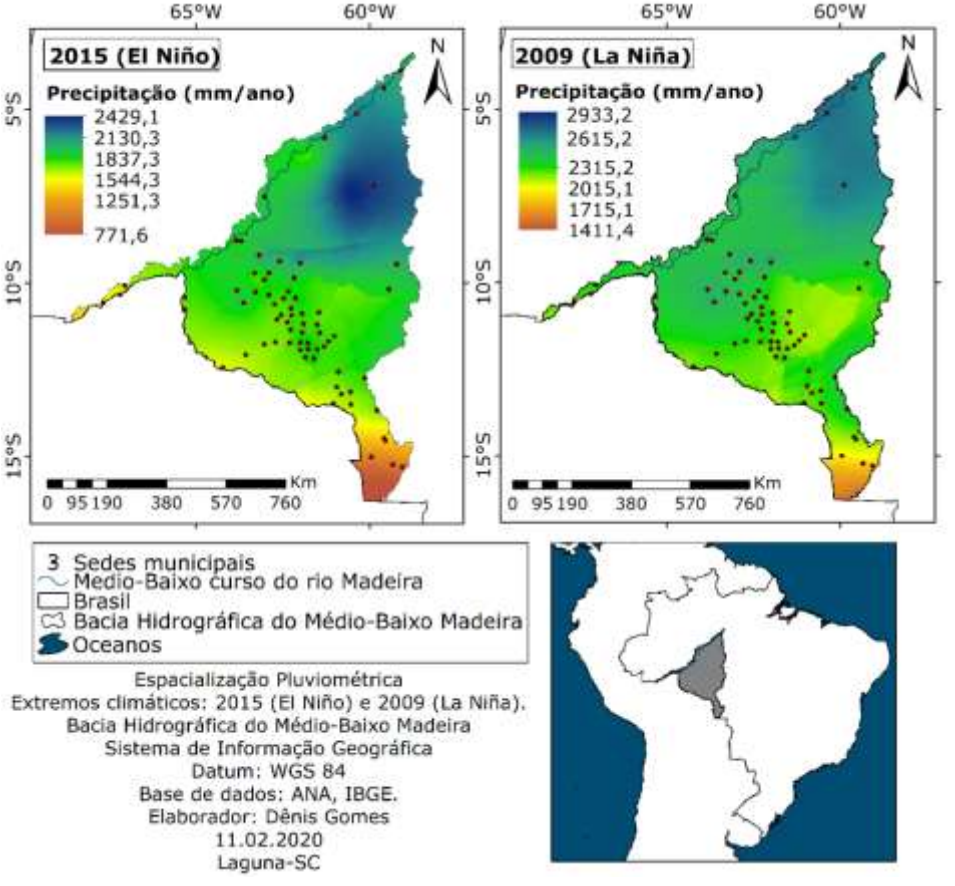


Figura 3 - Distribuição pluviométrica média anual nos anos de 2015 (El Niño) e 2009 (La Niña): Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: ANA (2019). Adaptado por autor (2020).

Em 2009 (La Niña) é observado o aumento da precipitação pluvial em toda BHMBM (Fig. 3b), no qual a baixa pluviosidade (1.411,4 mm – 1.715,1 mm) concentrou-se na região sudeste. Na região central, identificou-se o aumento tanto espacial quanto em quantidade de precipitação pluvial (2.015,1 mm – 2.315,2 mm). Este volume pluviométrico pode explicar as situações de estado de emergência (SNPDC, 2020) provocados por chuvas intensas em Aripuanã (2003-2004), Colniza (2014), Novo Horizonte do Norte (2003-2004),

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Rolim de Moura (2013) e Vale de São Domingos (2003). Os maiores montantes de precipitações pluviais (2.615,2 mm – 2.933,2 mm) foram encontrados no eixo norte-nordeste.

Na Fig. 4 destaca-se a vulnerabilidade pluviométrica da BHMBM, onde em 2015 (El Niño) as áreas estáveis compõem cerca de 23.086,6 km² (4,2 %) a sudeste. Contudo, há predominância de regiões classificadas como moderadamente estáveis com 445.100,2 km² (80,9 %). No setor nordeste, áreas medianamente estáveis/vulneráveis são identificadas com aproximadamente 81.755,3 km² (14,9 %). Em 2009 (La Niña), a BHMBM apresenta-se com duas categorias, na qual grande parte está classificada como moderadamente estável, com 404.979,5 km² (73,6 %), porém, a parte norte e nordeste mostra uma região de maior abrangência em relação ao ano de 2015 com categoria de medianamente estável/vulnerável em 144.928,4 km² (26,4 %).

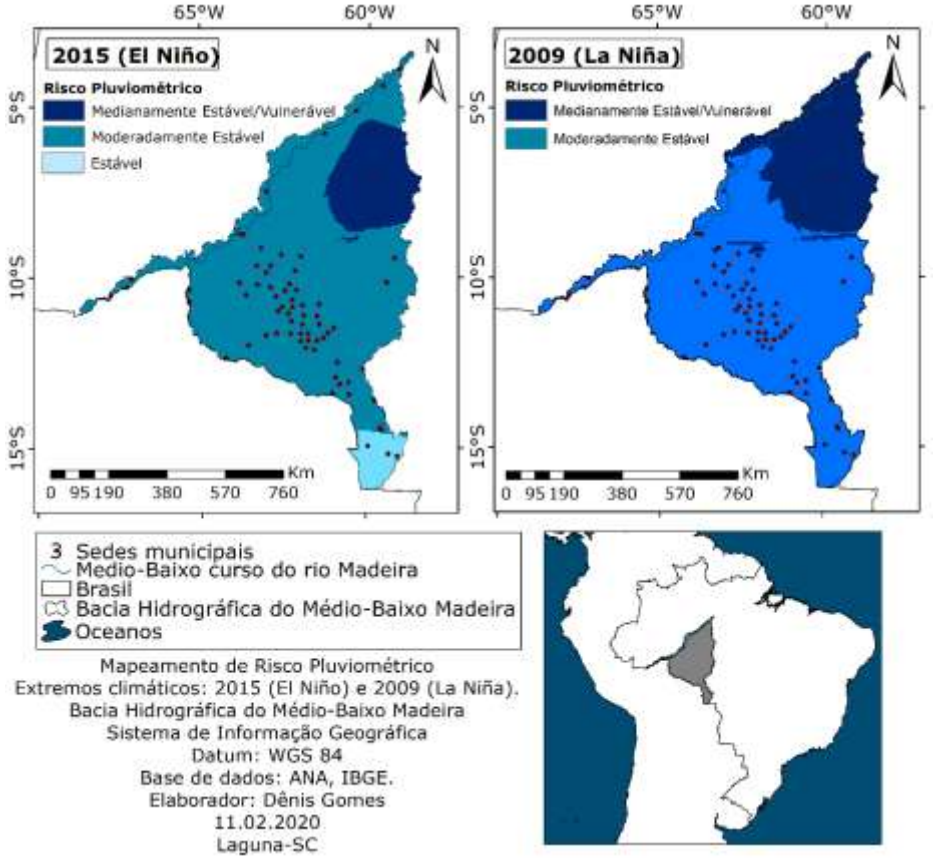


Figura 4 - Risco pluviométrico: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Autor (2020).

Os resultados obtidos nesse estudo foram semelhantes aos observados por Espinoza et al. (2014), os quais observaram que durante a estação chuvosa de 2013–2014, ocorreram descargas anômalas nos rios, de cerca de 80 a 100% acima do normal na região, ocasionando inundações e deslizamentos de terra. Tais eventos extremos, para os autores, podem estar associados às anomalias nas regiões tropicais do Pacífico e Atlântico e à migração da ZCIT, em que esses recursos são relacionados às chuvas e inundações intensas na bacia do Madeira.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As consequências agravantes dos eventos extremos se intensificam conforme o grau de uso da terra aumentam na região. Visando a importância da relação destas variáveis ambientais, as formas de uso e ocupação da terra da BHMBM podem ser observadas na Fig. 5 com seis classes segundo o Projeto MapBiomas (2020). A Floresta é a cobertura da terra com maior extensão territorial, de 420.912,7 km² (76,5 %) em 2009 e diminuindo para 412.559,2 km² (75,0 %) em 2015, sendo distribuída ao longo de toda BHMBM. A segunda categoria de maior área é destinada à Pastagem com 117.993,2 km² (21,4 %) no ano de 2009 e expandindo-se para aproximadamente 123.785,8 km² (21,8 %) no ano de 2015. As áreas de pastagens concentram-se ao sul da BHMBM marcada por uma região alongada no sentido NO-SE, onde há a maior densidade de sedes municipais, e também em algumas partes na região centro-leste. A Hidrografia é bastante significativa compondo uma área de 6.353,7 km² (1,3 %) no lado oeste. As áreas de Agricultura constituem aproximadamente 1.903,3 km² (0,3 %) em 2009 e 3.506,9 km² (0,6 %) em 2015 situando-se a sudeste, aumentando no decorrer dos anos. Pontos de Reflorestamento em 2009 com 28,5 km² (0,005 %) cresceram para 33,5 km² (0,006 %) no ano de 2015 e são observadas á sudeste onde estão as áreas com o uso do solo mais heterogêneas. A classe Cidades representa as ocupações de zonas urbanas com 413,6 km² (0,07 %) em 2009 avançando para 484,6 km² (0,09 %) em 2015. Cerca de 1.263,9 km² (0,2 %) são áreas classificadas como não observadas.

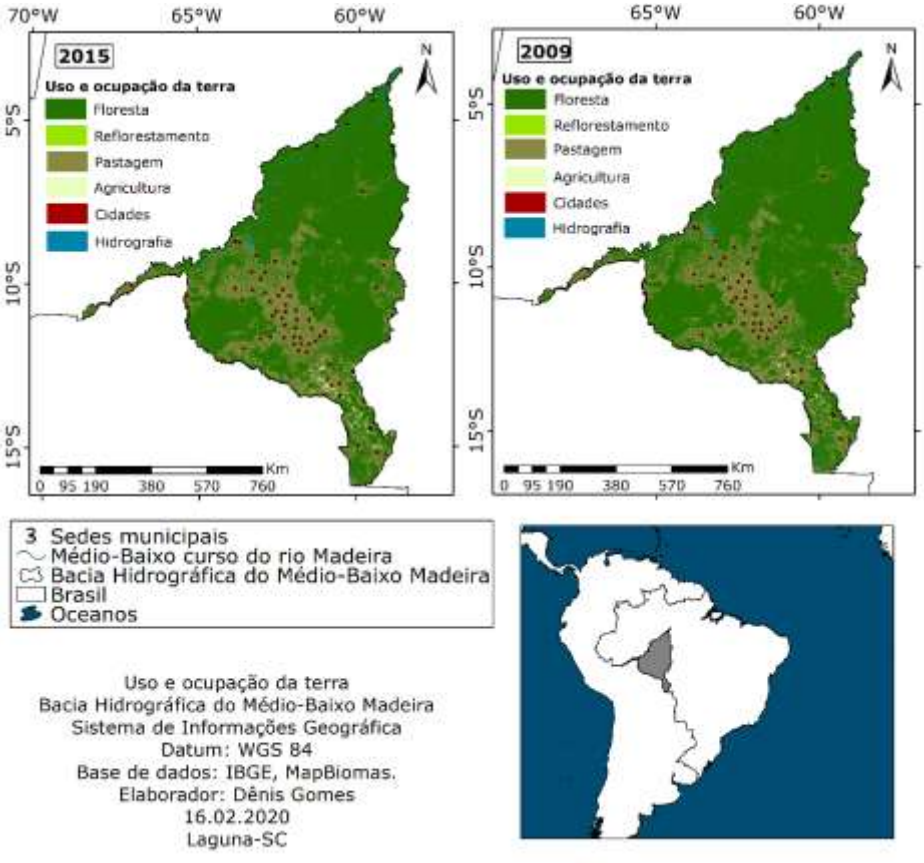


Figura 5 - Uso e ocupação da terra: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Projeto MapBiomas (2020). Adaptado por autor (2020).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As mudanças do uso da terra com a retirada da vegetação podem provocar sérios riscos socioambientais (LACERDA et al., 2012). Portanto, a preservação das florestas é crucial em decorrência da produção e depósito de material orgânico que promove vantagens ao solo como maior resistência aos processos erosivos (RUTHES et al., 2016), proteção dos impactos das gotas que geram o desprendimento sedimentar (Amorim et al., 2001) e atuam como uma barreira física diminuindo a velocidade do escoamento superficial da água, principalmente em declives acentuados, inibindo a ocorrência de enxurradas (VOLK et al., 2004), retardando o transporte de partículas de sedimentos.

A dinâmica do uso da terra é uma condicionante fundamental no estudo, planejamento e gerência de recursos ambientais, onde o acelerado processo de supressão da cobertura vegetal e a intensificação dos assentamentos antrópicos causam sérias consequências no equilíbrio ambiental (FERNANDES et al., 2015; MOREIRA et al., 2015; RABELO et al., 2016; CECONI et al., 2018) como alterações no clima e no regime hidrológico (GOMES et al., 2018), aumento da degradação e erosão do solo (PINESE JUNIOR et al., 2008; CÔRTES; D'ANTONA, 2014) e perdas da biodiversidade e ecossistemas (COSTA et al., 2017).

Na Fig. 6, observa-se a distribuição das classes estáveis, que abrangem a maior parte da BHMBM com 421.326,7 km² (76,5 %) em 2009 e 438.915,7 km² (79,6 %) em 2015, possivelmente estão associadas às florestas.

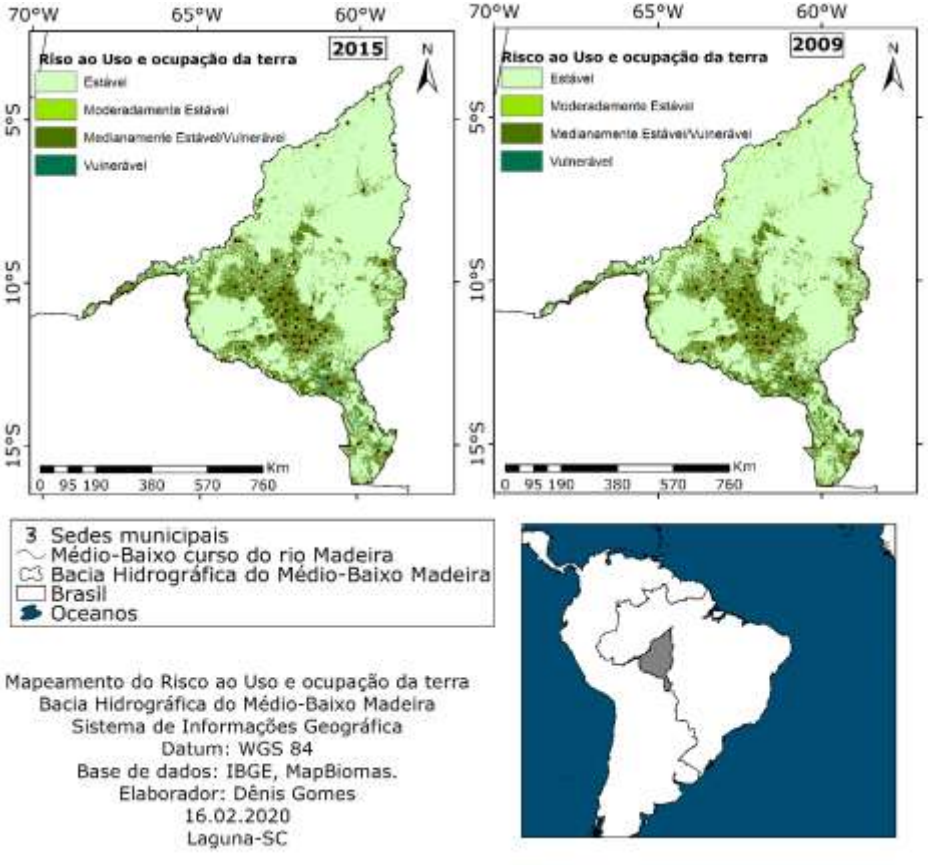


Figura 6 - Risco ao uso e ocupação da terra: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Autor (2020).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As áreas moderadamente estáveis correspondem a 6.379,0 km² (1,1 %) no ano de 2009 e 9.421,7 km² (1,6 %) em 2015, e concentram-se na região oeste ao longo do rio onde há presença de planícies de inundações; ao sul e em alguns locais no centro-leste. Observam-se áreas medianamente estáveis/vulneráveis com 119.261,2 km² (21,7 %) em 2009 diminuindo a área de risco no ano de 2015 com 93.308,7 km² (17,0 %). A distribuição dessas áreas provavelmente está relacionada às atividades agropastoris. Já, as regiões mais vulneráveis estão a sudeste compondo cerca de 1.902,1 km² (0,3 %) em 2009, com uma expansão no ano de 2015 em torno de 6.898,6 km² (1,3 %) e devem estar sendo influenciadas pelas áreas destinadas à agricultura.

Apesar das áreas alteradas para práticas agrícolas, observa-se que as manchas são concentradas em torno das áreas mais densamente ocupadas, e que sua tendência de expansão pode vir a comprometer a bacia em direção ao alto curso, conforme demonstrado por Trancoso et al. (2010). Kumar e Pani (2013) alertam para as áreas agrícolas que apresentaram uma estreita relação positiva com a degradação do solo e fortalecem a discussão acerca do quanto a agricultura não sustentável favorece no aumento da erosão do solo, apontando as possíveis consequências como declínio da produtividade do solo e baixo rendimento financeiro.

Associado às formas de uso da terra, um componente que interfere diretamente no maior ou menor efeito é a declividade, em função da influência da inclinação do terreno em relação a superfície, atuando diretamente na eficiência do escoamento superficial da água (HÖFIG; ARAÚJO-JUNIOR, 2015). As áreas mais planas (0° - 7°) encontram-se a noroeste e sul da BHMBM; os valores intermediários (10° - 17°) são predominantes em quase toda BHMBM, com destaque a parte oeste marcado por essa faixa de inclinação angular de terreno; e os maiores declives (21° - 24°) são observados a nordeste e no centro da BHMBM (Fig. 7).

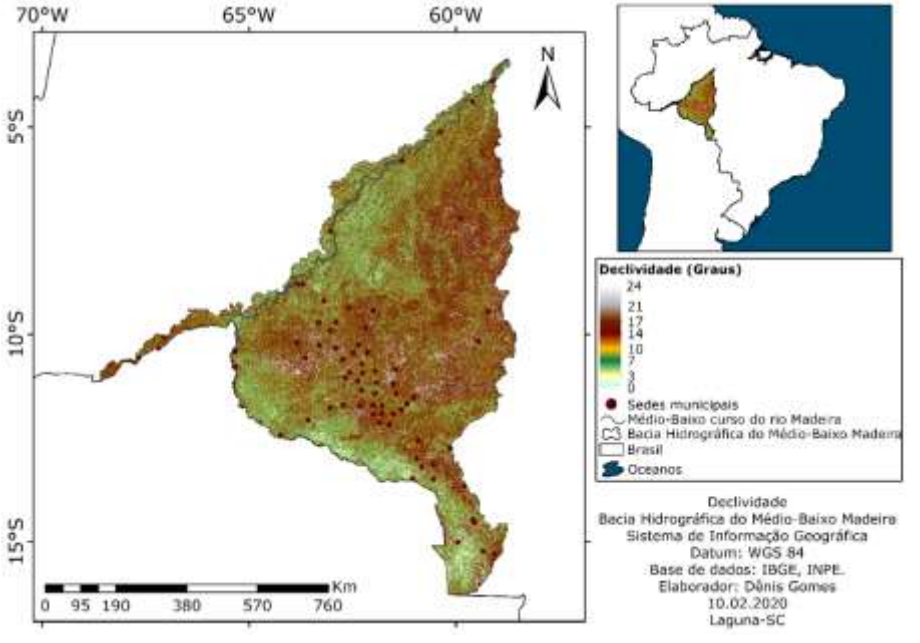


Figura 7 - Declividade: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: INPE (2020). Adaptado por autor (2020).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A Fig. 8 apresenta a reclassificação em função da análise de vulnerabilidade clinográfica, ou seja, relacionada à declividade. Nota-se que as regiões estáveis são predominantes, com aproximadamente 291.886,5 km² (53,1 %) localizadas no setor oeste e sul; as moderadamente estáveis abrangem 163.218,5 km² (29,6 %); as medianamente estáveis/vulneráveis com 66.884,6 km² (12,1 %); e as vulneráveis localizadas a nordeste e no eixo centro-sudeste com 37.228,3 km² (6,7 %).

A resposta do escoamento sobre o terreno (declive), não é somente sobre interferência do tipo de cobertura do solo, como também da sua estrutura textural, principalmente em decorrência das práticas conservacionistas (ou não) associadas (SILVA et al., 2017; OKORAFOR et al., 2018).

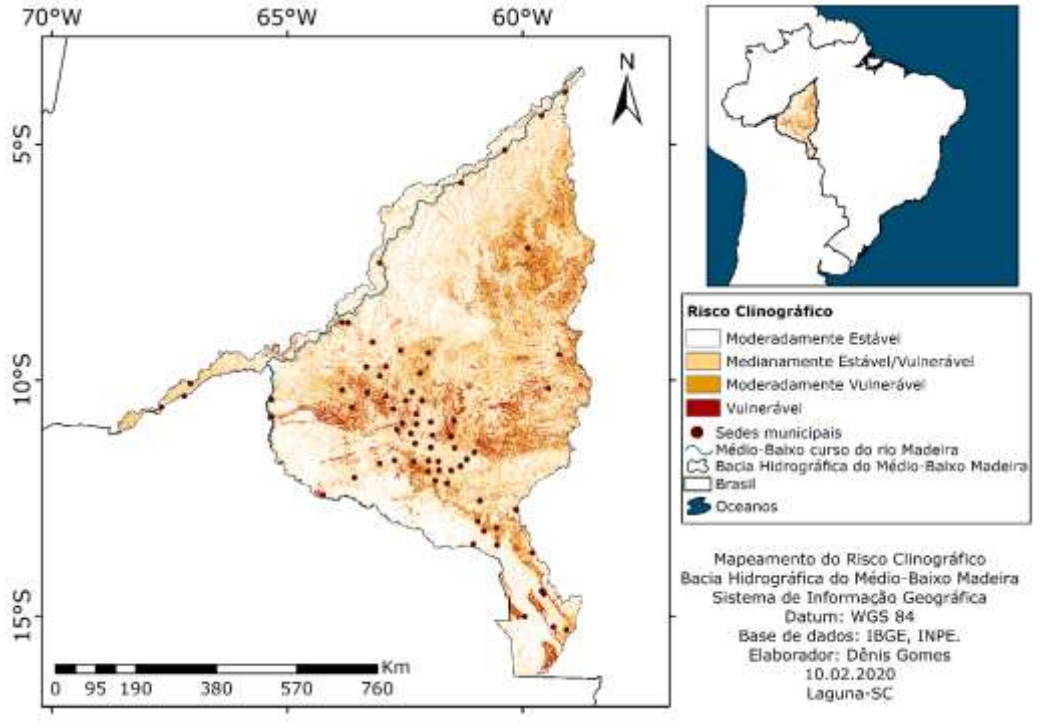


Figura 8 - Risco Clinográfico: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Autor (2020).

A Fig. 9 mostra que a BHMBM possui uma grande heterogeneidade em relação aos tipos de solo, com a classe dominante dos latossolos abrangendo 239.339,5 km² (43,6 %) ao norte e estendendo-se no lado oeste, com uma parte deste solo ao sul. Argissolos com cerca de 165.541,8 km² (30,1 %) são observados no centro apresentando uma área expressiva na BHMBM. Em uma escala espacial bem inferior, os neossolos estão presentes em uma área de 60.948,6 km² (11,1 %) a leste; em seguida situados a oeste e ao sul tem-se a presença de plintossolos com aproximadamente 39.043,3 km² (7,1 %); nas proximidades do rio Madeira há gleissolos com 12.279,8 km² (2,2 %) e cambissolos concentram-se no eixo sul-sudeste com 9.788,5 km² (1,8 %). As áreas com massa d'água correspondem a 7.026,0 km² (1,3 %) e alguns afloramentos rochosos podem ser identificados na parte central e a sudoeste com 6.009,7 km² (1,0 %). Os solos com as menores áreas são os nitossolos (2.933,0 km² - 0,5 %), chernossolos (2.240,6 km² - 0,4 %) e luvissolos (550,5

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

km² - 0,1 %) a sudeste, além de espodossolos (1.576,7 km² - 0,3 %) a noroeste. Toda esta variedade pedológica mostra o quanto a BHMBM encontra-se sob influência de solos estáveis e instáveis, ratificando o risco natural de erodibilidade para uma parte considerável da área em estudo.

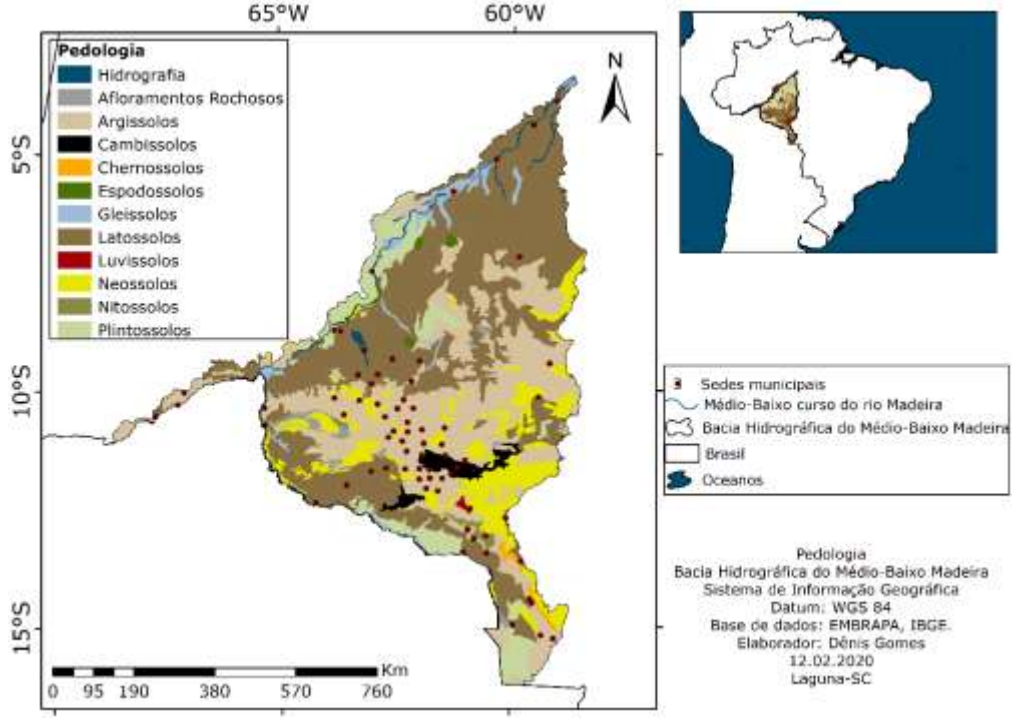


Figura 9- Pedologia: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: EMBRAPA (2020). Adaptado por autor (2020).

A reclassificação dos tipos de solo, segundo sua vulnerabilidade (Fig. 10), indicou que as áreas estáveis abrangem a maior extensão territorial com cerca de 240.307,6 km² (43,7 %), enquanto as regiões moderadamente estáveis apresentam-se com 6.133,9 km² (1,1 %). Tais classificações provavelmente estão associadas à presença de latossolos de textura mais argilosa (PASQUATTO; TOMAZONI, 2016) e também da massa d'água.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

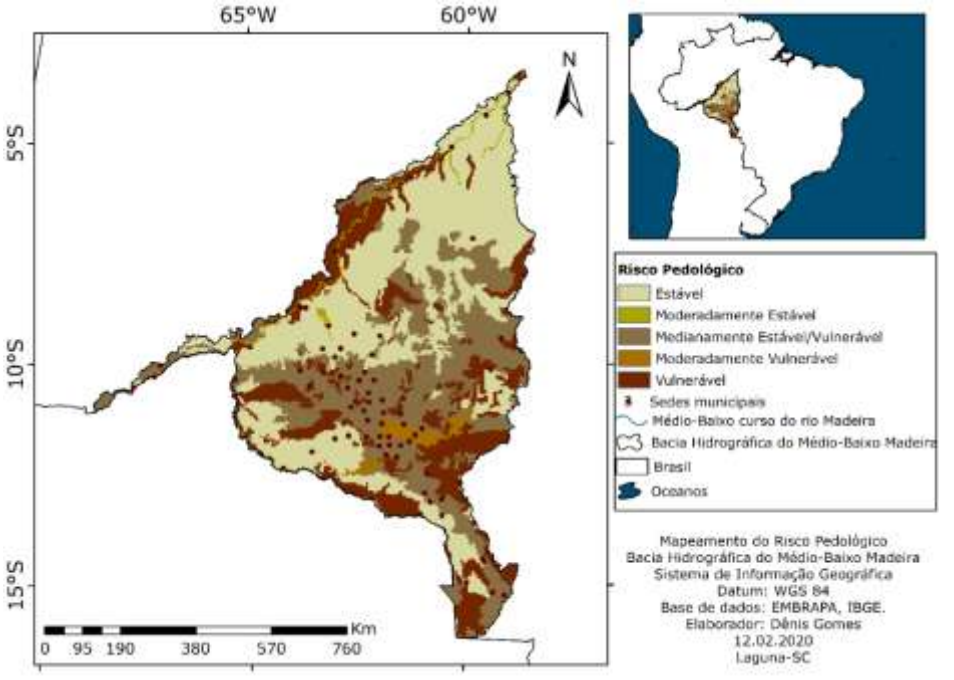


Figura 10 - Risco Pedológico: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Autor (2020).

As áreas medianamente estáveis/vulneráveis correspondem a 173.125,8 km² (31,5 %), essa transição de áreas estáveis para instáveis pode ser devido à presença de argissolos. As classes moderadamente vulneráveis (9.782,3 km² - 1,8 %) e vulneráveis (117.875,4 km² - 21,4 %) encontram-se distribuídas ao longo de toda a BHMBM, porém mais concentradas na região sudeste e, sendo associadas aos gleissolos, neossolos e plintossolos que são solos altamente instáveis (RIBEIRO; CAMPOS, 2007).

A Fig. 11 representa o risco à erosão hídrica do solo na BHMBM. Pode-se observar que há predominância de estabilidade ao longo da BHMBM, com uma variabilidade espacial mais expressiva na porção centro-oriental, sendo menos intenso em 2015 (El Niño) com a diminuição da precipitação pluvial. Entretanto, com o aumento da precipitação pluvial em 2009 (La Niña), identificou-se a expansão das áreas vulneráveis e intensificação do grau de suscetibilidade para medianamente estágio/vulnerável e vulnerável.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

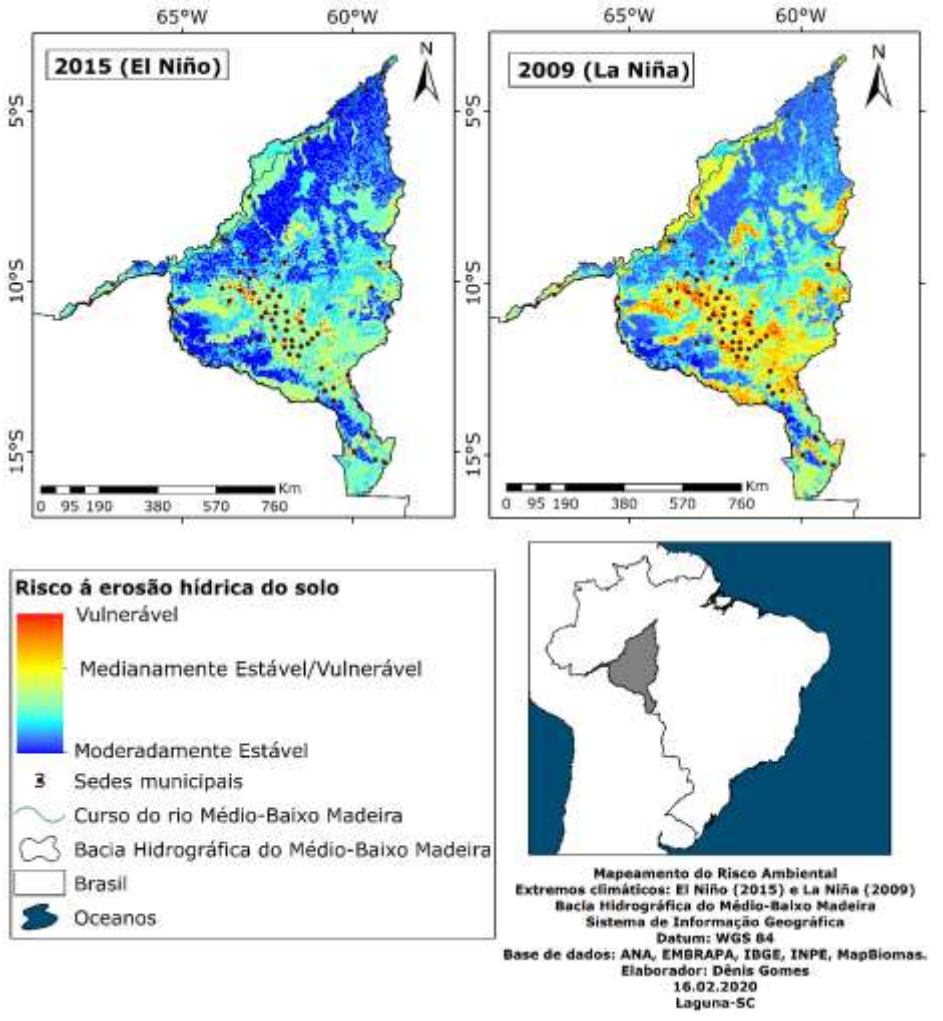


Figura 11 - Risco a erosão hídrica do solo: Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Fonte: Autor (2020).

Ao sul da BHMBM, uma estreita faixa com orientação NO-SE destaca-se pelo aglomerado de municípios situados em uma área classificada como extremamente vulnerável à erosão do solo, ratificando os reflexos de pressões antropogênicas em conjunto com as condições pedológicas e clinográficas. Montgomery (2007) ratifica que atividades agrícolas aceleram os processos erosivos do solo e que seu complexo entendimento depende de fatores como pedologia, declividade, vegetação e precipitação pluvial, sendo que conforme Panachuki et al. (2006), quanto mais alta for a intensidade de precipitação, maior será a erosividade hídrica.

Assim, deve-se destacar o potencial risco em que essas cidades próximas ao rio Madeira como Humaíta-AM e Manicore-AM estão sujeitas, principalmente na fase de evento La Niña. Zancan Filho e Quadros (2017) discutem a vulnerabilidade destas populações que ocupam a margem do rio. E Silva et al. (2011) destacam a importância do planejamento socioambiental e territorial, para que sejam evitados o comprometimento de terras cultiváveis, a desvalorização de áreas ribeirinhas e os riscos de destruição de estruturas urbanas (casas, prédios, pontes, barragens, etc.).

A dinâmica fluvial de uma rede de drenagem representa a inter-relação de variáveis ambientais (precipitação pluvial, declividade, solo, vegetação) e as formas de uso da terra (PADILHA; SOUZA, 2018). E a BHMBM é uma bacia transfronteiriça importante para o Brasil, tanto pelo aproveitamento energético, quanto pelo seu potencial de navegação (FEARNSIDE, 2014). Logo, o crescimento das cidades é uma realidade esperada, principalmente ao longo dos rios e eixos viários (TRANCOSO et al., 2010), o que acarreta que o confronto entre os eventos extremos de chuvas e sua resposta no terreno relativa à maior ou menor erosão hídrica deva ser aprofundados para a maior qualidade ambiental das cidades e preservação dos recursos hídricos locais.

O resultado obtido compromete vários municípios localizados no estado de Rondônia, já significando um estado de alerta para este. Souza et al. (2014) indicam a presença de chuvas extremas mais intensas, de maior recorrência nessa região, com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 2 anos, sendo estas consideradas de alto fator erosivo, e que podem acarretar danos ambientais e econômicos. Mesmo nas áreas estáveis, pode-se observar pontos de vulnerabilidade que provavelmente estão associados a erodibilidade do solo em terrenos íngremes, agravados pelo clima extremo através da precipitação (CUIBAIANO et al., 2017). Por tanto, apesar de se identificar, nestas regiões susceptíveis, maior densidade de sedes municipais, populações rurais associadas as atividades agrícolas podem estar sob iminente risco ambiental.

CONCLUSÃO

A variabilidade verificada de comportamento relativo da erosão hídrica, associada as duas fases do fenômeno ENOS, teve maior reflexo na porção centro-oriental do Médio-Baixo curso do rio Madeira. Ao Sul, a estabilidade da precipitação permite que as ações antrópicas em áreas naturalmente instáveis possuam um maior efeito nos processos erosivos. A distribuição espacial das classes de vulnerabilidade indica que municípios como Apuí-AM, Cacaulândia-RO, Chupinguaia-RO, Espigão d' Oeste-RO, Ministro Andreza-RO, Monte Negro-RO, Presidente Médici-RO e Vilhena-RO devem estar em alerta, pois concentram-se de forma recorrente em regiões críticas.

A concentração de núcleos urbanos ou rurais, ao longo dos canais de drenagem que compõem a vasta rede hídrica da BHMBM, deve sofrer alguma forma de ordenamento para evitar as perdas de solo e outras formas de degradação. O monitoramento do desmatamento e das práticas conservacionistas, assim como o manejo adequado do solo, são essenciais para reduzir as chances de ocorrência deste risco ambiental. Desta forma, prevenindo em anos extremos não só os prejuízos econômicos, mas em alguns casos diminuindo o risco de perdas sociais que a erosão pode acarretar. A relação oceano-atmosfera-litosfera precisa de um número maior de pesquisas do quanto as mudanças climáticas nos últimos anos tem afetado a qualidade do solo, pois este é fundamental para a manutenção das sociedades e no âmbito econômico a nível regional e global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; HAGEMANN, S. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brasil. Scientific Report, v. 7, n. 8130, p. 1-12, 2017.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 124-130, 2001.

ANA. Agência Nacional das Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em http://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acessado: 01 de abril de 2019.

ANYAMBA, A.; LINTHICUM, K. J.; SMALL, J. L.; COLLINS, K. M.; TUCKER, C. J.; PAK, E. W.; BRITCH, S. C.; EASTMAN, J. R.; PINZON, J. E.; RUSSELL, K. L. Climate teleconnections and recent patterns of human and animal disease outbreaks. PLOS Neglected tropical Diseases, v. 6, n. 1465, p. 1 – 14, 2012.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. Revista Ambiência, v. 04, n. 01, p. 131 – 149, 2008.

BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. Acta Amazonica, v. 30, n. 4, p. 601-613, 2000.

BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ociedental. Geochimica Brasiliensis, v. 23, n. 1, p. 1-158, 2009.

BRAVO-CABRERA, J. L.; AZPRA-ROMERO, E.; ZARRALUQUI-SUCH, V.; GAY-GARCÍA, C. Effects of El Niño in México during rainy and dry seasons: an extended treatment. Atmósfera, v. 30, n. 3, p. 221-232, 2017.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, p. 37-48, 2008.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 02, n. 02, p. 148-156, 2012.

CARVALHO, J. A. L.; CUNHA, S. B. Terras caídas e consequências sociais na Costa do Miracauera, município de Itacoatiara- Amazonas, Brasil. Revista Geográfica de América Central, número especial EGAL, p. 1-16, 2011.

CECONI, D. E.; PICCILLI, D. G. A.; BERNARDI, F.; FENSTERSEIFER, P. Análise de vulnerabilidade visando o planejamento ambiental em bacia de captação para abastecimento público. Revista Ambiente & Sociedade, v. 21, p. 1 – 22, 2018.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. Ciência e Cultura, v. 59, n. 3, p. 1-4, 2007.

CÔRTES, J. C.; D'ANTONA, A. O. Dinâmica no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da demografia. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 31, n. 01, p. 191 – 210, 2014.

COSTA, A. M. S.; BEZERRA, P. E. S.; OLIVEIRA, R. S. Mudanças no uso e ocupação da terra associadas a focos de calor na área de influência da rodovia BR-163 (Cuiaba – Santarém). Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 11, n. 01, p. 119 – 125, 2017.

COUTINHO, M. D. L.; COSTA, M. S.; SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; GOMES, A. C. S.; MORAES, M. D. C.; SANTOS, P. V. Balanço hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. Revista Ciência e Natura, v. 37, n. 04, p. 160-170, 2015.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico, São José dos Campos: INPE, 2001, 25p.

CUIBAIANO, M. N.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, C. M.; SERAFIM, M. E.; NEVES, R. J. Vulnerabilidade ambiental a erosão hídrica na sub-bacia do Córrego do Guanabara/ Reserva do Cabaçal – MT, Brasil. Revista Geociências, v. 36, n. 3, p. 543 – 556. São Paulo, UNESP, 2017.

DIAS, E. R.; SILVA, R. M. Estimativa do risco á erosão do solo no município de Lucena – Paraíba. Revista Caminhos de Geografia, v. 16, n. 54, p. 192 – 204, Uberlândia – MG, 2015.

DIAS, G. F. M.; GOMES, D. J. C.; SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M.; MIRANDA, S. B. A.; SILVA JUNIOR, J. A.; SOUSA, A. M. L. Associação entre eventos de ENOS e distribuição espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Capim (MA-PA). Revista Brasileira de Climatologia, v. 26, n. 16, p. 521 – 540, 2020.

DYONISIO, H. A. F. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. Revista Eletrônica Thesis, v. 07, n. 13, p. 15 – 25, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), Brasília - DF: EMBRAPA, 2018, 75 p.

ENDRES, P. F.; PISSARRA, T. C. T.; BORGES, M. J.; POLITANO, W. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 01, p. 200 – 207, 2006.

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J.; CARPIO, J. M.; FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. Environmental Research Letters, v. 9, n. 12, p. 124007, 2014.

ESTEVAM-ALVES, R.; SOUZA, L. F.; SOUZA, V. M.; FERREIRA-QUEIROZ, T. A.; VIEIRA-LIMA, J. A degradação e fragilidade dos solos no sudoeste de Goiás: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão da Picada. Revista Geográfica de América Central, n. 56, p. 235-258, 2016.

FEARNSIDE, M. P. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. Water Alternatives, v. 7, n. 1, p. 256-269, 2014.

FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. Revista Floresta e Ambiente, v. 22, n. 04, p. 472 – 482, 2015.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. Revista Semina: Ciências Ágrarias, v. 31, n. 04, p. 913 – 932, 2010.

FREITAS, F. T.; ALBUQUERQUE, A. R. Análise temporal sobre as "terras caídas" no médio Solimões/Coari (AM). Revista Mercator, v. 11, n. 25, p. 129-140, 2012.

GLOOR, M.; BARICHIVICH, J.; ZIV, G.; BRIENEN, R.; SCHÖNGART, J.; PEYLIN, P.; BARCANTE LADVOCAT CINTRA, B.; FELDPAUSCH, T.; PHILLIPS, O.; BAKER, J. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. Global Biogeochemical Cycles, n. 29, 2015.

GOMES, D. J. C.; FERREIRA, N. S.; LIMA, A. M. M.; SERRÃO, E. A. O. Variabilidade espaço-temporal da precipitação: Bacia Hidrográfica do rio Madeira. Revista Geográfica Acadêmica, v. 13, n. 1, p. 90-104, 2019.

GOMES, D. J. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JUNIOR, J. A.; SERRÃO, E. A. O. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental – Bacia do rio Capim (PA-MA). Revista Geográfica Acadêmica, v. 12, n. 2, p. 153 – 172, 2018.

GRIMM, A. M; TADESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South American. Journal of Climate, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.

HÖFIG, P.; ARAÚJO-JUNIOR, C. F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. Revista Coffee Science, v. 10, n. 02, p. 195 – 203, 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/. Acessado em: 10 de janeiro de 2019.

JORGE, R. L. O.; LUCENA, D. B. Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti- CE. Revista Ciência e Natura, v. 40, n. 65, 1-10 2018.

KUMAR, H.; PANI, P. Effects of soil erosion on agricultural productivity in semi-arid regions: the case of lower chambal valley. Journal of Rural Development, v. 32, n. 2, p. 165-164, 2013.

LACERDA, L. D.; BASTOS, W. R.; ALMEIDA, M. D. The impacts of land use changes in the Mercury flux in the Madeira river, western Amazon. Annals of the Brazilian Academy of Sciencies, v. 84, n. 01, p. 69-78, 2012.

LICCO, E. A.; MAC DOWELL, S. F. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 05, n. 03, 2015.

LIMBERGER, L. Estudos de teleconexões atmosféricas e possibilidades de avanços na climatologia geográfica: conceitos, fontes de dados e técnicas. Revista Brasileira de Climatologia, v. 19, p. 10 – 19, 2016.

LONDE, L. R.; COUTINHO, M. P.; GREGÓRIO, L. T.; SANTOS, L. B. L.; SORIANO, E. Desastres relacionados á água no Brasil: Perspectivas e recomendações. Revista Ambiente & Sociedade, v. 17, n. 4, p. 133-152, São Paulo, 2014.

MACEDO, F. R.; SOUZA, M. L. Ocupações das zonas de vulnerabilidade á erosão em cidade gaúcha – Paraná. Revista Formação, v. 02, n. 23, p. 231 – 250, 2016.

MAGALHÃES, R. C.; OLIVEIRA, E. G.; ALBUQUERQUE, A. R. C.; AQUINO, R. N. A. análise geográfica sobre erosão de margens e movimentos de massa na comunidade do Divino E. Santo - AM (Brasil). Revista Geográfica de América Central, número especial EGAL, p. 1-17, 2011.

MARENGO, J. A. Águas e mudanças climáticas. Revista Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin. Theorical Applicad Climatology, v. 10, p. 73-85, 2021.

MAS, J. F.; VASCONCELOS, R. N.; FRANCA-ROCHA, W. Analysis of high temportal resolution land use/land cover trajectories. Land, v. 8, n. 30., p. 1-19, 2019.

MATULE, E. D., MACARRINGUE, L. S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo no distrito de Boane em Moçambique. Revista Sociedade & Natureza, v. 32, 225-235, 2020.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. PNAS, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.

MOQUET, J-S.; GUYOT, J-L.; CRAVE, A.; VIERS, J.; FILIZOLA, N.; MARTINEZ, J-M; OLIVEIRA, T. C.; SÁNCHEZ, L. S. H.; LAGANE, C.; CASIMIRO, W. S. L.; NORIEGA, L.; POMBOSA, R. Amazon River dissolved load: temporal dynamics and annual budget from the Andes to the ocean. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 12, p. 11405-11429, 2016.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C. Confronto do uso e ocupação da terra em APP's no município de Muqui, ES. Revista Floresta e Ambiente, v. 22, n. 02, p. 141 – 152, 2015.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 01, p. 39 – 50, 2011.

NOAA. National Oceanic and Atmosferic Administration. Climate indice: Monthly atmospheric and ocean time – series. Disponível em https://www.esrl.noaa.gov/. Acessado: 18 de janeiro de 2020.

NOY, I. The macroeconomic consequences of disasters. Journal of Development Economics, v. 88, p. 221-231, 2009.

OKORAFOR, O. O.; AKINBILE, C. O.; ADEYEMO, A. J. Determination of soils erodibility factor (k) for selected sites in Imo State, Nigeria. Resources and Environment, v. 8, n. 1, p. 6-13, 2018.

PADILHA, R. M.; SOUZA, C. A. Dinâmica fluvial na bacia hidrográfica do rio Carapá, inserida na bacia do rio Amazonas. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 04, p. 1490 – 1511, 2018.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada em área de integração agricultura-pecuária. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 02, p. 261-268, 2006.

PASQUATTO, M. C.; TOMAZONI, J. C. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida-PR. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 02, p. 555-570, 2016.

PAVANIN, E. V.; CHUERUBIM, M. L.; LÁZARO, B. O. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia-MG. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, V. 13, n. 2, p. 17 – 31, 2017.

PINESE JUNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG. Revista Sociedade & Natureza, v. 20, n. 02, p. 157 – 175, 2008.

POLIDORI, L.; HAGE, M. E.; VALERIANO, M. M. Digital elevation model validation with no ground control: application to the topodata dem in Brazil. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, n. 2., p. 467-479, 2014.

PROJETO MAPBIOMAS. 2018 – Coleção 4.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. Acesso: 08 de maio de 2020. Disponível: https://mapbiomas.org/.

QUEIROZ, M. S.; SOARES, A. P. A.; TOMAZ NETO, A. G. Comunidades rurais ribeirinhas a as águas do rio Solimões no município de Iranduba – Amazonas. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 4, n. 1, p. 108-119, 2018.

RABELO, S. S. L.; FEITOSA, A. C. Fragilidade ambiental apoiada nas classes de declividade da ilha de Tauá-Mirim: contribuição aos estudos para criação da RESEX de Tauá-Mirim. Revista REGNE, v. 02, n. especial, p. 1459 – 1468, 2016.

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. Na update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979-2011. International Journal of Climatology, v. 36, p. 291-302, 2016.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade á erosão do solo da região do Alto rio Pardo, Pardinho, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.

RODRIGUES, F. G. S. O conceito de "terras caídas" e a caracterização morfodinâmica fluvial do Alto Solimões. Revista Geonordeste, ano XXV, n. 3, p. 04-23, 2014.

RUTHES, J. M.; TOMAZONI, J. C.; GOMES, T. C. Influência do uso e ocupação do solo no processo erosivo laminar do município de Francisco Beltrão-Sudoeste do Paraná. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5 n. 6, p. 264-274, 2016.

SERRÃO, E. A. O.; SANTOS, C. A.; WANZELER, R. T. S.; GONÇALVES, L. J. M.; LIMA, A. M. M. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. Revista Geográfica Acadêmica, v. 9, p. 5-20, 2015.

SICILIANO, W. C.; BASTOS, G. P.; OLIVEIRA, I. T.; SILVA, G. N.; OBRACZKA, M.; OHNUMA JUNIOR, A. A. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município do Rio de Janeiro. Revista Internacional de Ciências, v. 08, n. 02, p. 221 – 233, 2018.

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. E.; NEVES, S. M. A. S. Erosão marginal e sedimentação no rio Paraguai no município de Cáceres (MT). Revista Brasileira de Geociências, v. 41, n. 01, p. 76 – 84, 2011.

SILVA, P. L.; ANDRADE, L. N. P. S.; LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A. Evolução dos processos erosivos e aspectos granulométricos em um sistema de voçoroca no Distrito de Vila Aparecida, município de Cáceres – Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 02, p. 627 – 640, 2017.

SNPDC. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD). Disponível em: https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/. Acessado em: 07 de Junho de 2019.

SOUSA, A. M. L.; ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I.; SOUZA, P. J. O.; BOTELHO, M. N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 1, p. 13 – 24, 2015.

SOUZA, V. A. S.; NUNES, M. L. A.; FRANCENER, S. F.; ROSA, A. L. D. Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental: Rondônia - Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 10, p. 295-315, 2014.

SZLAFSZTEIN, C. F. Management of natural disasters in the Brazilian Amazon region. Natural Hazards, v. 76, p. 1745-1757, 2015.

TADESSE, L., SURYABHAGAVAN, K. V., SRIDHAR, G., LEGESSE, G. Land use and land cover changes and soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia. International Soil and Water Conservation Research, v. 5, p. 85-94, 2017.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca do Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

TORRES DE FREITAS, F.; REBELLO ALBUQUERQUE, A. Análise temporal sobre as "terras caídas" no Médio Solimões/Coari (AM). Mercator, v. 11, n. 25, p. 129-140, 2012.

TRANCOSO, R.; CARNEIRO FILHO, A.; TOMASELLA, J.; SCHIETTI, J.; FORSBERG, B. R.; MILLER, R. P. Deforestation and conservation in major watersheds of the Brazilian Amazon. Environmental Conservation, p. 1-12, 2010.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography (Sevenoaks), v 32, p. 300-309, 2012.

VALE, R. S.; LIMA, L. S.; MONTE, C. N.; SANTANA, R. A. S. Evidências do fenômeno de terras caídas com grandes cheias na região oeste do Pará. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 6, p. 6295-6302, 2019.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu

manejo, na ausência de cobertura vegetal. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 28, p. 763-774, 2004.

XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; NETO, I. O. B. Processos erosivos superficiais no município de Juareizinho, Região Semiárida da Paraíba. Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, n. esp., p. 113-122, 2016.

ZANCAN FILHO, L. C.; QUADROS, T. F. P. Efeito da dinâmica fluvial e da ação antrópica sobre a erosão de margens fluviais: o caso da mineração de areia no rio Jacuí. Revista de Ciências Ambientais, v. 11, n. 01, p. 49 – 64, 2017.