

# EXPOSIÇÃO A EVENTOS DE MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS

Marcelo A. dos Santos Junior<sup>1</sup>, Lyvia A. de Oliveira<sup>2</sup>, Fabiano L. da Silva<sup>3</sup>, e Victor Marchezini<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (PGCST/INPE), marcelo.junior@inpe.br; Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (PROCAM/IEE/USP), lyviaamado@gmail.com; <sup>3</sup>Fundação Vitória Amazônica, fabiano@fva.org.br; <sup>4</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), victor.marchezini@cemaden.gov.br.

## RESUMO

O mapeamento de riscos e vulnerabilidades é importante. Desta forma geramos índices considerando uma das três componentes da vulnerabilidade, a exposição, relacionada a eventos de movimentos de massa e inundações na Região Metropolitana de Manaus. Os índices destacaram que áreas propensas a movimentos de massa estão principalmente em ambas margens dos rios Solimões, Amazonas, Rio Negro e seus afluentes. As regiões com maior predisposição à ocorrência de inundações estão próximas as florestas alagáveis na margem direita destes mesmos rios e seus tributários. Os resultados permitiram hierarquizar relativamente os municípios quanto a sua exposição, e identificar em cada município as áreas mais suscetíveis a ocorrência de inundações e movimentos de massa com ocupação humana. Desta forma esperamos apoiar a gestão pública com informações para a adoção de estratégias no planejamento territorial e políticas públicas relativas à região.

**Palavras-chave** — vulnerabilidade, RMM, risco, Amazônia, municípios.

## ABSTRACT

*Risks and vulnerabilities mapping are important. We create indexes considering one of the three vulnerability components, the exposure related to mass movements and floods events from Manaus Metropolitan Area. The indexes highlighted that areas prone to mass movements are mainly on both banks of the Solimões, Amazonas, Rio Negro rivers and their tributaries. The regions with greater predisposition to the flood occurrence are close to the flooded forests on the right bank of these same rivers and their tributaries. The results contribute to prioritize municipalities regarding their exposure and identifying for each municipality the most susceptible areas to the flood and mass movements occurrences with human occupation. In this way we hope to support public management with information to promote strategies for territorial planning and public policies related to the region.*

**Key words** — vulnerability, RMM, risk, Amazon, municipalities.

## INTRODUÇÃO

Desastres e a construção social dos riscos possuem relevante visibilidade na agenda científica e no âmbito das políticas públicas. Os riscos de desastres são processos socioambientais acumulados ao longo do tempo, que estão relacionados com mudanças nas condições sociais, econômicas, ambientais e no uso da terra, e sua ocorrência depende de um conjunto de fatores, situações e aspectos, naturais, sociais e econômicos, que impactam de diferentes formas os territórios e as sociedades [1,2,3,4,5]. Os riscos são construídos, logo o estudo dos desastres deve ser mais amplo envolvendo pressões dinâmicas como desmatamento e urbanização, assim como as causas básicas da vulnerabilidade - associadas à estrutura econômica e social, como desigualdades e segregação espacial - que se combinam para produzir condições inseguras como a ocupação de áreas ambientalmente frágeis [6].

O estudo do risco de desastres aborda três dimensões: ameaça, vulnerabilidade e a resiliência. A ameaça denota um evento potencialmente danoso em um território em particular, de um fenômeno físico de origem natural, socionatural ou antropogênico que pode levar a efeitos adversos nas pessoas, na produção, na infraestrutura e nos bens, serviços e modos de vida [7]. A resiliência ou capacidade adaptativa refere-se a um sistema, comunidade ou sociedade exposta a riscos para resistir, absorver, acomodar, aclimatar, transformar e recuperar dos efeitos de um perigo em tempo útil e eficiente, por meio da preservação e restauração de suas estruturas básicas essenciais [8].

Vulnerabilidade refere-se a condições intrínsecas ao corpo, sistema, ou indivíduo receptor e às suas suscetibilidades ou predisposições a respostas ou consequências negativas que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos. Por sua vez as condições são determinadas principalmente por processos e fatores físicos, naturais, ecológicos, tecnológicos, sociais, econômicos, territoriais, culturais, educativos, funcionais, político-institucionais, administrativos e temporais [9,10,11,12,7].

A avaliação da vulnerabilidade é a determinação do grau de suscetibilidade e predisposição ao dano diante de uma ameaça em particular, bem como os fatores e contextos que podem impedir ou dificultar a resiliência (recuperação, reabilitação e reconstrução) com os recursos disponíveis no território afetado [7]. Na relação entre vulnerabilidade e risco, a vulnerabilidade somente opera quando a ameaça está presente, sem ela a vulnerabilidade não tem efeito, ou seja, ela influencia a resposta e o comportamento dos sujeitos diante dos eventos de risco e situações adversas [10,13,14]. Ademais o conhecimento da configuração socioespacial das áreas de riscos e os recursos dispostos para responder à ocorrência do desastre são fundamentais em estudos sobre riscos [15], sobretudo porque podem permitir a sua distribuição espacial desigual e, por conseguinte, o planejamento de ações que priorizem a redução de risco de desastres em algumas áreas.

Diante do aumento na frequência de desastres na Amazônia, da intensificação dos processos de desigualdades sociais, do aumento de vulnerabilidades, marginalização, alterações antrópicas, realizamos um estudo de caso para a Região Metropolitana de Manaus. Avaliamos assim a exposição a eventos de movimento de massa e inundações considerando: 1. a suscetibilidade; 2. ocorrência de eventos, afetados e óbitos observados; e 3 a população potencialmente exposta.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido na Região Metropolitana de Manaus (RMM) que foi criada em 2007, com 7 municípios a saber, Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Manaus, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva pela Lei Complementar nº 52/2007 prevendo a construção de elementos político-administrativos para viabilizar e consolidar o desenvolvimento da capital e região. Em dezembro do mesmo ano o município de Manacapuru foi incluído à RMM por meio da Lei Complementar nº 59/2007. No ano de 2009 com a Lei Promulgada nº 64/2009 foram incluídos os municípios de Autazes, Careiro, Itapiranga, Manaquiri e Silves, totalizando 13 municípios na região metropolitana.

Devido ao histórico de ocupação e limitação de acesso, ocasionados pela localização em meio à floresta amazônica, a RMM possui baixa densidade demográfica, ocupando a 47ª colocação se comparada às outras Regiões Metropolitanas do país [16]. A estimativa populacional da RMM para o ano de 2016 foi de 2.568.817 de habitantes, o que corresponde a 64,2% da população do estado do Amazonas, 12,2% da população da região norte e 1,2% da população brasileira [16,17]. Desta forma a maior parte da população amazonense está concentrada na capital Manaus. Nos últimos 25 anos, de 1992 a 2016, o crescimento da população manauara foi estimado em 99,99%, variando respectivamente de 1.047.232 para 2.094.391 habitantes [16,17,18].

O rápido crescimento populacional observado na capital em parte é explicado pelos movimentos de imigração humana

dirigida ao município, e que foram desencadeados principalmente pela política de incentivos da Zona Franca de Manaus (ZFM), execução de obras de infraestrutura para redução do isolamento geográfico da região e o surgimento de novas alternativas de investimentos via ZFM [19]. Embora a implantação da ZFM tenha impulsionado o crescimento econômico regional, ela não foi capaz de alavancar o desenvolvimento nos setores social e ambiental [19].

A exposição foi medida em termos: da variabilidade nas variáveis físicas relacionadas com a suscetibilidade para ocorrência de eventos; com a ocorrência de eventos observada, quantidade de afetados e óbitos observados; e pela população potencialmente exposta.

No cálculo da suscetibilidade a movimentos de massa consideramos variáveis relacionadas a suscetibilidade natural a movimentos de massa, cujo estudo atua no terreno da prevenção servindo como ferramenta ao planejamento da ocupação do território. A suscetibilidade natural foi avaliada com base nas propriedades superficiais e pedológicas, nas características geomorfológicas de declividade, altura, extensão e perfil das encostas, distribuição espacial da drenagem na bacia hidrográfica em questão, fatores climáticos como a pluviosidade e uso da terra. Os fatores foram reclassificados em subfatores onde foram aplicadas notas de acordo com o grau de susceptibilidade a movimentos de massa do mais susceptível ao menos susceptível.

Considerando o fator geomorfológico a partir de um modelo digital de terreno para a altitude, obtido partir dos dados do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) [20]. Derivamos o perfil do relevo e declividade a partir do MDT. O perfil foi classificado em duas classes, côncavo (valores negativos) e convexo (valores positivos) e a declividade em porcentagens classificada em 6 classes, plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado [21,22].

O fator da intensidade de dissecação do relevo pela drenagem se refere a porosidade e permeabilidade do solo e da rocha [23]. Sendo que em rochas e solos impermeáveis a infiltração das águas das chuvas é menor resultando em uma maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno [23].

Uma maior quantidade de água em superfície implica em um número maior de canais de drenagem, maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial resultando em uma maior capacidade erosiva ou de promover a morfogênese [23]. A dissecação do relevo pela drenagem pode ser obtida pela densidade de drenagem, representada pelo número de canais por unidade de área, ou pela amplitude dos interflúvios, que é a distância entre canais de drenagem [23].

Na obtenção da densidade de drenagem utilizamos os dados de hidrografia do SIPAM [24]. Calculamos uma densidade *kernel* das linhas, posteriormente classificamos em 6 classes. Locais com maiores valores de densidade foram considerados de maior risco.

Para obter a amplitude entre canais de drenagem utilizamos os mesmos dados de hidrografia e calculamos uma distância euclidiana. Na classificação desta variável utilizamos pesos da literatura [23] adaptados a variar de uma escala de 1 (baixo risco) a 5 (alto risco).

O fator da amplitude altimétrica indica a energia potencial disponível para deslizamentos, ou seja, as maiores amplitudes terão maior energia potencial, pois as chuvas ao caírem na parte mais alta do terreno adquirem maior energia cinética em direção às partes mais baixas, por isso possuem maior capacidade de erosão ou de morfogênese [25,23]. Calculamos a amplitude altimétrica pela diferença entre as cotas máxima e mínima a partir de linhas de contorno de 20m utilizando os dados de altimetria do SRTM. Valores baixos de amplitude altimétrica receberam pesos altos, consequentemente os valores mais altos de amplitude receberam pesos menores.

Considerando o fator pedologia geramos o mapa do tipo de solo a partir dos dados do Sistema de Proteção da Amazônia[24]. Os tipos de solos foram reclassificados com atribuição de pesos seguindo a literatura [21,23]. Quanto aos tipos de solos, os argissolos e latossolos tem baixa probabilidade de acúmulo hídrico e sua umidade é baixa. Os latossolos apresentam tendência a formar crostas superficiais, possivelmente, devido à floculação das argilas. Os argissolos não mantêm sua umidade por longos períodos, porém há variações que dependem da textura do solo. utilizamos valores intermediário por exemplo para cambissolos, pois estes predominam tanto em relevos acidentados como em planos sendo que em relevos movimentados, este tipo de solo apresenta alta susceptibilidade a erosão. Os gleissolos apresentam propriedades hídricas que o mantém saturado e é predominante em regiões próximas a aquíferos, apresenta alta susceptibilidade, embora este ocorra em relevos planos.

Para o fator uso e cobertura do solo adotamos a premissa de que áreas urbanas fora da planície e as áreas de solo exposto apresentam a maior susceptibilidade a deslizamentos, as áreas cobertas por vegetação baixa, bem como áreas agrícolas possuem risco intermediário e, as áreas de florestas naturais, tem o menor risco. O mapa de uso e cobertura da terra é composto com os dados vetoriais de tipos de vegetação do Sistema de Proteção da Amazônia [24], dados matriciais de desmatamento acumulado do ano de 2017 do Projeto PRODES (Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) [26], dados matriciais de uso e cobertura do solo do ano de 2014 do Projeto TerraClass [27], dados vetoriais de fitofisionomias de campinas para a RMM e floresta, áreas verdes e área urbana para as sedes municipais da RMM digitalizados manualmente a partir de imagens Landsat 5 TM RGB 543 2015 por técnicos da Fundação Vitória Amazônica (acervo FVA).

O fator pluviometria foi representado com dados de pluviosidade, trimestre mais chuvoso do WorldClim versão 2.0 [28]. No comportamento pluviométrico quanto maior a pluviosidade, maior o risco de haver movimentos de massa. Classificamos os dados matriciais de precipitação em cinco classes utilizando quebras naturais, valores de precipitação

baixos foram classificados como baixo risco e os valores altos como alto risco.

No cálculo da suscetibilidade a inundações consideramos como importantes fatores que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma inundação, independente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo [29,7,30,31]. Substituímos o fator altitude pela distância a drenagem vertical mais próxima usando o modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), altura acima da drenagem mais próxima identificando áreas sujeitas a inundações [32,33,34,35]. Os fatores foram reclassificados em subfatores que foram aplicadas notas de acordo com o grau de susceptibilidade a inundação do mais susceptível ao menos susceptível. As variáveis tipo de solo, precipitação, uso e cobertura da terra, e declividade foram as mesmas utilizadas na elaboração da suscetibilidade a movimentos de massa.

O modelo HAND neste trabalho foi elaborado pelos autores, e está relacionado com a profundidade do lençol freático, indicando a disponibilidade da água do solo. Valores próximos a zero indicam regiões cujo lençol está próximo a superfície e portanto, o solo está em condições próximas à saturação. Por outro lado, valores maiores nesta variável denotam regiões com lençol freático profundo representando áreas mais bem drenadas [32,33,34,35].

Para a pedologia O tipo de solo reflete também a capacidade de infiltração e escoamento superficial da água conforme descrito na elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa. A declividade do terreno influencia diretamente no acúmulo de água. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas.

A variável pluviométrica é um importante fator, pois, o nível de precipitação, dependendo da periodicidade, indica o volume de escoamento na área de interesse. O índice pluviométrico tem como situação a de que todo o volume precipitado se transforma em escoamento. A pluviometria utilizada neste mapa foi a mesma do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

O uso e cobertura da terra influenciam na infiltração e escoamento superficial da água. As áreas com maior impermeabilidade (mancha urbana) tendem a acumular mais água do que em solos com cobertura florestal

Na concatenação das variáveis para formar os mapas de suscetibilidade usamos a Análise Hierárquica Ponderada – AHP [36], que consiste na elaboração de uma escala de importância entre os critérios utilizados na análise que, posteriormente, serão colocados em uma matriz de relacionamento para realizar uma comparação pareada para a percepção de que há uma hierarquia de importância entre os mesmos [36,37,38,39]. Trata-se de uma matriz de decisão que utiliza uma escala numérica fundamental com valores de importância, onde a determinação da escala de valores para comparação não deve exceder um total de nove fatores, a fim de manter a matriz consistente [36].

A atribuição de valores por comparação é um processo crítico, pois os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido [31]. A prioridade relativa de cada critério foi obtida normalizando os valores da matriz de comparações para igualar todos os critérios em uma mesma unidade. Assim, cada valor da matriz é dividido pelo total da sua respectiva coluna [36,37,38].

Para identificar a hierarquia de importância de cada critério, calculamos o vetor de prioridade ( $w$ ) por meio da média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada de comparações [36]. Para determinar se a avaliação (validação dos pesos) foi bem-sucedida, calculamos a Razão de Consistência (RC) por meio da equação 1. Para calcular o IC utilizamos a equação 2. O valor de  $\lambda_{max}$  foi calculado com a equação 3.

$$\text{Eq. 1.} \quad RC = \frac{IC}{IR}$$

onde: IR = índice randômico de consistência médio para matrizes quadradas de ordem “n”;  
IC = índice de consistência.

$$\text{Eq. 2.} \quad IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

onde: n = número de critérios;  
 $\lambda_{max}$  = maior autovalor da matriz.

$$\text{Eq. 3.} \quad \text{Matriz } w = (\lambda_{max} * w)$$

onde:  $w$  = peso.

O valor obtido para a RC deve ser abaixo de 0,10 [31], o que implica num ajuste pequeno em comparação com os valores brutos dos dados de entrada.

Na seleção da população potencialmente exposta e áreas prioritárias para ações de redução de risco de desastres, os mapas de suscetibilidade foram classificados em 5 classes, da maior para menor exposição. As classes 1 e 2, maiores exposições, foram interseccionadas com a grade estatística do IBGE [41] selecionando células da grade estatística com ocupação humana e cuja exposição é maior para eventos de movimentos de massa e inundações.

Na construção dos índices para hierarquizar os municípios quanto a sua exposição, calculamos proporções para cada uma das variáveis. A proporção da população potencialmente exposta foi obtida pela razão entre a população potencialmente exposta e a população do município. A proporção

de eventos observados, foi calculada pela razão entre a quantidade total de eventos no município e eventos no estado.

A proporção de óbitos observados é resultado da razão entre a quantidade de óbitos no município e de óbitos no estado. Já a proporção de afetados foi obtida pela razão entre a quantidade de afetados observada no município e de afetados no estado.

Classificamos as proporções utilizando o método dos percentis em 5 classes, para cada classe atribuímos pontuações relativas graduais de 1 a 5 representado respectivamente maior e menor exposição aos eventos de movimentos de massa e inundações. Posteriormente padronizamos os valores para variarem de 0 a 1 segundo a equação 4, sendo 0 representando maior exposição e 1 menor exposição relativa.

$$\text{Eq. 4.} \quad Ip = \frac{(Io - Imin)}{(Imax - Imin)}$$

onde:  $Ip$  = índice padronizado;  $Io$  = índice observado;  
 $Imin$  = índice mínimo;  $Imax$  = índice máximo.

## RESULTADOS

Os resultados da AHP para os pesos de hierarquização de importância dos fatores de suscetibilidade a movimentos de massa ( $\lambda_{max} = 8,871$ ; IC = 0,124; IR = 1, 41; RC = 0,0883) e a inundações ( $\lambda_{max} = 5,222$ ; IC = 0,055; IR = 1, 12; RC = 0,0495) foram considerados válidos por meio das razões de consistências encontradas.

O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa evidenciou as áreas próximas às margens dos rios e igarapés, bem como áreas de encostas cuja vegetação nativa foi removida com a maior suscetibilidade a ocorrência movimentos de massa. O mapa de suscetibilidade a inundações destacou as mesmas áreas próximas às margens dos rios e igarapés, adicionalmente evidenciou áreas com vegetação nativa removida, áreas de fitofisionomias de campina, campinarana e florestas alagáveis como os locais mais suscetíveis a ocorrência de inundações.

Na hierarquização dos municípios quanto a exposição a movimentos de massa encontramos que os municípios de Careiro Castanho, Careiro da Várzea, Manaus e Manacapuru, situados nas margens direita e esquerda dos rios Solimões, Amazonas e Rio negro possuem a maior exposição a este tipo de evento. Em consideração a população potencialmente exposta Careiro da Várzea, Manaus, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva possuem a maior exposição. Para os eventos observados estes ocorreram em sua maioria nos municípios de Careiro da Várzea, Manacapuru, Manaquiri e Itacoatiara, enquanto os municípios de Manaus, Careiro da Várzea, Manacapuru e Iranduba tiveram a maior exposição em relação ao número de afetados (Tabela 1).

Na hierarquização dos municípios quanto a exposição a inundação encontramos um padrão semelhante ao resultado para movimentos de massa onde os municípios situados nas margens direita e esquerda dos rios Solimões, Amazonas e Rio Negro possuem a maior exposição a eventos de inundação, com destaque aos municípios de Careiro da Várzea, Manaus, Manacapuru, Manaquiri e Iranduba. A população potencialmente exposta foi maior nos municípios de Careiro da Várzea, Manacapuru, Manaus, Careiro Castanho, Iranduba e Manaquiri. Nos eventos observados estes ocorreram em sua maior parte nos municípios de Careiro da Várzea, Iranduba, Manacapuru, Manaus, Autazes, Careiro Castanho e Manaquiri.

Para os eventos observados e número de afetados estes ocorreram em sua maioria nos municípios de Careiro da Várzea, Manacapuru, Manaus, Careiro Castanho, Iranduba e Manaquiri. Em relação aos óbitos observados os municípios com maior exposição foram Autazes, Careiro Castanho, Manaus, Careiro da Várzea e Manacapuru (Tabela 2).

Os locais identificados com ocupação humana por meio da intersecção da grade estatística e os mapas de suscetibilidade a movimentos de massa a inundações destacaram as margens de rios e igarapés como as mais suscetíveis a ocorrência destes eventos. Ademais ocupações ao longo da malha viária oficial e não oficial oferecem situações para construção de riscos relacionados aos movimentos de massa, e nos pontos onde as estradas são cortadas por igarapés e rios oferecem um cenário propenso às inundações nestas mesmas áreas.

## DISCUSSÃO

A substituição da altitude pelo modelo HAND resultou num mapa de suscetibilidade a inundação diferente e com melhor detalhamento das áreas inundáveis do que encontrado em estudo anterior com abordagem semelhante para a RMM [41]. Na Região Metropolitana de São Paulo o modelo HAND foi usado para identificar as áreas suscetíveis ao risco de enchentes, inundações e deslizamentos [34]. Por registrar a altura acima da drenagem mais próxima sua utilização possibilita identificar os terraços mais planos que potencialmente estão sujeitos a enchentes e inundação nos períodos de cheia devido ao acúmulo de água das chuvas [32].

Historicamente os meios de produção e modos de vida das populações tradicionais na Amazônia estão relacionados com a proximidade dos rios e igarapés. A ocupação territorial na Amazônia é em parte explicada pelos seus modais de transporte mais acessíveis financeiramente, o hidroviário e rodoviário. Em recente estudo sobre a construção do espaço urbano-territorial na RMM Monteiro et al. [43] identificaram os quatro padrões descritos por Amaral et al. [44] para a urbanização na Amazônia.

O uso e ocupação do solo nos municípios da RMM não foi devidamente planejado levando em consideração medidas relativas ao planejamento e controle do uso e ocupação da terra se comparado a eficiência com que foram executadas

obras de infraestrutura e engenharia para a expansão da mancha urbana das sedes municipais. Esta falta de planejamento construiu nas últimas décadas cenários de risco de movimentos de massa e inundações.

Estudos realizados sobre as áreas de risco em Manaus descreveram o crescimento da mancha urbana sobre espaços herdados da natureza que foram apropriados para fins de habitação constituindo novos espaços de moradia [45,46,47]. Em sua maioria esses novos espaços habitacionais são sem infraestrutura adequada e em áreas potencialmente vulneráveis, como as margens alagáveis de igarapés e encostas susceptíveis aos processos erosivos [45,46,47]. Uma peculiaridade das cidades é que estas não são construídas homogeneamente, a formação social, totalidade abstrata, não se realiza na totalidade concreta senão por uma transformação onde o espaço representa um papel fundamental tratando-se, logo as cidades são formações socioespaciais [48].

A variabilidade dos deslizamentos em Manaus acompanha o regime de precipitação local com maior número de registros no período mais chuvoso e menor no período menos chuvoso [49]. Associada ao o regime de precipitação local estão características locais do relevo e sociais, onde as zonas mais afetadas são aquelas onde o terreno apresenta maior elevação e/ou declividade[49].

As populações ribeirinhas construíram seu modo de vida em relação aos regimes sazonais de oscilação dos rios amazônicos, ainda assim sofrem consequências e prejuízos com os eventos extremos relacionados cheias e inundações [50]. Embora os moradores de algumas cidades da Amazônia brasileira estejam bem aclimatados às inundações, não estão devidamente adaptados e resilientes ainda.

Eventos de movimentos de massa e inundações causam prejuízos financeiros sobre os meios de produção e vidas. As inundações espalham doenças causadas por bactérias (como a leptospirose) e vírus (causadores por exemplo de diarreia infantil) levando algumas vezes a fatalidades [51,52]. Os movimentos de massa na região causam prejuízos financeiros às pessoas e sobre habitações e a infraestrutura das cidades, como por exemplo o fenômeno de terras caídas que gera prejuízos no porto de Manaus [53,54]. Para lidar com os riscos de desastres associados a movimentos de massa e inundações no Amazonas uma análise da eficácia do sistema de proteção e defesa civil frente aos desastres ambientais fluviais destacou a necessidade de fortalecimento do Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil do Amazonas (SEPDEC) nos municípios [55].

## CONCLUSÕES

Os índices individualmente evidenciaram os locais e municípios mais vulneráveis ou com maior predisposição à ocorrência dos eventos considerados, enfatizando quais são os que necessitam de maior atenção, investimento e intervenção em políticas públicas e fornecendo subsídios para o planejamento territorial, a gestão ambiental municipal, a promoção, adequação e melhoria das políticas públicas.

Para diminuir a perda causada por eventos de movimentos de massa e inundação buscar estratégias de gestão de riscos são fundamentais para evitar que eventos extremos do clima deflagrem desastres cada vez mais recorrentes e com maior magnitude na região, impactando os municípios, territórios, povos, populações e ecossistemas.

| Município             | Movimentos de massa    |                   |                      |
|-----------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
|                       | População              |                   | Eventos              |
|                       | Potencialmente exposta | Afetada observada | Ocorrência observada |
| Autazes               | 0.25                   | 1.00              | 0.75                 |
| Careiro Castanho      | 0.50                   | 1.00              | 0.75                 |
| Careiro da Várzea     | 0.00                   | 0.00              | 0.00                 |
| Irاندuba              | 0.50                   | 0.50              | 0.00                 |
| Itacoatiara           | 1.00                   | 1.00              | 0.00                 |
| Itapiranga            | 1.00                   | 1.00              | 1.00                 |
| Manacapuru            | 0.25                   | 0.25              | 0.00                 |
| Manaquiri             | 0.25                   | 1.00              | 0.00                 |
| Manaus                | 0.00                   | 0.00              | 0.75                 |
| Novo Airão            | 0.75                   | 1.00              | 0.75                 |
| Presidente Figueiredo | 0.00                   | 1.00              | 1.00                 |
| Rio Preto da Eva      | 0.00                   | 1.00              | 0.75                 |
| Silves                | 0.50                   | 1.00              | 0.75                 |

**Tabela 1. Índices municipais de exposição a movimentos de massa para a RMM.**

| Município             | Inundações             |                   |                   |                      |
|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
|                       | População              |                   |                   | Eventos              |
|                       | Potencialmente exposta | Afetada observada | Óbitos observados | Ocorrência observada |
| Autazes               | 0.00                   | 0.25              | 0.00              | 0.50                 |
| Careiro Castanho      | 0.00                   | 0.25              | 0.00              | 0.25                 |
| Careiro da Várzea     | 0.00                   | 0.00              | 0.25              | 0.00                 |
| Irاندuba              | 0.25                   | 0.00              | 0.75              | 0.25                 |
| Itacoatiara           | 0.25                   | 0.50              | 1.00              | 0.50                 |
| Itapiranga            | 1.00                   | 0.50              | 1.00              | 0.75                 |
| Manacapuru            | 0.25                   | 0.00              | 0.25              | 0.00                 |
| Manaquiri             | 0.00                   | 0.25              | 1.00              | 0.25                 |
| Manaus                | 0.50                   | 0.00              | 0.00              | 0.00                 |
| Novo Airão            | 0.50                   | 1.00              | 1.00              | 1.00                 |
| Presidente Figueiredo | 0.75                   | 1.00              | 1.00              | 1.00                 |
| Rio Preto da Eva      | 0.50                   | 0.50              | 1.00              | 0.75                 |
| Silves                | 1.00                   | 0.75              | 1.00              | 0.50                 |

**Tabela 2. Índices municipais de exposição a inundação para a RMM.**

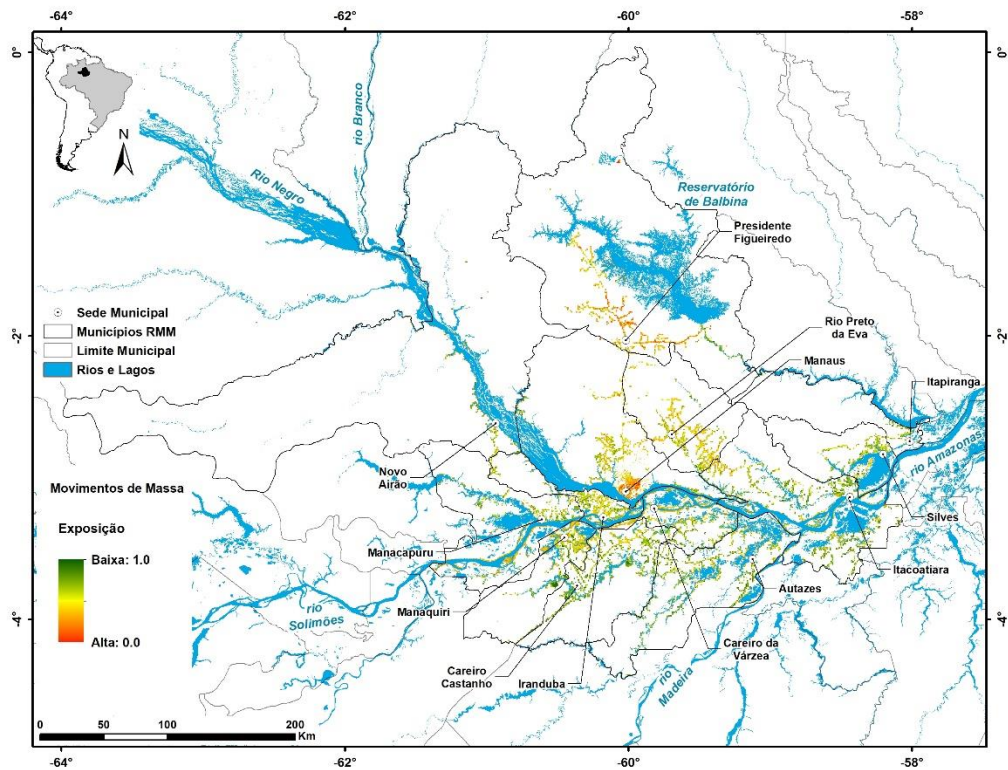


Figura 1. Áreas prioritárias suscetíveis a ocorrência de movimentos de massa com ocupação humana na RMM.

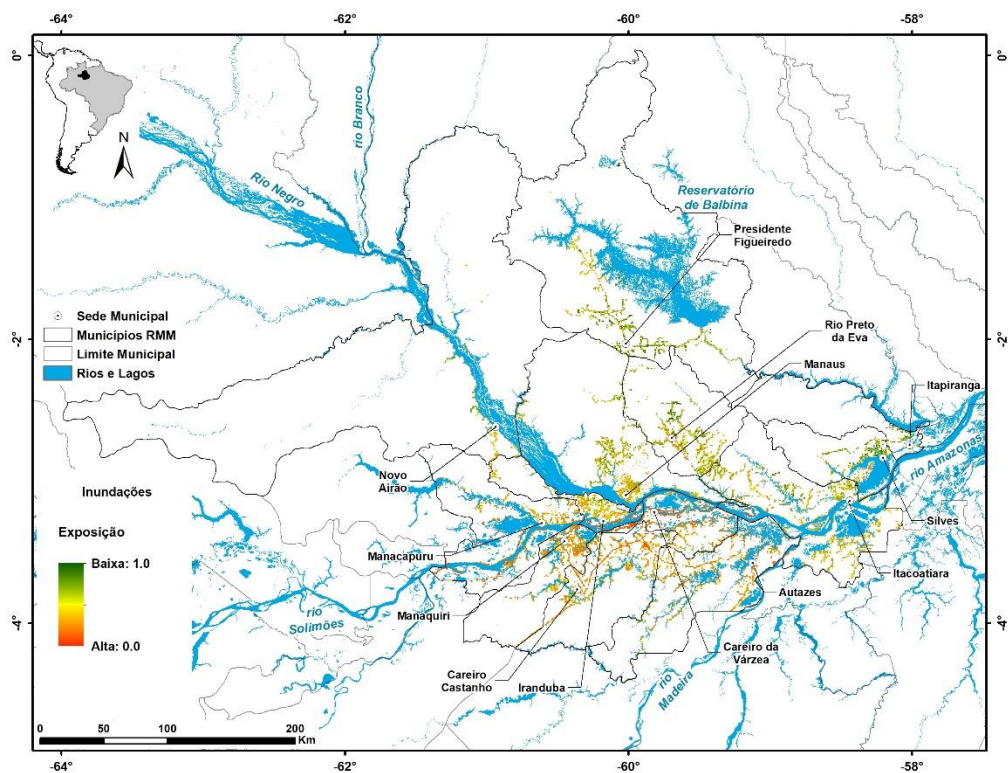


Figura 2. Áreas prioritárias suscetíveis a ocorrência de inundações com ocupação humana na RMM.



## REFERÊNCIAS

- [1] LAVELL, A. (2000). Desastres durante uma década lecciones y avances conceptuales y prácticos en América Latina (1990-1999). Anuario de Política y Social de América Latina. Secretaria General de la FLACSO, n. 3, San José de Costa Rica.
- [2] ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA REDUÇÃO DE DESASTRES – EIRD/ ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. (2007). Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres.
- [3] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC (2012). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Gestão de riscos de desastres. - Florianópolis: CEPED UFSC. 14 p.
- [4] WISNER, R.B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. (2004). At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters. London and New York: Routledge.
- [5] VALENCIO, N. (2012). Para além do “dia do desastre” – o caso brasileiro. Curitiba, Editora Appris.
- [6] MARCHENZINI, V.; WISNER, B. Challenges for vulnerability reduction in Brazil: Insights from the PAR framework. (2017). Em: Marchezini V., Wisner B., Londe L. R., Saito S. M. (orgs.). Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action. São Carlos: RiMa Editora, 2017.
- [7] SZLAFSZTEIN, C.; MARQUES, O.; MAIA, H.; PRETTE, M.; FISCHENICH, P.; ALTIERI, F. (2010). Referências Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades. Brasília: MMA/GTZ, 60.
- [8] UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, 35 p.
- [9] WILCHES-CHAUX, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. Páginas 11-44 In Maskrey A. (Org.). Los desastres no son naturales. LARED - ITDG, Tercer Mundo Editores, Colombia.
- [10] YUNES, M.A.M.; SZYMANSKI, H. (2001). Resiliência: noção, conceitos afins e considerações críticas. In: TAVARES, J. (Org.). Resiliência e educação. 2. ed. São Paulo: Cortez. Pp 142. ISBN: 852490769X, 9788524907692
- [11] INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEA. (2002). Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención: Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación. Páginas 1-38 In CHARDON, A.C.; GONZÁLEZ, J.L. (Org.). Universidad Nacional de Manizales, Colombia.
- [12] SAREWITZ, D.; PIELKE, R.; KEYKHAH, M. (2003). Vulnerability and risk: some thoughts from a political and policy perspective. Risk Analysis, 23(4). DOI: 10.1111/1539-6924.00357
- [13] REPPOLD, C.; PACHECO, J.; BARDAGI, M.; HUTZ C. (2002). Prevenção de problemas de comportamento e o desenvolvimento de competências psicossociais em crianças e adolescentes: uma análise das práticas educativas e dos estilos parentais. In: HULTZ, C.S. (Org.). Situações de risco e vulnerabilidade na infância e na adolescência: aspectos teóricos e estratégias de intervenção. p. 7 – 51. São Paulo: Casa do Psicólogo.
- [14] JANCZURA, R. (2012). Risco ou vulnerabilidade social? Textos & Contextos, 11, 301 - 308. ISSN: 1677-9509. DOI:10.15448/1677-9509.
- [15] MARANDOLA, J. R.; HOGAN, D. J. (2006). As dimensões da vulnerabilidade. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 33-43.
- [16] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016a). Estimativas da população residente nos municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2016, Rio de Janeiro. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. 11p.
- [17] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016b). Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2016. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. Acesso em 27 de julho de 2017. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2016/estimativa\\_dou\\_2016\\_20160913.xlsx](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.xlsx).
- [18] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016c). Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 1992. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. Acesso em 27 de julho de 2017. Disponível em: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm?caminho=/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_1992/#](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm?caminho=/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_1992/#).
- [19] RIOS-NETO, E.L.G.; MARTINE, G., ALVES, J.E.D. (2009). O espaço na demografia: migrações, urbanização e meio ambiente seus reflexos sobre os direitos humanos. In Rios-Neto E. L. G., Martine G., Alves J. E. D. (Org.). Oportunidades perdidas e desafios críticos: a dinâmica demográfica brasileira e as políticas públicas. Demografia em debate; v.3. p. 107 – 139. Belo Horizonte: ABEP: UNFPA: CNPD. ISBN 978-85-85543-22-8.
- [20] JARVIS, A., H.I. REUTER, A. Nelson, E. Guevara (2008) Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database ([srtm.csi.cgiar.org](http://srtm.csi.cgiar.org))
- [21] ROSS, J. L. S. (1994) Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 6, p. 63-74.
- [22] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. Ed, Embrapa, Rio de Janeiro, 306 p. ISBN 85-85864-19-2
- [23] CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. (2001) Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao



zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: SAE/INPE.

[24] SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA – SIPAM (2008). Manaus, Amazonas, Brasil. Disponível em: <http://www.sipam.gov.br/>. Acesso 3 Setembro 2016

[25] CREPANI, E. MEDEIROS J. S., AZEVEDO L. G. AZEVEDO, FILHO P. H., FLORENZANO T. G. E DUARTE V. (1996) Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico Econômico. São José dos Campos: INPE.

[26] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (2019). Estimativas de desmatamento para Amazônia Brasileira. São José dos Campos: INPE Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso 10 Agosto 2019

[27] ALMEIDA, C.A.; COUTINHO, A.C.; ESQUERDO, J.C.D.M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C.G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A.R. (2008) High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. Acta Amazônica, Vol 46 (3) 2016: 291-302.

[28] HIJMANS, R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. and Jarvis A, (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

[29] SCHANZE J, ZEMAN E, MARSALEK J (2004) Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Flood Risk Management - Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures Ostrov, Czech Republic 6 -10. Springer. ISBN-13 978-1-4020-4598-1, ISBN-10 1-4020-4598-0

[30] MEHEBUB S, RAIHAN A, NUHUL H, HAROON S (2016) Assessing flood inundation extent and landscape vulnerability to flood using geospatial technology: A study of Malda district of West Bengal, India. Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului Volume XIV, 2, pp. 156-163 (8) <http://dx.doi.org/10.5775/fg.2067-4635.2015.144.d>

[31] SANTOS, A. R. DOS; LOUZADA, F. L. R DE O.; EUGENIO, F. C. (2010). ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo: CAUFES, 184 p.

[32] RENNÓ, CD; NOBRE, AD ; CUARTAS, LA ; SOARES, JV; HODNETT, MG; TOMASELLA, J; WATERLOO, MJ (2008). Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 9, p. 339-358, 2008.

[33] NOBRE, A. D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT M.; RENNÓ, C.D; RODRIGUES G., SILVEIRA A., WATERLOO M., SALESKA. S. (2011). Height above the nearest drainage: a hydrologically relevant new terrain model. Journal of Hydrology, v. 404, p. 13-29, 2011.

[34] NOBRE AC, YOUNG AF, ORSINI JAM, SALDIVA PHN, NOBRE AD, OGURA AT, THOMAZ O, VALVERDE M,

PÁRRAGA GOO, SILVA, GCM, SILVEIRA AC, RODRIGUES GO. (2011). Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo - Relatório Final. São Paulo: INPE/UNICAMP/USP/ IPT/UNESP, Rio Claro.

[35] HAMDANI N. e BAALI A. (2019). Height Above Nearest Drainage (HAND) model coupled with lineament mapping for delineating groundwater potential areas (GPA). Groundwater for Sustainable Development 9. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100256>

[36] SAATY T. L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology. Vol. 15, No. 3, pp. 234-281. DOI: 10.1016/0022-2496(77)90033-5

[37] SAATY T. L. (1990) How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research. DOI: 10.1287/inte.24.6.19

[38] SAATY T. L. (1994) How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces 24:6, pp. 19-43.

[39] SAATY T. L. (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1

[40] BERGER, M. V. S.; SILVA, M.C. DA; SALDANHA, J.C.S. (2007) Análise da vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: Morais, A. C. de; Santos, A. R. dos. (org.) Geomática e Análise Ambiental. Vitória, ES: EDUFES, 40 – 61

[41] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2016). Grade estatística IBGE. Relatório técnico. Rio de Janeiro, 31p. Disponível em: < <https://mapas.ibge.gov.br/interativos/grade.html> >. Acesso em ago 2020.

[42] SANTOS JUNIOR, M. A. dos; MOREIRA, M. P.; SOUZA, R. N.; FERREIRA, O. J.; MONTEIRO, A. S.; RUFFINO, M. L.; MARCHEZINI, V.; OLIVEIRA, A. C. R.; SAITO, S. M.; ANDERSON, L. O.; SILVA, F. L. 2018. Mapeamento para o monitoramento de riscos socioambientais na Região Metropolitana de Manaus. Revista de Administração Municipal. v.1, p.30 - 50.

[43] MONTEIRO, AS; OLIVEIRA, LA; PINHEIRO, HP; SANTOS JUNIOR, MA; SCHOR, T. (*no prelo*). A construção do urbano-territorial na Amazônia: entendimentos práticos de Manaus e sua região metropolitana. in Governança Metropolitana no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA.

[44] AMARAL, S, CÂMARA, G, MONTEIRO AM. Análise espacial do processo de urbanização na Amazônia. In: Relatório Técnico – Programa de ciência e tecnologia para a gestão de Ecossistemas Ação “métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”. INPE 2001.

[45] CASSIANO, KRM; COSTA, RC. (2010). Análise geográfica das áreas de risco em Manaus, Amazonas, Brasil. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, Universidade de Coimbra.

[46] CASSIANO, KRM; COSTA, RC. (2012). Análise geográfica

de áreas de risco em bacias hidrográficas urbanizadas: a bacia do Mindu em Manaus (AM). *territorium* 19, 155-160. DOI:[http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723\\_19\\_17](http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_19_17)

[47] ANDRETTA ER; LADEIRA LFB; SANTOS JM; LIMA RHC. (2013). Mapeamento das áreas de risco no bairro Gilberto Mestrinho, zona leste de Manaus – AM. *Estudos Geológicos* v. 23(1).

[48] Santos, Milton (1977) – “Sociedade e espaço: a Formação Social como teoria e como método”. *Boletim Paulista de Geografia*. N. 54, p. 91-99,

[49] Barbosa RG. (2017). Variabilidade da ocorrência de deslizamentos de terra e sua relação com a precipitação na cidade de Manaus. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente. Manaus, AM, 98p.

[50] FILIZOLA, N. P.; SILVA, A. V. da; SANTOS, A. M. C. dos; OLIVEIRA, M. A. Cheias e secas na Amazônia: Breve abordagem de um contraste na maior bacia hidrográfica do globo. In: *T&C Amazônia*, v. 9, p. 42-49, 2006.

[51] I. DE R. LONDE, M. P. COUTINHO, D. GREGÓRIO, L. TORRES, L. B. L. SANTOS, AND É. SORIANO, “Water-related disasters in Brazil: Perspectives and recommendations,” *Ambiente, Soc.*, vol. 17, no. 4, pp. 133–152, 2014.

[52] L. DE R. LONDE, R. S. DA CONCEIÇÃO, T. BERNARDES, AND M. C. DE A. DIAS, “Flood-related leptospirosis outbreaks in Brazil: Perspectives for a joint monitoring by health services and disaster monitoring centers,” *Natural Hazards*, vol. 84, no. 2, pp. 1419–1435, 2016.

[53] G1 BRASIL 2010. Gravação mostra deslizamento em porto de Manaus. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/10/gravacao-mostra-deslizamento-em-porto-de-manaus.html>>. Acesso em: 19 Ago. 2020.

[54] UOL NOTÍCIAS 2010. Deslizamento em Manaus afunda mais de 100 contêineres e baús; dois continuam desaparecidos. <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2010/10/18/deslizamento-em-manaus-afunda-mais-de-100-conteineres-e-baus-no-rio-negro-dois-continuam-desaparecidos.htm>>. Acesso em: 19 Ago. 2020.

[55] GUIMARÃES, D. F.S. 2018. A eficácia do sistema de proteção e defesa civil frente aos desastres ambientais fluviais no Amazonas. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia PPG/CASA. Manaus, AM, 143p.