

Projeto
Programa Políticas sobre Mudança do Clima – PoMuC (Componente Adaptação)
PN: 13.9006.1 - 002-00

Termo de Referência

**IDENTIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS MUNICÍPIOS
BRASILEIROS AOS IMPACTOS BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS
ASSOCIADOS À MUDANÇA DO CLIMA**

Produto 2

Relatório-base para oficina de ajuste metodológico

Consultores: Pedro Ivo Mioni Camarinha, José Marengo Orsini

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Considerando as diferenças metodológicas dos estudos pretéritos que serão utilizados para direcionar as medidas de adaptação ao fim desta consultoria, é imprescindível que os mesmos sejam padronizados e que utilizem a mesma estrutura conceitual. Neste sentido, o este produto visa, primeiramente, apresentar as principais características destes estudos de referência e, posteriormente, quais serão os ajustes metodológicos para que os três índices (de deslizamentos de terra, inundações bruscas/enxurradas e secas) possam se comunicar.

Em consonância com o Termo de Referência da presente consultoria, as propostas metodológicas deste documento já foram apresentadas para a equipe técnica do MMA e foram aprovadas, no sentido de que as etapas futuras serão alcançadas a partir da metodologia aqui apresentada, havendo, no entanto, possibilidade para ajustes finos, conforme houver interesse.

2. APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Este item consiste na apresentação dos estudos pretéritos que foram utilizados para embasar a proposta metodológica a ser aplicada nesta consultoria. São basicamente dois estudos, sendo que o primeiro deles avaliou os impactos relacionados aos eventos de deslizamentos de terra e inundações, elaborado no âmbito da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em 2014. O segundo refere-se a um “Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais Relacionados às Secas - no Contexto da mudança do Clima”, desenvolvido a partir de uma parceria com MMA e a WWF, publicado em 2017.

Estes dois trabalhos derivaram em dois diferentes índices de vulnerabilidade, de modo que o objetivo agora é aperfeiçoá-los para que se encaixem no escopo desta consultoria. Portanto, tem-se a padronização dos índices como uma etapa fundamental para as atividades futuras propostas no referido Termo de Referência, de modo que os itens a seguir também visam esclarecer como isto será feito.

Resumidamente, os dois trabalhos apresentam estruturas conceituais (frameworks) diferentes a respeito da vulnerabilidade e, conseqüentemente, nas interações que derivam nos impactos, e processos subsequentes, que atingem os municípios. Como forma de padronizá-los, sugeriu-se manter o framework apresentado no trabalho da WWF/MMA (2017), de modo que maiores modificações

serão necessárias nos índices que avaliam os deslizamentos de terra e as inundações. Isto implicará também em mudanças na estrutura relacional entre os sub-índices e entre as variáveis que os definem.

2.1. Índices de Vulnerabilidade para os Desastres Hidrológicos e de Deslizamentos de Terra (Terceira Comunicação Nacional)

O estudo utilizado como referência para a construção de um dos índices para esta consultoria encontra-se na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (TCN), especificamente no Capítulo de Desastres Naturais. Este trabalho culminou na publicação de um artigo no periódico internacional *Natural Hazards* (Debortoli et. al, 2016), o qual deve ser consultado para ter-se mais detalhes.

Neste tópico estão apresentadas as principais considerações feitas no trabalho em questão, como forma de direcionar o entendimento das etapas metodológicas que serão apresentadas posteriormente. Embora um novo índice seja sugerido para esta consultoria, trata-se de uma adaptação daquele apresentado por DEBORTOLI et. al (2016).

Naquela ocasião, duas tipologias de desastres naturais foram escolhidas para serem avaliadas devido ao fato de serem aquelas que causam mais mortes no Brasil (CEPED, 2013; Lopes et al. 2010; Castro et al. 2002, 2003; TOMINAGA et al. 2009): inundações bruscas (contemplando também enxurradas e alagamentos na análise) e deslizamentos de terra.

Importante frisar que o conceito de vulnerabilidade utilizado por DEBORTOLI et. al (2016) difere-se daquele proposto pelo IPCC (2013). Enquanto os autores definem a vulnerabilidade aos desastres como subproduto da interação entre suas diferentes dimensões (físico-ambiental, climática e socioeconômica), o IPCC (2013) define-a como subproduto da interação dos vetores exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Esta ressalva é necessária porque o novo índice gerado para esta consultoria foi elaborado a partir da definição do IPCC (2013), o qual está apresentado de forma mais detalhada nos próximos itens. Por ora, apresenta-se o *framework* utilizado em DEBORTOLI et. al (2016), que encontra-se no fluxograma da Figura 1.

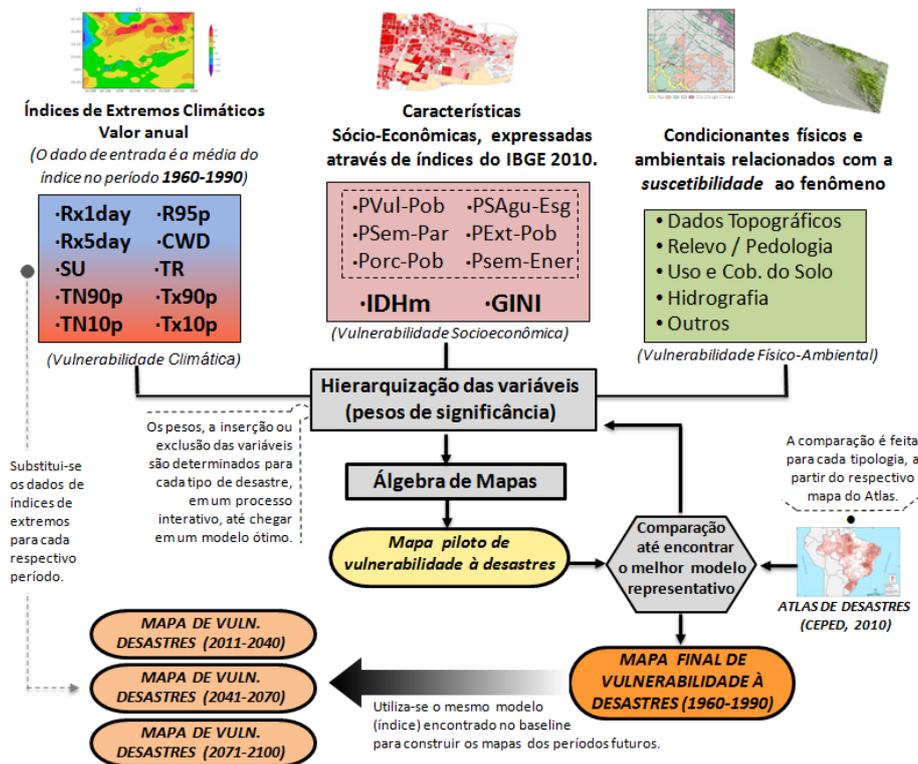


Figura 1 - Fluxograma referente às etapas metodológicas e dados utilizados para a construção do índice e dos mapas de vulnerabilidade a desastres naturais em Debortoli et. al (2016).

Basicamente, o índice de vulnerabilidade construído naquela ocasião baseou-se em três dimensões: i) climática, expressada pela combinação dos índices de extremos climáticos (Rx1day, Rx5day, CWD e R95p, explicados nos itens posteriores) que foram fornecidos pelo INPE/CPTEC; ii) socioeconômica, representada pela combinação de índices socioeconômicos fornecidos pelo IBGE (2010); iii) físico-ambiental, baseada no cruzamento de diferentes mapas temáticos, variáveis físicas e ambientais que refletem a suscetibilidade de cada ponto geográfico em deflagrar uma determinada tipologia de ameaça natural (no caso, inundações ou deslizamentos) que pode levar a uma situação de desastre. A estrutura utilizada para esta consultoria será análoga à de Debortoli et. al (2016), com algumas adaptações metodológicas para deixar o trabalho alinhado com os conceitos e definições sugeridos pelo IPCC (2013).

Também é válido ressaltar a etapa de validação que, na ocasião, consistiu em comparar o resultado dos índices de vulnerabilidade com mapas do *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais*, que possuem a contabilização - por município brasileiro - das ocorrências de desastres entre o período de 1990–2010. Mapas como estes apresentados no *Atlas* sintetizam todas as dimensões da vulnerabilidade a desastres, pois a ocorrência de um desastre significa que a capacidade dos sistemas (sócio-ambientais) em resistir a tal fenômeno foi ultrapassada.

Desta forma, Debortoli et. al (2016) testaram diferentes combinações de pesos de significância para cada uma das variáveis utilizadas, até que se chegasse a uma equação (modelo) que pudesse ser aplicada em todo território nacional e, como resultado final, obtivesse um mapa semelhante ao apresentado no *Atlas*. Esta etapa foi executada com os dados climáticas do período presente (1960-1990), para que pudesse se chegar em um resultado próximo e com o mesmo padrão que os mapas de desastres do Atlas, que é referente ao período de 1990-2010.

Encontrado um modelo para o período presente que se ajuste ao resultado do Atlas, este mesmo modelo (equação) foi utilizado para os períodos futuros. Porém, para os períodos futuros a proposta foi de manter constante as variáveis das dimensões social e físico-ambiental, de forma que apenas os dados climáticos (índices de extremos) são modificados. A premissa básica para tal extrapolação é baseada nos seguintes argumentos: i) as condições físicas e ambientais permanecerão da mesma forma nos períodos futuros ou sofrerão pequenas modificações que podem ser consideradas irrelevantes perante todo o contexto; ii) utilizar os dados sociais do presente na modelagem da vulnerabilidade futura permite identificar regiões onde o clima irá intensificá-la e, desta forma, é possível fornecer informações para a reflexão e criação de políticas públicas que melhorem os aspectos sociais nestes locais e, assim, possa diminuir a vulnerabilidade como um todo, acelerar o processo adaptativo e/ou abrandar possíveis impactos.

Todas estas premissas também serão aplicadas no presente estudo desta consultoria e, por este motivo, é importante conhecê-las previamente. Para esta consultoria, especificamente, foram implementadas algumas pequenas alterações objetivando melhorias do resultado final. No entanto, estas explicações não se enquadram no escopo deste sub-item e estão explicados nos itens posteriores que tratam da metodologia aplicada.

2.1.1. Dimensão climática da vulnerabilidade

Há um consenso dentro da comunidade científica do clima que alterações na frequência ou severidade dos eventos climáticos extremos acarretam em impactos profundos sobre a natureza e a sociedade, quase sempre de forma negativa. Assim, é muito importante que Eventos Climáticos Extremos (ECEs) sejam analisados com cautela. O monitoramento, detecção e atribuição de mudanças em extremos climáticos geralmente exige dados diários de alta resolução. No entanto, a compilação, fornecimento e atualização de uma resolução total e completa, prontamente disponível, do conjunto de dados diários em todo o mundo, é uma tarefa difícil. Isso

acontece, em parte, porque nem todos os dados dos Serviços Meteorológicos e Hidrometeorológicas Nacionais têm a capacidade ou permissão de distribuição livre dos dados diários coletados (ETCCDI/CRDCLIVAR).

Alguns índices de extremos, tais como a quantidade anual de precipitação máxima diária ou a velocidade máxima anual de vento, têm sido tradicionalmente modelados com diferentes distribuições de valores considerados “extremos” em aplicações de engenharia. Entretanto, os “extremos” utilizados como indicadores de alterações climáticas têm um contexto muito mais amplo. Enquanto alguns dos índices se enquadram na definição tradicional, a maioria não. Portanto, é importante fazer essa distinção quando se analisam os índices de extremos climáticos, já que apenas um número muito reduzido de eventos pode ser assumido como uma distribuição de valor realmente extremo (IPCC REPORT, 2012).

Para monitorar e detectar as mudanças climáticas de forma confiável os índices devem conter variações que são causadas apenas por processos climáticos. Há dois aspectos a serem considerados na construção desses índices. Primeiro, os dados diários originais devem ser homogêneos, ou seja, estar livre de variações não-relacionadas com o clima, e em segundo lugar, o método de construção dos índices não deve apresentar qualquer variação adicional. Tendo em mãos as estatísticas de uma série histórica, seja por dados observados ou provenientes de modelagem climática, o cálculo dos índices pode ser facilitado através de algoritmos implementados por meio de linguagem de programação, sendo o mais comum o suporte feito pelo FORTRAN. Como os índices são comumente utilizados na detecção de mudanças climáticas e monitoramento, alguns dos *scripts* podem e devem ser modificados dependendo do tipo de pesquisa.

Os índices utilizados por Debortoli et. al (2016) foram calculados pelo grupo de pesquisa do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) coordenado pela pesquisadora Chou Sin Chan (CHOU et al. 2014). Nesta ocasião, a metodologia utilizada no cálculo dos índices foi feita sob a plataforma do programa FCLIMDEX. Importante ressaltar que todas as considerações feitas pelos autores, e aqui apresentadas, são válidas para o presente estudo.

A partir dos índices de extremos de precipitação calculados pelo grupo da pesquisadora Chou Sin Chan do INPE (CHOU et al. 2014), os autores selecionaram alguns índices específicos para os extremos climáticos que representem a dinâmica climática dos extremos de precipitação para as diferentes regiões do Brasil. Os índices selecionados estão descritos nas tabelas 1, a seguir:

Tabela 1 Índices de Extremos de precipitação selecionados para a análise

ID	Descrição	Definição	Unidade
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo de precipitação ocorrido em 1 dia	mm/dia
Rx5day	Quantidade máxima de Precipitação em cinco dias	Máximo de precipitação acumulada em 5 dias consecutivos	mm/5dias
CWD	No. de dias úmidos (RR> consecutivos)	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação diária total em que $RR >$ percentil 95, considerando a estatística de um período (ex: ano)	mm/dia

O índice RX1day indica a máxima precipitação contabilizada na janela de um dia (24h), dentro de um determinado período (ex: mês, estação ou ano). O índice Rx5day é similar ao Rx1day, porém o RX5day indica o máximo de precipitação acumulada, dentro de um período, para uma janela de cinco dias consecutivos. Para as análises daquele estudo, estes dois índices foram calculados anualmente e agrupados por período histórico (1961-1990, 2011-2040, 2041-2070, 2071-2099). O resultado refere-se a média do índice anual para cada um destes períodos.

O índice R95p refere-se à fração total anual de precipitação devido à eventos de chuva acima do percentil 95, ou seja, é quantidade de chuva acumulada nos dias considerados “muito úmidos”. Para regiões tropicais ele normalmente está associado a eventos extremos de chuva que podem produzir inundações bruscas, enxurradas e também deslizamentos. Em análises do clima futuro, é de costume utilizar os dados do *baseline* (1961-1990) como referência para comparações. Nestes casos, o aumento deste índice para o clima futuro significa que as mesmas chuvas consideradas extremas no período histórico acontecerão com maior frequência e/ou em maior magnitude.

Já o índice CWD indica a maior sequência de dias consecutivos úmidos (chuvosos) encontrada dentro do calendário anual. Este índice, quando apresentar valores elevados, pode ser útil para identificar áreas sujeitas a inundações graduais. Quando este índice é baixo (valores em torno de 7 dias) e coincide com elevados índices extremos como o Rx5day, pode indicar que fenômenos extremos de precipitação se dão em uma escala curta de tempo, facilitando a deflagração de deslizamentos de terra (principalmente do tipo planar) e inundações bruscas.

Conforme apresentado, cada índice reflete características de uma localidade em receber um determinado tipo de evento extremo, com suas particularidades e unidades de referência. Por este motivo, estes índices precisam ser retrabalhados

para que possam ser relacionados entre si, a fim de explicitar a dimensão climática da vulnerabilidade. No estudo de Debortoli et. al (2016), os autores sugerem a normalização destes índices (reescalando-os entre 0.00 e 1.00) e propuseram as seguintes equações (1 e 2) para que eles sejam inseridos na análise de vulnerabilidade dos desastres de deslizamentos de terra e inundações, respectivamente:

$$(1.30 * Rx5day + 1.30 * CWD^{inv} + 1.0 * R95p + 0.40 * Rx1 Day)/4 = Vuln_{clim} \quad (1)$$

$$(1.75 * Rx1day + 0.50 * R95p + 0.50 * Rx5day + 0.25 CWD)/3 = Vuln_{clim} \quad (2)$$

No caso da Equação 1 (relacionada com os deslizamentos de terra), os índices Rx5day e o inverso do CWD foram aqueles que tiveram a maior pertinência para a definição da dimensão climática da vulnerabilidade. Isto significa que os locais que recebem eventos de chuvas com grandes volumes que se acumulam em até 5 dias, e que não costumam ter muitos dias consecutivos de chuva (ou seja, eventos severos em um curto período) são aqueles com maior potencial para deflagrar deslizamentos de terra, sob o ponto de vista climático. No caso das inundações, enxurradas e alagamentos (Equação 2), os índices com maior pertinência foram o Rx1day e o R95p, indicando que as chuvas intensas que acontecem dentro de um período de 24h (ou menos) e as localidades onde os dias “muito úmidos” são caracterizados por altos volumes pluviométricos são os principais fatores climáticas para deflagrar inundações bruscas, enxurradas e alagamentos.

Ressalta-se que estas mesmas Equações serão utilizadas para estrutura o índice de Impacto Potencial elaborado especificamente para a presente consultoria. No entanto, o detalhamento desta etapa está apresentado em itens posteriores.

2.1.2. Dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade

2.1.2.1. Inundações, enxurradas e alagamentos

Para a avaliação da dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade aos desastres naturais envolvendo inundações, enxurradas e alagamentos, Debortoli et. al (2016) organizaram uma base de dados espaciais que pudesse representar, em âmbito nacional, fatores que estivessem ligados direta e indiretamente a ocorrência destes fenômenos. Para tal, os autores utilizaram mapas e dados de domínio público que

estivessem disponível para o manuseio em ambiente SIG, ou seja, no formato vetorial (*shapefile*) ou matricial (*Raster*), devidamente georreferenciados.

Nesta etapa, alguns procedimentos metodológicos comumente utilizados para o mapeamento da suscetibilidade a inundações bruscas não puderam ser aplicados (ex: ALCANTARA e ZEILHOFER, 2006; IPT, 2007; KRUSDLO 2010; CERU 2012 entre outros), devido à escala adotada para a análise da vulnerabilidade (20km, que é a resolução dos dados climáticos utilizados). Muitos dos métodos convencionais utilizam modelos digitais de terreno de alta resolução e mapeamentos de base em escala de detalhe (maior que 1:50.000) para aplicar os modelos conceituais. Entretanto, esta etapa não poderia ser realizada sob esta mesma perspectiva, pois, para este trabalho, o objetivo era um sub-índice de vulnerabilidade físico-ambiental a inundações que fosse compatível com as outras dimensões da vulnerabilidade e que fosse representativo em escala nacional. Portanto, algumas variáveis que são convencionalmente utilizadas (ex: declividade) foram descartadas.

Por outro lado, o sub-índice gerado poderia deixar de representar a vulnerabilidade físico-ambiental em algumas regiões em que as características se desenvolvem em uma espaço menor que 20km. Entretanto, esta limitação foi contornada por ter sido implementado na análise a base de dados o trabalho feito pela Agência Nacional de Águas, o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014). Este trabalho foi realizado para todo território nacional e possui catalogado os principais corpos d'água que deflagram inundações severas, que foram devidamente classificados em níveis de vulnerabilidade diferentes (baixo, médio e alto). Desta forma, a integração das demais variáveis foi feita de forma a complementar estas informações do Atlas fornecido pela ANA (2014), levando em consideração principalmente o coeficiente de escoamento superficial e a suscetibilidade natural das regiões perante sua rede de drenagem. Desta forma, os mapas e variáveis foram utilizados nesta etapa foram:

- Mapa de Rodovias – parte integrante do Mapeamento Sistemático do IBGE, com base contínua ao milionésimo, com escala original de 1:250.000. O *shapefile* obtido divide as rodovias em duas classes: pavimentadas e não-pavimentadas. Estas classes foram separadas e gerou-se um novo produto, no formato *Raster*, para cada uma delas, onde se calculou a densidade de estradas (km/km²). Em seguida, os dois mapas de densidade de estradas foram somados, onde as estradas pavimentadas tiveram peso 2, enquanto as não-pavimentadas tiveram peso 1, de modo que o resultado pode ser observado na Figura a . O objetivo da implementação desta variável é devido à relação entre regiões com alta densidade de estradas serem mais urbanizadas que regiões com pouco acesso. Além disso, locais onde existem a

convergência de rodovias caracterizam pólos industriais ou de desenvolvimento, como metrópoles, que são áreas amplamente antropizadas. Nestas localidades, houve a intensificação dos processos que promovem o escoamento superficial, alterando-se as condições naturais e, desta forma, favorecendo a ocorrência de inundações. Neste sentido, as rodovias pavimentadas possuem uma maior representatividade, pois determinam eixos de maior desenvolvimento quando comparado com as não pavimentadas.

- Uso do Solo, referente ao Mapeamento Sistemático do Uso da Terra elaborado pelo IBGE na escala 1:250.000. Todas as 30 classes encontradas receberam um peso (ponderação) na escala de 0.00 (menos vulneráveis) até 1.00 (mais vulneráveis), utilizando como critério as características de cada uso que interferem no coeficiente de escoamento superficial, bem também com a sua fragilidade (quando o uso é econômico) em receber fenômenos de inundações, conforme pode ser observada na Tabela 1. Este tipo de análise é chamada de Análise Hierárquica (AHP), criada por SAATY (1977), e consiste em construir uma escala de importância entre os fatores analisados e posteriormente colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os mesmos (BERGER et al. 2007). O mapa gerado nesta etapa, com as classes devidamente ponderadas, está apresentado na Figura 4b.

Tabela 1 - Ponderação das classes de uso do solo encontradas no mapeamento fornecido pelo IBGE

Classes de Usos diversificados do Solo	Peso
Área com menos de 10% de ocupação por estabelecimentos agropecuários	0.05
Matas/Florestas	0.05
Mata/Florestas + Outros usos	0.05
Matas/Florestas naturais	0.10
Sistemas agroflorestais	0.10
Mata/Florestas + Sist. Agroflorestais	0.10
Pastagens Plantadas	0.12
Florestas Plantadas	0.15
Sistemas agroflorestais + usos diversificados	0.15
Mata/Florestas + Pastagens	0.20
Lavouras	0.25
Lavouras Permanentes	0.25
Outras Coberturas	0.25
Mata/Florestas + Lavouras	0.30
Área entre 25%-10% de ocupação por estabelecimentos agropecuários	0.35
Lavouras + Matas/Florestas	0.35
Pastagens Naturais	0.35
Pastagens +Matas/Florestas	0.40
Outras Coberturas + usos diversificados	0.40
PASTAGENS + Sist. Agroflorestais	0.40
Usos diversificados	0.45
Área entre 50%-25% de ocupação por estabelecimentos agropecuários	0.50
Pastagens + outros Usos	0.50
Lavouras + Pastagens	0.55
Lavouras + Sist. Agroflorestais	0.55
Pastagens + Lavouras	0.65
Lavouras + outros usos	0.65
Pastagens	0.70
Lavouras temporárias	0.80
Área Urbana	0.95

De forma geral, as áreas menos antropizadas recebem um peso menor, sendo as áreas de florestas naturais aquelas com a menor suscetibilidade, seguido para os usos mistos que contenham vegetação natural, sistemas agroflorestais, lavouras permanentes. Maiores alterações quanto ao coeficiente superficial são observados em pastagens e usos mistos que a contenham, sendo a maior alteração nas manchas urbanas. No caso das lavouras temporárias, o alto valor atribuído deve-se a alta vulnerabilidade que este uso econômico possui ao ser atingido por inundações, que

acarretam, muitas vezes, na perda de todo cultivo anual. Estes pesos são baseados nestes critérios apresentados, mas também foi feita uma análise de correlação visual com o *Atlas de Desastres Naturais do Brasil Envolvendo Inundações Bruscas e Alagamentos* (CEPED 2012), como forma parcial de validação.

- Hidrografia (Cursos d'água) do Brasil, parte integrante do Mapeamento Sistemático do IBGE, com base contínua ao milionésimo, com escala original de 1:250.000. Foi calculada diretamente (em ambiente SIG) a densidade destes vetores lineares (cursos d'água em km/km^2). o produto gerado foi normalizado em uma escala de 0.00 até 1.00 (Figura 4c), uma vez que considera-se a relação da densidade de drenagem diretamente proporcional com vulnerabilidade a inundações bruscas . A importância de utilizar a densidade de drenagem na análise de vulnerabilidade a inundações é apresentada em diversos trabalhos, tais como CASTILHO e GIOTTO (2004), ALCANTARA e ZEILHOFER, (2006); KRUSDLO (2010); NOAA (2010b), entre outros. Regiões com alta densidade de drenagem refletem características geomorfológicas e hidrológicas que favorecem a o fenômeno da inundações pois, naturalmente, esta alta densidade de drenagem é produto de uma interação do relevo e clima que se fez durante milhões de ano e está diretamente interligada com um alto escoamento superficial, muitas vezes com grande velocidade (HORTON, 1945). Em síntese, quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge os corpos d'água, incrementando o efeito de inundações a jusante da sub-bacia. Em regiões com substrato rochoso e pedológico mais permeável, a capacidade de formação de canais é reduzida, diminuindo a densidade de drenagem.

- Atlas de Vulnerabilidade a Inundações, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014). Elaborado a partir da base cartográfica ortocodificada de hidrologia na escala ao milionésimo onde existem os campos que definem o curso d'água, a frequência de ocorrência, o grau de impacto e a respectiva vulnerabilidade. Os corpos d'água com vulnerabilidade alta, média e baixa foram separados e calculou-se a densidade de drenagem para cada grupo para tivessem pesos diferentes na elaboração do produto que seria gerado. Em seguida, somou-se as três densidades de drenagem estabelecendo peso 3 para a classe alta, peso 2 para classe média e peso 1 para classe baixa. O resultado foi normalizado em de 0.00 até 1.00 (Figura 4d). O critério para a utilização desta base de dados é o mesmo que aquele apresentado anteriormente para a Densidade de Drenagem, de forma que há uma diferenciação e hierarquização daqueles corpos d'água que já foram catalogados como os mais vulneráveis do Brasil pela ANA.

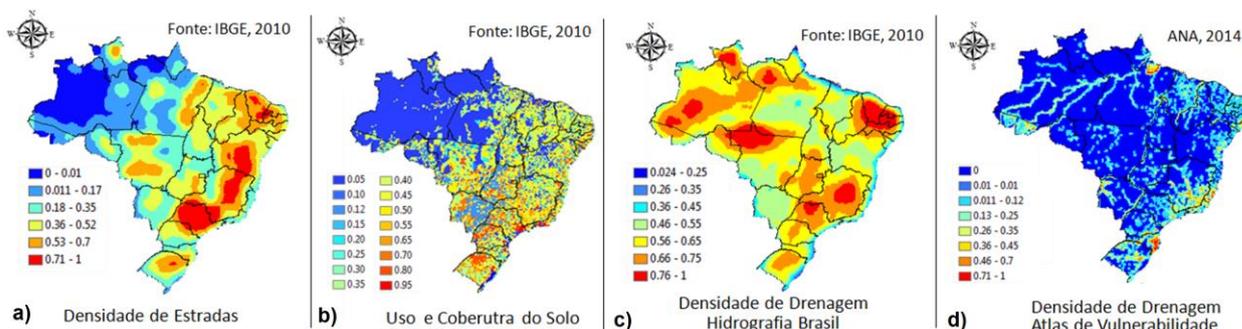


Figura 4 - Base de dados trabalhada e normalizada para compor a dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade a desastres envolvendo inundações bruscas, enxurradas e alagamentos. Fonte: Debortoli et. al (2016)

Ao final da etapa de validação e elaboração do índice de vulnerabilidade, Debortoli et. al (2016) chegaram à uma equação simples para representar a dimensão físico-ambiental relacionada às inundações, enxurradas e alagamentos (Equação 3)

$$(1.50 * DDren_{Atlas} + 0.25 * DDren_{BR} + 0.50 * Dens_{Est} + 0.75 * Uso)/3 = Vuln_{Fis.Amb} \quad (3)$$

Pela Equação 3, nota-se que a variável derivada do Atlas de Vulnerabilidade à Inundações (ANA) teve o maior peso para definir esta dimensão da vulnerabilidade, seguido do Uso do Solo (ponderado). A densidade de drenagem derivada do Atlas recebeu este peso porque justamente representa espacialmente grande parte das regiões que são afetadas por impactos causados por inundações e, portanto, é bastante condizente.

Importante ressaltar que a Equação 3 será utilizada no cálculo de índice de Impacto Potencial criado para esta consultoria, mas com algumas adaptações para atender a estrutura metodológica aplicada ao presente trabalho. Estas adaptações e as considerações feitas estarão apresentadas nos itens posteriores.

2.1.2.2. Deslizamentos de Terra

Na avaliação da dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade aos desastres naturais envolvendo deslizamentos de terra, Debortoli et. al (2016) estabeleceram uma base de dados espaciais que pudesse representar, em âmbito nacional, fatores que estivesse ligados direta e indiretamente a ocorrência destes fenômenos. Para tal, buscou-se mapas e dados de domínio público que relacionassem principalmente os fatores condicionantes mais importantes na análise de movimentos de massa (sobretudo deslizamentos de terra) que pudessem ser manuseados e representados

em escala nacional. Basicamente, os fatores elencados para esta etapa que são aqueles relacionados à topografia e relevo.

Declividade: esta é uma das variáveis mais importantes na análise de suscetibilidade a movimentos de massa, principalmente pela sua forte relação com a deflagração deslizamentos de terra. Tem sido utilizada em praticamente todos os trabalhos de avaliação de risco ou vulnerabilidade a movimentos de massa, tais como CAMARINHA ET AL. (2014), BINDA E r (2007), CREPANI (2001); CROZIER AND VAUGHAN (1990); DIETRICH AND DUNNE (1998); entre outros. Terrenos com declividades mais acentuadas tende a ter solos rasos e jovens, algumas vezes com materiais inconsolidados, normalmente com alta permeabilidade nas camadas superficial e que diminuem abruptamente devido ao substrato rochoso, ou camadas de solo impermeáveis, estarem próximas a superfície. Estas diferenças de permeabilidade criam fluxos preferenciais da água na sub-superfície, que facilitam a movimentação da água paralelamente a direção da encosta. Este fluxo, juntamente com a diminuição de alguns parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento (como a coesão) e o sobrepeso da água, facilita com que as condições de atrito estático sejam vencidas e a encosta possa vir a deslizar. Maiores declividades significam também que os movimentos de terra causados podem atingir uma maior velocidade de deslocamento, tornando-se também aqueles com maior potencial destrutivo (ANBALAGAN, 1992).

Para seu uso nesta análise, esta variável foi calculada a sua espacialização através dos dados de altimetria do SRTM, com resolução espacial de 90m. Foi gerado um *Raster* de mesma resolução espacial, onde o resultado foi uma matriz de valores contínuos que variam de 0° até 30° para o território brasileiro. É preciso destacar que resultado do mapa de declividade com a resolução de 90m não permite uma boa representação das características do relevo para que fosse possível fazer relações diretas com a suscetibilidade a deslizamentos sob critérios puramente geotécnicos que, normalmente, se baseariam em declividades calculadas diretamente nas encostas. Ao calcular a declividade utilizando o SRTM, os maiores valores encontrados se referem a declividades entre 25° e 30°, que correspondem a pequenas localizações, quase pontuais, e que não representam bem as regiões com relevo acidentado. Por outro lado, 90% do território nacional apresentam declividade menor que 5°, sendo que apenas uma parte do litoral do Sul e Sudeste e o norte de Roraima conseguem apresentar declividades superiores a estes valores. Ou seja, nas regiões montanhosas – que é justamente onde os deslizamentos ocorrem com maior frequência - a variação da declividade é muito abrupta e acontece em uma espaço geográfico pequeno, que não consegue ser refletido no mapa gerado.

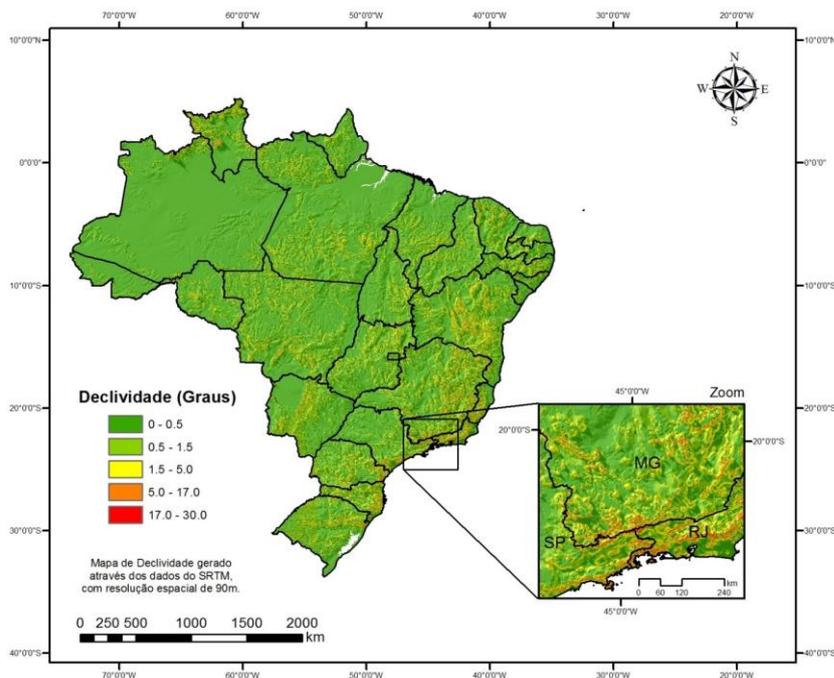


Figura 2 - Mapa de Declividade gerado a partir dos dados de altimetria do SRTM, resolução de 90m. No canto inferior direito, um zoom para representar a variabilidade espacial da declividade em locais com relevo acidentado (Debortoli at. Al, 2016)

Sendo assim, os autores sugeriram que houvesse a categorização da declividade levando em consideração estes aspectos, pois normalmente declividades superiores a 30° e 45° são aquelas consideradas mais críticas para a deflagração dos deslizamentos de terra, mas que não são detectadas pela resolução de 90m. Portanto, realizou-se o fatiamento dos dados contínuos de declividade, para que depois fosse feito a ponderação (atribuição de pesos) em as classes temáticas. O produto final de declividade foi uma malha com valores entre 0.00 e 1.00, onde os valores contínuos do mapa apresentado na Figura 2 foram substituídos por classes ponderadas que seguiram os critérios apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorização e ponderação da declividade em Debortoli at. al (2016).

Declividade (graus)	Classe	Peso
0 - 0.5	<i>Plano</i>	0.00
0.5 - 1.5	<i>Levemente ondulado</i>	0.10
1.5 - 5.0	<i>Ondulado</i>	0.25
5.0 - 17.0	<i>Altamente ondulado</i>	0.70
17.0 - 30.0	<i>Montanhoso</i>	1.00

Mapa de Relevo: Desenvolvido pela Diretoria de Geociências (IBGE/DGC) e Embrapa - Solos e adquirido no site do IBGE (2010). Nesta base de dados, existem cerca de 167 unidades de relevo que foram identificadas com a utilização de diferentes tipos de sensores (imagens de radar, imagens de satélite Landsat), tecnologias de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e geoprocessamento. Entretanto, para o cálculo do índice de vulnerabilidade aos deslizamentos de terra, utilizou-se apenas a classificação de 7 compartimentos de relevo.

A ponderação das classes temáticas do Mapa de Relevo foi feita tomando-se como base as principais características de cada unidade de compartimentação. Da mesma forma que todos os outros layers utilizados no cálculo do índice de vulnerabilidade, foram atribuídos pesos entre 0.00 e 1.00 para estas classes, conforme apresentado na própria legenda da Figura. O critério para definir os pesos foi a relação do tipo de relevo com características topográficas que promovem a deflagração deslizamentos de terra. Ou seja, relevos mais acidentados e que podem apresentar grandes declividades e amplitudes em suas encostas recebem um peso maior do que aqueles que possuem características planas e de pouca variação altimétrica (declividade).

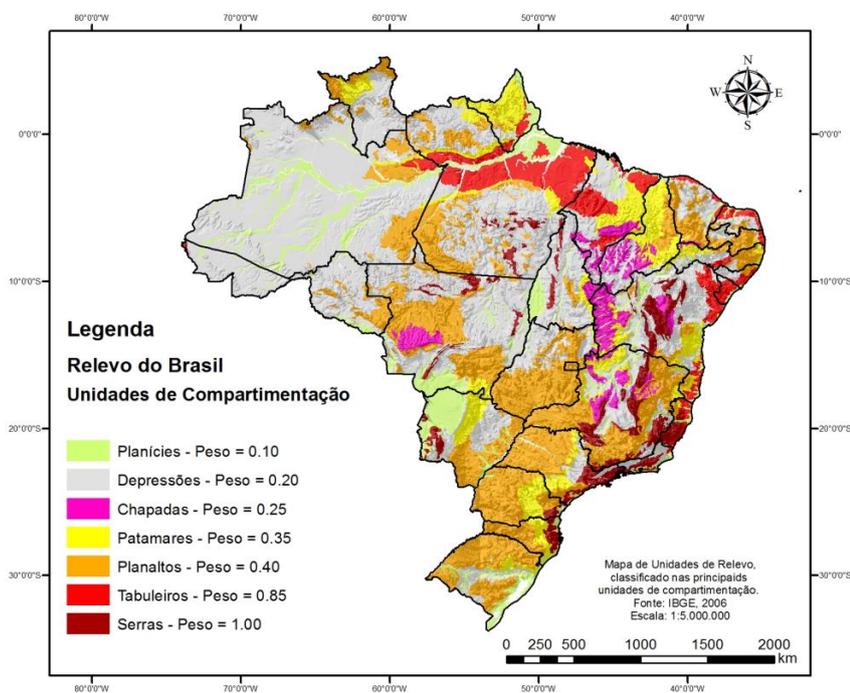


Figura 3 - Mapa de Relevo e suas classes ponderadas sob o critério de vulnerabilidade a desastres relacionados a movimentos de massa utilizado em Debortoli et al. (2016).

Ao final da etapa de validação e elaboração do índice de vulnerabilidade, Debortoli et al (2016) chegaram à uma equação simples para representar a dimensão físico-ambiental relacionada aos deslizamentos de terra, dada pelo Equação 4:

$$(2.0 * \textit{Declividade} + 2.0 * \textit{Relevo})/4 = \textit{Vuln}_{\textit{Fis.Amb}} \quad (4)$$

A Equação 4 representa uma igualdade de pertinência das duas variáveis em estimar a vulnerabilidade físico-ambiental, de modo que a declividade e as unidades de relevo possuem o mesmo peso dentro do modelo. Ressalta-se que esta não será, necessariamente, a mesma equação utilizada para compor o Índice de Impacto Potencial criado para esta consultoria, mas está aqui apresentada porque servirá de base para os desdobramentos metodológicos que estão apresentados nos itens posteriores.

2.1.1. Dimensão socioeconômica da vulnerabilidade

Tendo em vista os direcionamentos obtidos através da literatura e definições previamente apresentadas, a etapa seguinte demandou da aquisição e organização de uma base de dados que permitisse a aplicação do índice para todo o Brasil. Neste aspecto, é importante ressaltar que o Brasil não possui uma base de dados sociais especificamente para o interesse em questão, fazendo com que a construção do índice seja baseada em indicadores e variáveis socioeconômicas levantados para outras finalidades.

Para tal, escolheu-se a base de dados disponibilizada pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013, que é uma plataforma de consulta ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM - dos 5.565 municípios brasileiros, além de mais de 180 indicadores de população, educação, habitação, saúde, trabalho, renda e vulnerabilidade, com dados extraídos dos Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010.

Dentre os 180 indicadores, elencou-se àqueles que possuíam relação direta com a vulnerabilidade socioeconômica relacionada aos desastres naturais. Embora muitos destes indicadores refletissem outros tipos de fragilidades e dificuldades, poucos foram aqueles que se enquadram diretamente com as diretrizes firmadas na literatura. Por exemplo, os indicadores que envolvem educação, quando observados de maneira única, não são capazes de relacionar algum tipo de característica da sociedade que contemple diretamente em facilidades ou dificuldades destes grupos em receber os impactos dos desastres, pois as informações disponibilizadas são

expostas por faixas etárias (ex: taxa de analfabetismo entre 11 e 14 anos). Para conseguir definir o grau de significância destes indicadores perante a vulnerabilidade, como um todo, este tipo de análise amplamente complexa demandaria de um aprofundamento nesta temática que foge do escopo da Terceira Comunicação Nacional. Por outro lado, considera-se que estas componentes da vulnerabilidade não poderiam ser completamente excluídas da análise e, por isso, o primeiro indicador utilizado é o próprio IDHm, que se trata do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) adaptado para o nível municipal, e que sintetiza vários indicadores de subáreas de interesse para a análise. Para compreender melhor este índice, seguem as informações transcritas do próprio Atlas.

O IDHm brasileiro segue as mesmas três dimensões do IDH Global – longevidade, educação e renda, mas vai além: adequa a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores nacionais. Embora meçam os mesmos fenômenos, os indicadores levados em conta no IDHM são mais adequados para avaliar o desenvolvimento dos municípios brasileiros. Para aferir o nível de desenvolvimento humano dos municípios, as dimensões são as mesmas do IDH Global – saúde, educação e renda –, mas alguns dos indicadores usados são diferentes. O IDHm também varia entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo). As principais diferenças entre o IDH global e o IDHm podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3 - Diferenças básicas entre o IDH global e o IDHm (Fonte: PNUD, 2013).

	LONGEVIDADE	EDUCAÇÃO		RENDA
		População Adulta	População Jovem	
IDHM Brasil	Esperança de vida ao nascer	18+ com fundamental completo	5-6 na escola 11-13 nos anos finais do fundamental 15-17 com fundamental completo 18-20 com médio completo	Renda mensal per capita (em R\$ ago/2010)
IDH Global	Esperança de vida ao nascer	Média de anos de estudo de 25+	Anos Esperados de Estudos	Renda Média Nacional per capita (US\$ ppp2005)

Assim como no IDH global, o IDHM Educação é uma composição de dois indicadores: um indicador fornece informação sobre a situação educacional da população adulta e um referente à população em idade escolar (jovens). Entretanto, as variáveis são outras. No caso da população adulta, a média de anos de estudo de pessoas de 25 anos ou mais, tal como é medido no IDH Global, não pode ser obtida das informações do Censo 2010 e foi substituída pela proporção da população adulta de 18 anos ou mais que concluiu o ensino fundamental. Este indicador permite uma boa avaliação do nível de carência da população adulta em relação à escolaridade considerada básica (nível fundamental). No caso da população jovem, a metodologia aplicada pelo IDH Global a partir de 2010 – a expectativa de vida escolar – é uma medida de retenção das pessoas na escola, independentemente da repetência, e inclui o ensino superior. A adaptação do IDHM para os contextos nacional e municipal foi feita com uma combinação de 4 indicadores que permitem verificar até que ponto as crianças e os jovens estão frequentando e completando determinados ciclos da escola. O sub-índice resultante, o fluxo escolar da população jovem, é a média aritmética do percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola, do percentual de jovens de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental (6º ao 9º ano), do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e do percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo. Enquanto o IDH Global calcula o componente renda pela Renda Nacional Bruta per capita, em poder de paridade de compra (ppp, Banco

Mundial 2005), o IDHM Renda considera a renda municipal per capita, ou seja, a renda média mensal dos indivíduos residentes em determinado município, expressa em Reais por meio da renda per capita municipal. Assim como o IDH Global, o IDHM Longevidade é calculado pela esperança de vida ao nascer, ou seja, o número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento, mantidos os mesmos padrões de mortalidade observados no ano de referência. Quando comparamos ambos os índices, um fator importante a ser destacado é a fonte de dados. Para o cálculo do IDHM, todos os dados foram extraídos dos Censos Demográficos do IBGE, ao passo que o IDH Global traz dados do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU, Instituto de Estatísticas da UNESCO, Banco Mundial e Fundo Monetário Internacional. A opção por restringir as informações municipais a uma única fonte garante a maior comparabilidade entre os 5.565 municípios do país.

Para utilizar o IDHm como parte do sub-índice de vulnerabilidade socioeconômica, foi preciso reajustá-lo. Por ser um índice de 0.00 até 1.00, onde os maiores valores representam municípios com as melhores características de desenvolvimento humano (quanto maior, melhor), foi feita uma transformação para que este indicador se relacionasse com os demais, uma vez que sua grandeza é inversamente proporcional a vulnerabilidade. Desta forma, calculou-se o quão longe de uma situação ideal os municípios se encontram, através da diferença algébrica do IDHm para alcançar o valor 1.00 . Esta diferença de valores representa o quão próximo ou distante cada município está de alcançar o ponto máximo de desenvolvimento, o qual, muito provavelmente, as vulnerabilidades existentes seriam mínimas. Além do IDHm, foram escolhidos outros 6 indicadores deste mesmo levantamento. Dentre os 180 indicadores que estavam disponibilizados na base do PNUD, elencou-se aqueles que provavelmente possuíam relação mais direta com a vulnerabilidade socioeconômica, no que tange os desastres naturais. Embora muitos destes indicadores refletissem outros tipos de fragilidades e dificuldades, poucos foram aqueles que se enquadram diretamente com o objetivo em questão, que foram:

- **PPOB** – Porcentagem de pessoas na classe de pobreza;
- **PVULPOB** – Porcentagem de pessoas vulneráveis a entrar na classe de pobreza;
- **PEXTPOB** – Porcentagem de pessoas extremamente pobres;
- **PSAGUAESG** – Porcentagem de pessoas sem acesso a serviços de água e esgoto;
- **PPAREDE** – Porcentagem de pessoas que residem em habitações com paredes impróprias;
- **PSENERG** – Porcentagem de pessoas sem acesso a energia elétrica

Todos estes indicadores refletem, de alguma forma, uma tipo de fragilidade dos grupos sociais mais atingidos pelos desastres que envolvem inundações e movimentos de massa no Brasil. Mesmo sabendo que em alguns desastres as classes

sociais mais favorecidas também podem ser impactadas, como no caso da Região Serrana no Rio de Janeiro em 2011, a grande maioria acaba impactando mais fortemente a população de baixa de renda e marginalizada, que será o foco da análise que se segue. Como dito anteriormente, utilizar dados em âmbito nacional acarreta em algumas limitações que, entretanto, podem ser contornadas em etapas futuras para casos específicos, obtendo-se mais detalhes ou agregando detalhes pontuais em situações em que se tem um bom conhecimento prévio.

No que se refere aos 6 indicadores previamente elencadas, todas elas refletem uma porcentagem vulnerável da população que, ao ser impactada por ameaças naturais de alta severidade, poderão entrar em colapso e ter grandes dificuldades para retomar à situação precedente. Devido ao fato de que algumas destas variáveis podem contemplar uma parcela da população que também aparece em outra variável (por exemplo, um mesmo grupo social pode pertencer a classe *extremamente pobre* e residir em habitações sem água e esgoto), estas variáveis são somadas e divididas por seis, para que o resultado seja uma média linear simples que represente uma parte do sub-índice de vulnerabilidade socioeconômica.

Como são valores em porcentagem, esta média composta pelos 6 indicadores poderá ser um valor que varia entre 0.00 (zero), que seria uma situação ideal, onde o município não apresentaria nenhuma parcela da sua população entre as classes menos favorecidas ou sem acesso aos serviços e condições de habitação inadequadas – e 1.00 (um), que seria a situação contrária e extremamente vulnerável do ponto de vista social. Entretanto, após o cálculo foi verificado que este sub-índice varia de 0.004 (Carlos Barbosa, RS) até 0.669 (Uiramutã, RR) para os municípios brasileiros.

Além destes 6 indicadores, e do IDHm, os autores também inseriram o índice GINI como parte integrante da vulnerabilidade socioeconômica. Este índice mede o grau de desigualdade social existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda). A importância deste índice está justificada nos itens anteriores, sobretudo a referência Veen et al., (2009), que ressaltam a desigualdade social como um dos fatores propulsores da marginalização de certos grupos sociais, que podem facilmente vir a habitar locais inadequados onde o risco a inundações e movimentos de massa se faz presente, devido aos processos de segregação social e especulação imobiliária. Além disso, segundo Valencio (2008), a desigualdade torna mais perceptível onde estão localizados os grupos mais vulneráveis, mas, entretanto, esta percepção, dentro das

atuais políticas implementadas, não resolvem a problemática e ainda podem acentuar a desigualdade conforme os desastres acontecem ciclicamente.

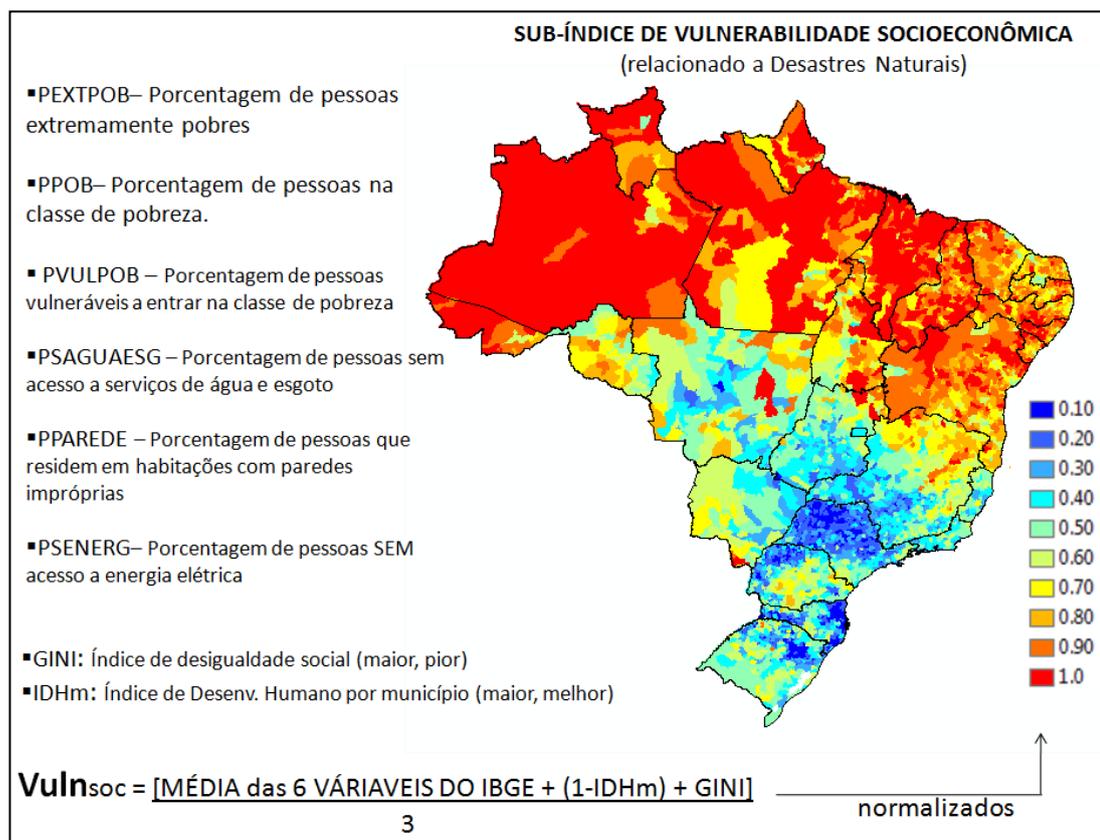


Figura 4 - Mapa com a espacialização do sub-índice de vulnerabilidade Socioeconômica, elaborado especificamente para subsidiar parte da análise de vulnerabilidade dos municípios brasileiros a desastres naturais hidrometeorológicos. Fonte: Debortoli et. al (2016)

2.1.2. Considerações sobre o índice de vulnerabilidade de Debortoli et. al (2016)

A partir dos resultados das dimensões climática, físico-ambiental e socioeconômica, Debortoli et. al (2016) estruturam seu índice de vulnerabilidade. Nesta ocasião, os autores relacionaram as três dimensões de forma simples, onde a dimensão climática soma-se à dimensão físico-ambiental e o resultado desta interação é “amortecido” pelo inverso da vulnerabilidade socioeconômica. Esta forma de relação entre as dimensões assemelha-se com o framework de vulnerabilidade apresentado pelo IPCC (2013), que sugere que da interação entre a componente climática (vetor denominado como exposição) com a físico-ambiental (denominado, em partes, como sensibilidade) tem-se os impactos potenciais. Estes impactos podem ser minimizados pela capacidade adaptativa dos sistemas humanos, que seria o equivalente ao inverso

da vulnerabilidade socioeconômica apresentado por Debortoli et. al (2016). Porém, é sabido que a maior lacuna existente nos estudos que tratam de índices de vulnerabilidade aos impactos decorrentes das mudanças climáticas é a respeito da caracterização da capacidade adaptativa. Esta limitação deve-se, principalmente, à forma com que a capacidade adaptativa é, de fato, expressada e pela falta de dados em escala nacional que a represente, uma vez que a mesma depende diretamente de fatores de governança, políticas públicas, projetos e ações específicas voltadas para o conhecimento dos riscos inerentes às mudanças climáticas e para sua diminuição de forma antecipada. Também por este motivo, o índice sugerido especificamente para esta consultoria não terá o enfoque na vulnerabilidade, como teve Debortoli et. al (2016), mas, sim, nos impactos potenciais, com o intuito de indicar justamente os locais que demandam uma maior capacidade adaptativa e, conseqüentemente, de um maior direcionamento de iniciativas associadas.

3. PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO DOS ESTUDOS E PADRONIZAÇÃO

Este item apresenta as principais etapas metodológicas e conceitos sugeridos para a elaboração do índice de Impacto Potencial, a ser utilizado no âmbito desta consultoria. Embora o índice seja baseado no trabalho de Debortoli et. al (2016), para o presente estudo sugere-se que sejam implementadas diversas adaptações, com o intuito de melhorar os resultados obtidos e apresentá-los em uma escala mais adequada para subsidiar os gestores públicos. A seguir estão elencadas as principais alterações que culminaram no índice de impacto potencial:

- O índice para esta consultoria não é focado na vulnerabilidade propriamente dita, mas, sim, nos impactos potenciais. Esta alteração é a mais relevante para as próximas etapas de trabalho, pois permitirá que os resultados não tenham o viés dos indicadores socioeconômicos (por exemplo, o IDH, índice GINI de desigualdade social, taxa de analfabetismo, etc.) utilizados nos estudos pretéritos para representar indiretamente a capacidade adaptativa dos municípios. Esta alteração se faz necessária porque, ao assumir a hipótese de que tais indicadores socioeconômicos estão de fato relacionados com a capacidade de um município em se adaptar, automaticamente estaríamos pressupondo que a diminuição da vulnerabilidade poderia acontecer apenas com políticas públicas que fossem voltadas para a melhoria de tais indicadores. Na verdade, uma determinada comunidade ou município pode se tornar mais adaptada (no sentido de reduzir os impactos) se houver melhorias na Educação, na Saúde, Saneamento Básico, na distribuição de renda, etc. No entanto, já existem outras iniciativas e políticas setoriais específicas para tratar destas diretrizes e que não fazem parte do escopo proposto pelo MMA. Portanto, tais métricas podem mascarar a identificação dos municípios mais críticos e que demandam de ações, programas e estratégias específicas tanto para a adaptação aos impactos inerentes às mudanças do clima quanto para redução dos riscos já existentes.
- Visto o que foi apresentado no item anterior, sugere-se que a capacidade adaptativa (sub-índice) não seja mais parte integrante do índice. O resultado, focado na avaliação dos impactos potenciais, servirá justamente para indicar quais áreas demandam de uma maior capacidade adaptativa para diminuir sua vulnerabilidade e, portanto, dará suporte para o direcionamento de recursos voltados para esta natureza.

- Sugere-se que resultado final seja agregado por município, padronizado, permitindo comparações e melhor identificação de áreas prioritárias;
- Os índices para deslizamentos de terra e inundações devem ter o foco nas áreas urbanas (e não toda a extensão territorial do município), tornando a análise mais objetiva e direcionada para onde está, de fato, a grandiosa maioria das mortes e prejuízos econômicos relacionados à estes dois tipos de ameaças;
- Horizonte temporal definido em 2011-2040, como forma de subsidiar especificamente os próximos planos plurianuais orçamentários;
- Validação, comparação dos resultados e direcionamento de ações estratégicas baseadas na atuação do setor de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, especialmente do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden);

3.1. Framework de Vulnerabilidade recomendado pelo IPCC

O framework utilizado para a construção do índice de impacto potencial utilizado desta consultoria se baseia na definição utilizada pelo IPCC no relatório AR4, o qual define a vulnerabilidade conforme ilustrado na Figura 5, a seguir:

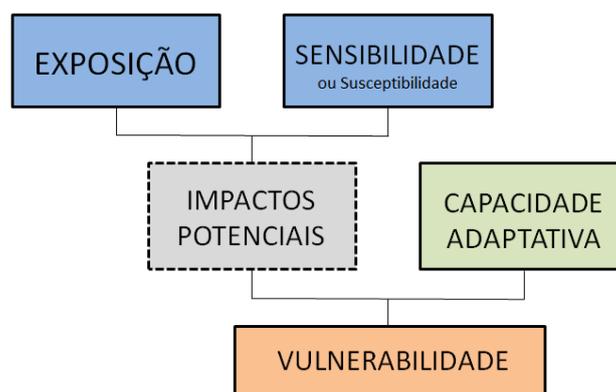


Figura 5 - Framework representativo para definição da vulnerabilidade, no contexto de mudanças climáticas. Fonte: adaptado de IPCC (2013).

O vetor exposição foi definido neste trabalho como a natureza e a intensidade do estresse ambiental (climático) sobre um território ou sistema humano. As características desse estresse incluem a sua magnitude, frequência, duração e a abrangência espacial. No contexto das mudanças climáticas, está diretamente relacionada com as variações do clima futuro quando comparado com o comportamento observado em um período de referência que, neste trabalho, é

denominado de *baseline*, sendo este compreendido entre 1961-1990. Para o presente estudo, o vetor exposição será representado por um sub-índice e seguirá o mesmo modelo (equação) do trabalho de Debortoli et. al (2016), que foram apresentadas no item 2.1.1 pelas Equações 1 e 2. Portanto, o vetor aqui chamado de exposição é equivalente à dimensão climática da vulnerabilidade utilizada em Debortoli et. al (2016).

A sensibilidade é definida como a intensidade com a qual um sistema pode sofrer danos, ou ser afetado por perturbações (no caso, climáticas), levando em consideração suas características intrínsecas, representando como o sistema responde no presente. Este vetor será representado por variáveis que possam refletir espacialmente a suscetibilidade aos processos de i) inundações bruscas, enxurradas e alagamento e ii) deslizamentos de terra. Para estes dois tipos de ameaças naturais há uma forte interferência das atividades antrópicas em induzir tais processos, sendo ideal implementar na análise alguma variável que possa explicitar esta relação. Para isto, sugere-se utilizar, nos dois casos, a densidade populacional urbana como um dos componentes para definir não somente a suscetibilidade (induzida) de cada município, mas também por ela ser parcialmente representativa da magnitude de um possível impacto, conforme apresentado em alguns estudos que correlacionam impactos de desastres e densidade populacional (PBMC, 2016). Ou seja, assume-se que no Brasil as regiões urbanizadas densamente povoadas apresentam diversas características que corroboram para o aumento dos impactos potenciais, sobretudo quando esta situação coexiste com um planejamento urbano ineficiente (ou inexistente), sobretudo nas periferias; com a desigualdade social; com falta de acesso à educação; com gestão inadequada de bacias hidrográficas, entre outros, pois estes são fatores diretamente ligados com os processos sociais que estabelecem populações vivendo em áreas de risco (ONU-Habitat, 2012).

Obviamente que estas premissas não se aplicam na integralidade para todos os municípios brasileiros, havendo aqueles que demonstram características diferentes para lidar com os desastres naturais. No entanto, estas considerações representam a grande maioria dos casos, sobretudo dos grandes centros urbanos e, portanto, devem ser aplicadas com o conhecimento destas ressalvas e exceções para que o resultado final não haja interpretações enviesadas. Desta forma, o sub-índice de sensibilidade para esta consultoria é análogo à dimensão da vulnerabilidade físico-ambiental sugerido por Debortoli et. al (2016), **contando com a inserção da densidade populacional urbana em sua estrutura.**

Já a capacidade de adaptação é uma componente que representa a habilidade dos sistemas humanos em minimizar, abrandar, preparar e se recuperar dos impactos

futuros, de forma antecipada. Conforme explicado no item anterior, a capacidade adaptativa é extremamente difícil de ser mensurada para todo território brasileiro, pois está fortemente ligada à fatores de governança, políticas públicas, projetos e ações específicas voltadas para o conhecimento dos riscos inerentes às mudanças climáticas e para sua diminuição de forma antecipada.

Portanto, considerando o escopo desta consultoria, a capacidade adaptativa não contará com um sub-índice que a represente, de modo que o resultado final, expressado na forma de **impacto potencial**, servirá justamente para apontar quais são as áreas prioritárias que devem ter alocação de recursos públicos para aumentar a capacidade dos municípios e comunidades se adaptarem.

Considerando o que foi exposto nos últimos parágrafos e o que está apresentado na Figura 5, tem-se que a exposição e a sensibilidade dos sistemas humanos são componentes diretamente proporcionais aos impactos potenciais: quanto maior a exposição e a sensibilidade/susceptibilidade, maior será o potencial dos impactos e, conseqüentemente, a vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas. Por outro lado, a capacidade adaptativa é inversamente proporcional à vulnerabilidade. Teoricamente, um sistema completamente desprovido de capacidade de adaptação seria diretamente vulnerável a todos os impactos potenciais impostos pelas mudanças climáticas. É importante ressaltar que, por menor que seja a capacidade de adaptação, os impactos potenciais não se tornam maiores, de modo que o sistema apenas não conseguirá reduzi-los e, portanto, não teria a habilidade de se tornar diminuir os impactos que lhes são impostos.

***Importante ressaltar que o framework apresentado anteriormente na Figura 5 é o mesmo que foi utilizado no trabalho de referência para os impactos das secas (IVDNS, ver WWF,2017). Neste estudo, um sub-índice para a Capacidade Adaptativa foi elaborado, pois o produto final de avaliação naquela ocasião era a vulnerabilidade. Desta forma, caso as sugestões aqui apresentadas sejam aceitas pela equipe técnica do MMA, o índice para avaliação dos impactos de secas precisará ser reformulado, excluindo-se o sub-índice de capacidade adaptativa, objetivando que todas as tipologias de desastres sejam analisadas por índices padronizados de impacto potencial.

3.2. Considerações importantes para os dois índices de impacto potencial relacionados aos desastres causados por excesso de chuva

Este item apresenta alguns aspectos importantes que foram considerados na construção dos dois índices de impacto potencial e devem ser apresentadas antes da etapa de cálculo.

Primeiramente, ressalta-se a sugestão de que todos os índices a serem recalculados sejam feitos considerando os limites das **áreas urbanas**. Isto é, todas as variáveis utilizadas (climáticas ou não) foram consideradas apenas para a condição em que elas se encontram dentro do domínio definido pelas áreas urbanas de cada município. A saber, a base de dados das áreas urbanas utilizadas neste trabalho é proveniente do estudo da Embrapa (Farias et. al, 2017).

A maioria das etapas de cálculo para estabelecer os índices serão feitas a partir de dados espaciais em Raster, especificamente através da ferramenta *Map Algebra*, do *Spatial Analyst Tool* do software ArcGIS 10.1, da ESRI. Desta forma, os índices e as variáveis utilizadas se manifestam espacialmente em pontos-de-grade, onde cada ponto possui um referido valor numérico de seu atributo. Consequentemente, dentro de um mesmo polígono de área urbana é possível ter vários valores para um determinada variável ou índice. Porém, como um dos objetivos desta consultoria é ter métricas específicas para cada município brasileiro, alguns procedimentos devem ser adotados para calcular valores médios destas variáveis. As etapas realizadas para todos os casos que se encaixam neste contexto estão descritas a seguir:

- Dada uma determinada variável (ou índice) que se encontra em formato *Raster*, cria-se um novo arquivo TIFF com dimensões de 1 km x 1 km, independente da sua resolução original (Figura 6a);
- A partir deste arquivo TIFF, gera-se um shapefile de pontos (ferramenta *Conversion Tools, Raster to Points*), onde cada ponto gerado representa o centroide dos pontos-de-grade de dimensão 1 km x 1 km (Figura 6b).
- Calcula-se a média de todos os pontos que estão dentro do domínio dos polígonos que definem a áreas urbanas, permitindo a busca por pontos que se encontram em até 500m além deste domínio. Para esta etapa utiliza-se a ferramenta *Spatial Join*, com a *Merge Rule* configurada para a condição de *Mean* (média). Esta etapa acontece entre as Figura 6b e Figura 6c.
- O resultado final será um novo shapefile das áreas urbanas, exatamente idêntico ao original, mas agora com um novo atributo que refere-se à média da variável ou índice em questão (Figura 6c).
- Dada a imensidão do território brasileiro, mapas que apresentam toda sua extensão não permitem a devida visualização das áreas urbanas. Então, para contornar esta limitação, foi feita uma extrapolação que transfere para

o polígono municipal a informação obtida para as áreas urbanas (Figura 6d). Ressalta-se que esta é apenas uma forma de apresentar melhor os resultados finais, sendo que os valores obtidos para os índices não contemplam outros usos do solo que existam dentro de um determinado domínio municipal.

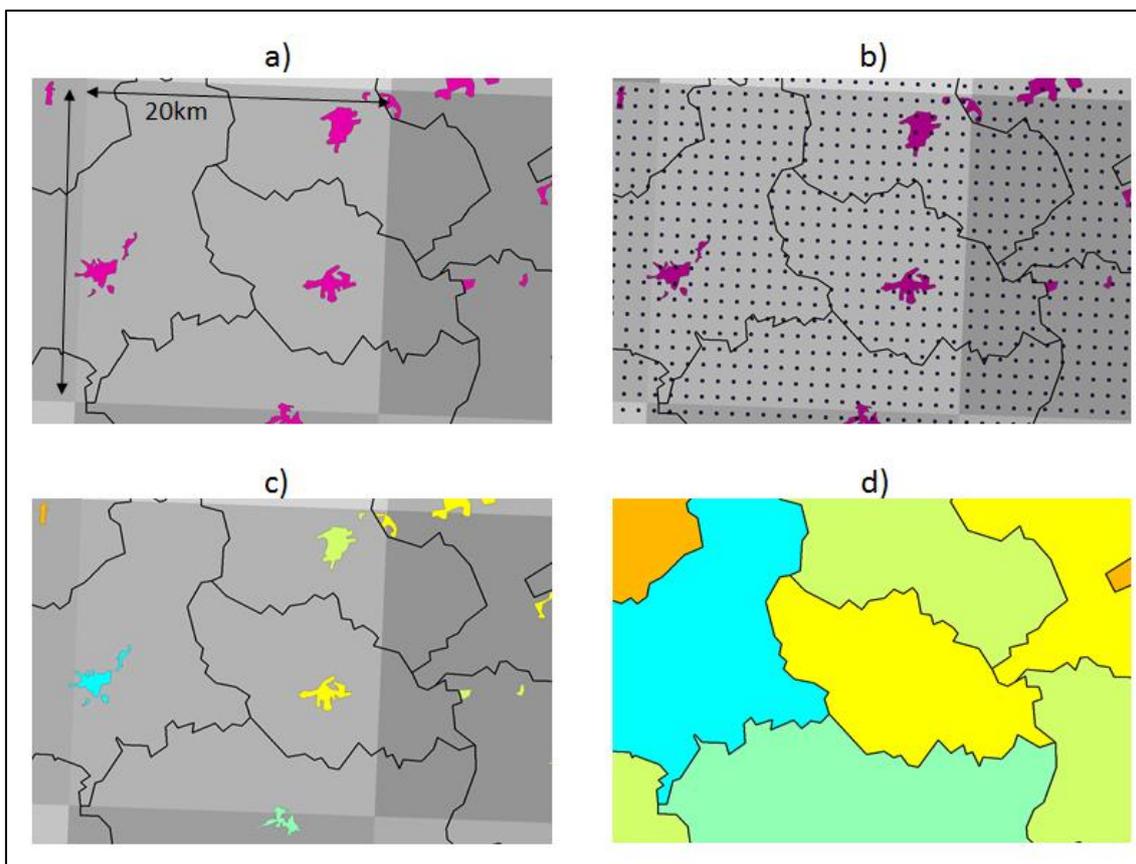


Figura 6 - Exemplo do processo para agregar as informações espaciais oriundas do formato Raster em polígonos referentes à divisão política dos municípios brasileiros.

Estas etapas descritas entre os quadros a) e c) serão feitas para todas as variáveis sugeridas para os estudos desta consultoria, com exceção das variáveis climáticas. No caso do vetor exposição, primeiro calcula-se o resultado para os períodos de 1961-1990 e 2011-2040 (exatamente conforme as equações 1 e 2 do item 2.1.1.) e, somente então, repete-se o processo de agregação dos resultados.

Para o cálculo dos índices de Impacto Potencial, a etapa de cálculo será feita diretamente pela tabela de atributos do *shapefile* das áreas urbanas, através da ferramenta “*Calculate Geometry*”, onde é possível colocar a equação que relaciona outros atributos (no caso, o vetor exposição e o vetor sensibilidade) daquele mesmo

shapfile. As equações que regem cada um dos dois índices de impacto potencial estão apresentadas nos subitens a seguir.

3.3. Análise para os desastres relacionados aos deslizamentos de terra

3.3.1. Sub-índice de sensibilidade para deslizamentos de terra

Conforme previamente mencionado, o índice para os deslizamentos de terra baseia-se no trabalho de Debortoli et. al (2016), que considera a variável de declividade e as unidades geomorfológicas na construção da dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade. No entanto, o sub-índice de sensibilidade criado para esta consultoria também incorporou também os dados de população urbana, fornecidos pela Embrapa (Farias et. al, 2017), que utiliza os dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011).

Assim, para o cálculo do sub-índice de sensibilidade para deslizamentos de terra (IIPDT), primeiramente foi preciso calcular o sub-índice de sensibilidade. Para tal, utilizou-se a seguinte equação:

$$Sens_{desliz.} = \left[(\overline{Decliv.})_{pond} \times (\overline{Relevo}) \times (Pop. Urb) \right] / 100.000 \quad (5)$$

sendo:

- $(\overline{Decliv.})_{pond}$ o valor médio, ponderado (segundo a Tabela 2), da declividade dentro dos limites da área urbana municipal;
- (\overline{Relevo}) o valor médio, ponderado (segundo a legenda da Figura 3), das unidades de relevo encontradas dentro dos limites da área urbana municipal
- $(Pop. Urb)$ o valor total da população urbana, dada pelo Censo 2010.

Após esta etapa, pondera-se os valores brutos de sensibilidade encontrado em uma escala que varia entre zero e um, conforme a tabela abaixo:

Tabela 4 - Ponderação das classes de sensibilidade aos deslizamentos de terra

intervalo	valor ponderado
> 100	1
50 - 100	0,95
30 - 50	0,9
20 - 30	0,8
10 - 20	0,7
5 - 10	0,5
< 5	$x/10$

Esta etapa de ponderação é necessária para equilibrar os resultados do sub-índice de sensibilidade, que tende a ser extremamente elevado para aqueles municípios que possuem alta população urbana, uma vez que os valores máximos encontrados para estes casos são muito maiores que a 95% dos demais municípios e tornaria inviável uma normalização simples para todo o universo dos municípios. Portanto, para os casos mais extremos (resultado acima de 5), fez-se uma ponderação atribuindo-se valores entre 1,0 e 0,50 a partir de intervalos pré-definidos, sendo que apenas para os valores menores do que 5 aplicou-se a normalização linear.

3.3.2. Sub-índice de exposição para deslizamentos de terra

O sub-índice de exposição sugerido nesta consultoria segue exatamente a mesma equação proposta por Debortoli et. al (2016) para determinar a dimensão climática da vulnerabilidade. A equação que rege o sub-índice aqui utilizado é exatamente a mesma apresentada no item 2.1.1. (Equação 1). A única diferença metodológica é que, agora, calculou-se o **valor médio do sub-índice para cada área urbana dos municípios brasileiros**.

Ressalta-se também que este sub-índice é o único que varia temporalmente (os demais permanecem constantes no futuro), de modo que foi calculado para o baseline (1961-1990) e para o período compreendido entre 2011-2040, utilizando o cenário RCP 4.5, para cada um dos dois modelos climáticos utilizados.

3.3.3. O índice de impacto potencial para deslizamentos de terra

A estrutura do índice de impacto potencial para deslizamentos de terra segue uma linha de raciocínio **diferente** daquela aplicada por Debortoli et. al (2016). Naquela ocasião, os autores consideraram o impacto potencial como um sub-produto

proveniente da média simples entre as dimensões climática (equivalente à exposição) e físico-ambiental (equivalente à sensibilidade). Porém, esta formulação permite que, em alguns casos, regiões com baixa ou nula suscetibilidade apresentem impactos potenciais de considerável magnitude, desde que o vetor exposição fosse muito alto. No entanto, este tipo de consideração não acontece na realidade, visto que em regiões onde não há condicionantes do meio físico que possam deflagrar os processos de movimentos de massa, conseqüentemente, não haverá também qualquer tipo de impacto.

Desta forma, para este trabalho sugeriu-se modificar a estrutura relacional entre os dois sub-índices, de modo que a (declividade e geomorfologia) e induzidas pelas ações antrópicas (explicitada pela variável da população urbana). Assim, a equação que rege o índice de impacto potencial é:

$$I.P. = Sens \times (1 + Exp) \quad (7)$$

A Equação 7 representa que o impacto potencial será diretamente proporcional aos dois vetores mas, no entanto, é limitada pela sensibilidade. Isto é, por maior que seja a probabilidade de ocorrência e da magnitude de eventos meteorológicos potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra, se uma determinada região não for suscetível (naturalmente ou de forma induzida) a este tipo de processo, o impacto potencial será nulo ou muito pequeno. Por outro lado, mesmo que aconteçam poucas chuvas potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra, se uma determinada região for altamente suscetível e antropizada, o impacto potencial tende a ser alto.

3.4. Análise para os desastres relacionados à inundações, enxurradas e alagamentos

3.4.1. Sub-índice de sensibilidade à inundações, enxurradas e alagamentos

As considerações feitas neste trabalho para o sub-índice de sensibilidade à inundações, enxurradas e alagamentos são basicamente as mesmas apresentadas para o caso dos deslizamentos de terra. **Para esta tipologia de desastre, inseriu-se também a variável de população urbana para explicitar os processos antrópicos que são determinantes para a deflagração das ameaças de natureza hidrológica.**

Além disso, a estrutura do sub-índice aplicado neste trabalho segue basicamente as mesmas diretrizes apresentadas por Debortoli et. al (2016), onde os autores utilizaram quatro diferentes variáveis para compor a dimensão físico-ambiental da vulnerabilidade (mais detalhes estão apresentados no item 2.1.2). No entanto, como o enfoque das análises aqui sugeridas será voltado para as áreas urbanas e todos os cálculos serão feitos dentro do perímetro urbano definido pelo estudo da Embrapa (Farias et. al, 2017), **optou-se por retirar a variável de uso do solo** utilizada naquela ocasião. Para o presente estudo, esta variável não é mais pertinente, uma vez que o índice construído trata apenas para um caso específico de uso do solo (áreas urbanas) e, portanto, não necessita do uso do mapa de uso do solo ponderado.

Desta forma, sugere-se aplicar a mesma equação sugerida por Debortoli et. al (2016), retirando a variável do uso do solo e inserindo a população urbana para compor a primeira parte do sub-índice de sensibilidade, considerada como um fator limitante. Isto é, por maior que seja a população urbana, uma área não será sensível às ameaças hidrológicas se não houver uma série de condicionantes físicos para deflagrar os processos que causam impactos. Neste sentido, a variável da população urbana foi inserida com um fator que pode majorar a sensibilidade, dada as condições do meio físico. A formulação deste sub-índice está apresenta a seguir:

$$Sens = \left[\frac{(1.50 * DDren_{Atlas} + 0.25 * DDren_{BR} + 0.50 * Dens_{Est})}{2.25} \right] \times (1 + Pop.Urb_{pond}) \quad (8)$$

Onde:

- $DDren_{Atlas}$ é a densidade de drenagem dos rios que causam mais impactos de inundações, mapeados pelo Atlas (ANA, 2014), normalizado entre zero e um;
- $DDren_{BR}$ é a densidade de drenagem de todos os rios mapeados pela malha hidrográfica em 1:250.000 feito pelo IBGE, normalizados entre zero e um;
- $Dens_{Est}$ é a densidade de estradas, dada pela malha rodoviária mapeada pelo IBGE em escala 1:250.000, normalizado entre zero e um;
- $Pop.Urb_{pond}$ é o valor da variável de população urbana, proveniente do Censo 2010 (IBGE, 2011), que foi ponderada conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Ponderação da variável de População Urbana, utilizada no cálculo do sub-índice de sensibilidade às inundações, enxurradas e alagamentos.

População Urbana	Valor Ponderado
> 1.000.000	1,0
500mil - 1mi	0,95
250mil - 500mil	0,75
100mil - 250mil	0,50
< 100mil	(Pop)/200.000

A primeira parte da Equação 8, à esquerda, refere-se exatamente ao modelo que foi proposto por Debortoli et. al (2016), com exceção da variável de uso do solo que não foi inserida para o presente estudo. A divisão pelo valor de 2,25 é necessária para deixar o resultado desta primeira parte variando entre zero e um, pois 2,25 é a soma dos coeficientes (pesos) das três variáveis utilizadas. A segunda parte da Equação 8 refere-se à população urbana que, neste modelo, será capaz de aumentar a sensibilidade em até 100%, para os casos em que os municípios possuem mais de 1 milhão de habitantes.

Além disso, recomenda-se categorizar e ponderar a variável de população urbana, ao invés de normalizar diretamente, porque os a quantidade de municípios que apresentam elevada população urbana (acima de 500 mil habitantes) são casos que representam menos de 1% da realidade brasileira (apenas 36 municípios entre 5565). Se a normalização for feita diretamente, municípios com valores intermediários e pequenos apresentariam valores irrisórios para esta parcela do modelo, que representa a influência da população urbana no cálculo da sensibilidade, uma vez que o limite superior seria definido pela cidade de São Paulo, com mais de 11 milhões de habitantes. Desta forma, optou-se por sugerir que normalização ocorra apenas nos casos de municípios que apresentam população urbana inferiores à 100 mil habitantes, sendo 0,50 o valor máximo definido.

3.4.2. Sub-índice de exposição

O sub-índice de exposição sugerido para ser utilizado nesta consultoria segue exatamente a mesma equação proposta por Debortoli et. al (2016) para determinar a dimensão climática da vulnerabilidade. A equação que rege o sub-índice aqui utilizado é exatamente a mesma apresentada no item 2.1.1 (Equação 2). A única diferença metodológica é que, neste trabalho, calculou-se o **valor médio do sub-índice para cada área urbana dos municípios brasileiros**.

Ressalta-se também que este sub-índice é o único que varia temporalmente (os demais permanecem constantes no futuro), de modo que foi calculado para o baseline (1961-1990) e para o período compreendido entre 2011-2040, utilizando o cenário RCP 4.5, para cada um dos dois modelos climáticos utilizados.

3.4.3. O índice de impacto potencial para inundações enxurradas e alagamentos

A estrutura e as considerações feitas para o índice de impacto potencial para inundações, enxurradas e alagamentos são exatamente as mesmas feitas para o caso de deslizamentos de terra (item 3.3.3). Isto é, o resultado dos impactos potenciais é definido pela sensibilidade, de modo que a componente climática (exposição) entra como um fator que pode majorar esta condição (Equação 7). Apenas lembrando que, para o caso de inundações, utiliza-se os respectivos sub-índices de sensibilidade (Equação 8) e de exposição (Equação 2).

3.5. Validação dos Resultados – Comparativos com dados e ações do setor de gerenciamento de risco a desastres

Sugere-se que a validação dos resultados referentes aos índices elaborados para esta consultoria seja feita, basicamente, de duas formas. A primeira delas baseia-se na comparação com os dados fornecidos pelo Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais no Brasil, 1995-2014, (UFSC/CEPED, 2016), que é um documento oficial, em escala nacional, a respeito dos desastres do Brasil. Esta comparação tem como objetivo avaliar a distribuição espacial do índice elaborado. No entanto, de antemão é preciso saber que existem muitas limitações associadas à metodologia aplicada na elaboração deste Relatório, uma vez que o mesmo só contabiliza os desastres que foram oficialmente registrados pela Defesa Civil Nacional, deixando de lado impactos de menor porte que por muitas vezes não entram nesta estatística e tem um peso significativo na análise). Além disso, a metodologia aplicada pelo CEPED/UFSC não discrimina as tipologias de desastres relacionados aos deslizamentos de terra das inundações, enxurradas e alagamentos. Em nenhum momento do relatório é possível encontrar onde estão contabilizados os desastres relacionados aos movimentos de massa, mas, ao que tudo indica, é que eles foram inseridos na análise de “Desastres Hidrológicos” juntamente com as inundações, provavelmente devido ao fato das corridas de detritos e de corridas de lama poderem ser classificados como tal. No entanto, há uma lacuna considerável

relacionada aos outros processos de movimentos de massa, especificamente aqueles que mais ocorrem no Brasil, que são os deslizamentos de terra, sobretudo o do tipo planar. Portanto, na etapa de validação será preciso considerar todos estes pontos aqui mencionados, ressaltando que os dados deste relatório são mais pertinentes para as comparações com o índice elaborado para as inundações, enxurradas e alagamentos.

As informações mais importantes deste relatório e que serão utilizadas para balizar as discussões do resultado dos índices elaborados estão apresentadas nas Figura 7 e Figura 8 que ilustram quais os estados brasileiros que tiveram os maiores prejuízos e ocorrências relacionados aos desastres hidrológicos e um mapa com a espacialização das incidências destes desastres no território nacional, respectivamente.

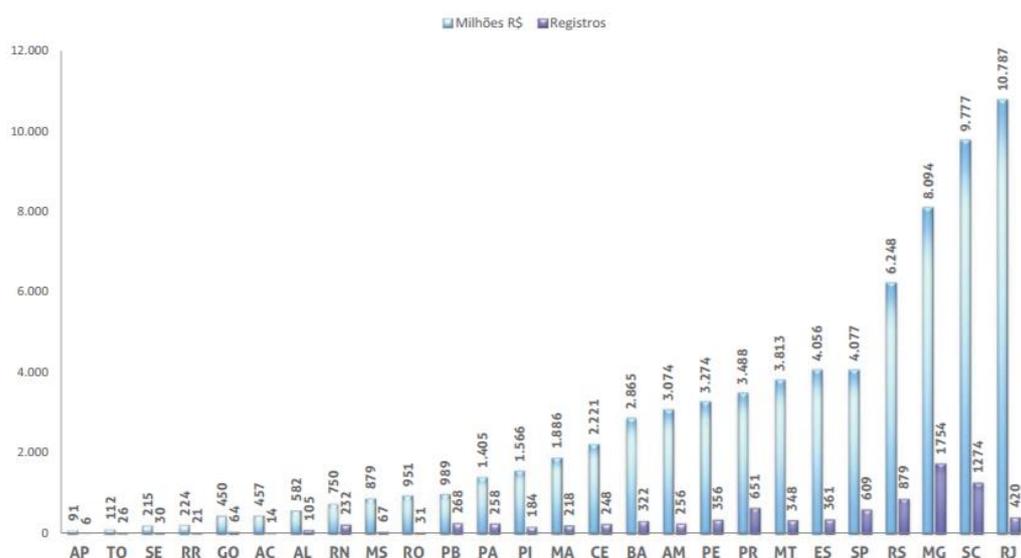


Figura 7 -Desastres Hidrológicos - Distribuição por Unidades da Federação (CEPED, 2016)

Através da do gráfico apresentado na Figura 7, nota-se que os estados que mais se destacam são Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo. No que se refere ao Rio de Janeiro, o alto valor de prejuízo contabilizado deve-se, principalmente, ao grande desastre na região serrada, no início de 2011, considerando o maior desastre do Brasil. No entanto, de uma forma geral, Minas Gerais e Santa Catarina se destacam por terem o maior número de registros e

prejuízos relacionados aos desastres hidrológicos, muito embora esta característica não seja visualmente notável ao observar o mapa da Figura 8.

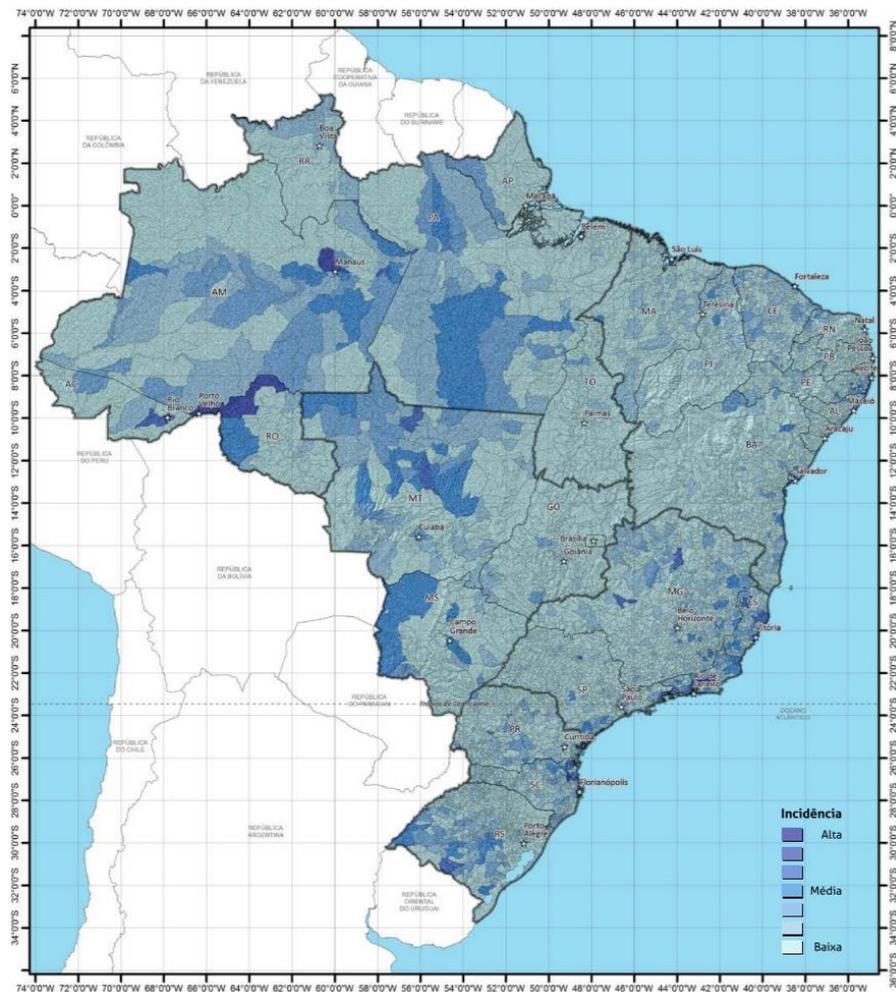


Figura 8 - Incidência de Desastres Hidrológicos no Brasil (CEPED, 2016)

O mapa da Figura 8 indica os municípios que tem maior incidência de desastres hidrológicos entre o período de 1994 e 2014. Nota-se que a grande dimensão territorial dos municípios das regiões Norte e Centro Oeste transmite a falsa impressão que estas são as regiões com maior incidência, o que não é verdade. No Sul e no Sudeste os municípios são bem menores e, por muitas vezes, dificulta na identificação de quais são aqueles que possuem maior incidência destes desastres. De qualquer modo, além dos municípios que se encontram no Norte e Nordeste, destacam-se as regiões litorâneas de Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro e Espírito Santo, além de diferentes partes de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul. No Nordeste, destacam-se algumas regiões do leste de Pernambuco, algumas partes do Ceará, Piauí e

Maranhão. Desta forma, espera-se que os resultados do índice de impacto potencial para o período de referência (1961-1990) consiga representar estas características, principalmente os contrastes que existem pelo território brasileiro.

A segunda forma de avaliação dos resultados é comparando os municípios indicados como os mais críticos com aqueles que são considerados prioritários para o setor de Gestão de Risco aos Desastres e, portanto, são monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden). Atualmente são monitorados 958 municípios, tendo ainda outros 80 que estão na lista daqueles que passarão a ser monitorados em breve. Espera-se que a metodologia aplicada nesta consultoria consiga representar bem quais são estes municípios críticos, mesmo sabendo que o Cemaden é um órgão novo e que ainda poderá ampliar sua abrangência. A distribuição dos municípios monitorados pelo Cemaden e sua rede observacional estão apresentados na Figura 9.

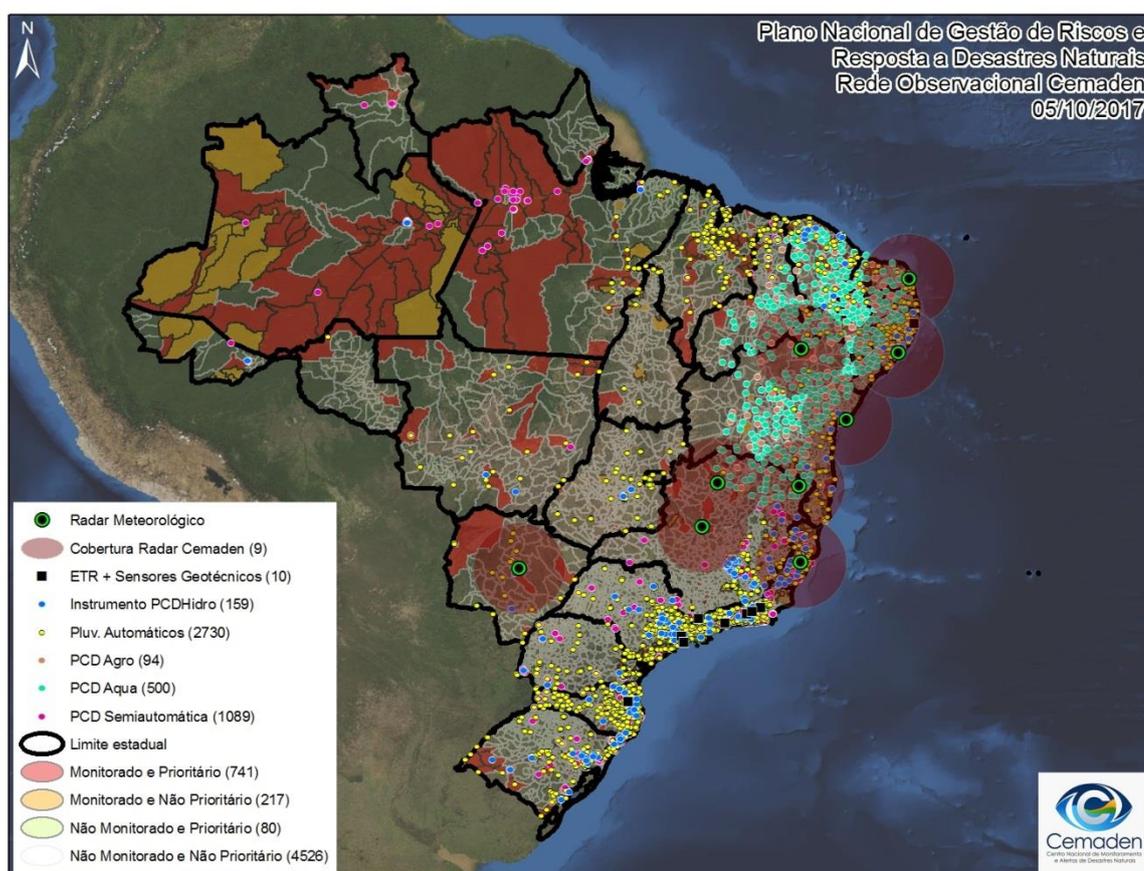


Figura 9 – Municípios monitorados e rede observacional do Cemaden.

Importante ressaltar que na Figura 9 está apresentada apenas a rede observacional instalada e sob a responsabilidade do Cemaden. No entanto, existem outras fontes de dados que são rotineiramente utilizadas para o monitoramento e

envio de alertas de desastres, destacando-se os radares meteorológicos da Aeronáutica (sobretudo aqueles que cobrem boa parte da região Sul e Sudeste do país) e as estações pluviométricas e fluviométricas da ANA.

No que se refere à comparação com os municípios monitorados pelo Cemaden, ela será feita de forma simples, contabilizando os municípios considerados críticos pelo índice de impacto potencial que se enquadram dentre os escolhidos para serem monitorados. Pode-se ainda comparar a quantidade de alertas enviadas para os municípios monitorados, caso esta informação seja concedida pela instituição.

3.6. Análise para os desastres relacionados às secas e estiagens

Conforme citado anteriormente, o índice de vulnerabilidade que foi elaborado para avaliar os desastres de secas (IVDNS) utilizou o framework sugerido pelo AR4 (IPCC, 2007) e servirá de referência para a padronização dos demais índices. No entanto, ele também precisará ser adaptado porque a sugestão para esta consultoria é trabalhar com índices de impacto potencial. Isto significa que o IVDNS precisa ser recalculado, no sentido de retirar a parcela referente à capacidade adaptativa da equação que o define, tendo como produto final o resultado da interação apenas entre os sub-índices de exposição e sensibilidade.

Desta forma, o índice de Impacto Potencial às Secas, considerando cenários de mudanças climáticas, será definido através da seguinte equação:

$$IP_{secas} = (Exposição + Sensibilidade)/2 \quad (9)$$

Nos itens a seguir, apresenta-se a metodologia de cálculo para cada um dos sub-índices (Exposição e Sensibilidade).

3.6.1. O sub-índice de Exposição para os impactos de Secas

Conforme apresentado anteriormente, a avaliação dos impactos potenciais das mudanças climáticas demanda do conhecimento das anomalias (incrementos) de determinadas variáveis que sejam representativas para explicar uma maior ou menor exposição a determinado perigo climático. Especificamente para o caso das secas, existem diferentes anomalias climáticas que podem impactar os sistemas humanos e levar a condição de desastre, tais como as alterações relacionadas a variabilidade climática (sazonal ou interanual), decréscimo da média do total de precipitação (que

pode ser mensal, sazonal ou anual, conforme o olhar desejado) ou ainda ou aumento da magnitude, frequência e duração das secas. É importante ressaltar que, embora tais fatores sejam favoráveis para a ocorrência de secas como um desastre, nem sempre eles acontecem de forma conjunta. Há a possibilidade, por exemplo, de um determinado local ter aumento da precipitação média anual, mas aumentar a frequência e magnitude dos extremos de secas.

Além disso, devido a grande extensão territorial brasileira e à sua diversidade de comportamentos climáticos, bem como de características socioeconômicas regionais, cada tipo de anomalia possui níveis de pertinência diferentes para explicar a ocorrência dos desastres das secas para diferentes localidades. Em alguns casos, um decréscimo significativo na média de precipitação em um determinado mês pode corresponder a uma grande quebra de safra e levar alguns municípios à condição de desastre. Esta mesma redução pode ser insignificante para outra região que, por exemplo, pode ser mais sensível a alterações referentes à variabilidade interanual, mesmo mantendo-se a mesma média de precipitação. Estas diferenças dificultam a criação de um único índice padronizado para todo o Brasil, pois a percepção da seca como um desastre é bastante variedade no território brasileiro. Isto quer dizer que, antes de avaliar a vulnerabilidade às mudanças climáticas, é preciso ter o conhecimento de como é dado o risco climático às secas no tempo presente (baseline), e como este pode ser representado por algumas variáveis. Somente a partir do conhecimento destas variáveis e como elas podem se relacionar é que será possível calcular as anomalias para o clima futuro e, assim, refletir o vetor exposição. Para encontrar tais respostas, foi feito um levantamento bibliográfico a respeito dos diferentes perigos climáticos que podem desencadear desastres de secas no Brasil, bem como quais variáveis seriam representativas nesta avaliação. Na ocasião os autores definiram que o risco climático é dado pela Equação X:

$$\mathbf{Risco\ Climático}_{baseline} = \frac{CV + Pot.Secas + (1 - MPPT)}{3} \quad (10)$$

onde:

CV = Coeficiente de Variação da Média de Precipitação Anual. Este índice representa o quão variável é a variabilidade interanual da distribuição das chuvas.

Pot. Secas = Potência das Secas: foi criada a partir dos dados do SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) e considera a magnitude, frequência e duração das secas extremas (SPEI < -2.0) durante o período analisado.

MPPT = Média de Precipitação Anual (mm/ano): extraída diretamente das rodadas do modelo Eta-20km. Valor referente ao período de 1961-1990.

O Mapa de Risco Climático é um indicador para avaliar a acurácia dos modelos (no que se refere às secas) apenas para o baseline. É importante ressaltar que apenas para este caso, a variável utilizada para avaliar a variabilidade da precipitação foi o Coeficiente de Variação, ao invés do Desvio Padrão. Esta mudança foi necessária porque o CV é uma variável adimensional que permite avaliar a variabilidade em relação a média de precipitação e, por isso, é a mais adequada para comparar os resultados ao longo do território brasileiro, quando a análise é feita apenas para um período temporal. O desvio padrão seria capaz de representar apenas a magnitude da variabilidade de forma pontual, e dificultaria a comparação entre as regiões. Por exemplo, uma determinada localidade com baixa pluviometria anual possui um desvio padrão de 200mm e uma média de 400mm, enquanto outra, úmida, possui 300mm e 3000mm respectivamente. Se comparados os valores absolutos do desvio padrão, a segunda localidade teria uma maior variabilidade (maior desvio padrão), o que seria uma inverdade. Ao avaliar o CV, temos os valores de 0.50 e 0.10, o que mostra uma maior variabilidade (0.50) da primeira localidade. Do ponto de vista de desastres envolvendo secas, locais com CV mais altos representam um risco maior, visto que a variação entre anos secos e úmidos é alta, dificultando que os sistemas humanos consigam estabelecer um equilíbrio, principalmente em situações onde a população é vulnerável e mal adaptada a estas condições (características socioeconômicas e de governança).

3.6.1.1. Desvio Padrão e Média de Precipitação Anual

Diferente do que foi feito para a análise do Risco Climático (apresentado anteriormente), para o índice de Exposição no clima futuro, os incrementos/anomalias serão calculados tendo o desvio padrão como referência. Neste caso, o que importa é a variação (aumento ou decréscimo) do desvio padrão em relação ao baseline. O incremento do desvio padrão representa uma relação entre dois períodos temporais que independe do seu valor absoluto, mas que é capaz de refletir quanto a variabilidade está aumentando ou diminuindo naquele determinado ponto. A sua relação com a exposição climática e, conseqüentemente, com a vulnerabilidade às secas se dá na medida em que o aumento da variabilidade interanual ou sazonal implica numa maior desregulação hidrológica com excessos e déficits hídricos mais constantes que no passado (baseline), o que aumenta diretamente os impactos potenciais.

3.6.1.2. Potências das Secas Extremas

Esta é uma variável de grande importância para a avaliação do risco climático do presente (baseline) e, posteriormente, da vulnerabilidade às mudanças climáticas. A construção desta variável demandou primeiramente em uma busca na literatura atual sobre opções de índices disponíveis para medir com maior precisão os extremos de Seca (GUTTMAN 1998; 1999; DOESKEN e KLEIST 1993; PALMER, 1965; SERRANO et al. 2010; WU et al. 2005; LI et al. 2008; LLOYD-HUGHES e SAUNDERS 2002). Dentre as opções revisadas verificou-se que o índice mais adequado para análise do território nacional seria o método conhecido como SPEI (Standardized Evaporation Precipitation Index). O SPEI foi criado por SERRANO et al. (2010) e ao contrário de outros índices de extremos de Secas, consegue capturar o balanço hídrico do déficit ou excesso pluviométrico, pois incorpora as temperaturas em sua análise - elemento crucial para representar extremos de Seca em cenários de Mudanças Climáticas. Os demais índices não incluem esta variável (SPI¹ e PALMER (PDSI)²). Além desta vantagem, o SPEI também permite analisar o comportamento da variabilidade climática considerando diferentes períodos temporais para seu cálculo (ex: 3, 6, 8, 12, 60, 120 meses), traduzindo com eficácia resultados por estação (sazonal), anuais, decadais etc.

Portanto, as vantagens da SPEI incluem sua sensibilidade à demanda evaporativa, facilidade de cálculo e adequação para análise de muitos períodos de tempo (semelhante ao SPI). O método de cálculo da evapotranspiração potencial EPT utilizado na análise do SPEI neste trabalho é o de THORNTHWAITE (1948). Os resultados do SPEI são classificados a partir de categorias de seca, neutralidade e períodos úmidos. Os valores tem como referência os limites de escala em -2.5 desvios padrões para uma seca excepcional, e até + 2.5 desvios padrões - ou mais - para um episódio úmido excepcional (ver Quadro 1.)

¹ Para maiores detalhes ver: GUTTMAN NB (1998) Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. Journal of the American Water Resources Association 34:113–121.

² Para maiores detalhes ver: PALMER, WC (1965) Meteorological Drought. Research Paper No. 45. US Weather Bureau: Washington, DC.

Quadro 1: Quadro comparativo da Gama de valores utilizada pelos índices SPEI, SPI e o índice de PALMER (PDSI):

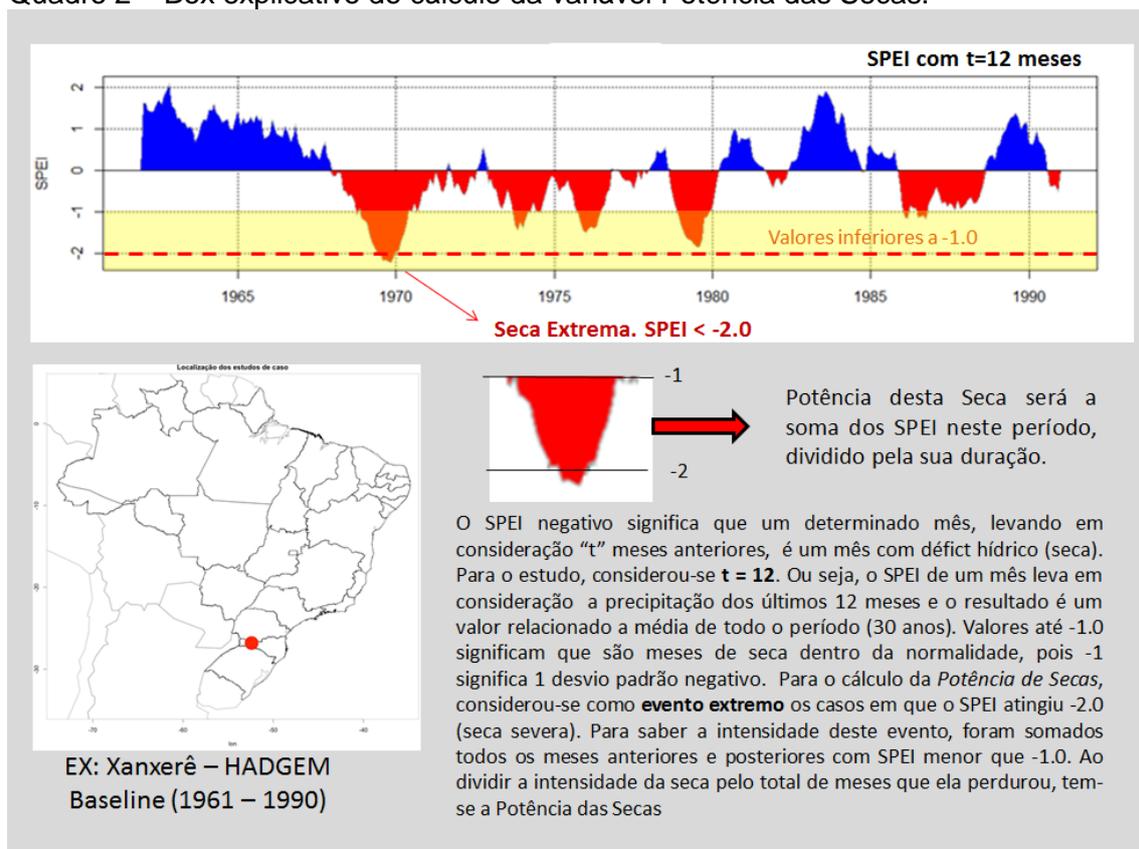
	Classificação	SPEI	SPI	PDSI
Úmido	Excepcional	≥ 2.5	≥ 2.5	≥ 5.0
	Extremo	2.0 a <2.5	2.0 a <2.5	4.0 a < 5.0
	Severo	1.5 a <2.0	1.5 a <2.0	3.0 a < 4.0
	Moderado	1.0 a <1.5	1.0 a <1.5	2.0 a < 3.0
	Médio	0.5 a <1.0	0.5 a <1.0	1.0 a < 2.0
Normalidade		>-0.5 a 0.5	>-0.5 a 0.5	> -1.0 a 1.0
Seca	Médio	> -1.0 a -0.5	> -1.0 a -0.5	> -2.0 a -1.0
	Moderado	> -1.5 a -1.0	> -1.5 a -1.0	>-3.0 a -2.0
	Severo	> -2.0 a -1.5	> -2.0 a -1.5	> -4.0 a -3.0
	Extremo	> -2.5 a -2.0	> -2.5 a -2.0	> -5.0 a -4.0
	Excepcional	≤ -2.5	≤ -2.5	≤ -5

Para o cálculo do SPEI utilizou-se um script previamente desenvolvido (disponível em: <http://sac.csic.es/spei>) para ser utilizado através do software R. Este script utilizado foi aperfeiçoado pelos autores do trabalho de modo a preencher as necessidades específicas do estudo. Os dados dos modelos climáticos utilizados foram obtidos por meio de solicitação formal efetuada à equipe da Dra. Chou Sin Chan do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a qual foi responsável pela disponibilização dos dados do modelo ETA regional. Os arquivos foram recebidos em formato .bin e transformados em formato .netcdf ou .nc para o seu manuseio no ambiente R.

A partir do conhecimento do SPEI para todos os pontos de grade do Brasil (escala 20km x 20km), foi possível calcular a variável Potência das Secas. Esta é uma variável exclusiva deste estudo, a qual recebeu este nome porque calcula a intensidade total das secas extremas (força/magnitude) dividido pelo tempo de duração das mesmas.

Para o cálculo, foram considerados apenas os eventos de secas onde o SPEI foi inferior a -2.0 (Severamente Seco). Para cada evento identificado com esta característica, calculou-se o somatório do SPEI durante todos os meses que definiram o período de seca e que tiveram valores inferiores a -1.0. A potência das Secas é caracterizada por este somatório, dividido pela duração (em meses) de todos os eventos de seca durante o período (1961-1990). Localidades identificadas com valores mais altos são caracterizados por possuir maior frequência de secas e/ou secas mais longas sendo, portanto, aqueles que possuem maior risco aos desastres de seca sob este olhar. Para uma melhor compreensão de como foi feito o cálculo desta variável, apresenta-se o Quadro 2, com um exemplo prático.

Quadro 2 – Box explicativo do cálculo da variável Potência das Secas.



3.6.1.3. Precipitação Média Anual

Esta variável foi extraída diretamente das rodadas do modelo Eta-20km. Para o cálculo do Risco Climático, o valor da média refere-se ao período de 1961-1990. O argumento para sua utilização é que localidades com uma média de precipitação pequena são mais sensíveis a variações no regime pluviométrico, facilitando o desequilíbrio dos sistemas humanos e a ocorrência de desastres envolvendo secas quando comparados com locais com altas médias de precipitação anual, além de terem, naturalmente, menor disponibilidade de água mesmo em períodos dentro da normalidade.

3.6.1.4. Interação entre as variáveis para compor o Mapa de Exposição

Uma vez validada a pertinência das variáveis escolhidas através do Mapa de Risco Climático, foi possível partir para elaboração do mapa do Sub-índice de Exposição. Este será calculado a partir dos incrementos (anomalias) de cada uma das três variáveis utilizadas, através de uma relação simples entre o valor projeto para os períodos futuros em comparação com aqueles observados no baseline. A Equação 11 representa como este cálculo é feito, ressaltando que esta etapa foi realizada através das ferramentas Map Algebra do ArcGIS 10.0:

$$\Delta(x)_{\text{período}} = \frac{(x)_{\text{período}} - (x)_{\text{baseline}}}{(x)_{\text{baseline}}} \quad (11)$$

Onde:

$\Delta(x)_{\text{período}}$: representa o incremento/anomalia da variável (x) m um determinado período futuro (no caso, 2011-2040), tendo como referência o valor encontrado no baseline (1961-1990).

Portanto, para o período futuro (2011-2040) foram calculados os incrementos das três variáveis climáticas. A forma com que elas se relacionam para compor o sub-índice de exposição é através da médias simples destes três incrementos, conforme apresentado na Equação 12.

$$\text{Exposição}_{\text{período}} = \frac{\Delta(\text{MPPT})_{\text{período}} + \Delta(\text{DP})_{\text{período}} + \Delta(\text{Pot.Secas})_{\text{período}}}{3} \quad (12)$$

onde;

- $\Delta(\text{MPPT})_{\text{período}}$: é o incremento da média de precipitação anual de um determinado período futuro;
- $\Delta(\text{DP})_{\text{período}}$: é o incremento do desvio padrão da série de precipitação média anual (variabilidade) em um determinado período futuro;
- $\Delta(\text{Pot.Secas})_{\text{período}}$: é o incremento da variável Potência das Secas, calculada a partir do SPEI, para um determinado período futuro.

Mesmo sabendo que em algumas regiões o incremento de uma variável possa ter mais relevância para a deflagração das secas, o intuito de utilizar a média simples é o de poder identificar regiões críticas, onde o clima será alterado causando a diminuição da precipitação anual, aumentando a variabilidade e também a magnitude e ocorrências das secas. Para situações intermediárias ou regiões com características específicas que possam ter sido mascaradas pelo índice nacional, serão apresentados separadamente os mapas de cada incremento, como forma de compreender melhor o comportamento climático e as melhores estratégias de adaptação para a diminuição dos impactos naquelas localidades. Nestes casos, é sugerido também que em etapas futuras possam ser elaborados índices regionais específicos, que consigam dar uma relevância (peso) maior para uma determinada variável que seja de maior interesse na explicação da vulnerabilidade regional.

3.6.2. O sub-índice de Sensibilidade para os impactos de Secas

Para a representação da Sensibilidade dos efeitos das mudanças climáticas no que tange as secas, foram utilizadas as seguintes variáveis:

- Uso do Solo: como forma de representar a fragilidade/suscetibilidade dos diferentes usos em relação aos efeitos das secas, sobretudo aqueles voltados à atividades econômicas, pois possuem um papel importante ao avaliar a seca como um desastre;
- Porcentagem da População na Indigência: esta variável representa a parcela da população que recebe renda mensal menor que de $\frac{1}{4}$ do salário mínimo. Foi utilizado para representar os contrastes entre os municípios brasileiros no que tange a uma faixa da população extremamente sensível aos impactos das secas. Esta faixa da população abaixo da linha de indigência convive com uma série de dificuldades e retrata o nível de carências de rendimento para compra, principalmente de alimentos, bens duráveis que poderiam ajudar a contornar situações de calamidade, entre outras privações.
- Taxa de Mortalidade Infantil: dentre outros fatores, altos índices de mortalidade infantil estão diretamente ligados a doenças de veiculação hídrica associadas à má qualidade da água, situação esta que se acentua demasiadamente durante as secas. A população mais atingida é especialmente aquela que reside em zonas rurais e onde há precariedade, ou inexistência, de estruturas de tratamento de esgoto (CIRILO et al. 2010). Municípios que apresentam alto índice de mortalidade infantil refletem, em parte, estas características quando comparados com outros de baixa mortalidade infantil.
- Densidade Demográfica: representa onde estão localizados as maiores concentrações populacionais do país. Regiões com maior densidade populacional são consideradas mais sensíveis devido a maior demanda de água e alimentos, os quais podem, em geral, ser diretamente impactados em situações de seca. Esta variável reflete também o tamanho do impacto que uma seca pode atingir, pois o foco do estudo são os desastres. Lembrando que esta variável, assim como as demais, não refletem isoladamente a sensibilidade, sendo de interesse ao estudo a identificação de localidades onde a alta densidade populacional coexista com outras realidades que intensificam a sensibilidade dos sistemas humanos às secas.
- Demanda e Oferta de água: esta variável é derivada do estudo Atlas de Abastecimento Urbano de Água de 2015, realizado pela Agência Nacional de

Águas (ANA, 2015). Esta variável reflete a condição dos mananciais em relação a demanda municipal e também a sensibilidade do principal tipo de manancial (superficial ou subterrâneo) utilizado para cada município. Ou seja, reflete a sensibilidade municipal no tocante do abastecimento urbano de água, o qual é diretamente influenciado pelas secas e pode causar grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais (ex: seca do Sudeste em 2014 e 2015, que atingiu profundamente a Região Metropolitana de São Paulo).

Conforme está apresentado a seguir, todas as variáveis foram transformadas em uma nova escala, entre 0.00 e 1.00 para que pudessem se relacionar. O método escolhido para cada variável foi diferente e está explicado nos próximos itens. Para o cálculo do Índice de Sensibilidade, calculou-se primeiramente a média das três variáveis socioeconômicas, objetivando que o mesmo não ficasse enviesado nesta dimensão. Este sub-índice sócioeconômico foi somado com as demais variáveis de Uso do Solo e Demanda e Oferta de Água, que representam os aspectos físico-ambientais e também de governança da sensibilidade aos desastres relacionados às secas. Desta forma, o Índice de Sensibilidade é a média destes três componentes, conforme apresentado na Equação 13.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\left[\left(\frac{\text{Mort. Inf.} + \text{Tx. Indigência} + \text{Dens. Dem.}}{3} \right) + \text{Usolo} + \text{ODÁgua} \right]}{3} \quad (13)$$

3.6.2.1. Mapa de Uso do Solo

A Seca apresenta consequências severas para as populações, particularmente para os agricultores que dependem da água para seus cultivos. Nesse sentido, regiões compostas por monocultura de grãos que não dispõem de irrigação apresentam um alto grau de vulnerabilidade à Seca ou as Estiagens, principalmente quando a chuva não aparece nos períodos de germinação e floração das plantas. Esse dado se torna crucial visto que a Seca ou a Estiagem não comprometem necessariamente o abastecimento das populações, indústrias etc. mas em alguns casos apenas o setor agrícola e pecuário, e por esse motivo, os municípios decretam situação de calamidade pública.

Pensando nessas sensibilidades, e outras relacionados ao uso e manejo do solo, decidiu-se por utilizar um banco de dados de uso do solo disponível para todo o território nacional. Este mapa de Uso do Solo é oriundo do Mapeamento Sistemático do Uso da Terra elaborado pelo IBGE na escala 1:250.000. Todas as 38 classes de

uso do solo foram avaliadas e foram ponderadas, ou seja, receberam um valor numérico (peso) que reflete o nível de sensibilidade daquele determinado uso. Para que este mapa pudesse se relacionar com as demais variáveis, a escala de ponderação utilizada foi de 0.00 até 1.00, sendo que os usos mais sensíveis aos efeitos das secas, como as lavouras temporárias, por exemplo, recebem valores mais elevados. De forma geral, as áreas menos antropizadas recebem um peso menor, sendo as áreas de florestas naturais aquelas com a menor suscetibilidade, seguido para os usos mistos que contenham vegetação natural, sistemas agroflorestais, lavouras permanentes, lavouras temporárias etc. A Figura 10 apresenta o mapa de uso do solo já com as classes ponderadas.

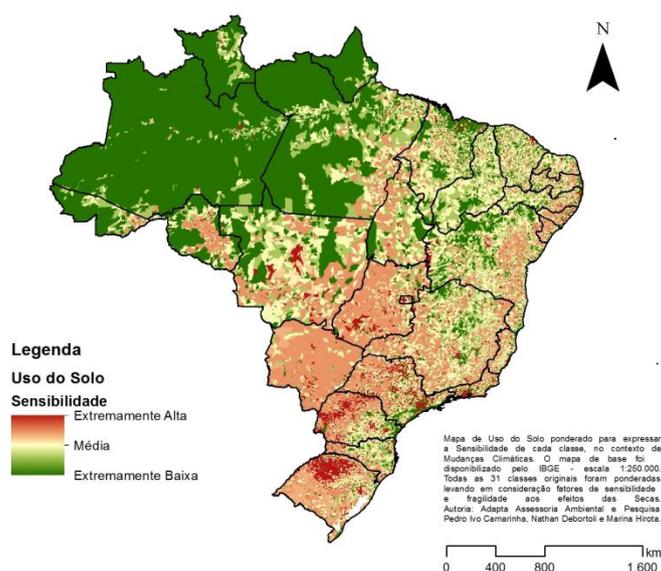


Figura 10 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo, ponderado sob o ponto de vista da Sensibilidade às Secas, no contexto de Mudanças Climáticas. Adaptado do Mapa de Uso do Solo elaborado IBGE na escala de 1:250.000 (IBGE 2010).

3.6.2.2. Porcentagem da População abaixo da linha de Indigência

Os dados são referentes ao CENSO 2010, e foram adquiridos na forma de dados tabulares fornecidos pela plataforma do Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013). A variável foi espacializada para todos os municípios brasileiros e o resultado está apresentado na Figura 11. Para que esta variável pudesse se relacionar com as demais no cálculo do sub-índice de Sensibilidade, os valores foram normalizados em uma escala entre 0.00 e 1.00 e é diretamente proporcional à sensibilidade (quanto maior, mais sensível e vulnerável será o sistema).

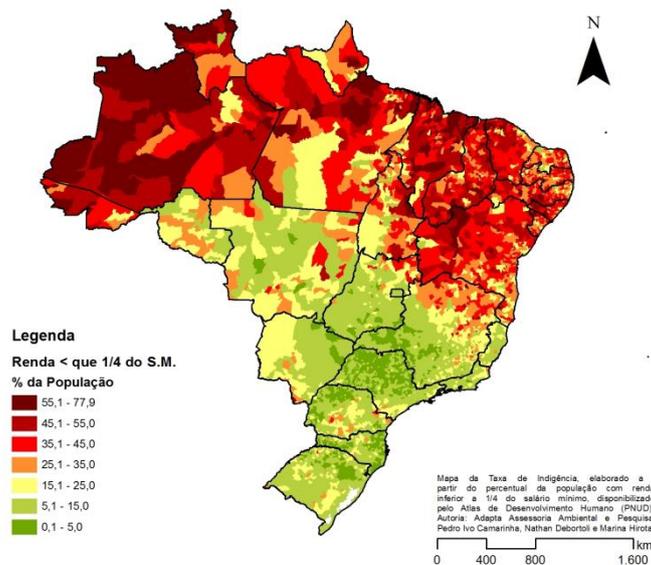


Figura 11- Mapa da Taxa da População na Indigência – população com renda inferior a ¼ do salário mínimo. Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

3.6.2.3. Taxa de Mortalidade Infantil

A partir dos dados tabulares fornecidos pela plataforma do Atlas de Desenvolvimento Humano disponibilizado pelo PNUD, esta variável foi espacializada para todos os municípios brasileiros e o resultado está apresentado na Figura 12. Para que esta variável pudesse se relacionar com as demais no cálculo do sub-índice de Sensibilidade, os valores foram normalizados em uma escala entre 0.00 e 1.00 e é diretamente proporcional à sensibilidade (quanto maior a taxa, mais sensível e vulnerável será o sistema).

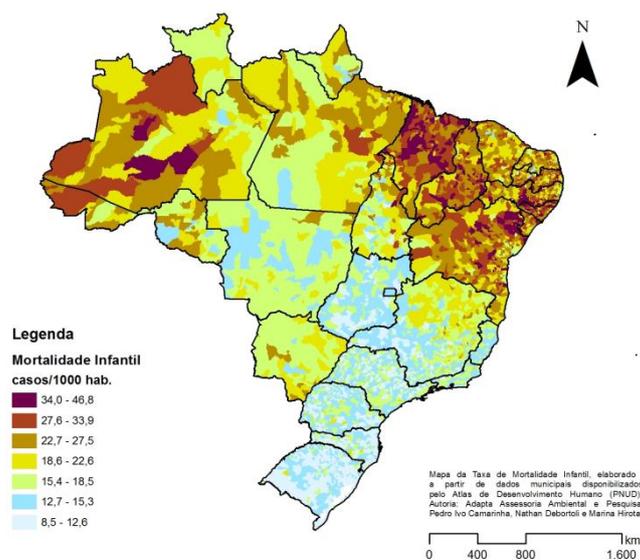


Figura 12 - Mapa da Taxa de Mortalidade Infantil. Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

3.6.2.4. Densidade Demográfica

Os dados brutos das populações municipais são provenientes do Atlas de Desenvolvimento Humano disponibilizado pelo PNUD. A área de cada município é proveniente dos dados do IBGE (2010), de modo que a densidade demográfica é a razão entre estas duas variáveis (Figura 13). Para que esta variável pudesse se relacionar com as demais no cálculo do sub-índice de Sensibilidade, os valores foram ponderados em uma escala que varia entre 0.00 e 1.00, conforme apresentado no Quadro 3.

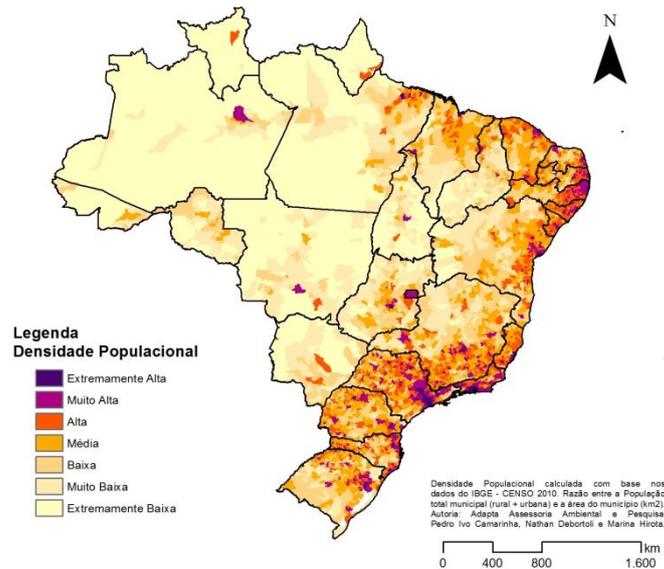


Figura 13 - Mapa de Densidade Demográfica. Autoria própria, com base nos dados do CENSO 2010, disponibilizados pelo Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2013).

Quadro 3 - Ponderação das Classes de Densidade Demográfica.

CLASSE	hab/km ²		QTDE	PESO
Extremamente Alta	> 550		140	1,00
Muito Alta	100	550	554	0,85
Alta	400	100	1144	0,65
Média	18	40	1671	0,50
Baixa	7	18	1162	0,35
Muito Baixa	2,5	7	614	0,17
Extremamente Baixa	< 2,5		280	0,00
			5565	

Ressalta-se que este dado é diferente daquele utilizado nos cálculos dos índices de deslizamentos de terra e inundações. Nestas outras duas ocasiões, o dado utilizado é de densidade populacional urbana, pois o foco destes índices é justamente a região urbanizada, onde ocorrem a grandiosa maioria dos impactos relacionados a estes tipos de ameaças. No caso das secas, utilizou-se o dado de densidade populacional “bruto” (que considera toda área política do município), pois entende-

se que a extensão dos impactos para este tipo de fenômeno é muito mais ampla, estendendo-se também para as áreas rurais, e não apenas os centros urbanos.

3.6.2.5. Oferta e Demanda de Água

O diagnóstico de oferta e demanda de água, realizado pela ANA (2015), teve como objetivo verificar a situação dos mananciais e dos sistemas produtores de água quanto ao atendimento das demandas hídricas futuras. Quando o manancial e o sistema produtor apresentaram condições de atendimento às demandas urbanas até o ano de 2015, o abastecimento de água para a sede municipal é considerado satisfatório. De outro lado, quando o balanço entre a oferta e a demanda demonstrou saldo negativo (déficit), foi identificada a necessidade de investimentos em obras para o aproveitamento de novos mananciais ou para adequação dos sistemas existentes (ANA, 2015). Este indicador se torna importante do ponto de vista da sensibilidade, pois possibilita identificar os municípios brasileiros cuja demanda e oferta d'água está em desequilíbrio. O dado está disponível no Atlas de Abastecimento Urbano de Água de 2015 da ANA (Agência Nacional de Águas). Além do aspecto avaliado pelo diagnóstico, incluiu-se na análise de sensibilidade o tipo do principal manancial utilizado pelo município (superficial ou subterrâneo). Os mananciais do tipo superficial foram considerados mais sensíveis aos efeitos das secas que os subterrâneos, devido ao fato de sofrerem mais rapidamente aos efeitos do déficit hídrico e de perda de volume pela alta evaporação ambientes com baixa umidade. Desta forma, para representar parte do índice de sensibilidade elaborou-se uma matriz de relação entre o diagnóstico do abastecimento municipal e o tipo do principal manancial utilizado, conforme apresentado na Quadro 4, onde os valores mais próximos de 1.00 representam maior sensibilidade.

Quadro 4 – Matriz de Ponderação utilizada para refletir a Sensibilidade dos municípios brasileiros no que se refere à demanda e oferta de água.

<i>Matriz de Ponderação</i>	Requer Novo Manacial	Requer Ampliação	Abastecimento Satisfatório
SUPERFICIAL	1,00	0,60	0,20
SUBTERRÂNEO	0,80	0,40	0,00

Estas informações, trabalhadas inicialmente na forma tabular, foram especializadas para todos os municípios brasileiros (através de um shapefile) e o resultado está apresentado na Figura 14.

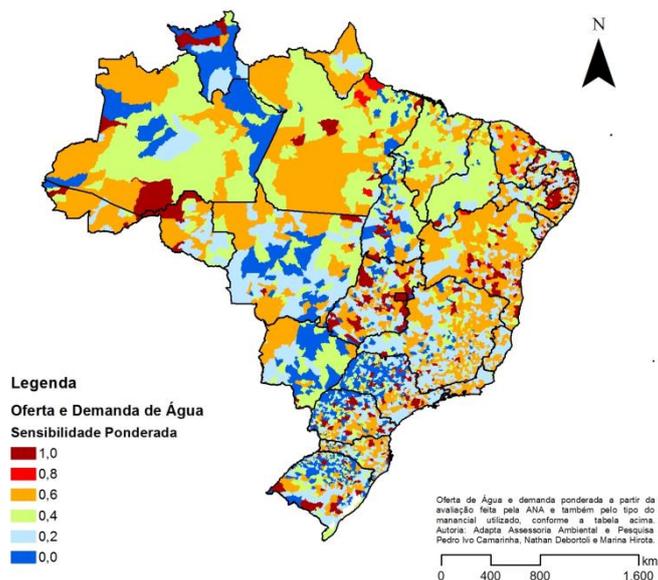


Figura 14 – Mapa Ponderado da condição de Oferta e Demanda de Água dos municípios brasileiros e sua sensibilidade aos efeitos das secas. Autoria própria, baseado nas informações *Atlas de Abastecimento Urbano de Água de 2015* (ANA, 2015).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADGER, N.W. (2006) Vulnerability. *Global Environmental Change*. 16. 268-281.
2. ADGER, N.W., ARNELL, N.W., TOMPKINS, E.L. (2005) Successful adaptation to climate change across scales. In *Global Environmental Changes* 15 (2), 77-86.
3. ADGER, W.N., BROOKS, N., BENTHAM, G., AGNEW, M., ERIKSEN, S. (2004) New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Technical Report 7. Tyndall Centre for Climate Change Research: Norwich.
4. AEA (2008) Preliminary assessment and roadmap for the elaboration of Climate Change Vulnerability Indicators at regional level. Reference: ENV.G.1/ETU/2008/0092r. Final Report to the European Commission. Restricted Commercial. ED45669. Issue Number 3. AEA, London.
5. ALCANTARA, L. H.; ZEILHOFER, P. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso - Cáceres, MT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. (GEOPANTANAL), 2006, Campo Grande. Anais... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. CD-ROM. ISBN 85-17-00029-3. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.08.13.14>>.
6. ALEXANDER, D.E. (1993) *Natural Disasters*. UCL Press Limited, UK.
7. BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). *Geomática e análise ambiental*. Vitória, ES: EDUFES, 2007. p. 32-46.
8. ANBALAGAN, R. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.*, v. 32, p. 269–277, 1992.
9. BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil / Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.230 p
10. BINDA, A. L.; BERTOTTI, L. G. Geoprocessamento aplicado à análise da bacia hidrográfica do Rio Cachoeirinha, Guarapuava-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12., 2007, Natal. Anais... Natal, SBGFA, 2007
11. CAMARINHA, P. I. M., CANAVESI, V., ALVALÁ, R. C. S. Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in the coastal region in the state of São Paulo, Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*. , v.1, p.5199 - 5236, 2013
12. CAMARINHA, P. I. M.; DEBORTOLI, N. S. A Brazilian vulnerability index to natural disasters of drought . In: AMERICAN GEOSCIENCE UNION – FALL MEETING 2015, 2015, San Francisco, CA. Proceedings... San Francisco: AGU, 2015. Disponível em:<agu.confex.com/agu/fm15/meetingapp.cgi/Paper/65673>
13. CASTRO, A. (1999a). *Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume II* (1st ed., Vol. II, p. 73). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.

14. CASTRO, A. (1999b). Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume III (Vol. III, p. 82). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.
15. CASTRO, A. (1999c). Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume IV (Vol. IV, p. 58). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.
16. CASTRO, A. (1999d). Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume I (1st ed., Vol. I, p. 69). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.
17. CASTRO, A. L. C. DE, CALHEIROS, L. B., CUNHA, M. I. R., & BRINGEL, M. L. N. DA C. (2003). Manual de Desastres - Desastres Naturais (Vol. I, p. 174). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.
18. CASTRO, A., CALHEIROS, L. B., & MOURA, A. Z. B. (2002). Manual de Desastres Mistos. (Vol. III). Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - Secretaria Nacional de Defesa Civil.
19. CEPED/UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres., 2012. 94 ISBN 978-85-64695-08-5.
20. CHOU, S. C., NUNES, A. M. B., AND CAVALCANTI, I. F. A.: Extended range forecasts over South America using the regional Eta Model, *J. Geophys. Res.*, 105, D8, 10 147–10 160, 2000.
21. CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, p. 537-555, 2005
22. CHOU, S.C., MARENGO, J.A., LYRA, A.A., ET AL. (2012) Downscaling of South America Present Climate Driven by 4- Member HadCM3 Runs. *Climate Dynamics*, 38, 635-653. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-011-1002-8>
23. CHOU SC, LYRA A, MOURÃO C, et al. (2014) Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. *American Journal of Climate Change* 3:17.
24. CHOU, S. , LYRA, A. , MOURÃO, C. , DEREZYNSKI, C. , PILOTTO, I. , GOMES, J. , BUSTAMANTE, J. , TAVARES, P. , SILVA, A. , RODRIGUES, D. , CAMPOS, D. , CHAGAS, D. , SUEIRO, G. , SIQUEIRA, G. AND MARENGO, J. (2014b) Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*,3, 512-527. doi: 10.4236/ajcc.2014.35043.
25. CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNADEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 101 p. (INPE. 8454-RPQ/722).
26. CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. de. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no Município de São Sebastião - SP. - In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA (SELPER), 9., 2000, Misiones. Anales... Misiones, Argentina: SELPER – Capítulo Argentina, 2000.
27. CROZIER, M. J.; VAUGHAN, E. E.: Relative instability of colluvium- filled bedrock depressions. *Earth Surf. Proc. Land.*, v.15, p. 329–339, 1990.

28. DOESKEN NJ, KLEIST J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology.
29. DEBORTOLI, N. S. ; CAMARINHA, P. I. M. ; MARENGO, J. A. ; RODRIGUES, R. . An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. *Natural Hazards (Dordrecht)*, v. 85, p. 1-25, 2017.
30. DOURADO, F., ARRAES, T. C., & FERNANDES, M. (2012). O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento , os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre The “ Megadesastre ” in. *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, 35(31), 43–54.
31. FRANK, Beate; SEVEGNANI, Lucia. (Org.). *Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política*. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
32. GUTTMAN NB (1998) Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association* 34:113–121.
33. GUTTMAN NB (1999) Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. *Journal-American Water Resources Association* 35:311–322.
34. HANSEN, J.; RUEDY, R.; SATO, M.; LO, K. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, v. 48, n. 4, 2010. ISSN 8755-1209.
35. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Comunicação social - sala de imprensa: contas regionais: de 2010 a 2013, PIB do Mato Grosso acumula a maior alta (21,9%) entre todos os estados. 2015b. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=3038>> Acesso 22 ago. de 2015.
36. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2015. 2015. Disponibilizado em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_dou_2015_20150915.pdf> Acesso em 22 ago. de 2015.
37. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE -) SIDRA – Sistema de Recuperação Automática do IBGE. 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acesso em: 20 mar. 2014.
38. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. *Climate change 2001. IPCC third assessment report*. Geneva: IPCC Secretariat, 2001.
39. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. *IPCC fourth assessment report climate change 2007*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
40. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC (p. 1535) 2013.
41. KRUSDLO, R. e CERU, J. (2010), Flash Flood Potential Index for WFO Mount Holly/Philadelphia, Eastern Region Flash Flood Conference, 2-4 June, Poster Session, NOAA's, National Weather Service. Disponível em: <www.erh.noaa.gov/bgm/research/ERFFW/posters/kruzdlo_
42. LEAL, S., & SOUZA, E. (2011). Desastres Naturais sobre a Amazônia e Nordeste Brasileiro associados às enchentes e inundações: o caso de 2009. IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia.

43. LI W, FU R, FERNANDES K, JUAREZ RIN (2008) Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. *Philos Trans R Soc B Biol Sci Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363:1767–1772.
44. LLOYD-HUGHES B, SAUNDERS MA (2002) A drought climatology for Europe. *Int J Climatol International Journal of Climatology* 22:1571–1592.
45. LOPES, D. DA C., COSTA, D. DA S., SOARES, E. V., FURTADO, J. R., ALVES, L. M., SOLINO, M. N., & CARTAGENA, S. M. C. (2010). *Gestao de Risco e de Desastres Contribuições da Psicologia*. (1st ed., p. 81). Florianópolis - SC: CEPED-UFSC.
46. MARENGO, J. A. *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Caracterização do Clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do sul para o Século XXI derivados dos modelos Globais de Clima IPCC*. CPTEC/INPE. São Paulo, p.185. 2007.
47. MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 12, 2011. ISSN 0094-8276.
48. MARENGO, J.A. et.al. Assesment of regional seasonal rainfall predicatbility using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. *Climate Dynamics* 21:459-475, 2003.
49. MCTAGGART-COWAN, R., BOSART, L. F., DAVIS, C. A., ATALLAH, E. H., GYAKUM, J. R., & EMANUEL, K. A. (2006). Analysis of Hurricane Catarina (2004). *Monthly Weather Review*. doi:10.1175/MWR3330.1
50. MELLOR GL, YAMADA T (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysical Physics and Space Physics*, 20:851–875.
51. MESINGER, F. JANJIC, Z. I., NICKOVIC, S., GAVRILOV, D., E DEAVEN, D. G. The step-mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, 116, 1493-1518, 1988.
52. OBREGÓN, G.; MARENGO, J. A. *Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas Médias e Extremas*. CPTEC/INPE. São Paulo - Brasil. 2007
53. PBMC, 2013: *Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p. ISBN: 978-85-285-0208-4
54. PALMER, WC (1965) *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45. US Weather Bureau: Washington, DC
55. PBMC, 2016: *Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas* [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p.
56. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), 2013 - *Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro*. – Brasília: PNUD, Ipea, FJP. 96 p. – (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013). ISBN: 978-85-7811-171-7.
57. SAATY. T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997

58. THORNTHWAITE, C.W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 38:55-94.
59. TOMINAGA, L., SANTORO, J., & AMARAL, R. DO. (2009). *Desastres naturais: conhecer para prevenir* (1st ed.). São Paulo: Insituto Geológico.
60. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). *Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 - 2014/ Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres; Banco Mundial [Organização Rafael Schadeck] - Florianópolis: CEPED UFSC, 2016.*
61. VICENTE-SERRANO SM, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO JI (2010) A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23:1696–1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1
62. WU H, HAYES MJ, WILHITE DA, SVOBODA MD (2005) The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology* 25:505–520.