

Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática.*

**Tania Moreira Braga
Elzira Lucia de Oliveira
Gustavo Henrique Naves Givisiez**

- Nome dos autores alinhados à direita, fonte de letra 12 pt em negrito e com identificação da instituição a que pertencem, utilizando-se nota de rodapé (utilizando símbolos distintos);
- Incluir até quatro (4) palavras-chaves (indexador), ou seja, termos que melhor descrevam o conteúdo do trabalho. Para tal fim, sugere-se utilizar o THESAURUS POPIN - Thesaurus Multilingüe de População (1986), edição em Língua Portuguesa, da Fundação SEADE. Utilize fonte de letra normal, alinhada à esquerda e separadas por ponto e vírgula (;), assim:
Palavras-chave: palavra1; palavra2; palavra3; palavra4
- Resumo não excedendo 20 linhas com máximo de 300 palavras (idêntico à versão que sairá nos anais de resumos);

Resumo

A literatura internacional recente aponta para um incremento na frequência e intensidade de desastres naturais associados à mudança climática, bem como para o fato de que pobres, minorias, mulheres, crianças e idosos são frequentemente os mais afetados em tais desastres.

O presente artigo soma-se ao esforço recente de preencher importantes lacunas de conhecimento em relação às dimensões humanas do risco e da vulnerabilidade a tais desastres. Especificamente, avalia metodologias recentes de mapeamento de risco e de construção de modelos preditivos de vulnerabilidade a partir de indicadores sócio-demográficos.

As três metodologias analisadas se destacam tanto pelo seu rigor e capacidade de generalização, quanto pelo impacto que vêm provocando na criação de uma agenda internacional de pesquisa sobre o tema. A primeira delas, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, tem como principal produto um índice sintético por países de risco a desastres naturais. A segunda, desenvolvida pelo Banco Mundial e Universidade de Columbia NY, mapeia em escala subnacional áreas críticas de risco em todo o planeta. A terceira, desenvolvida pelo Tyndall Centre for Climate Change Research, Inglaterra, tem por produto índices preditivos de vulnerabilidade social a tais desastres em escala global.

A partir da avaliação das metodologias existentes derivamos diretrizes e recomendações metodológicas para a mensuração e mapeamento de risco e vulnerabilidade a desastres naturais relacionados à mudança climática no Brasil a partir de dados do AVADAN/SINDEC (documento oficial de comunicação de desastres da Sistema Nacional de Defesa Civil) combinados a informações sócio-demográficas.

* Trabalho apresentado no XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambú-MG – Brasil, de 18 a 22 de setembro de 2006

Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática.

**Tania Moreira Braga
Elzira Lucia de Oliveira
Gustavo Henrique Naves Givisiez**

1. Introdução

Todos os anos, desastres naturais resultam em numerosos mortos, feridos, bem como em onerosas perdas econômicas. A literatura recente aponta para um incremento na frequência e intensidade dos desastres naturais (DILLEY et al, 2005; BRAUCH, 2005; CARDONA, 2004), bem como para um aumento da consciência e do engajamento da comunidade internacional em torno do problema. Segundo UNDP (2004), 75% da população mundial habita em áreas que foram afetadas pelo menos uma vez por ciclones, enchentes, secas ou terremotos¹ entre os anos de 1980 e 2000.

Desta forma, há fortes argumentos para que se considere como urgente o aprofundamento do conhecimento científico sobre as causas dos efeitos desiguais de tais desastres sobre a população, bem como o desenvolvimento de metodologias de mensuração da vulnerabilidade aos mesmos.

Este artigo se insere em um esforço acadêmico recente de preencher importantes lacunas de conhecimento em relação às dimensões humanas da vulnerabilidade a desastres naturais relacionados à mudança climática.

A literatura recente sobre o tema explicitamente demanda por análises que possibilitem avançar na compreensão das causas de tal vulnerabilidade, o que ainda se encontra em estágio muito inicial. O desenvolvimento de metodologias e análises formais que permitam mensurar e qualificar os diferentes graus de vulnerabilidade é apontado como crucial nesse processo, visto que possibilitariam a identificação precisa das áreas de maior risco e vulnerabilidade, complementando a informação qualitativa advinda da experiência acumulada nos órgãos de defesa civil.

As conseqüências dos desastres naturais não são sentidas igualmente por todos. Pobres, minorias, mulheres, crianças e idosos são frequentemente os mais afetados em desastres naturais em todo o planeta. Ademais, a exposição e vulnerabilidade a desastres representam um fator importante no recrudescimento da vulnerabilidade sócio-demográfica de indivíduos e populações. (AVISO, 2005; DILLEY et al, 2005).

De uma maneira geral, vulnerabilidade pode ser entendida como a susceptibilidade a perigo ou dano (BRAUCH, 2005). A despeito da existência do conceito geral, de ampla aceitação, tem se dado um frutífero debate sobre uma definição mais precisa do termo dentro da comunidade internacional de pesquisa em desastres naturais. Destacamos abaixo dois autores que clarificam pontos essenciais do debate que serão dados suporte às escolhas metodológicas da presente proposta.

Para O’Riordan (2002) a vulnerabilidade a desastres naturais pode ser descrita como a incapacidade de uma pessoa, sociedade ou grupo populacional, de evitar o perigo relacionado

¹ Dentre os desastres mencionados, apenas os terremotos não são relacionados à mudança climática.

a catástrofes naturais ou a condição de ser forçado a viver em tais condições de perigo. Tal situação decorre de uma combinação de processos econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Cardona (2004), que também propõe pensar vulnerabilidade a desastres naturais em uma perspectiva abrangente, identifica três componentes principais em sua composição: fragilidade ou exposição; suscetibilidade; e falta de resiliência. Fragilidade, ou exposição, é a componente física e ambiental da vulnerabilidade, que captura em que medida um grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso em função de sua localização em área de influência do mesmo e devido à ausência de resistência física à sua propagação. Suscetibilidade é a componente socioeconômica e demográfica, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso. Tal predisposição é decorrente do grau de marginalidade, da segregação social e da fragilidade econômica às quais um determinado grupo populacional se encontra submetido. Falta de resiliência é a componente comportamental, comunitária e política, que captura a capacidade de um grupo populacional submetido a um fenômeno perigoso de absorver o choque e se adaptar para voltar a um estado aceitável.

Dar concretude e operacionalidade a um conceito tão amplo como a vulnerabilidade a desastres naturais é tarefa complexa, uma vez que esta só pode ser medida ao se observar o impacto de um evento perigoso quando e onde ele ocorre, já que é específica para cada tipo de fenômeno perigoso e para cada região e grupo populacional.

Já o risco é definido pelo relatório sobre Redução do Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP, 2004:98), como “o número de mortes em um evento perigoso em relação à população total exposta a tal evento”.

Partindo do pressuposto comum de que é a vulnerabilidade que explica o porquê dos diferentes níveis de risco que diferentes grupos experienciam ao serem submetidos a perigos naturais de mesma intensidade. A fórmula $R = V + P$ (risco = vulnerabilidade + perigo), bem como versões mais sofisticadas da mesma, tem sido usada em trabalhos que buscam mensurar riscos e vulnerabilidades a desastres naturais. (UNDP, 2004; PEDUZZI et al, 2001; DILLEY et al, 2005; CARDONA et al, 2005).

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres em Kobe, 2005 (UN, 2005) chama a atenção para a necessidade de se desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade nos níveis nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade.

Dada a complexidade das diferentes dimensões da vulnerabilidade, mensurá-los requer a integração de um grande número de informações relacionadas a uma pluralidade de disciplinas e áreas de conhecimento. Aprender a riqueza dessas informações de forma consistente exige a produção de indicadores claros e sintéticos. Se, por um lado, os índices sintéticos possuem a clara vantagem de uma comunicação ágil, são muitas as críticas a eles dirigidas. Argumenta-se, com propriedade, que indicadores sintéticos reduzem a dimensão das diferenças e escondem desigualdades e heterogeneidades internas às unidades de análise. Além de serem, muitas vezes, construídos a partir de variáveis escolhidas arbitrariamente, ou em função da mera disponibilidade de dados, restringindo a sua capacidade analítica. Entretanto, dado a força da mensagem, ou do conteúdo, que procuram comunicar, os índices sintéticos, ainda que imperfeitos, são indispensáveis (PNUD, 1998; HERCULANO, 2000;

ÍNDICE PAULISTA, 2002). A literatura internacional, apesar de ser ainda recente, já oferece um conjunto robusto de índices sintéticos e indicadores de vulnerabilidade e risco a desastres naturais (UNDP, 2004; ADGER et al, 2004; CARDONA et al, 2005; DILLEY et al, 2005).

Este artigo tem por objetivo contribuir com o recente esforço de preencher a lacuna acima mencionada ao comparar e avaliar iniciativas recentes de construção de metodologias de mapeamento de risco e de modelos preditivos de vulnerabilidade a partir de indicadores sociodemográficos.

As três metodologias aqui analisadas se destacam tanto pelo seu rigor e capacidade de generalização, quanto pelo impacto que vêm provocando na criação de uma agenda internacional de pesquisa sobre o tema. A primeira delas, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para a o Desenvolvimento, tem como principal produto um **índice sintético por países de risco a desastres naturais (UNDP, 2004)**. A segunda metodologia, desenvolvida pelo Banco Mundial e Universidade de Columbia NY, mapeia em **escala subnacional áreas críticas de risco em todo o planeta** (Dilley et al, 2005). A terceira, desenvolvida pelo Tyndall Centre for Climate Change Research, Inglaterra, tem por produto **índices preditivos de vulnerabilidade social a tais desastres em escala global** (Adger et al, 2004).

A partir da avaliação crítica derivamos diretrizes e recomendações metodológicas para a mensuração e mapeamento do risco e da vulnerabilidade a desastres naturais relacionados à mudança climática no Brasil. Desenvolver e aplicar tais metodologias para o caso brasileiro tem dupla função.

A primeira delas é **fornecer subsídios para a melhoria do planejamento de ações de prevenção e mitigação e para o direcionamento de políticas públicas voltadas à criação de resiliência social, tão necessários em um país onde o problema é crônico**. Nosso país se encontra entre os 20 maiores receptores mundiais de empréstimos para cobrir emergências relacionadas a desastres naturais (DILLEY et all, 2005). Além disso, partes importantes de nosso território – as regiões Sul, Sudeste e Nordeste – foram consideradas pelo estudo do Banco Mundial e da Universidade de Columbia como *hotspots* globais de risco de desastres hidrológicos e de seca (DILLEY et all, 2005).

A segunda função é **contribuir efetivamente para o avanço metodológico da referida área de pesquisas ao permitir o acesso a uma base de dados de riqueza excepcional**. De acordo com UNDP (2004:52), “bases de dados nacionais em desastres possuem boa cobertura na América Latina e no Caribe, mas são muito menos abrangentes em outras regiões do mundo”. Os dados coletados através do AVADAN/SINDEC (documento oficial de comunicação de desastres do Sistema Nacional de Defesa Civil) em todo o país permitem a construção de uma base de dados única. Única por permitir resolução em escala subnacional, abranger pequenos e/ou médios eventos e trazer informações sobre resultantes diversos como mortalidade, total de pessoas afetadas, pessoas desalojadas, pessoas desabrigadas, perdas econômicas e perdas de infra-estrutura. Isso significa que trabalhar com os dados brasileiros, de qualidade muito superior àquela até então utilizada pela comunidade acadêmica internacional, permite lançar mão de metodologias mais sofisticadas e realizar exercícios de validação dos modelos preditivos. Desta forma, as diretrizes metodológicas aqui traçadas, ao serem aplicadas, têm o potencial de trazer inovações valiosas em relação aos estudos realizados até então sobre o tema.

2. Metodologias de mensuração de riscos e vulnerabilidade a desastres relacionados à mudança climática

A literatura internacional sobre risco e vulnerabilidade a desastres naturais relacionados a mudanças climáticas, adotam a escala local ou nacional.

Estudos sobre vulnerabilidade na escala local foram os pioneiros e a maior parte deles tem seu foco em identificar grupos populacionais submetidos a um alto risco em relação a desastres específicos em países em desenvolvimento. Segundo Adger et al (2004), as análises desenvolvidas nesses estudos são restritas a contextos muito específicos, a padrões de vulnerabilidade e risco determinados, e seus resultados, em geral, não são passíveis de generalização e aplicação a outros contextos.

Nos últimos cinco anos, pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo duplo de realizar análises generalizáveis em escala superior e atender à demanda por abordagens mais formais no diagnóstico de risco e vulnerabilidade. Dentre eles, três se destacam pela sua qualidade metodológica e pelo impacto que estão tendo na criação de uma agenda internacional de pesquisa sobre o tema. As metodologias por elas desenvolvidas e aplicadas para mensurar risco e vulnerabilidade são descritas neste item e analisadas no item seguinte.

Dentre as três metodologias analisadas, duas declaram adotar abordagem dedutiva e uma declara adotar abordagem indutiva. Em abordagens indutivas, os níveis de risco e vulnerabilidade são induzidos tomando por base a identificação de relações estatísticas significativas dentre um conjunto de potenciais indicadores. Ou seja, a abordagem indutiva busca padrões estatísticos na base de dados que possam ser generalizáveis. Em abordagens dedutivas, são testadas estatisticamente hipóteses construídas a partir de pressupostos derivados de um marco teórico consistente. Ou seja, a abordagem dedutiva testa os pressupostos conceituais coletando dados apropriados e explorando as relações entre medidas que operacionalizam tais conceitos. (Adger et al, 2004; Maskey, 1998)

2.1. A metodologia do DRI – *Disaster Risk Reduction Index*.

O DRI – *Disaster Risk Reduction* – foi desenvolvido Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, UNDP, no contexto do relatório “*Reducing disaster risk: a challenge for development*” (UNDP, 2004). O objetivo central do relatório foi aperfeiçoar o entendimento das relações entre desenvolvimento e risco a desastres. Seu foco recai sobre quatro tipos de desastres naturais, três deles, ciclones tropicais, enchentes e secas, associados à mudança climática. Resumimos abaixo os principais aspectos da metodologia com base em UNDP (2004).

O DRI é um índice de risco a desastres específicos que permite mensurar e comparar níveis relativos de exposição, vulnerabilidade e risco entre países. A escala adotada é a nacional, com cobertura global. O modelo de risco utilizado associa variáveis demográficas, sócio-econômicas e ambientais com o risco manifesto de desastres específicos. A abordagem utilizada na construção do índice é a dedutiva.

O risco a desastres naturais não é a resultante pura e simples da exposição a um evento perigoso², e sim algo historicamente construído por meio de ações humanas e processos sociais. Em termos operacionais, **risco no DRI está restrito ao risco de perdas de vidas humanas, ou seja, à mortalidade, excluindo outros tipos de risco como perdas de moradias, infra-estrutura e perdas econômicas.** A premissa adotada é que o risco pode ser entendido em termos do **número de vítimas de eventos passados.**

Embora a exposição, expressa pela população total das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos, por si só não defina o risco, é uma condição necessária para que ele ocorra.

O fator que define a magnitude do risco é a combinação entre exposição e vulnerabilidade. Vulnerabilidade é conceituada como uma combinação de variáveis que tornam uma **população menos hábil para absorver o impacto de um evento perigoso e se recuperar dele ou poder contribuir para o recrudescimento da frequência, severidade, extensão ou imprevisibilidade do mesmo.** Tais variáveis podem ser demográficas, econômicas, sociais, técnicas ou ambientais.

A metodologia do DRI possui três passos chave para a sua implementação. **A exposição a cada evento perigoso foi calculada, com a utilização de um SIG, como a população média exposta ao mesmo, tanto em termos absolutos (número total de pessoas expostas em um país) quanto em termos relativos (número de expostos por milhões de habitantes).**

Para o cálculo da **vulnerabilidade relativa,** o DRI toma como *proxy* do risco manifesto a **mortalidade decorrente de ciclones tropicais, enchentes e terremotos registrados no banco de dados EM-DAT³** entre 1980 e 2000 para cada país. A vulnerabilidade relativa de um determinado evento perigoso é calculada dividindo-se o risco manifesto pela exposição.

Para o cálculo dos indicadores de vulnerabilidade, o DRI testa um conjunto de **26 variáveis** sociais, econômicas e ambientais, selecionadas por um painel de especialistas, por meio de **modelos de regressão múltipla logarítmica.**

As 26 variáveis selecionadas pertencem a 8 categorias. **Econômica:** Produto Nacional Bruto - PNB per capita corrigido pela paridade de poder de compra; índice de pobreza humana; pagamentos de serviços de dívida como percentual das exportações de bens e serviços; inflação anual; desemprego (% da força de trabalho). **Tipo de atividade econômica:** terra arável (em milhões de hectares); % de terra arável e com culturas permanentes; % de população urbana; % de dependência da agricultura (em relação ao PNB total); população ocupada no setor agrícola (% do total da força de trabalho). **Dependência e qualidade do ambiente:** cobertura florestal (%); degradação do solo induzida por atividades humanas. **Demográfica:** crescimento populacional; crescimento da população urbana; densidade populacional; razão de dependência. **Saúde e saneamento:** população com acesso a água potável (total, urbana, rural); médicos por mil habitantes; número de leitos hospitalares; expectativa de vida ao nascer para ambos os sexos; taxa de mortalidade de 0 a 5 anos. **Capacidade de alerta**

² Traduzimos o termo em inglês “hazard” como evento perigoso. Outros trabalhos adotam nomenclaturas diferentes.

³ O EM-DATA é um banco de dados internacional sobre desastres naturais mantido pelo Centro Internacional de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres, em Bruxelas. Contém informações sobre a localização dos desastres, tipo, mortalidade resultante e, para alguns casos, estimativas de perdas econômicas resultantes. O banco de dados registra apenas desastres de porte médio-grande, definidos como aqueles com mais de 10 mortes e/ou pedido de ajuda internacional. O EM-DAT é o único banco de dados internacional sobre desastres de domínio público e pode ser acessado em www.cred.be

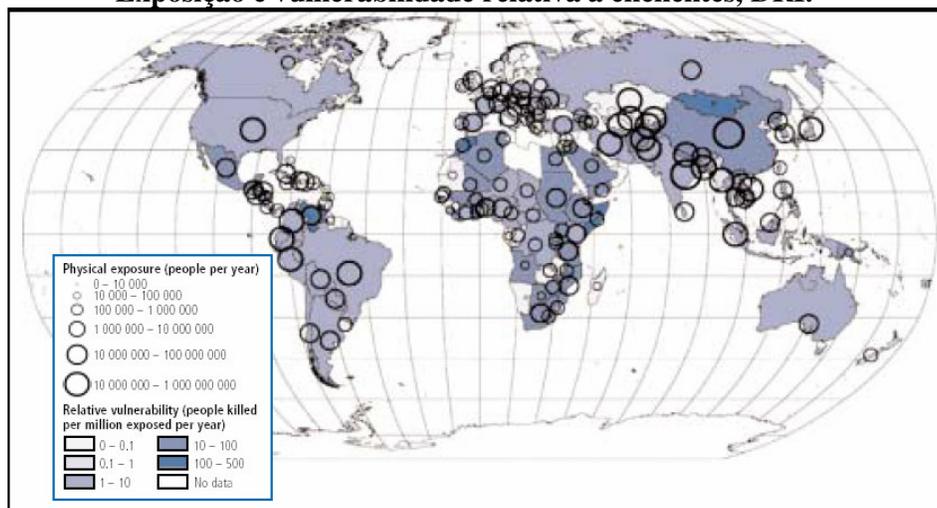
preventivo: rádios por mil habitantes. **Educação:** taxa de analfabetismo. **Desenvolvimento:** Índice de desenvolvimento Humano.

As 26 variáveis foram então convertidas em **médias para o período de 21 anos analisados** e transformadas em **valores logarítmicos**. Para cada tipo de desastre foram rodados em separado regressões lineares *step wise* com as variáveis transformadas. A validação de cada resultado foi efetuada usando R^2 , análise de variância e análise residual detalhada. Uma vez derivado o modelo, **a correspondência entre a mortalidade estimada e a mortalidade observada obtida no EM-DAT foi realizada por meio de gráficos e do coeficiente de correlação de Pearson**. Os resultados do modelo permitiram a identificação de parâmetros indicativos de maior ou menor risco, mas **não podem ser considerados como modelos preditivos**.

A modelagem de indicadores de vulnerabilidade para **enchentes** indicou como parâmetros mais significativos: **exposição, densidade populacional e PNB per capita**. A regressão explica parte considerável da variância e o modelo rodado para 90 países é robusto, com $R^2 = 0.70$ associado a um *p-value* altamente significativo. Já a modelagem de indicadores de vulnerabilidade para **ciclones tropicais** indicou como parâmetros mais significativos: **exposição, índice de desenvolvimento humano e percentual de terra arável**. A regressão explica parte considerável da variância e o modelo rodado para 32 países é robusto, com $R^2 = 0.863$.

O grau de precisão e sensibilidade dos indicadores e a qualidade dos dados utilizados não permitem a aplicação direta dos mesmos para a construção de um *ranking* de países. Por esta razão, para comparar os países entre si, foi rodado um **modelo de risco múltiplo**, adicionando a mortalidade esperada para cada tipo de evento perigoso para cada país. O método **lean** foi utilizado para alocar cada país em uma das cinco categorias estatísticas de risco múltiplo. Os resultados da alocação booleana foram validados pela comparação dos resultados com os resultados obtidos ao se aplicar uma análise de cluster à mortalidade total registrada para cada país. A figura 1 mostra a espacialização dos resultados para o caso de enchentes.

Figura 1
Exposição e vulnerabilidade relativa a enchentes, DRI.



Fonte: UNDP (2004)

2.2. A metodologia do projeto *Hotspots*.

O projeto “Natural Disaster Hotspots: a Global Risk Analysis”, aqui denominado *Hotspots*, foi desenvolvido pela associação entre o Banco Mundial, a Universidade de Columbia NY e o ProVention Consortium e concluído em 2005. Resumimos abaixo os principais aspectos da metodologia com base em Dilley et al (2005).

O projeto *hotspots* mapeia áreas críticas de risco a múltiplos desastres naturais em escala subnacional com cobertura global. A abordagem utilizada é a indutiva. São mapeados riscos associados a dois tipos de resultantes de desastres, a saber, mortalidade e perdas econômicas. O foco se dá sobre seis tipos de desastres naturais, dos quais quatro estão relacionados à mudança climática – enchentes, deslizamentos, secas e ciclones tropicais.

A unidade espacial de análise utilizada são as células espaciais do *Gridded Population of the World - GPW*, (CIESIN et al, 2004). O GPW transformou dados de população provenientes de censos demográficos em células, ou grids, regulares de 2.5' x 2.5' de latitude-longitude. Para o projeto *Hotspots* foi construída uma máscara que excluiu aquelas células com densidade populacional inferior a 5 pessoas por quilômetro quadrado ou sem atividade agrícola significativa.

Na concepção adotada pelo projeto as diferenças no espaço observadas nas resultantes dos desastres ocorrem em função da densidade populacional, do tamanho das áreas afetadas, do grau de intensidade atingido pelo evento perigoso e das diferenças de vulnerabilidade. Devido às restrições impostas pela base de dados utilizada, os autores alertam para o fato de que os resultados obtidos permitem a identificação de áreas de alto risco relativo para desastres particulares, mas não são adequados para um diagnóstico de níveis absolutos de risco ou para comparações detalhadas de níveis de risco entre diferentes tipos de desastres.

A metodologia do *Hotspots* possui 8 passos chave, aqui descritos para o cálculo de risco de mortalidade por desastres. Metodologia semelhante foi aplicada no mapeamento do risco de perdas econômicas.

O primeiro passo foi a extração da mortalidade total global por tipo de evento perigoso para o período 1981-2000. O segundo passo foi, com o uso de um SIG, calcular para cada célula espacial onde ocorreu um evento perigoso a população total estimada para o ano 2000. O terceiro passo foi calcular a taxa de mortalidade referência para cada tipo de evento perigoso. Ou seja, a mortalidade total global de cada tipo de evento perigoso dividida pelo somatório da população estimada em todas as áreas onde houve a ocorrência de cada tipo de evento perigoso.

O cálculo da taxa de mortalidade referência específica para cada uma das células espaciais foi então efetuado em separado para cada um dos tipos de eventos perigosos. O quinto passo foi ponderar as taxas de mortalidade referência específicas com um coeficiente de vulnerabilidade. O referido coeficiente foi calculado a partir de combinações de graus de riqueza relativa por países/regiões.

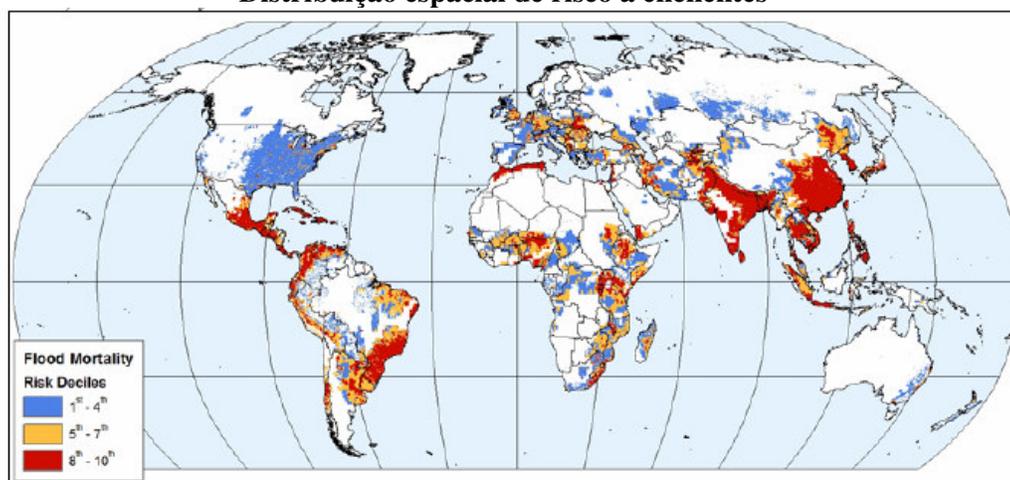
A seguir, a taxa de mortalidade referência específica obtida no passo anterior, foi ponderada pelo grau de severidade do evento perigoso. Considerou-se como medida de severidade o número de vezes que cada célula espacial foi atingida por evento perigoso específico. Em seguida a taxa foi deflacionada de forma a obter uma mortalidade total para cada célula

espacial idêntica àquela registrada no EM-DAT.

O passo sete foi calcular o índice de risco múltiplo através do somatório das taxas de mortalidades ajustadas dos seis tipos de eventos perigosos para cada célula espacial. Uma vez que o objetivo é fornecer uma medida relativa de risco, o último passo foi converter o resultado anterior em um índice compreendido entre 1 e 10, dividindo o número total de células espaciais em decis tomando por base os valores dos indicadores de risco para cada tipo de evento perigoso. Adotou-se como medida relativa adotada na definição das áreas críticas (*hotspots*), a presença de uma célula espacial nos três decis superiores (8° ao 10°), tanto para cada evento perigoso em separado quanto uma combinação deles que mostra áreas críticas de risco múltiplo.

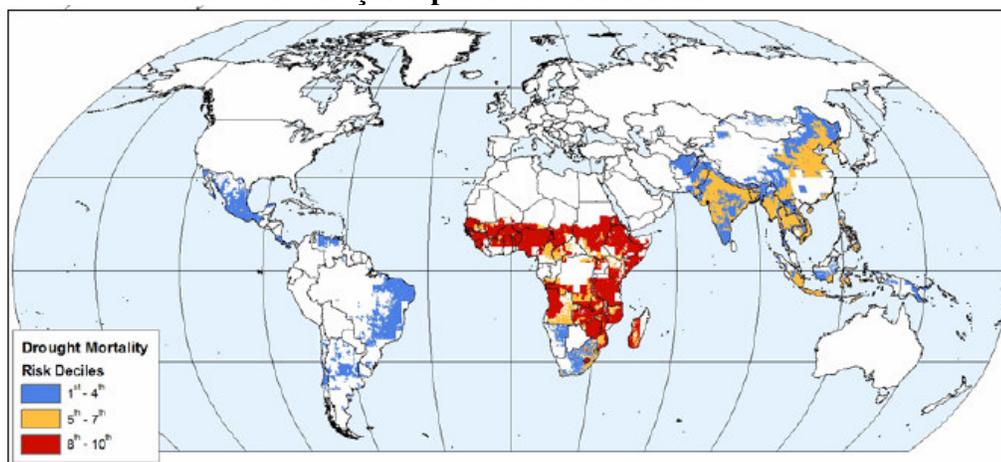
As figuras 2 e 3 mostram a espacialização dos resultados dos indicadores de risco para enchentes e secas respectivamente.

Figura 2
Distribuição espacial de risco a enchentes



Fonte: Dilley et al (2005)

Figura 3
Distribuição espacial de risco a secas



Fonte: Dilley et al (2005)

2.3. A metodologia dos indicadores de vulnerabilidade do Tyndall Centre.

O projeto “*New indicators of vulnerability and adaptive capacity*” foi desenvolvido no Tyndall Centre for Climate Change da Universidade de East Anglia. O projeto compara níveis de risco e vulnerabilidade de populações e regiões a desastres associados a mudanças climáticas. Resumimos abaixo os principais aspectos da metodologia com base em Adger et al (2004).

A metodologia do projeto adota a escala nacional e possui cobertura global. A abordagem utilizada é a **dedutiva**. O principal esforço efetuado foi o de desenvolver e avaliar uma base de dados de indicadores de vulnerabilidade a mudanças climáticas. A construção de indicadores de vulnerabilidade teve por objetivo identificar pontos fracos onde é necessária intervenção para reduzir a possibilidade e intensidade da ocorrência de efeitos adversos resultantes de desastres futuros associados a variações e mudanças climáticas.

O foco recai sobre dez tipos de desastres associados à mudança climática, a saber: secas, enchentes, epidemias, temperaturas extremas, fomes, infestação por insetos, deslizamentos, incêndio florestal, tempestades de vento e *wave and surge*. Cabe ressaltar que foram removidos da base de dados eventos específicos não relacionados a mudanças climáticas.

A metodologia do projeto possui **três passos chave: construção de um marco conceitual; cálculo de indicadores de risco; desenvolvimento de indicadores preditivos de vulnerabilidade.**

A construção do marco teórico de referência do projeto foi realizada combinando revisão **bibliográfica e discussões com especialistas**. O principal objetivo dessa etapa foi conciliar diferentes visões e definições de risco, vulnerabilidade e capacidade de adaptação existentes entre a literatura sobre mudanças climáticas e a literatura sobre desastres naturais.

O conceito de vulnerabilidade biofísica, proveniente da literatura sobre mudança climática e expresso em termos de danos causados, foi conciliado com o conceito de riscos manifestos, advindo da literatura sobre desastres naturais e expresso em termos de probabilidades. Com isso, a vulnerabilidade biofísica, ou risco, é expressa no âmbito do projeto como sendo uma função do evento perigoso e da vulnerabilidade social, e pode ser medida por indicadores de resultantes de desastres associados com mudanças climáticas em períodos determinados. A mensuração do evento perigoso por sua vez, é baseada na frequência projetada ou observada de um tipo específico de desastre, em uma escala de intensidade baseada em valores de média ou pico. Já a vulnerabilidade social pode ser mensurada como sendo a parte dos fatores explicativos da função de vulnerabilidade biofísica que não se refere ao evento perigoso.

Um outro objetivo nessa etapa foi discutir as **relações teóricas entre o conceito de vulnerabilidade biofísica e diferentes categorias de indicadores sociais relacionados à vulnerabilidade social**, de forma a fornecer uma base teórica para a seleção preliminar das **proxies de vulnerabilidade**.

Para o cálculo dos indicadores de risco foram usados dados do EM-DAT. Tais indicadores indicam resultantes de desastres com componentes climáticas. Uma investigação sobre a confiabilidade da cobertura foi realizada antes do cálculo dos indicadores propriamente ditos confirmando a pertinência da utilização das informações do EM-DAT nos períodos 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2. Foram calculados **5 indicadores diferentes**: somatório de afetados

e mortos como percentual da população total; mortalidade em números absolutos; mortalidade como percentual da população nacional; razão entre mortos e total de afetados calculada a partir do somatório de todos os eventos perigosos; razão entre mortos e afetados calculada a partir das médias das razões de cada evento perigoso.

O desenvolvimento de **indicadores preditivos de vulnerabilidade** foi realizado em quatro etapas. A primeira consistiu na construção teórica de *proxies* de vulnerabilidade, baseada na primeira etapa construção de marco teórico e em consulta a um painel de especialistas. A segunda consistiu na aplicação de uma série de testes estatísticos para seleção das *proxies*. A terceira etapa consistiu na validação das *proxies* selecionadas estatisticamente através de um grupo focal com especialistas. Na quarta etapa deu-se a construção propriamente dita dos indicadores.

As *proxies* selecionadas referentes a 9 grupos foram as seguintes. **Bem estar econômico:** PNB per capita; índice de Gini; pagamentos de serviços de dívida como percentual do PNB. **Saúde e nutrição:** despesas com saúde per capita (em dólares corrigidos pela paridade de poder de compra ou como % do PNB); expectativa de vida ajustada por invalidez (DALE); consumo calórico per capita; % de adultos infectados por AIDS/HIV. **Educação:** gastos com educação (como percentual do total de gastos públicos ou como % do PNB); taxa de alfabetização (população acima de 15 anos). **Infra-estrutura física:** estradas (Km/área habitada); população sem acesso a saneamento (%); população rural sem acesso a água potável (%). **Instituições, governança, conflito e capital social:** refugiados (% da população), controle da corrupção, efetividade do governo; estabilidade política; qualidade regulatória; aplicabilidade da legislação; transparência. **Fatores demográficos e geográficos:** densidade populacional; kms de linha costeira (ponderado pela área não costeira); população residente até 100km de distância da linha costeira. **Dependência agrícola:** população ocupada no setor agrícola (% do total da população); população rural (% da população total); exportações agrícolas (% do PNB). **Recursos naturais e ecossistemas:** área protegida; percentual de cobertura florestal; recursos hídricos per capita; águas subterrâneas per capita; área não povoada (%); taxa de conversão florestal (% anual). **Capacidade técnica:** investimento em P e D (% PNB); cientista e engenheiros em P e D por milhões de habitantes; população ocupada no setor terciário.

Para a seleção estatística das *proxies* foi realizado teste de correlação entre um indicador de risco, mortalidade por década para o conjunto de eventos perigosos, e as *proxies* selecionadas. Foram selecionadas nesta etapa as variáveis **coeficiente de correlação significativo** que apresentaram valor da estatística p menor que 10%. Os resultados da seleção sugerem que os indicadores relativos aos grupos **saúde, educação e governança** oferecem um diagnóstico razoável da vulnerabilidade a desastres climáticos, pelo menos no que se refere a suas resultantes de mortalidade.

Dentre as *proxies* iniciais, 11 foram selecionadas estatisticamente e validadas pelos especialistas e usadas na composição do índice de vulnerabilidade. O primeiro passo no cálculo do índice foi extrair os valores dos quintis de cada uma das 11 *proxies* selecionadas. Para as *proxies* com correlação positiva com o indicador de risco, aos países do quintil mais baixo foi atribuído a nota 1 e para os países no quintil superior a nota 5. Quando a correlação entre o indicador e a *proxy* de vulnerabilidade era inversa, o sistema de atribuição das notas foi inversa. Calculou-se então uma média simples das notas nas 11 *proxies* para cada país.

3. Avaliação e propostas metodológicas.

Este item tem por objetivo avaliar as metodologias descritas no item anterior e, a partir desta avaliação, traçar diretrizes e recomendações metodológicas para a mensuração e mapeamento do risco e vulnerabilidade a desastres naturais relacionados à mudança climática no Brasil.

Contudo, antes de proceder à avaliação e às recomendações propriamente ditas, cabe apresentar no quadro abaixo uma breve comparação de aspectos chave das referidas metodologias.

Quadro 1
Comparação das metodologias

	DRI	Hotspots	Tyndall Centre
Abordagem	dedutiva	indutiva	dedutiva
Escala	nacional	subnacional	nacional
Cobertura	global	global	global
Elemento em risco	população	população e Produto Doméstico Bruto	população
Eventos perigosos relacionados a mudanças climáticas	enchentes, seca, ciclones tropicais	enchentes, secas, deslizamentos e ciclones tropicais	secas, enchentes, epidemias, fomes temperaturas extremas, infestação por insetos, deslizamentos, incêndio florestal, tempestades de vento e <i>wave and surge</i>
Variáveis demográficas incorporadas	crescimento populacional, crescimento da população urbana, densidade populacional, razão de dependência	densidade populacional	densidade populacional
<i>Proxy</i> de risco	mortalidade	mortalidade e perdas econômicas	mortalidade e afetados

Fonte: Elaboração própria a partir de informações de Adger et al (2005), Dilley et al (2005) e UNDP (2004).

De modo geral, as três metodologias, apesar de sua alta qualidade, possuem **limitações importantes, derivadas tanto de seu pioneirismo quanto da qualidade do banco de dados que utilizam.** Reunimos tais limitações em quatro blocos, a saber, aquelas relacionadas a questões **demográficas,** as derivadas da utilização de **dados agregados na escala nacional,** aquelas derivadas da **cobertura e confiabilidade da base de dados** e as relacionadas ao uso das **abordagens indutiva e dedutiva.**

Em relação à questão demográfica, salta aos olhos a **subrepresentação de variáveis demográficas nos modelos das abordagens dedutivas.** Mesmo no DRI, que incorpora um número maior de variáveis demográficas, estas estão limitadas à densidade populacional, crescimento populacional e razão de dependência. Tal subrepresentação é um forte indício de que o marco teórico que suporta a construção dos **dois modelos não incorpora a dimensão**

demográfica da vulnerabilidade humana de forma suficiente. Uma incorporação mais consistente dessa dimensão, que poderia ter sido feita através da inclusão de especialistas em demografia nos painéis de especialistas consultados, levaria à inclusão no modelo de aspectos cruciais tais como estrutura domiciliar e migração.

O poder explicativo de indicadores de crescimento populacional é bastante limitado, em especial no caso de países que enfrentam novos desafios demográficos como os do crescimento zero ou negativo. Já a inclusão dos indicadores de densidade populacional foi bastante adequada, pois estes possuem um poder explicativo forte em relação à vulnerabilidade, o que foi comprovado tanto pelos testes estatísticos realizados nos estudos aqui avaliados quanto em outros trabalhos baseados em estudos de caso (AVISO, 2005). Consideramos também bastante adequada a inclusão de indicadores de razão de dependência, pois estes são uma *proxy* adequada da presença de famílias com um alto número de crianças ou idosos, em condições precárias para se defender e readaptar quando atingidas por desastres, em relação ao número de adultos, aspecto importante na determinação das componentes suscetibilidade e falta de resiliência da vulnerabilidade.

A componente demográfica estrutura domiciliar pode explicar grande parte das diferenças observadas nas resultantes de desastres em populações com indicadores sócio-econômicos semelhantes e graus de exposição similares a eventos perigosos. Por exemplo, AVISO (2005) explicitamente menciona que famílias chefiadas por mulheres, as mais pobres entre os pobres em escala mundial, são aquelas mais atingidas em desastres diversos em todo o mundo. Outros exemplos de variáveis relativas à estrutura domiciliar que poderiam explicar componentes importantes da vulnerabilidade seriam famílias chefiadas por desempregados e famílias residentes em moradias subnormais e/ou ilegais.

No que se refere à migração, a incorporação desta dimensão poderia trazer à tona a existência de grupos populacionais muito vulneráveis em países onde a componente susceptibilidade da vulnerabilidade é baixa em função dos valores médios dos indicadores sócio-econômicos. Este é o caso de imigrantes internacionais, como os latinos nos Estados Unidos ou os africanos e árabes na Europa, e de imigrantes domésticos em países com alta desigualdade regional, como os imigrantes brasileiros provenientes de regiões economicamente deprimidas e empobrecidas.

De forma a superar tais limitações nossa sugestão é incorporar de forma mais consistente a dimensão demográfica de cada uma das três componentes da vulnerabilidade. Para tanto, além da inclusão de indicadores relativos à estrutura domiciliar e migração, sugere-se a inclusão de demógrafos entre os participantes de instrumentos de consulta como painel de especialistas e grupos focais.

Duas das metodologias aqui avaliadas utilizam exclusivamente dados agregados na escala nacional. A metodologia do *Hotspots*, que adota a escala subnacional, usa dados agregados na escala nacional em um passo chave, o cálculo dos coeficientes de vulnerabilidade que ponderam os indicadores de risco. Com isso as especificidades subnacionais são captadas apenas em relação aos eventos perigosos e aos elementos em risco, ficando invisíveis no que se refere à vulnerabilidade.

Adger et al (2004), que utiliza dados agregados em escala nacional, chama a atenção para as limitações advindas de tal procedimento, ilustrando com o caso do PNB. Segundo eles, esta variável, usada como *proxy* de importância chave nos três estudos mencionados, não é

representativa para países com distribuição de riqueza desigual⁴. O mesmo ocorre com outras variáveis sócio-econômicas e demográficas em países dotados de heterogeneidades significativas.

A realização de estudos em escalas intermediárias, como a subnacional, seriam, portanto muito úteis para superar tais limitações e comprovar a validade das hipóteses e a capacidade de generalização dos resultados obtidos por metodologias que adotam a escala nacional. Uma diretriz adicional em relação a este aspecto seria a utilização exclusiva de dados nesta escala em todos os passos metodológicos. Para operacionalizar tal diretriz uma possibilidade seria a adoção das células espaciais do Gridded Population of the World - GPW, CIESIN et al (2004), utilizadas em Dilley et al (2005), como unidade espacial de análise, convertendo-se todo o banco de dados para esta unidade através da utilização de um SIG.

Uma importante limitação mencionada nos relatórios científicos dos três estudos aqui avaliados diz respeito à confiabilidade, amplitude e cobertura das bases de dados que utilizam. É consensual a constatação de que dados globais confiáveis em relação aos resultantes de desastres se limitam aos dados de mortalidade e que outros indicadores de risco se fariam necessários para que análises mais aprofundadas pudessem ser efetuadas. Isto porque muitos desastres causam impactos sociais e econômicos muito sérios sem produzir mortalidade relevante. Também há um consenso na demanda por dados sobre eventos perigosos e exposição aos mesmos de melhor resolução espacial. Uma terceira limitação das bases de dados se refere à baixa disponibilidade de dados sobre desastres de pequeno e médio porte, uma vez que as bases de dados globais existentes cobrem apenas desastres de porte grande e médio para grande⁵. (Adger et al, 2004; UNDP, 2004; Dilley et al, 2005)

No caso brasileiro é possível superar tais limitações utilizando bases de dados nacionais, mais ricas e confiáveis que as bases de dados globais. Para a construção de *proxies* confiáveis de risco manifesto e vulnerabilidade relativa, sugerimos a utilização de dados oriundos do AVADAN/SINDEC (documento oficial de comunicação de desastres do Sistema Nacional de Defesa Civil). Para a construção de *proxies* confiáveis de vulnerabilidade humana sugerimos a utilização de bases de dados como as PNADs, as POFs, o sistema de informações do SUS, dentre outros. No que se refere às *proxies* de exposição, dados provenientes do AVADAN/SINDEC poderão ser complementados por informações produzidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), bem como por resultantes de modelos teóricos produzidos por institutos de pesquisa internacionais como o IRI da Universidade de Columbia e o Dartmouth Flood Observatory.

No que se refere aos dados provenientes do AVADAN/SINDEC (documento para registro oficial de desastres no âmbito do Sistema Nacional de Defesa Civil), sua utilização irá permitir avanços importantes. Isso porque a referida fonte traz dados sobre pequenos e/ou médios eventos, bem como informações sobre resultantes outros além da mortalidade, tais como total de pessoas afetadas, pessoas desalojadas, perdas de infra-estrutura. Uma vez que o AVADAN/SINDEC passou a ser de adoção obrigatória em âmbito nacional apenas a partir de 2000, para períodos anteriores pode-se recorrer a dados advindos de arquivos das secretarias estaduais de defesa civil, tomando-se o cuidado de validar a extrapolação da

⁴ Nesses casos, grupos populacionais pobres, mais vulneráveis a desastres, terão seu risco subestimado. Esse pode ser o caso mesmo para um país com alto PNB, como os Estados Unidos, exemplo demonstrado claramente pela recente tragédia do Furacão Katrina.

⁵ UNDP (2004) define como evento de porte grande ou médio para grande aquele que envolve mais de 10 mortes e/ou pedido de ajuda internacional.

amostra testando sua amplitude com base em fontes de informação complementares, tais como arquivos da imprensa e arquivos municipais.

A forma de utilização da abordagem indutiva ou dedutiva também é ponto que merece ser avaliado. Um dos trabalhos avaliados, Adger et al (2004) chama a atenção para este ponto ao afirmar que muitos estudos sobre vulnerabilidade não adotam consistentemente nem uma nem outra abordagem, e sim uma mistura pouco clara de ambas.

Segundo Lonergan (1999), uma aplicação consistente da abordagem dedutiva requer uma discussão aprofundada das categorias teóricas fundamentais como risco e vulnerabilidade e a subsequente ligação, estreita e transparente, entre tal teoria e as escolhas feitas em relação às proxies e indicadores. Também requer que métodos estatísticos sejam aplicados meio de comprovação das hipóteses e não como ferramenta central. Já uma aplicação consistente da abordagem indutiva requer que a aplicação de métodos estatísticos capazes de identificar padrões generalizáveis e que os pressupostos teóricos sejam flexíveis o suficiente para permitir a manifestação de tais padrões.

Em nossa avaliação, as metodologias do *Hotspots* e do Tyndall Centre são coerentes com a abordagem escolhida. Na metodologia dos *Hotspots* a escolha de um coeficiente de vulnerabilidade de caráter muito genérico, os agrupamentos de países/regiões por graus de riqueza relativa, permite que os padrões de risco se manifestem através do tratamento estatístico dos dados, não trazendo pressupostos fortes que possam enviesar os resultados. A metodologia do Tyndall Centre dá grande destaque ao primeiro passo, a construção do marco teórico e faz relações explícitas com ele no decorrer dos outros passos metodológicos. As ferramentas estatísticas empregadas são simples o suficiente para cumprir seu papel auxiliar de comprovação dos pressupostos. Além disso, os resultados obtidos com a ferramenta estatística são validados com a aplicação de uma técnica de grupo focal com especialistas. Já a metodologia do DRI é menos consistente na aplicação da abordagem escolhida. Ao modelar os indicadores de vulnerabilidade, a metodologia do DRI relaxa pressupostos teóricos construídos anteriormente em prol da utilização de metodologia estatística mais sofisticada, perdendo um pouco de seu caráter dedutivo. Tal opção se reflete nos resultados finais, com a seleção de indicadores de vulnerabilidade por demais genéricos, não específicos para o caso de desastres naturais e com fraca capacidade de explicação do ponto de vista teórico, como o PNB per capita, o índice de desenvolvimento humano e a densidade populacional.

Decorre de tal avaliação a sugestão de aplicar a uma mesma região, tendo por base o mesmo banco de dados, ambas as abordagens de forma criteriosa e em separado, bem como a posterior comparação dos resultados obtidos.

Para a aplicação da abordagem indutiva a diretriz aqui sugerida é tomar como ponto de partida a metodologia de Dilley et al (2005), alterando-a em um ponto chave. Os indicadores referentes aos agrupamentos de países-renda para calcular os coeficientes de vulnerabilidade devem ser substituídos por indicadores referentes a zonas de vulnerabilidade social. As zonas de vulnerabilidade social podem ser construídas aplicando análise de agrupamento (cluster) a um conjunto de indicadores socioeconômicos e demográficos que apresentem correlações estatísticas relevantes com a vulnerabilidade relativa.

Na aplicação da abordagem dedutiva nossa diretriz é estimar funções de probabilidade de perda de vidas humanas, perda temporária de moradia e perda permanente de moradia,

Quando populações que respondem a determinados graus de vulnerabilidade social são expostas a eventos perigosos em determinados intervalos de intensidade. Os diferentes graus de vulnerabilidade social poderão ser calculados com base nos resultados obtidos por Adger et al (2005), tomando o cuidado de adaptá-los à escala subnacional através de um painel de especialistas. Os intervalos de intensidade dos eventos perigosos poderão ser calculados seguindo a metodologia de Ordaz e Yamin (2004). As funções serão estimadas usando modelos de regressão múltipla.

Uma diretriz adicional de importância crucial é testar a validade dos modelos dedutivos através da sobreposição, através de SIG, dos mapas de risco estimado com mapas de risco manifesto.

Sugere-se também adotar na consulta ao painel de especialistas o método “budget allocation scheme”, segundo o qual se atribui a especialistas um “budget” de, por exemplo, 100 pontos, a serem alocados aos indicadores pré-selecionados de acordo com o seu julgamento sobre a relevância de cada um em traduzir o fenômeno para o qual se deseja construir a *proxy*.

Referências Bibliográficas

Adger et al (2004). New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report, n.7.

AVISO (2005). Information Bulletin on Global Environmental Change and Human Security. Nº 14, Oct 2005.

Brauch, H. G. (2005). Treats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. Bonn: SOURCE (Studies of the University: research, counsel, education)/ UNU-EHS. Nº 1.

Cardona, O. D. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management.

Cardona O. D. et al (2005). System of indicators for disaster risk management: main technical report. Manizales – Washington: Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia / Inter-American Development Bank.

CIENSIN et al. (2004). Gridded Population of the World (GPW). Version 3 (beta). Palisades, NY: CIESIN, Columbia University. Disponível em <http://beta.sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>

Dilley et al. (2005). Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington: World Bank Publications.

Herculano (2000). S. (1998). “A qualidade de vida e seus indicadores”. *Ambiente & Sociedade*. Ano I, nº 2, 1º semestre

Lonergan, S., 1999: *Global Environmental Change and Human Security: Science Plan*. International Human Dimensions Programme (IHDP) Report No. 11. IHDP, Bonn, Germany

Ordaz, M. G. e Yamin, L. E. (2004). Eventos máximos considerados (EMC) y estimación de pérdidas probables para el cálculo del índice de déficit por desastre (IDD) en doce países de las Américas, IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible em <http://idea.unalmzl.edu.co>

O’Riordan, T. (2002). Precautionary Principle, in: Tolba, M. K. (ed): Encyclodia of Global Environmental Change, vol. 4. Chichester, UK: John Wiley.

Peduzzi et al (2001). Feasibility report on global risk and vulnerability index – trends per year (GRAVITY) for UNDP/ERD. Geneva: UNEP/DEWA/GRID, June.

UNDP (2004). Reducing desaster risk: a challenge for development, a global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP.