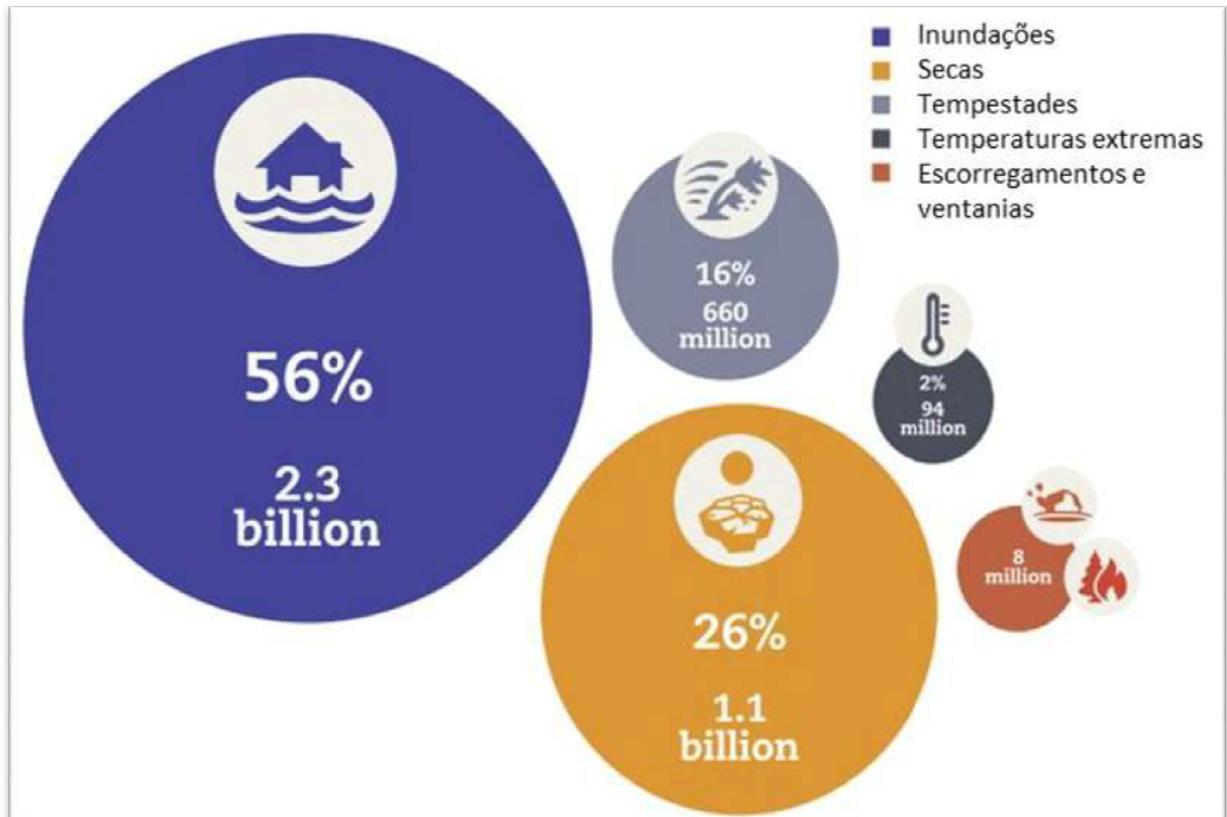


Figura 13 – Número de afetados por desastres relacionados ao clima (1995-2015).

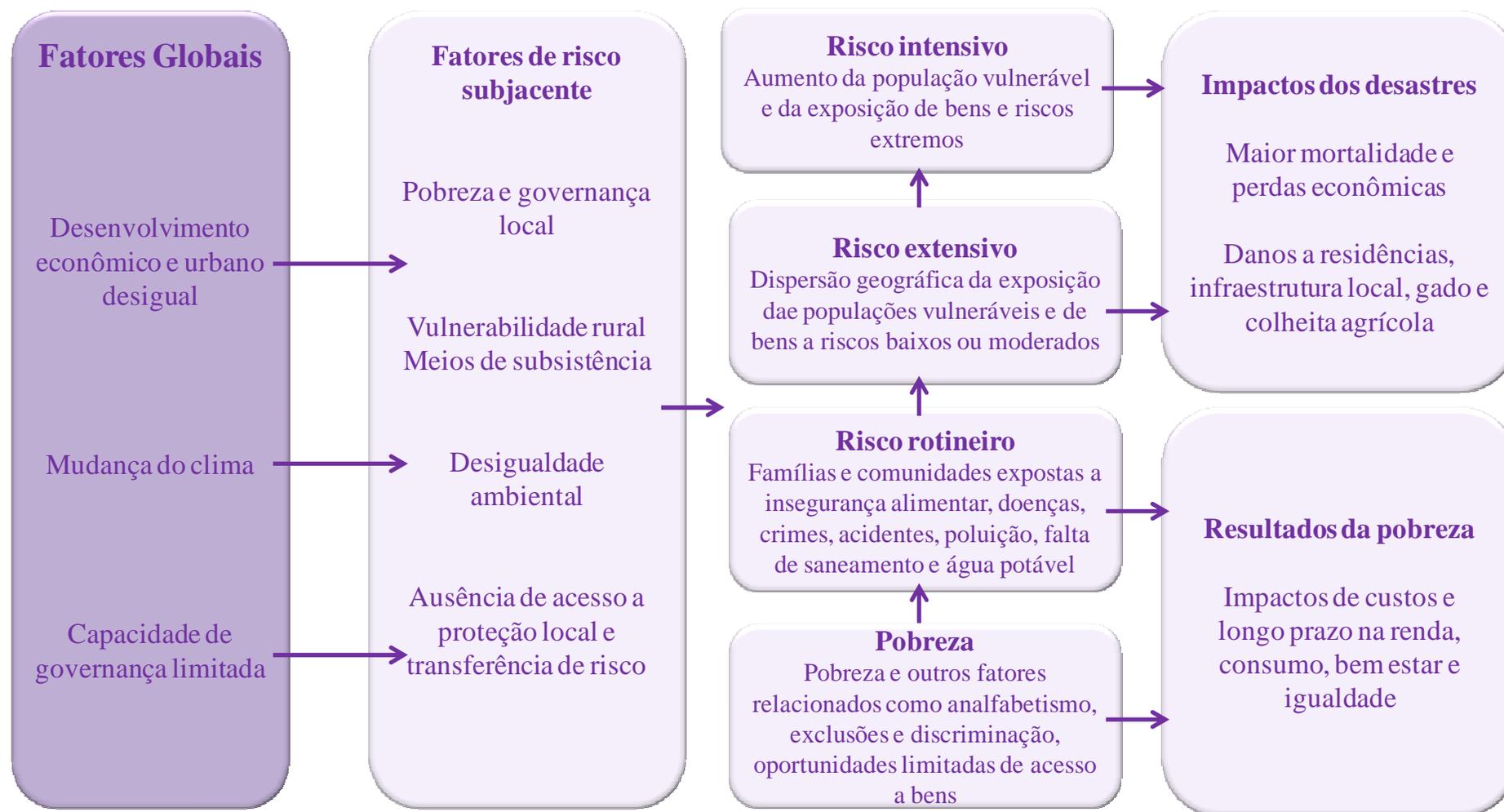


Fonte: CRED e UNISDR, 2016.

O número de pessoas que vivem em áreas propensas às inundações é estimado em 1,3 bilhão em 2050 (15% da população global) (LIGTVOET *et al.*, 2014; GFDRR, 2016). Ainda que não haja uma relação direta, entende-se que os pobres são os mais vulneráveis aos desastres porque eles são frequentemente forçados a se estabelecerem nas áreas marginais e têm menos acesso à prevenção, preparo e pronta advertência. Os pobres são os menos resilientes na recuperação dos desastres porque eles não dispõem de redes de suporte, seguros e opções alternativas de subsistência (PNUMA, 2008; CAVEDON e VIEIRA 2011; VIANA 2016). Dito isto, afirma-se que a pobreza e a deficiência na infraestrutura básica das cidades influenciam e são influenciadas pelos desastres (UNISDR, 2009) (Figura 14).

Apesar dos investimentos em infraestrutura para minimizar os efeitos das inundações, este desastre permanece atingindo os países sejam eles desenvolvidos ou não, como registrados no ano de 2017, inundações na Alemanha e Áustria. De maneira geral, muito se sabe que o processo de urbanização, com a impermeabilização do solo, contribui para o aumento da velocidade do escoamento superficial e os consequentes danos e prejuízos gerados por uma inundação.

Figura 14 – Relação da pobreza e os desastres



Fonte: UNISDR, 2013, tradução livre

Alguns dos fatores que contribuem para o aumento do risco de inundação, segundo Carneiro e Miguez (2011) são: remoção da vegetação natural com vistas às edificações e construção de vias; aumento das taxas de impermeabilização; construção de redes de drenagem artificial; ocupação de áreas ribeirinhas e planícies de inundação; ocupação desordenada e favelização; disposição de resíduos sólidos e de águas residuais na rede de drenagem, e; interferências recíprocas entre redes de infraestrutura (pontes estreitas sobre rios, tubulações de água cortando galerias, entre outros, configurando singularidades locais que restringem o escoamento).

As inundações se apresentam por diversas formas, dentro do contexto das operações de defesa civil e emergência, elas podem ser classificadas como alagamentos, inundações graduais, inundações bruscas e inundações costeiras (CASTRO, 2003). Na realidade da bacia de estudo, os alagamentos surgem em praticamente todos os volumes de precipitação, pouco interfere no cotidiano da comunidade e ocorre, em sua maioria, pela falta ou deficiente na infraestrutura do sistema de drenagem. As inundações graduais apresentam baixa energia cinética, ou seja, a elevação do nível é lenta. As inundações graduais possuem uma sazonalidade, tornando-as previsíveis. Estas tem uma abrangente área de impacto, causando danos, prejuízos e interferência na rotina local (CASTRO, 2003).

As inundações repentinas ou bruscas encontram-se entre os desastres mais destrutivos, ainda assim, pouco se sabe sobre este fenômeno (GAUME *et al.*, 2009). Um dos principais motivos está relacionada a sua escala de tempo e espaço relativamente curto, onde as redes convencionais de medição de descargas, não são capazes de amostrar de forma eficaz esses eventos (CREUTIN e BORGA, 2003). Ainda descreve-se a ocorrência da inundação brusca com chuvas intensas e concentradas, durante um período semelhante ao evento de chuva que a causa, além de estar associada a relevos acidentados (KOBAYAMA *et al.*, 2006). O impacto deste fenômeno é menor que as inundações graduais, porém sua devastação é maior, incluído mortes em suas perdas causadas.

O controle do fenômeno torna-se incipiente no aspecto técnico operacional, seja ele na ciência (hidrologia, meteorologia, geologia) ou na aplicação demonstrada no caso de procedimentos de gerenciamento de riscos ineficientes, como por exemplo, na emissão de um alerta precoce incerto. Portanto, o estudo das respostas hidrológicas e os impactos geomorfológicos de uma bacia, com a descrição e análise dos eventos de inundação é a chave para mitigar os impactos negativos das inundações repentinas (adaptado BRYNDAL *et al.*, 2017). O recente estudo realizado pelo Banco Mundial “*Gerenciamento de Risco de Inundação na Escala da Bacia Hidrográfica*”, de 2017 indica os princípios para a boa gestão

de maneira objetiva, finalizando o documento elencando as seguintes diretrizes, de maneira resumida:

- A. Deve-se calcular o risco aceitável com base em princípios de custo-benefício e socialmente aceitáveis e entender que "viver com inundações" é inevitável;
- B. As planícies de inundação são áreas atraentes para desenvolvimentos urbanos, industriais e de infraestrutura. A decisão de desenvolver essas áreas deve basear-se em análises robustas de custo-benefício. Os componentes essenciais neste processo de tomada de decisão são a avaliação dos riscos de inundação e a identificação de medidas para minimizar esses riscos através de intervenções estruturais e não estruturais. No final, as decisões devem basear-se em alcançar maiores benefícios sociais e econômicos do que os custos, levando em consideração as mudanças futuras, como os impactos das mudanças climáticas;
- C. A abordagem pró-ativa do gerenciamento de inundações pode prevenir desastres, enquanto uma abordagem de "esperar e ver" pode levar a um número significativo de baixas e altas perdas econômicas;
- D. As decisões de investimento no gerenciamento de risco podem reduzir os riscos de inundação e devem ser sistematicamente baseadas no mapeamento de riscos de inundação e nas avaliações de risco de inundação e na medida em que várias intervenções possíveis, incluindo medidas estruturais e não estruturais;
- E. À medida que as previsões de inundações se tornam cada vez mais precisas, elas podem suportar o planejamento e, em muitas situações, fornecem tempo de espera suficiente para reduções significativas em danos e perdas de inundações. Para complementar a previsão de inundações, é necessário um bom sistema de informação (lidar com infraestrutura crítica, rotas de evacuação, abrigo, etc.) para melhorar a preparação e apoiar o alerta precoce durante as operações de emergência de inundações.
- F. Estudos integrados são importantes uma vez que as intervenções de gerenciamento de risco de inundação têm impactos fora das áreas onde são implementadas. Nas bacias hidrográficas, quase todas as intervenções que são viáveis têm impactos positivos ou negativos na direção a jusante, e os impactos negativos devem ser incluídos na análise custo-benefício para o projeto proposto. As intervenções de manejo de inundações, geralmente, têm impactos em muitos outros aspectos do manejo da bacia hidrográfica, como meio ambiente, agricultura, seca, energia hidrelétrica.

G. Existe um interesse crescente na coleta de dados nas bacias hidrográficas, mas ainda há muito a fazer nessa área. Muitos estudos de gerenciamento de inundações sofrem com a falta de dados, o que pode levar a falhas estruturais muito caras ou decisões erradas no planejamento. De particular importância são os modelos digitais de terreno, que fornecem informações detalhadas sobre os níveis do terreno para suportar o mapeamento de risco de inundação.

### 1.3 Mudanças climáticas e Eventos Extremos

Os desastres predominantes no mundo são os hidrológicos e associados a isto, as mudanças climáticas incorporam-se ao tema uma vez que indica o aumento dos eventos extremos, sua frequência e intensidade das precipitações, aumentando a incidência de inundações (MOREIRA, 2016). Esta relação é sintetizada na Figura 15. A Diretiva Europeia generaliza sobre inundação: “a escala e a frequência das inundações deverão aumentar no futuro devido às alterações climáticas, à gestão inadequada dos rios e à construção em zonas de risco de inundação” (EU, 2007). A análise de uma possível relação das mudanças climáticas com o aumento da ocorrência de desastres é muito complexa, pois se deve considerar os arranjos físicos e ambientais e características socioeconômicas, desencadeados em um evento extremo, de forma integrada (DEBORTOLI *et al.*, 2017).

Figura 15 – Relação das mudanças climáticas e os desastres



Fonte: adaptado Moreira, 2016.

No relatório, O custo humano dos desastres relacionados com o clima (CRED e UNISDR 2016), o professor Debarati Guha-Sapir, chefe do CRED, disse: "*As mudanças climáticas são uma ameaça para a meta global de desenvolvimento sustentável. Precisamos enfrentar outros fatores de risco como o desenvolvimento urbano não planejado, a degradação ambiental e as lacunas nos alertas precoces. Tudo isto exige assegurar que as pessoas sejam informadas e fortaleçam as instituições que gerem os riscos de desastres.*", reforçando os conceitos precitados nas Ações de Sendai.

Como complemento aos avanços sobre a redução de desastres, o Acordo de Paris caminhou em conjunto a ONU para ampliar a relação das mudanças do clima e os fenômenos que causam desastres. "*Em longo prazo, o acordo em Paris na COP21 sobre a redução das emissões de gases com efeito de estufa será um contributo significativo para a redução de danos e perdas decorrentes de desastres, em parte impulsionadas por um aquecimento global e aumento do nível do mar. Por enquanto, é necessário reduzir os níveis de risco existentes e evitar criar novos, assegurando que os investimentos públicos e privados sejam informados sobre os riscos e não aumentem a exposição das pessoas e dos bens econômicos*" MARGARETA WAHLSTRÖM, chefe da UNISDR em 2015.

A rápida urbanização e o desenvolvimento industrial cada vez mais intenso aumentaram significativamente o risco de inundações e a exposição, enquanto os esforços para reduzir a vulnerabilidade apenas compensaram fracamente esse aumento. As áreas rurais estão gradualmente substituindo as florestas, assim como o próprio desmatamento tem levado ao aumento dos picos de enchentes. Nas áreas urbanas, o principal problema é que as terras naturais são convertidas em superfícies pavimentadas sobre as quais as águas pluviais correm mais rapidamente em drenos e rios. A velocidade aumentada de escoamento conduz a picos de escoamento mais altos nos canais de drenagem a jusante. O lixo contribui para o bloqueio da passagem da água pelo sistema de drenagem, entopem bueiros e tubulações que levariam a água até os córregos, onde a realidade brasileira e da baixada fluminense identifica a falta de coleta e o depósito de lixo em áreas ribeirinhas, poluindo os rios e criando represamento do fluxo natural.

Além disso, a melhoria dos sistemas existentes de drenagem urbana muitas vezes contribui para o aumento dos fluxos de pico, pois esses sistemas podem liberar a água das tempestades mais rapidamente do que antes. Ainda, estes fluxos de pico aumentados podem prejudicar infraestrutura, como pontes, ou levar a sobreposição e falha de aterros. A médio / longo prazo espera-se que os impactos nas mudanças climáticas acentuem os maiores fluxos de pico nos rios e a elevação do nível do mar. Para mitigar os impactos negativos, é

necessário incorporar a gestão de risco de desastres nas etapas de planejamento urbano, como nas construção de infraestrutura compensatória e conscientização da população (GFDRR, 2017).

#### **1.4 Gestão de Risco de Desastres Hidrológicos**

A Gestão de Risco de Desastres (GRD) representa o conjunto de decisões administrativas, de organização e de conhecimentos operacionais desenvolvidos por sociedades e comunidades para implementar políticas, estratégias e fortalecer suas capacidades a fim de reduzir os impactos de ameaças naturais e de desastres ambientais e tecnológicos consequentes (ONU, 2012). A GRD incorpora diversos tipos de atividades, desde as medidas estruturas quanto as não estruturais, onde suas ações são definidas como prevenção, mitigação, preparação e resposta aos desastres. Em VIANA (2016), a GRD apresentou as seguintes fases: Redução do risco (antes do desastre); manejo do desastre (durante o desastre); e recuperação (depois do desastre). Para a PNPDEC suas diretrizes são descritas com base na GRD e pode ser vista na Figura 16, além de priorizar as seguintes ações (SEDEC/MI, 2017):

- a. uma atuação articulada entre a União e seus entes federados;
- b. uma de gestão que inclua prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação;
- c. a prioridade à prevenção e minimização de desastres;
- d. a adoção da bacia hidrográfica com unidade de análise em casos específicos;
- e. a ênfase ao planejamento com base em pesquisas e estudos; e
- f. a garantia da participação social.

Dentro do contexto da prevenção e minimização dos desastres de base hidrológica, o cenário internacional busca ferramentas de maior impacto socioeconômico, isto é, medidas não estruturais como soluções uma vez que estas são financeiramente mais viáveis e focam na prevenção, conservação e a busca de melhor harmonia entre o meio e as áreas urbanas ribeirinhas (TUCCI, 2007). A gestão de risco identifica o risco, analisa e mensura a vulnerabilidade e os perigos naturais de determinada região. Permite estreitar o caminho entre pesquisa e operação, de modo a gerar resultados satisfatórios para as diversas classes da sociedade.

Figura 16 – Gestão de risco – Integração em Proteção e Defesa Civil



A cultura de gestão de risco ainda é bastante embrionária no país. Muitas cidades permanecem adotando medidas estruturais na intenção de reduzir os riscos de desastres, mesmo sendo ações que contemplem um custo financeiro muito elevado e sem representar mecanismos de conscientização da população e mudança de paradigmas culturais. A comunidade científica, gestores públicos e a população buscam assim respostas para as ocorrências de desastres e isto se torna mais evidente quando a exploração e ampliação da base de informações sobre desastres passam a ser prioridade, junto com as informações prévias para tomada de decisão, utilizando conhecimento histórico e técnico para melhor adaptação as situações de anormalidade.

A gestão do risco de inundações é um desafio para muitas cidades, e tende a crescer pelo mesmo histórico (HUONG e PATHIRANA, 2013). Entender e abordar cada componente do risco, e suas interações, é essencial para a redução efetiva do risco de desastre de inundação (MCCALLUM *et al.*, 2016). Na última década, tem havido uma infinidade de estudos fornecendo projeções futuras de mudanças no risco de inundação na Europa (KUNDZEWICZ *et al.*, 2017). Uma das avaliações de risco pode ser usada como uma base racional para a tomada de decisão (HALL *et al.*, 2003), baseia-se tipicamente na quantificação do risco através da modelagem computacional de inundações (VOJINOVIC e TUTULIC 2009), e a quantificação da vulnerabilidade, considerando os danos e prejuízos associados.

A Directiva Europeia de 2007 indica o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação e de risco de inundação como etapa preliminar ao correto gerenciamento, onde as etapas subsequentes visam a prevenção, proteção e preparação ante ao desastre. Além disso, questões importantes para os regulamentos da UE, sendo mais relevantes a respeito das inundações bruscas (*flash flood*), devido a sua ocorrência localizada, poucos são os registros de tal fenômeno, prejudicando o entendimento e sua recorrência, ainda, com a falta de dados sobre este, dificilmente são reconhecidos na fase de mapeamento e, conseqüentemente, não são incorporados nos planos de gerenciamento de risco de inundação (BRYNDAL *et al.*, 2017). O mesmo autor argumenta que o gerenciamento de inundação em sua maioria é feito apenas para as grandes bacias (várias dezenas de km<sup>2</sup> de área), sendo os *flash floods*, em boa parte, ocorrendo nas pequenas bacias.

Dentro desse aspecto, ainda o mesmo autor relata sobre o combate aos desastres hidrológicos através da redução da exposição aos mesmos, de maneira a mitigar os impactos negativos das inundações, uma vez que poucos são os dados registrados em relação às pequenas bacias. Outro questionamento deste mesmo autor são os projetos de infraestrutura, como as canalizações e pontes, onde se considera frequências na ordem de 1%, para

dimensionamento (fator de risco da obra), porém muitas vezes as inundações bruscas tem probabilidade menor de ocorrência. Essas obras podem, também, sofrer com as inundações bruscas, sendo destruídas e ao mesmo tempo deve-se pensar em incluir, em seus dimensionamentos, o fluxo de matérias como árvores e até mesmo o lixo despejado em córregos. Esses sedimentos contribuem para o depósito e formação de “bancos de areia” no curso do rio, além de aumentar, ao se misturar com a água, o volume que passa em determinadas seções como pontes e outras obras.

O trabalho da Defesa Civil, um pouco diferente do foco acadêmico, trata a gestão de risco de maneira flexível. O primeiro princípio é de salvar vida, sendo o bem mais valioso de qualquer ser humano. Por isso, incorpora-se o princípio do risco aceitável, ou seja, uma população vulnerável vive em área suscetível a inundação, não pode-se evitar que o fenômeno atinja essa população, porém a busca-se evitar a morte e reduzir os danos e prejuízos ambientais e materiais, aplicando a gestão de risco e suas medidas preventivas, como a identificação dos locais de risco, comunicação de risco participativa com a população vulnerável, treinamento desta mesma população e instalação de sistemas de alerta, entre outros. Algumas medidas preventivas antecedentes, no momento e após o desastre, são listadas (KOBAYAMA, 2007; FEMA, 2004):

- Antes: Cobrar a fiscalização e denunciar ocupação em área de risco; Manter limpo os ralos e calhas. Não jogar lixo ou entulho nos bueiros, rios e galerias; Se estiver chovendo forte, por muitos dias ou por muitas horas seguidas, ficar alerta para o risco de inundação e escorregamento; Estar atento aos boletins meteorológicos e às notícias de rádio e TV de sua região; Verificar a existência de abrigos em áreas elevadas e relativamente planas para você e sua família;
- Durante: Antes de tudo, proteja a sua vida, a de seus familiares e amigos, permanecendo calmo, e procure não se deslocar; Fique atento às informações fornecidas pelos órgãos competentes através da mídia; Em casos mais sérios, peça ajuda a DEFESA CIVIL (telefone 199) e ao CORPO DE BOMBEIROS (telefone 193); Nunca dirija em áreas inundadas. As pessoas se afogam mais em seus carros do que em qualquer outro lugar; Fique longe de postes e linhas de transmissão caídas. Choque elétrico é o segundo maior causador de mortes durante as inundações. A eletricidade é transmitida facilmente pelas áreas alagadas; Evite contato com as águas da inundação, além de poder receber um choque elétrico, elas estão contaminadas, podendo causar graves doenças; Caso tenha sido retirado

de sua residência (evacuação ou salvamento) não volte para casa até as águas baixarem e o caminho estar seguro.

- Depois: Antes de entrar em sua casa tenha cuidado: veja se sua casa não corre o risco de desabar; Ao movimentar objetos, móveis e utensílios, tenha cuidado com aranhas, cobras e ratos; Retire todo o lixo da casa e do quintal e coloque para ser recolhido pelo órgão de limpeza pública; Não use água de fontes naturais e poços depois da inundação, pois estão contaminadas. Informe-se na Unidade de Saúde mais próxima; Limpe os disjuntores antes de ligar a energia elétrica.

#### **1.4.1 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**

O fortalecimento da Defesa Civil no Brasil e sua trajetória até a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e os desastres no Brasil são historicamente marcados por uma preferência nas ações de resposta e recuperação, ou seja, concentram-se, no período do impacto e pós-impacto e somente a partir da década de 1960 que o país começa a voltar sua atenção para os problemas advindos de desastres, em virtude, sobretudo de graves secas na região Nordeste e de intensas chuvas e inundações que atingiram a região Sudeste nos anos de 1966 e 1967 (FURTADO et al, 2013). Ao final do ano de 1966 é fundada a primeira Defesa Civil estadual do Brasil, no Estado da Guanabara, seguida pela criação do Ministério do Interior em 1967, do Fundo Especial para Calamidades Públicas (Decreto-Lei Nº 950, de 13 de outubro de 1969), e do Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas - GEACAP (embrião da Secretaria Nacional de Defesa Civil) no mesmo ano.

Com o fim do período ditatorial no Brasil e promulgação da Constituição de 1988, o Estado pela primeira vez assume como prerrogativa da União: “planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações” (BRASIL, 1988), bem como legislar sobre a defesa civil. Com as resoluções da ONU, o Brasil elabora um plano nacional de redução de desastres em 1995 – a Política Nacional de Defesa Civil (PNDC) – estruturada em quatro pilares: prevenção, preparação, resposta e reconstrução. Na década de 2000, com a criação do Ministério da Integração Nacional em 2003, este passa a se encarregar da Defesa Civil, permanecendo nos dias atuais. O Decreto nº 5.376, de 2005, instituiu as Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil (CEDEC's) e os

Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDEC's); prevendo a criação de uma série de instrumentos para coleta de informações, sistemas de alerta e atendimento à população. Destes, apenas o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) foi efetivamente estabelecido, mantendo suas atividades até hoje.

A PNPDEC, instituída pela Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012, publicada no dia 11 de abril de 2012, traz os princípios, os objetivos e instrumentos de como a gestão de riscos de desastres e a gestão de desastres devem ser implementadas no Brasil, com o propósito de assegurar condições sociais, econômicas e ambientais adequadas para garantir a dignidade da população e garantir a promoção do desenvolvimento sustentável (INTREGRAÇÃO, 2012). Em conjunto com a PNPDEC atual algumas inovações foram inseridas:

- Integração das políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável;
- Elaboração e implantação dos Planos de Proteção e Defesa Civil nos três níveis de governo, estabelecendo metas de curto, médio e longo prazo;
- Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres; Profissionalização e a qualificação, em caráter permanente, dos agentes de proteção e defesa;
- Cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; e
- Inclusão nos currículos do ensino fundamental e médio dos princípios da proteção e defesa civil e a educação ambiental, entre outras.

O Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres, uma das ações previstas na Lei 12.608, foi concretizado ainda em 2012 a partir da criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Representa a interface entre as questões sociopolíticas e técnicas no aspecto da Lei, visando tornar as informações mais simplificada e informatizada, acelerando o processamento das informações e alimentando um banco de dados aberto à sociedade. Ainda sobre esse aspecto, ressaltamos as mudanças no sistema de codificação de desastres utilizados no Brasil, num esforço para condensar a atual

Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) de modo que ela contribua na alimentação do banco de dados utilizados pela ONU.

Ainda que a PNPDC preveja a ação articulada entre os entes federados, o próprio arranjo federativo brasileiro dificulta a cooperação intergovernamental, somando-se a isso o perfil de boa parte dos municípios brasileiros, em especial os de menor porte: fragilidade institucional e baixa capacidade econômica e burocrática para cumprir as exigências de grande parte das políticas públicas nacionais, (NOGUEIRA, OLIVEIRA e CANIL 2014). Outro fato agravante para o sucesso da PNPDEC se dá em relação à própria natureza das políticas de gestão de risco, já que falar de risco é tratar da incerteza – algo real, mas pertencente ao futuro, e que ao se materializar, não o faz maneira completamente previsível, portanto, não total e facilmente gerenciável. Por outro lado, desastres, de modo semelhante a outras políticas ambientais, não estão circunscritos aos limites políticos de nenhum ente federado, prescindindo, destarte, de articulação e cooperação intermunicipal e interestadual para sua operacionalização eficiente, trazendo junto a necessidade de aplicação das legislações que envolvem os recursos hídricos serem tratadas na esfera da bacia hidrográfica, que por sua vez difere dos limites territoriais do município e estado.

### **1.5 Mapeamento das áreas de risco hidrológico**

Um dos instrumentos de análise de risco mais eficiente é o mapeamento de áreas de risco (MARCELINO *et al.*, 2006). O mapeamento das áreas de risco, a fim de promover a defesa permanente contra os desastres permite elaborar medidas preventivas contra desastres; planificar situações de emergência; criar ações conjuntas entre comunidade e poder público; garantir a eficiência do sistema de alerta; entre outros (GOERL *et al.*, 2012). Além disso, o mapeamento das áreas de risco de inundação garante a eficiência do sistema de alerta comunitário para desastres e estabelece um suporte para obtenção dos limiares de acionamento das sirenes. Existem diferentes abordagens para estudar a avaliação do risco de inundação. Recentemente foram desenvolvidos para identificar áreas de risco de inundação (YOUSSEF *et al.*, 2016):

- Avaliação multicritério (MATORI, 2012);
- Taxa de frequência (LEE *et al.*, 2012);

- Regressão logística (PRADHAN, 2010);
- Processo de hierarquia analítica (ROZOS *et al.*, 2011);
- Árvore de decisão (TEHRANY *et al.*, 2013);
- Sistema de interface neurofuzzy adaptativo (MUKERJI *et al.*, 2009);
- Redes neuronais artificiais (CAMPOLO *et al.*, 2003; KIA *et al.*, 2012 ).

Entre outras considerações, o mapeamento das áreas de risco de inundação é produzido a partir do mapa de perigo ou suscetibilidade com as informações sobrepostas do mapa de vulnerabilidade. O mapeamento das áreas propensas a inundações é essencial na gestão do risco de inundação (BUBECK *et al.*, 2012). O mapa de perigo hidrológico depende principalmente das características físicas do rio, como velocidade de escoamento e profundidade do talvegue, normalmente definidos na modelagem hidrológica, seja ela física ou matemática, ou também, pode ser confeccionado a partir de dados observados da mancha de inundação, cuja metodologia é eficiente, principalmente na localidade que mais sofre com o transbordamento da calha do rio (KOBİYAMA *et al.*, 2011). O mapa de vulnerabilidade identifica aquelas com maior exposição ao risco de inundação e regiões que podem sofrer mais na ocorrência de um evento. Um mapa de vulnerabilidade exige um estudo bastante aprofundado sobre as questões da ocupação urbana e da população inserida no contexto.

Recente estudo indica que um único índice de vulnerabilidade para o Brasil pode mascarar fatores condicionantes regionais importantes e diferentes pesos relativos entre as variáveis utilizadas para representar cada fenômeno. Por essa razão, recomenda uma abordagem mais regional (DEBORTOLI *et al.*, 2017). De maneira simples, a vulnerabilidade é tratada como função de três aspectos (HELTBERG *et al.*, 2011):

- Exposição ao risco: é medido em termos da frequência de ocorrência de eventos de risco na região;
- Sensibilidade: relaciona às características demográficas, o número de mortes relacionadas com o desastre são fatores que determinam o grau de sensibilidade dos grupos pelo impacto direto dos eventos adversos;
- Capacidade de Adaptação: avalia as características de educação, infraestrutura e renda institucional dos governos locais como indicadores da capacidade que o município tem para implementar programas de prevenção e reconstrução.

Mais um avanço para avaliação da vulnerabilidade foi o trabalho realizado por Almeida *et al.*, (2016) criando os indicadores de risco de desastres no Brasil, o Índice DRIB, ferramenta esta que visa analisar, visualizar e comunicar os diferentes níveis de vulnerabilidade, exposição e risco no Brasil. O DRIB considerou a exposição a riscos naturais em relação a exposição das pessoas aos deslizamentos de terra, inundações, secas e elevação do nível do mar. Além disso, sua elaboração contou com 32 indicadores, englobando as condições sociais, econômicas e ambientais de uma comunidade. Este índice foi mapeado em ambiente SIG, apresentando diferentes padrões de exposição, vulnerabilidade e risco e teve como resultado que o risco está diretamente relacionado com as condições socioeconômicas; culturais e a vida cotidiana de cada grupo social.

Dentre outras considerações, o estudo realizado por Guimarães *et al.* (2014), mostra-se relevante por indicar o índice de vulnerabilidade para todo estado do Rio de Janeiro. Este índice considerou o Indicador Composto e a análise espacial de desempenho dos municípios. O Indicador composto, denominado Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA), classificou o Estado com uma análise multivariada, transformando os componentes principais da análise em uma formação linear e com pesos distintos para cada variável da equação. Para construir o IVSA foram usados indicadores sociodemográficos dos municípios fluminenses, fazendo-se uso da propriedade de ortogonalidade associada aos escores fatoriais estimados. O estudo citado compôs 16 variáveis para a definição do IVSA. Este índice serve apenas para fazer hierarquia, tal como faz o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por exemplo.

A análise espacial preconizou a unidade sendo o município com a base cartográfica, mapeando os dados disponíveis referentes ao ano de 2010 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e também os casos de vítimas de desastres no Estado em 2010 (evento com desabrigado, desaparecido ou morto em decorrência do desastre), a partir dos relatórios da defesa civil. O resultado deste estudo sugere que o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental é um bom parâmetro para predição de vulnerabilidade na ocorrência de desastres.

## **1.6 Sistema de alerta de cheias (SAC) em áreas urbanas**

O sistema de alerta é um instrumento muito importante, especialmente quando tratamos de sistemas urbanos já implantados, uma vez que permite que a comunidade seja

informada da ocorrência de eventos extremos e minimize os danos materiais e humanos (KOBAYAMA *et al.*, 2006). A provisão de sistemas de alerta e previsão de inundações pode trazer benefícios significativos ao dar aviso prévio de inundações iminentes, permitindo a evacuação, por exemplo. São necessários mecanismos eficazes de disseminação e resposta humana para assegurar que os benefícios potenciais do aviso prévio sejam realizados (MOORE *et al.*, 2005). Para iniciar o serviço do SAC faz-se necessário a instalação de uma rede telemétrica, minimamente com estações pluviométrica e fluviométrica e/ou medição de nível em pontos estratégicos da bacia hidrográfica, com a coleta de dado e transmissão em tempo real, interpretados por uma equipe qualificada.

Das medidas que antevêm o SAC a principal é o conhecimento e mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, uma vez que os mapas de inundação permitem estabelecer a área que será inundada para uma dada cota prevista do rio e o padrão de ocupação do solo, possibilitando estabelecer um plano de evacuação eficiente e antecipar a ação do Conselho Municipal da Defesa Civil na remoção e na realocação da população atingida (ECKHARDT, 2008). A atualização do sistema ocorre com a alimentação das informações sobre os eventos que causam transtornos da bacia, assim como aqueles que deixam de causar prejuízos, devido às obras realizadas, desocupação das áreas, etc. Esta medida contribui a criação de um banco de dados sobre os eventos hidrometeorológicos da bacia, o que amadurece o limiar de emissão de alertas, ainda que as modelagens hidrológicas e hidráulicas não tenham sido feitas. De maneira dinâmica a Figura 17 (adaptado KOBAYAMA *et al.*, 2006) indica o fluxo e os procedimentos que incorporam o SAC e garantem sua eficiência, simulando um evento que causa transtorno à cidade.

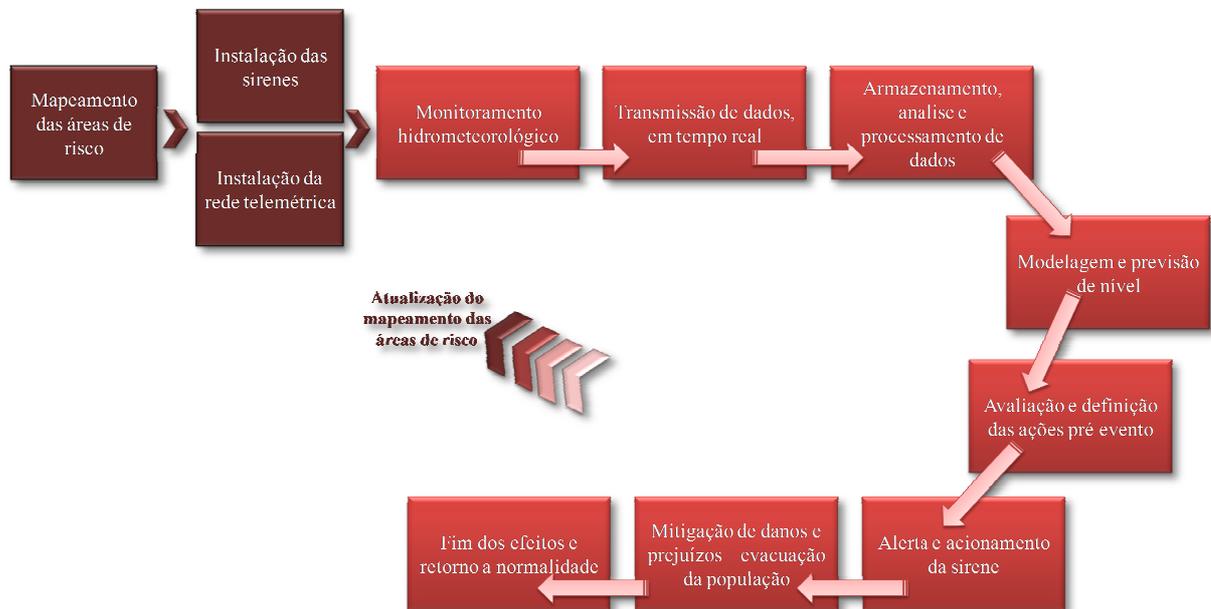
Pode-se afirmar que o sistema de alerta e o monitoramento realizado para os fenômenos de inundações bruscas e o conceitual fluxo de detritos deve ser realizado na escala local, ou seja, em nível municipal, uma vez que estes fenômenos são extremamente rápidos, de maneira a reduzir os custos e agilizar o processo de ação e resposta, com a melhor informação, uma vez que estes ocorrem em bacias de pequena área (adaptado KOBAYAMA *et al.*, 2006). Visto isso, a previsão de cheias e seu controle efetivo é sempre um enorme desafio para os governos e as autoridades locais (CHIANG *et al.* 2010). Outra perspectiva para este fenômeno corresponde a mitigação a partir da redução da exposição, onde geralmente descreve quem e o que pode ser prejudicado pela inundação (BRYNDAL *et al.*, 2017). Sendo o sistema de alerta responsável muitas vezes para essa minimização de danos e perdas.

Os sistemas de alerta existentes no Brasil podem ser enumerados de acordo com o nível federativo, uma vez que atualmente muitos Estados/Municípios possuem seus sistemas

próprios, apoiando o Sistema Nacional existente. Os mais relevantes para o estudo em questão são descritos:

- Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – CEMADEN (2012);
- Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro – CEMADEN-RJ (2015);
- Alerta de Cheias / INEA – Estado do Rio de Janeiro (2009);
- Alerta Rio / GeoRio – Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (1996).

Figura 17 – Fluxo e procedimentos do SAC



Fonte: Adaptado, KOBAYAMA, *et al.*, 2006.

O INEA-RJ, vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente é o órgão gestor ambiental responsável por exercer papel estratégico a partir de mecanismos de controle e acompanhamento das demandas socioambientais para o desenvolvimento sustentável do estado do Rio de Janeiro. Dentre outras atribuições, é também função do INEA monitorar os eventos hidrológicos a partir do SAC. O sistema de alerta de cheias visa informar com certa antecedência às autoridades e a população quanto às chuvas intensas capazes de causar perdas humanas e materiais. A rede de monitoramento do Estado, inicialmente foi implantada com o objetivo de apenas fornecer dados básicos para estudos relacionados a disponibilidade hídrica e logo em seguida, com a implantação do SAC, em 2009, o sistema passou a operar também para prevenção e controle de inundação em todo o Rio de Janeiro (BAHIENSE *et al.*, 2015).

Em 1996, a implantação do Sistema Alerta Rio pela Prefeitura do Município do Rio de Janeiro constituiu, sem dúvida, em um grande avanço na utilização prática dos estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos. Aquele foi o primeiro sistema de alerta de escorregamentos com área de atuação específica para uma metrópole brasileira com cerca de 6 milhões de habitantes, baseado no monitoramento automático, ininterrupto e praticamente em tempo real dos índices pluviométricos, com 32 estações telepluviométricas, registrando em intervalos de 15 minutos de intervalo.

Criado em 2012, o CEMADEN Nacional utiliza os limites de chuva para um conjunto de índices de intensidade de chuva (intervalos de 1, 3, 24, 48, 72, 96 e 120 horas, uma semana, um e dois meses), com base no histórico de chuvas com eventos, para cada municipalidade, porém não fica evidente nenhuma metodologia associada a esses limites. O Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) utiliza o índice de chuvas acumuladas em 24 horas (eixo horizontal) e a intensidade de chuva horária (eixo vertical). O histórico de eventos é representado para as categorias de eventos esparsos e eventos generalizados, para os quais são estabelecidos limiares. O CEMADEN Estadual se baseia pelo mesmo método do DRM-RJ, sendo uma das propostas para este trabalho. Tal limiar apresenta um período longo sem análise, uma vez que as curvas uma vez definidas não sofreram modificações.

### **1.6.1 Monitoramento hidrometeorológico**

O monitoramento é um processo contínuo de medição das características de um determinado fenômeno, visando a compreensão e modelagem dos mesmos. Os fenômenos naturais, em sua maioria, são de grande complexidade, impossibilitando medir e/ou analisar todas as suas partes e/ou etapas. O sistema de alerta e o monitoramento hidrológico fazem parte das medidas não estruturais aplicadas na bacia de estudo como proposta técnica para informar a população vulnerável a respeito dos alertas, assim como estimular a participação, por parte do indivíduo, para redução de desastres (VISSIRINI *et al.*, 2017). Um eficiente sistema de alerta, baseado em previsões de cheias de curto prazo, pode melhorar significativamente a segurança pública, atenuar os danos sociais e reduzir as perdas econômicas associadas às inundações (MERKURYEVA *et al.* 2015). A modelagem

hidrológica tem uma importância considerável na gestão do risco de inundações em termos de contribuição para o sistema de previsão e alerta de inundações e no planejamento de mudanças no uso da terra (MROZIK e PRZYBYLA, 2013, LESKENS et al., 2014, LI *et al.*, 2015).

A modelagem matemática é uma importante ferramenta de apoio a decisão, devido à capacidade de fornecer respostas sistêmicas para diferentes cenários, além da antecipação dos efeitos resultantes de possíveis medidas de projeto (LOU, 2010). A modelagem aplicada na previsão hidrológica pode ser baseada na simulação dos níveis dos rios, com base em dados fluviométricos, em local desejado; em relação a dados observados de fluviométrica, à montante; ou previsões de precipitação, obtendo maior alcance de tempo de previsão (SENE, 2008). Assim como os registros históricos de fenômenos naturais extremos são recentes, o advento da tecnologia na aplicação de sistemas de informação de monitoramento também é bastante atual, especialmente quando não existem sistemas integrados aos serviços voluntários e que possam acoplar, portanto uma extensa variedade de dados de forma automática, contínua e articulados à logística humanitária (OHNUMA *et al.*, 2016). As condições de atendimento às comunidades em áreas suscetíveis às mudanças do clima e à ocorrência de eventos extremos tornam-se ainda mais complexas quando a região afetada pela catástrofe possui obstáculos que dificultam a comunicação das partes interessadas, como no caso de equipes de resgate e o centro de comando (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014).

### **1.6.2 Histórico dos métodos para emissão de alerta**

Para a eficiente emissão de alerta, dentro dos processos de gestão de risco, os limiares de chuva são os níveis pluviométricos máximos ou mínimos necessários para que ocorra uma “mudança de estágio”, ou seja, o limite onde há alteração no processo em uma determinada quantidade de chuva. O limiar pluviométrico mínimo define o menor volume de chuva abaixo do qual não ocorrem os movimentos de massa desencadeados pelas chuvas (GUZZETTI *et al.*, 2007). O limiar pluviométrico máximo, por outro lado, representa o volume de chuva acima do qual sempre ocorrem movimentos de massa diretamente associados às chuvas. Uma vez definidos os limiares pluviométricos críticos (intensidades ou acumuladas pluviométricas capazes de deflagrar escorregamentos) e monitorada a pluviometria (em tempo real,

preferencialmente), torna-se possível a previsão em curto prazo e com um razoável nível de confiança, da iminência de ocorrência de diversos processos instáveis, sempre que aqueles limiares pluviométricos críticos são atingidos.

Existem, entretanto, diferentes modelos e metodologias para a definição destes limiares pluviométricos, estes podem ser de base física, modelos baseados em processos físicos, conceituais, ou empiricamente, com bases históricas e/ou estatísticas, cada qual com suas vantagens e desvantagens associadas. Um dos primeiros estudos realizados a respeito dos limiares foram as análises das chuvas de maio de 1992, em Hong Kong, de maneira empírica Brand (1984) e Pedrosa (1994) defendem a direta dependência de altas intensidades pluviométricas (de curta duração) para a deflagração dos movimentos de massa e da pequena importância das chuvas antecedentes (dias anteriores) no desencadeamento dos escorregamentos. Ainda, KAY e CHEN (1995) fizeram o levantamento, para a mesma região, das ocorrências de precipitação diária acima de 50 mm, com ou sem registros de escorregamentos. Os autores definiram 6 zonas de probabilidade e correlacionaram os movimentos de massa com a intensidade horária e acumulado em 24 horas antes dos escorregamentos.

Outros estudos desenvolvidos, de forma mais expressiva, indicam a relação de chuva no tempo e a deflagração dos escorregamentos, como por exemplo, ADDILSON (1987), no norte do país de Gales, mostraram que com precipitações diárias de 171 mm (sendo 118,4 mm concentradas em 5 horas) eram suficientes para detonar corridas de massa. Nos EUA, os estudos de NIELSEN e BRABB (1977), concluíram que chuvas com acumuladas contínuas entre 150 e 200 mm sucedendo período chuvosos na faixa de 250 a 380 mm eram suficientes para deflagrar ocorrências generalizadas nas encostas na região da Baía de São Francisco, Santa Cruz e Los Angeles, na Califórnia. Na Itália, destacam-se GUZZETTI *et al.* (2007), PICARELLI *et al.* (2007) na determinação dos limiares pluviométricos críticos e sistemas de alerta baseados em índices pluviométricos.

No que diz respeito aos limiares de chuva no Brasil, estudos no litoral norte do Estado de São Paulo, Baixada Santista e Cubatão, estabelecendo o Coeficiente de Precipitação Crítica, adimensional, obtido através da relação entre a Intensidade horária e a Intensidade horária crítica, obtida a partir da envoltória para escorregamentos induzidos (TATIZANA *et al.*, 1987). Para o Município de Vitória – ES, a relação de acumuladas diárias e as chuvas antecedentes de até sete dias, uma vez que esta só dispunha de dados pluviométricos diários (mm/24h) (SALARORI, 2003). Tais estudos desenvolvidos pela autora, concluíram que a melhor correlação com a chuva antecedente se dava com a acumulada em 4 dias (96h) e, com

proposta de três classes de risco em relação a probabilidade de ocorrência de escorregamentos: Observação (0 a 36 mm/96h) – Risco baixo; Atenção (36 a 87,5 mm/96h) – Risco moderado e Alerta (> 87,5 mm/96h) – Risco alto.

Em Recife, verificaram a influência dos acumulados pluviométricos em 72h e de longo prazo e que registros de escorregamentos já podiam ser observados partir de chuvas com pluviometria maior do que 30 mm/24h (BANDEIRA, 2010). No Município de Belo Horizonte (MG), determinaram que o início dos processos de instabilização tendem a ocorrer a partir de 100 mm/3 dias e/ou a partir de 70 mm/24h e que os dias em que se observaram um número de escorregamentos maiores ou igual a 6, sempre estiveram associados a registros de chuvas intensas diárias (mm/24h) (PARIZI *et al.*, 2010). Com base no sistema de alerta de Hong Kong, Pedrosa (1994) apresentou uma proposta operacional de monitoramento pluviométrico para instalação de um Sistema de Alerta para a Cidade do Rio de Janeiro, com limiares pluviométricos associados a chuvas horárias, de 24, 72 e 96 horas.

A metodologia adaptada no presente estudo, testou a relação das chuvas de 1h, 12h, 24h, 48h, 72h e 96h, com os pares de dados pluviométricos da melhor correlação (mm/h e mm/24h) fez-se o traçado da linha de tendência através da associação destes pares com ou sem ocorrência de escorregamentos (D’Orsi, 2011). O estudo destaca o grau de incerteza devido a quantidade baixa de dados disponíveis e à dificuldade de um melhor refinamento dos registros pluviométricos de maiores antecedências e diagnosticou que chuvas antecedentes em períodos maiores do que 24 horas não foram evidenciadas. Quando bem definidos os limiares pluviométricos regionais, de cada bacia ou região hidrográfica, os parâmetros estabelecidos contribuem para boas práticas de monitoramento e decisão nos sistemas de alertas e alarme.

Atualmente o DRM-RJ utiliza o método de d’orsi para a deflagração de deslizamentos e incorpora tal método para seu plano de contingencia. Assim como o CEMADEN-RJ determina a emissão de alerta para a população (sirenes e SMS) pelos limiares definidos pelo DRM. Com a cooperação técnica entre o Brasil e o Japão, foi inserido o Método Compartilhado (baseado em Yano, 1990) e testado este para três municípios, Petrópolis (RJ), Friburgo (RJ) e Blumenau (SC). Yano (1990) propôs a utilização da chuva efetiva multiplicada por um coeficiente de redução variável conforme o tempo decorrido desde a chuva antecedente.

Em 1993, o Ministério do Território e Transporte japonês atualizou o Método Compartilhado com a utilização da chuva efetiva<sup>2</sup> com meia vida<sup>3</sup> de 1,5 h (representando o fluxo de água na superfície do solo) e a chuva efetiva com meia vida de 72 horas (representando o fluxo de água no subsolo). A vantagem dessa variação é sua aproximação com o Modelo Tanque, exposto por Suzuki *et al.*, 1979, que determina o índice da água no solo, e sua simplificação operacional. O uso do Método Compartilhado permite incluir em suas premissas a infiltração da água no solo e aproximar-se a fenômenos naturais mais complexos (GIDES, 2017).

---

<sup>2</sup> Chuva efetiva: volume variável de água que se estima estar presente no solo em um dado local e momento; resulta da soma da chuva antecedente e da chuva total

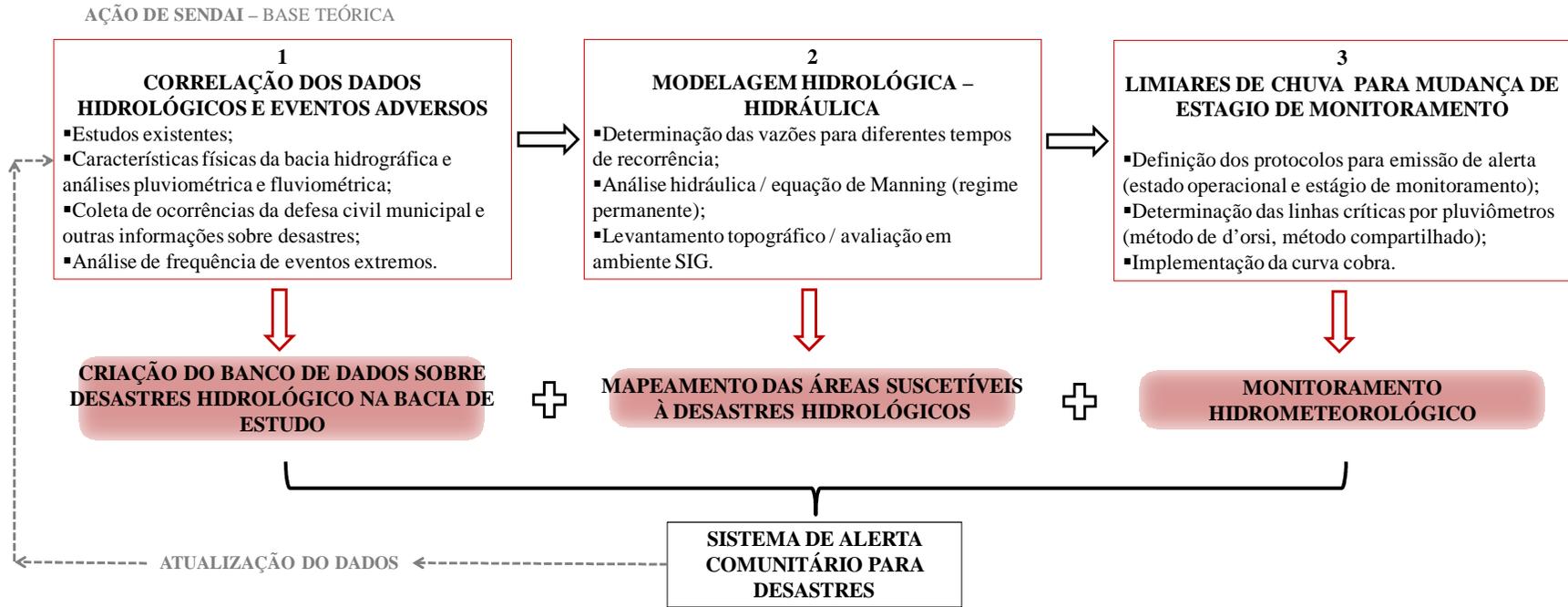
<sup>3</sup> Meia vida: Tempo para que o volume das chuvas antecedentes, em um dado instante, seja reduzido à metade.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA APRIMORAMENTOS DO SAC

Este capítulo apresenta as características físicas da bacia hidrográfica do rio Capivari, no município de Duque de Caxias-RJ e descreve os procedimentos concebidos na pesquisa para obtenção dos limiares de chuva visando determinar as mudanças de estágio no monitoramento hidrológico e assim propor aprimoramentos ao SAC do INEA para essa área. O fluxo de trabalho pode ser visto na Figura 18. Para definição dos limiares de emissão de alerta, utilizaram-se duas metodologias (D'orsi e Compartilhado) até então avaliadas apenas para fenômenos de deslizamento e com os ajustes realizados, a inclusão da relação dos métodos com os níveis d'água registrados na estação, ambos os métodos puderam determinar as linhas críticas, para um fenômeno hidrológico (inundações), associadas ao estado operacional e estágio de monitoramento correspondente.

Paralelo a isso, pesquisou-se os estudos realizados na bacia de estudos relacionados ao tema abordado nesta pesquisa, seguido da avaliação dos dados hidrológicos na bacia hidrográfica, correlacionando às avaliações de ocorrências e notícias sobre os desastres. Posterior a isto, fez-se a avaliação dos eventos extremos selecionados e assim, criando o banco de dados de desastres para a bacia do rio Capivari. Com a modelagem hidrológica e hidráulica na bacia do rio João Pinto criou-se o mapa de áreas suscetíveis a desastres hidrológicos, isto permite conhecer as áreas que sofrem “naturalmente” com este fenômeno, em conjunto com o mapa de uso e ocupação do solo, identificando as áreas urbanas em áreas suscetíveis a inundação.

Figura 18 – Fluxo de trabalho para aprimoramento do SAC



Fonte: O Autor, 2018.

## 2.1 Área de estudo: Bacia do rio Capivari – Duque de Caxias, RJ

A cidade de Duque de Caxias está localizada no Estado do Rio de Janeiro e é um dos principais formadores da microrregião da Baixada Fluminense, com população estimada em 890.997 habitantes (IBGE, 2017). Com área limítrofe de 467,6 km<sup>2</sup>, o município de Duque de Caxias-RJ possui quase toda população (99%) residente em área urbana (IBGE, 2010). A cidade apresenta características fisiográficas bastante suscetíveis aos desastres, onde sua geomorfologia pode ser entendida como a mais relevante para isto, com áreas bem planas e alto risco às inundações graduais em períodos chuvosos. Por outro lado, o município, em sua porção serrana, apresenta declividades acentuadas pré-dispondo a eventos de escorregamento e inundações bruscas. Tais características são intensificadas com a questão do uso inadequado do solo e as ocupações desordenadas do território, em áreas ribeirinhas, aumentando a vulnerabilidade da população aos desastres de inundação.

Dividido em quatro distritos, Duque de Caxias, Campos Elíseos, Imbariê e Xerém, o município pertencente a região metropolitana do Rio de Janeiro, a região hidrográfica da Baixada Fluminense é sobreposta pelas bacias hidrográficas que influenciam o município, sendo o deságue das mesmas na baía de Guanabara. As principais bacias são a bacia do rio São João de Meriti, bacia do rio Iguaçú e bacia do rio Estrela (SEA/INEA, 2013), onde todas tem o município de Duque de Caxias como foz. No período de 2008 até 2015, foram identificados 35 eventos adversos relevantes, que não necessariamente tiveram um número significativo de afetados, porém todos causaram transtorno na cidade, como falta de abastecimento de água, interferência no trânsito, impedimento de passagem da população, entre outros (LUZ BARCELLOS *et al.*, 2016). Ainda, mostrou-se que mais de 70% dos eventos estudados ocorreram entre os meses de novembro a fevereiro, representando os meses com maiores acumulados de chuva e de maiores intensidades.

Diversos estudos de planejamento foram desenvolvidos para o município de Duque de Caxias, no âmbito da Gestão de Risco:

- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçú-Sarapuí (SERLA, 1994);
- O Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR (CIDADES, 2013);
- Plano de Emergência Municipal de Duque de Caxias (PMDC, 2016).

Com base nesses estudos, diversas medidas estruturais foram executadas a fim de minimizar os efeitos dos desastres na cidade, com inúmeras intervenções patrocinadas pelo Governo Federal para combate às inundações, como exemplo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí (SERLA, 1994), com a construção de canais, diques, comportas e estações de bombeamento que atuam, principalmente, no combate às epidemias de veiculação hídrica e a recuperação de extensas áreas alagadiças. A primeira versão dos estudos foi finalizada em agosto de 1996, com atualização em 2008, desenvolvido pelo INEA. Apesar disso, nota-se que as ações indicadas em projeto até hoje não foram concluídas.

O PMRR teve como objetivo principal o mapeamento das áreas de risco, identificando as edificações precárias – vulneráveis – como áreas prioritárias no mapa de risco (CIDADES, 2013). O mapa foi gerado a partir das informações dos boletins de ocorrência gerados pela defesa civil para determinar regiões suscetíveis à inundação. No mesmo plano, o mapa de vulnerabilidade considerou as condições estruturais das edificações encontradas, em campo, próximos às regiões ribeirinhas. O PMRR permitiu a implantação das sirenes nas regiões que apresentam ocupações urbanas, com alta densidade populacional e com maior suscetibilidade aos desastres, potencializando a política pública municipal de gestão de risco de desastres. Os setores de risco foram delimitados em campo e sobre mapas à partir de imagens de satélite (CIDADES, 2013) e classificados em graus de risco: Baixo (R1); Médio (R2); Alto (R3); Muito Alto (R4), os critérios de classificação são apresentados na Figura 19, extraída do PMRR. Dezoito sirenes foram instaladas cobrindo aproximadamente 50% das áreas de risco R3/R4 (alto grau de risco) do município, diagnosticadas no plano.

O PMRR e a implantação das sirenes contribuíram para a prevenção, preparação e mitigação dos possíveis desastres na cidade, potencializando a política pública municipal de gestão de risco de desastres, de modo a ampliar a atenção nas regiões que apresentam ocupações urbanas, com alta densidade populacional e evitar que regiões suscetíveis aos desastres sejam ocupadas. Vale reforçar a relevância de garantir o entendimento ambiental da região e obter melhores resultados para o monitoramento hidrológico, onde o acionamento das sirenes é capaz de informar antecipadamente a ocorrência de um evento extremo, possibilitando a desocupação das possíveis áreas afetadas e a redução do número de perdas advindas de um evento extremo.

O evento de janeiro de 2013 tem sido considerado como um dos mais agravantes em relação à intensidade pluviométrica e aos danos causados, desde quando se obteve registros de monitorados. O município decretou Situação de Emergência para o evento caracterizado

como enxurrada (inundação brusca), de acordo com a COBRADE. O fenômeno desencadeado pelas chuvas intensas dos dias 02 e 03 sucedeu no distrito de Xerém, na bacia hidrográfica do rio João Pinto, formador do rio Capivari e contribuinte do principal rio da Baixada Fluminense – o rio Iguaçu – com mais de 1400 desalojados e desabrigados, 60 feridos e 2 mortos (CARVALHO e DOMINGUES, 2013).

Figura 19 – Critérios utilizados na determinação dos graus de probabilidade de ocorrência de escorregamentos.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de <b>BAIXA POTENCIALIDADE</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. <b>NÃO HÁ INDÍCIOS</b> de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, <b>NÃO SE ESPERA</b> a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de <b>MÉDIA POTENCIALIDADE</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de <b>ALGUMA(S) EVIDÊNCIA(S)</b> de instabilidade, porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, <b>É REDUZIDA</b> a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos e o nível de intervenção no setor são de <b>ALTA POTENCIALIDADE</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de <b>SIGNIFICATIVA(S) EVIDÊNCIA(S)</b> de instabilidade. Mantidas as condições existentes, é <b>PERFEITAMENTE POSSÍVEL</b> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de <b>MUITO ALTA POTENCIALIDADE</b> para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade <b>SÃO EXPRESSIVAS E ESTÃO PRESENTES EM GRANDE NÚMERO E/OU MAGNITUDE</b> . É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é <b>MUITO PROVÁVEL</b> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

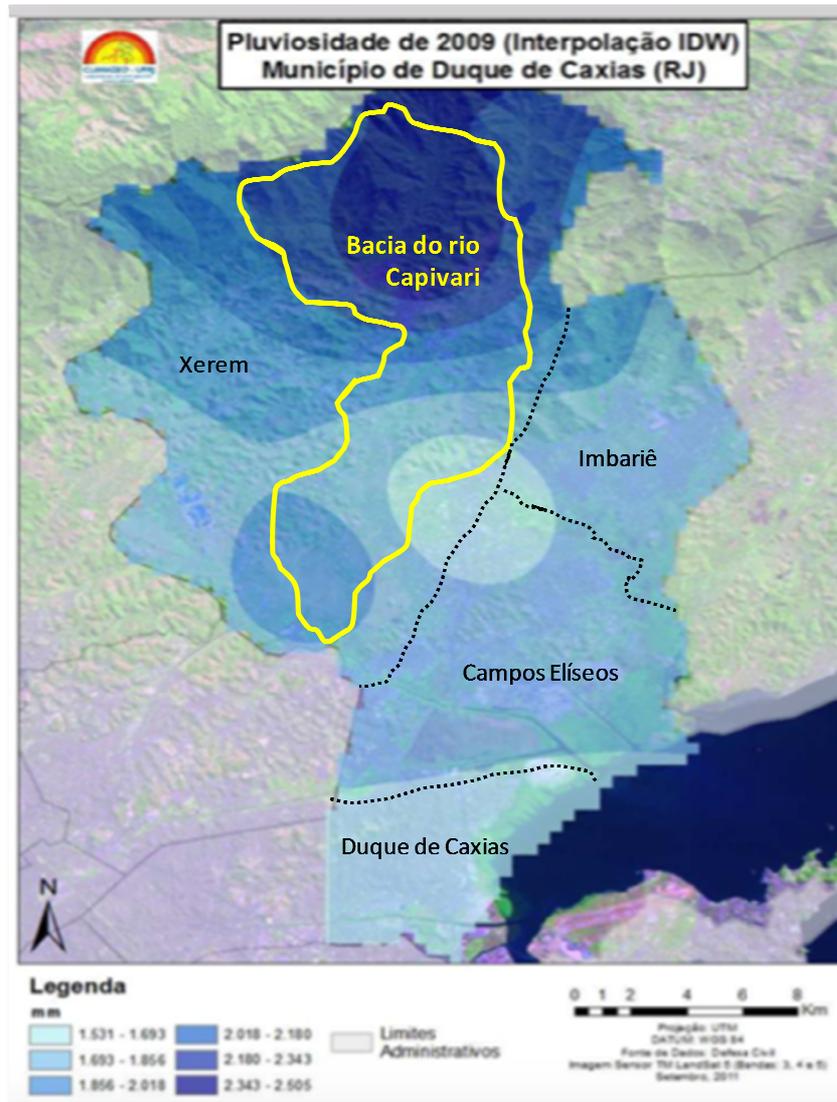
Fonte: Cidades, 2013; IPT, 2007.

### 2.1.1 Dados físicos da bacia hidrográfica do rio Capivari

A bacia do rio Capivari, objeto do estudo se situa inteiramente no município de Duque de Caxias-RJ e representa 23% da área total do município, com aproximadamente 105 km<sup>2</sup>. A área de estudo tem seu clima classificado pelo Mapa de Clima do Brasil em Tropical quente e úmido e possui duas características bem definidas, com a pluviometria na porção de planície com medias anuais de 1.300 mm e temperatura de 23 °C, enquanto nas cotas mais elevadas da serra, a média anual ultrapassa 1.500 mm e temperaturas menores de 22 °C. Devido à

influência do relevo, tem predominância de chuvas orográficas e apresenta diversos tipos de precipitação. A distribuição de pluviosidade na bacia do rio Capivari é maior nas áreas montanhosas de modo que favorece uma maior concentração e descarga de escoamento para áreas de planícies (adaptado OSCAR e BRANDÃO, 2009) (Figura 20).

Figura 20 – Distribuição pluviométrica em Duque de Caxias, RJ e bacia do rio Capivari.



Fonte: adaptado OHNUMA *et al.*, 2016; OSCAR e BRANDÃO, 2009.

Geomorfologicamente, a bacia do rio Capivari apresenta duas porções bem distintas, mais ao norte o relevo apresenta altitude elevada e desnível considerado do rio, enquanto a região sul da bacia apresenta áreas mais planas, com declividades mais suaves. A bacia do rio Capivari abrange as unidades geomorfológicas o Sistema de Relevo de Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos, representado por serras e escarpas, com formação de vales bem

encaixados, com altitudes superiores a 400 metros e com isso, um padrão de drenagem favorável às inundações bruscas. Parte da bacia pode ser inserida também às regiões de planície, correspondente a Unidade das Baixadas da baía de Guanabara e Sepetiba, sem ultrapassar cotas acima de 100 metros, o que representa uma região com acúmulo de escoamento, responsável pelas inundações graduais, visto as baixas declividades (Adaptado CIDADES, 2013; CPRM, 2000).

Os tipos de solos presentes na bacia são os latossolos, cambissolos e planossolos, além de outros em menores porções (EMBRAPA, 1999). Na mesma avaliação, os cambissolos estão mais presentes da região mais a montante da bacia, os latossolos na região central e os planossolos nas regiões mais baixas. O levantamento realizado para a Bacia do rio Iguaçu-Sarapuí, encontrando resultados semelhantes ao estudo anterior (CARVALHO *et al.*, 2001). Os latossolos apresentam boas condições físicas à percolação da água e também são solos bastante erosivos, em função da movimentação do relevo. Ocorrem basicamente em relevo suave ondulado até montanhoso. Para a região da bacia de estudo, boa parte é coberta pela vegetação natural, principalmente o trecho a montante devido as reservas ambientais existentes.

Os cambissolos devem-se ao relevo forte ondulado a escarpado, muito encontrado na Reserva Biológica do Tinguá, porção ainda preservada, encontrados junto a solos litólicos e afloramento rochoso. Os solos de horizonte B são muito suscetíveis à erosão e com a degradação da floresta potencializa seu efeito, com ocorrências de erosão laminar moderada ou severa e sulcos. A alta suscetibilidade à erosão dos cambissolos é agregada ao relevo acidentado e sua baixa profundidade efetiva, caracterizando baixa retenção da umidade. Já a porção mais plana da bacia do rio Capivari, que faz fronteira com o rio Pilar, são encontrados os planossolos em sua maioria, em concordância com os gleissolos, são considerados com baixa suscetibilidade à erosão. Sua vegetação encontra-se totalmente devastada, sendo apenas coberta por vegetação secundária.

A maior concentração da população urbana do município fica no primeiro e no segundo distrito e 22% desta população comporta-se na bacia do rio Capivari, suas principais concentrações urbanas são nos bairros de Xerém, Mantiquira, Capivari e Amapá. Dentro desta porção, 5% de sua área total são ocupadas por áreas urbanizadas, seja ela residencial ou industrial e pouco menos de 70% indica área preservada, principalmente por estar inserida na Área de Proteção Ambiental do Alto Iguaçu e pertencer a uma porção da Reserva Biológica do Tinguá, sendo duas importantes áreas de proteção ambiental, dificulta a ocupação irregular e preserva a região de floresta da bacia, minimizando os impactos de eventos

hidrometeorológicos. A bacia completa sua ocupação do solo com áreas de várzeas; agricultura; pastagem e solo exposto (25% da área). De maneira mais abrangente, uso e cobertura do solo como 25,3% composto por pastagens, áreas de várzeas e solo exposto e 0,71% de agricultura e 0,2% de afloramento rochoso (NEVES e SOUSA, 2014). Espelhos d'água acumulam 0,03 km<sup>2</sup> de área na bacia (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação de uso e ocupação do solo na bacia do rio Capivari, RJ

<b>Bacia Rio Capivari / Área</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>ha</b>	<b>%</b>
Floresta c/ vegetação secundária	73,103	7310,29	69,73%
Pastagem e solo exposto	26,527	2652,75	25,30%
Ocupação urbana	4,233	423,26	4,04%
Agricultura	0,744	74,42	0,71%
Afloramento Rochoso	0,197	19,74	0,19%
Água	0,032	3,20	0,03%
Total	104,837	10483,66	100,00%

Fonte: adaptado, OHNUMA, 2016.

Pertencentes a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, a bacia do rio Capivari é afluente do rio Iguaçu pela margem esquerda e pertence integralmente ao quarto distrito – Xerém. Seus principais formadores são o rio João Pinto e rio Registro. Seu talvegue principal tem extensão que supera os 17 km, além destes, o rio Ramos e Água Preta também são importantes contribuintes do rio principal.

Apesar da escassez de dados geológicos e de alterações substanciais das condições climáticas na região, a classificação de uso e ocupação do solo na bacia do rio Capivari com mais de 95% de área verde e solo exposto pressupõe elevada capacidade de infiltração (OHNUMA *et al.*, 2016). Nessas condições tornam-se limitadas intervenções estruturais na bacia, sobretudo por apresentar localização em área de unidade de conservação de uso sustentável e de proteção integral, citadas anteriormente. Diretamente, a REBIO de Tinguá abrange aproximadamente 37% do município de Duque de Caxias (IBAMA, 2006), justamente ao norte do distrito de Xerém e parte mais a montante da bacia do rio Capivari (Figura 21).

Figura 21 – Limite e Zona de Amortecimento da Reserva Biológica do Tinguá



Fonte: adaptado IBGE, 2000.

### 2.1.2 Rede telemétrica e sirenes existentes na Bacia do rio Capivari

A rede telemétrica na bacia do rio Capivari conta com apoio de entidades gestoras do governo para sua operação, fornecendo os dados em tempo real de suas respectivas plataformas. O INEA possui duas estações operando a partir do SAC, sendo a Estação Xerém com dados pluviométricos e a Estação Ponte de Ferro Capivari com dados hidrológicos (pluvio e fluviométricos), ambas as estações estão discretizadas para intervalos atualizados a cada 15 minutos. A rede de pluviômetros automáticos do CEMADEN incorpora quatro estações, são elas: Xerém, Xerém 2, Xerém 3 e Jardim Mariana. Recentemente, em novembro de 2016, o órgão instalou uma estação hidrológica na bacia do João Pinto, afluente do rio Capivari, região que mais sofreu com o desastre de 2013. A relação da rede telemétrica da bacia pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 – Rede telemétrica da bacia do rio Capivari, RJ

Estação	Dado fornecido	Operadora	Período da Série		Coordenadas	
			Início	Fim	Latitude	Longitude
Ponte de Ferro Capivari	Precipitação; Nível	INEA	2008	2016	22°40'04"S	43°20'16"W
Jardim Mariana	Precipitação	CEMADEN	2013	2017	22°41'03"S	43°21'18"W
Xerém	Precipitação	INEA	2008	2017	22°32'58"S	43°18'04"W
João Pinto e Capivari	Precipitação; Nível	CEMADEN	2016	2017	22°34'10"S	43°18'47"W
Xerém	Precipitação	CEMADEN	2013	2015	22°34'04"S	43°18'50"W
Xerém 2	Precipitação	CEMADEN	2013	2017	22°35'48"S	43°17'56"W
Xerém 3	Precipitação	CEMADEN	2013	2015	22°34'09"S	43°18'47"W

Fonte: Alerta de Cheias; INEA; CEMADEN, 2017.

Parte do investimento do governo estadual para implantação do sistema de alerta comunitário foi com a aquisição de sirenes e em alguns casos, estas incorporaram a medição de dados de chuva. A área de estudo possui quatro sirenes instaladas, onde apenas uma fornece dados de chuva. Os dados fornecidos pelas sirenes podem ser visualizados na plataforma do CEMADEN juntamente com as demais estações. A Figura 22 ilustra a localização da rede telemétrica disponível na bacia e as sirenes para o alerta comunitário. A bacia ainda possui dados de chuva referentes a estação pluviométrica do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, a montante da bacia e também da Agência Nacional de Águas (ANA), a estação Ponte de Ferro Capivari disponibiliza resumo de descargas em um pequeno período de medição.