

Anne Caroline Negrão

# **Cotas de Alerta para Inundações e Estiagens**

Brasília  
2019



Anne Caroline Negrão

## **Cotas de Alerta para Inundações e Estiagens**

Aperfeiçoamento de Ferramentas Estaduais  
de Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito  
do Progestão

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA  
Agência Nacional de Águas – ANA

Brasília  
2019



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer à coordenação do projeto “Aperfeiçoamento de Ferramentas Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito do Progestão”, Antenor Lopes de Jesus Filho do IPEA e Brandina de Amorim da ANA, por confiarem a mim essa importante responsabilidade.

Às instituições e pessoas, que me receberam de portas abertas e responderam todas a minhas perguntas, complementando meu conhecimento sobre o tema e me dando mais confiança para compartilhá-lo: Rochane Caram do CEMADEN; Keyla Santos da CPRM; Paulo Franco e sua equipe do Águas Paraná; Capitão Romero da Defesa Civil do Paraná; Mino Sorribas do SIMEPAR; Guilherme Miranda e sua equipe da EPAGRI-CIRAM; Dirceu Severo do CEOPS-FURB; Frederico Rudroff da SDC-SC.

Aos demais ministrantes da ANA que enriqueceram o curso: Vinícius Roman, Alexandre do Padro e Fabrício Vieira Alves. Em especial ao Vinícius Roman que acompanhou e direcionou a elaboração do conteúdo do curso.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Trecho do Rio Paraíba do Meio em Cajueiro/AL. . . . .	17
Figura 2 – Ilustração de enchente e inundação. . . . .	18
Figura 3 – Enxurrada em bairro de Manaus/AM causada pela ruptura de uma adutora. . . . .	19
Figura 4 – Elementos da Gestão de Riscos. . . . .	23
Figura 5 – Ciclo de Gerenciamento de um Desastre. . . . .	24
Figura 6 – Eixos de Ação do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. . . . .	25
Figura 7 – Matriz de Vulnerabilidade a Inundações. . . . .	26
Figura 8 – Mapa de Vulnerabilidade a Inundações de uma região de Alagoas. . . . .	26
Figura 9 – Exemplo de gráfico gerado pelo Gestor PCD. . . . .	30
Figura 10 – Referências de situação para chuva e cota utilizadas pelo Gestor PCD da ANA. . . . .	30
Figura 11 – Bacias monitoradas pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE). . . . .	31
Figura 12 – SACE Rio Doce. . . . .	32
Figura 13 – Gráficos disponibilizados em tempo real pelo sistema SACE da CPRM. . . . .	32
Figura 14 – Cotas de Referência utilizadas pelo EPAGRI-CIRAM. . . . .	33
Figura 15 – Cotograma e hietograma do Rios On-Line. . . . .	34
Figura 16 – Exemplo da plataforma BI utilizada pela EPAGRI-CIRAM. . . . .	34
Figura 17 – Informações disponibilizadas on-line no AlertaBlu. . . . .	35
Figura 18 – Sistema on-line do Águas Paraná. . . . .	36
Figura 19 – Exemplo de gráfico disponível no sistema do Águas Paraná. . . . .	36
Figura 20 – Sala de Situação da Defesa Civil do Paraná. . . . .	37
Figura 21 – Mapa Interativo da Sala de Alerta da SEMARH. . . . .	37
Figura 22 – Mapa Interativo do NWS-NOAA. . . . .	38
Figura 23 – Categorias de inundação utilizadas pelo NOAA. . . . .	39
Figura 24 – Esquema de obtenção de dados fluviométricos. . . . .	42
Figura 25 – Curva de Permanência da Estação Atalaia (39870000). . . . .	43
Figura 26 – Comparação dos cotogramas das estações convencional e telemétrica de Atalaia (39870000) . . . . .	45
Figura 27 – Comparação da Curva de Permanência das Estações Convencional e Telemétrica de Atalaia (39870000) . . . . .	45
Figura 28 – Cotogramas de Atalaia (39870000) e as cotas de referência determinadas pelo método da permanência. . . . .	46

Figura 29 – Comparação das curvas de distribuição de probabilidades de Kimball e Gumbel para a série de máximos anuais de cotas da estação Atalaia (39870000). . . . .	47
Figura 30 – Cotogramas de Atalaia (39870000) e as cotas de referência determinadas pelo método do tempo de retorno. . . . .	48
Figura 31 – Determinação de cota de emergência na estação de Carangola (58930000). . . . .	49
Figura 32 – Esquema para determinação de cota de emergência em campo. . . . .	50
Figura 33 – Cotograma da estação Colatina (56994510) no período da cheia de dezembro de 2013 e as cotas de alerta e inundação. . . . .	51
Figura 34 – Registro fotográfico de levantamento de mancha de inundação. Fonte: CPRM (2014) . . . . .	51
Figura 35 – Pontos levantados em campo e mancha de inundação interpolada. . . . .	52
Figura 36 – Carta enchente de Blumenau disponibilizada on-line. . . . .	52
Figura 37 – À esquerda, ilustração da diferença entre MDS e MDT e, à direita, exemplo de um produto LiDAR. . . . .	54
Figura 38 – Áreas de risco a inundação no Bairro Jabotiana em Aracaju/SE, extraídas de MDE obtido das curvas de nível a cada 1 m e conferidas em campo. Fonte: visita de campo. . . . .	55
Figura 39 – HAND Model aplicado à América do Sul utilizando MDE do SRTM. Fonte: DPI-INPE (2018) . . . . .	56
Figura 40 – Informações utilizadas no cruzamento e mapas. . . . .	57
Figura 41 – Mapa de risco a inundação resultante do cruzamento de mapas. . . . .	57
Figura 42 – Comparação entre a mancha de inundação obtido através de imagens do satélite Sentinel-1 e a mancha observada em campo. . . . .	59
Figura 43 – Evento de agosto de 2014 registrado pela estação de Atalaia (39870000) e cotas de referência estabelecidas pelo método estatístico. . . . .	61



# Lista de tabelas

Tabela 1 – Permanências dos dados de cota da estação de Atalaia (39870000), considerando o histórico de 12/10/1977 à 30/04/2018. . . . .	44
Tabela 2 – Caracterização sugerida das situações de operação de reservatório no período seco . . . . .	64



# Lista de abreviaturas e siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration's</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIG	Sistemas de Informações Geográficas



# Sumário

<b>Introdução</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>Objetivos</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>1 Padronização de Conceitos</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>2 Análise de Risco de Desastres Naturais</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>3 Sistemas de Alerta</b> . . . . .	<b>29</b>
<b>4 Metodologias</b> . . . . .	<b>41</b>
4.1 Definição de Cotas de Referência Através da Estatística . . . . .	42
4.2 Definição de Cota de Emergência Através de Levantamentos em Campo . . . . .	49
4.3 Definição de Cota de Emergência Através de Modelo Digital de Elevação e Sensoriamento Remoto . . . . .	54
4.4 Definição de Cotas de Alerta e Atenção . . . . .	60
4.5 Definição de Cota de Estiagem . . . . .	63
<b>5 Considerações Finais</b> . . . . .	<b>65</b>
<b>Referências</b> . . . . .	<b>67</b>
<b>Anexos</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO A Prancha de Setorização - CPRM</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>ANEXO B Quadro resumo dos pontos de inundação levantados em Colatina/ES.</b> . . . . .	<b>75</b>
<b>ANEXO C Demarcação da mancha de inundação - Colatina/ES.</b> . . . . .	<b>77</b>



# Introdução

As enchentes e inundações representam um dos principais tipos de desastres naturais que afligem constantemente diversas comunidades no mundo inteiro. Esses fenômenos fazem parte da dinâmica natural e são deflagrados por chuvas intensas e/ou de longa duração e eventos extremos climáticos. Entretanto, tais fenômenos são intensificados por intervenções antrópicas, através da urbanização, impermeabilização do solo, retificação dos cursos d'água e redução no escoamento dos canais devido a obras ou por assoreamento (MCID-IPT, 2007).

A implementação de Sistemas de Alerta é uma medida não-estrutural que visa reduzir os impactos de eventos extremos, tanto de inundações como de estiagens, através da disponibilização de informações em tempo real e de forma organizada para auxiliar os tomadores de decisão na determinação das ações necessárias. Nesse viés, a Agência Nacional de Águas (ANA) criou a própria Sala de Situação (ANA, 2018d), na qual acompanha as condições hidrometeorológicas de bacias hidrográficas nacionais prioritárias, e deu apoio na estruturação das Salas de Situação estaduais, que fazem o mesmo acompanhamento, porém, em escala local. Entre os principais objetivos das Salas de Situação encontra-se: identificar, sistematizar e atualizar as informações de cotas de alerta e atenção das estações fluviométricas ou outra cota de referência. Devido a sua importância, o Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão), desenvolvido pela ANA (ANA, 2018c), definiu esse objetivo como uma das metas que devem ser cumpridas pelos gestores de recursos hídricos estaduais.

Visando auxiliar o cumprimento dessa meta, dentro do projeto “Aperfeiçoamento de Ferramentas Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito do Progestão”, celebrado pela parceria entre o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a ANA, e no âmbito da área temática de Gestão de Eventos Críticos, foi prevista a preparação de material e realização de curso sobre a definição de cotas de alerta para sistemas de alerta a inundações.

Este material foi desenvolvido para dar apoio ao curso "Cotas de Inundação e Estiagem", ofertado em outubro de 2018 para os gestores estaduais de recursos hídricos e servidores da ANA. Pretende-se neste material: padronizar conceitos; introduzir brevemente a análise de risco de desastres naturais, com foco para inundações; apresentar exemplos nacionais e internacionais de sistemas de alerta já implementados; introduzir metodologias de determinação de cotas de referência (emergência, alerta e atenção) para estações de monitoramento fluviométrico, considerando a diversidade das regiões brasileiras; e introduzir metodologias de determinação de cotas de referência para estiagem de rios e reservatórios.





# Objetivos

## Geral

Auxiliar Gestores Estaduais de Recursos Hídricos a estabelecer as cotas de emergência, alerta e atenção para inundação das estações de monitoramento fluviométrico instaladas nos estados brasileiros e as cotas de alerta para estiagem de rios e reservatórios.

## Específicos

- Padronizar conceitos;
- Apresentar experiências nacionais e internacionais sobre o tema;
- Introduzir metodologias de determinação de cotas de emergência, alerta e atenção para inundação considerando a diversidade das regiões brasileira;
- Introduzir metodologias de determinação de cotas de alerta para estiagem de rios e reservatórios;
- Auxiliar os gestores estaduais no cumprimento das metas do Progestão.



# 1 Padronização de Conceitos

Dependendo das fontes consultadas, existem divergências de conceitos e nomes relacionados ao assunto inundação e estiagem. Por isso, visando homogeneizar o entendimento dos termos, neste documento serão adotadas um combinado de definições e terminologias estabelecidas pelas seguintes referências: ANA (2013), MCid-IPT (2007) e NOAA-NWS (2017).

**Leito Menor:** representa o canal de drenagem principal (calha) do rio, na qual normalmente a água flui;

**Leito Maior:** também conhecida como **Várzea**, local onde esporadicamente a água pode fluir. Normalmente, são áreas relativamente planas e extensas que recebem as águas que extravasam do leito menor;

Na Figura 1 é apresentado como exemplo um trecho do Rio Paraíba do Meio em Cajueiro/AL, onde é possível identificar o leito menor e o leito maior.

Figura 1: Trecho do Rio Paraíba do Meio em Cajueiro/AL.



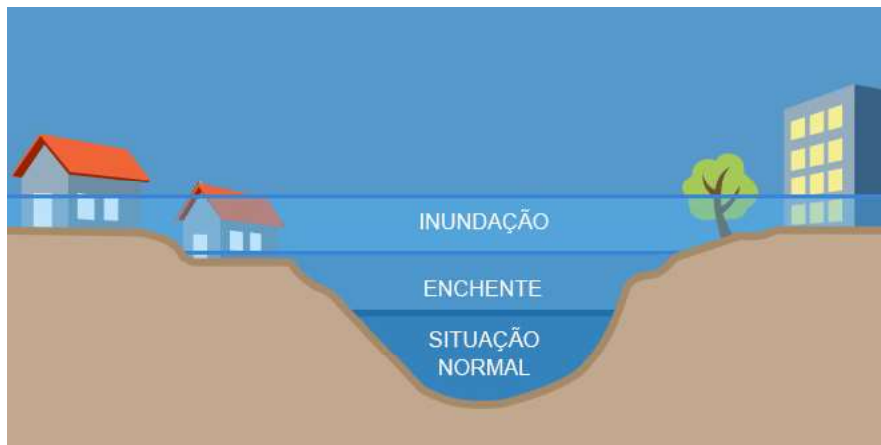
Fonte: visita técnica.

**Enchente** ou **Cheia:** elevação do nível d'água do rio devido ao aumento da vazão, que ocorre, por exemplo, em épocas chuvosas;

**Inundação:** extravasamento das águas do leito menor para o leito maior;

Na Figura 2 são ilustradas as definições de inundação e enchente. Entretanto, esses dois termos normalmente se confundem. Pois, a delimitação entre o leito menor e o leito maior nem sempre é evidente. Eles podem ser alterados natural ou antropicamente, o que dificulta diferenciar inundação de enchente considerando o extravasamento ou não do leito menor. Além disso, a ocupação irregular de ambos os leitos podem causar prejuízos em eventos extremos. Buscando contornar essa confusão, fontes como a NOAA-NWS (2017) definem inundação (considerando a tradução de *Flood*) como o aumento do nível de um curso d'água que atinge áreas que habitualmente não são ocupadas pelas águas, causando prejuízos sociais e econômicos. Essa definição não depende de uma característica física do leito do rio, mas depende se a população sofre ou não prejuízos sociais e/ou econômicos.

Figura 2: Ilustração de enchente e inundação.



Fonte: CEMADEN.

Válido citar aqui, para reflexão, um parágrafo do livro “Águas de Chuva - Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades” de Botelho (2017):

*“... rios e riachos sempre tem enchentes periódicas. Só ocorrem inundações quando a área natural de passagem da enchente de um rio foi ocupada para conter uma avenida (avenida de fundo de vale) ou foi ocupada por prédios. Assim poder-se-á dizer que todo curso d’água tem enchente. Quando inunda é porque a urbanização falhou.”*

**Alagamento:** acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem;

**Enxurrada:** escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. Normalmente, são eventos de curta duração e ocorrem em regiões com maiores declividades;

Para ilustrar um caso de enxurrada que não esteve associado a processos fluviais, a imagem da Figura 3 foi uma enxurrada causada pela ruptura de uma adutora em um bairro de Manaus/AM, ocorrida no ano de 2013, que não esteve associada a nenhum evento meteorológico.

Figura 3: Enxurrada em bairro de Manaus/AM causada pela ruptura de uma adutora.



Fonte: [BAND \(2013\)](#).

**Estiagem:** período de baixa ou ausência de pluviosidade afetando os usuários da água, quando prolongado constitui-se uma **Seca**;

**Escassez hídrica:** situação de baixa disponibilidade de água, considerando uma abrangência local;

Como exemplo de estiagem, ou melhor, seca, pode-se citar a seca de 2012 a 2017 no semiárido nordestino do Brasil, uma das mais longas da história ([REBELLO, 2007](#)). Também, como exemplo de escassez hídrica, a crise do abastecimento de água na Grande São Paulo e o déficit recorde do Sistema Cantareira, que em 2014 e 2015 foi amplamente noticiado ([RODRIGUES; VILLELA, 2016](#)).

**Estação de monitoramento fluviométrico:** seção de um rio na qual são realizadas medições de nível d'água e/ou vazão, sendo representativa das condições daquele trecho de rio;

**PCD:** Plataforma de Coleta de Dados, conjunto de equipamentos e sensores que coletam e armazenam dados automaticamente e os transmitem via rádio, satélite ou celular;

**Cotas de Referência:** são subdivisões ou categorias de cotas que representam alguma criticidade e, normalmente, estão relacionadas com um nível de risco;

Existem diversas formas de se estabelecer as cotas de referência e os critérios de divisão dependem das características locais e da disponibilidade de informações. Dessa forma, não existe uma regra bem estabelecida para a definição das cotas de referência.

Sendo que, no Brasil, cada instituição adota nomes e divisões diferentes, como poderá ser observado na Seção 3. Entretanto, é importante, a nível estadual e até nacional, a padronização dessas categorias para facilitar a integração dos sistemas e a comunicação entre os operadores, tomadores de decisão, Defesa Civil e a sociedade. Neste documento, para padronização, será considerado os termos que normalmente são utilizados pela Sala de Situação da ANA, que são as seguintes categorias.

**Cota de Transbordamento:** cota da estação de monitoramento acima da qual a superfície d'água transborda do leito menor para o leito maior. Seguindo o conceito pré-estabelecido de inundação, trata-se da **Cota de Inundação**;

**Cota de Emergência:** cota da estação de monitoramento acima da qual a superfície d'água começa a invadir áreas que podem trazer prejuízos (riscos) sociais e econômicos ou interrupção de serviços essenciais;

Deve-se considerar que a cota de emergência se aplica a todo o alcance do rio, não apenas a vizinhança imediata da estação de monitoramento. Por isso, a importância do levantamento em campo e da simulação de manchas de inundação, para melhor definir a cota de emergência da estação a partir da qual são observados danos na bacia em que o rio está inserido. A definição dessa cota pode ser variável, dependendo da dinâmica de ocupação da bacia. Lembrando que, dependendo da fonte, como, por exemplo a [NOAA-NWS \(2017\)](#), a cota de emergência pode também ser chamada de cota de inundação.

**Cota Recorde:** a maior cota histórica já observada pela estação de monitoramento;

Não precisa, necessariamente, a cota recorde estar acima da cota de emergência. Por exemplo, em uma determinada área em que a população encontra-se fora da área de várzea, pode-se nunca na história ter ocorrido um evento que atingisse essa população. Entretanto, ainda assim existe um risco, mesmo que pequeno, da cota atingir a emergência e essa população ser afetada.

**Cota de Alerta:** cota a partir da qual a Defesa Civil começa a tomar as devidas providências, tais como avisar e remover a população. Também pode ser conhecida como **Cota de Ação**;

**Cota de Atenção:** cota a partir da qual o rio encontra-se acima do seu nível normal, está normalmente relacionada a uma época de cheia;

Como será discutido na Seção 4.4, é de extrema importância que essas a categoria de alerta esteja relacionada ao tempo de resposta da bacia hidrográfica e ao tempo hábil de tomada de ação pela Defesa Civil.

**Cota de Estiagem:** cota da estação abaixo da qual o nível d'água não é mais capaz de abastecer os usuários, comunidades e indústrias, trazendo impactos negativos significativos. Pode-se citar entre os usos que podem ser impactados: abastecimento d'água, agricultura, geração de energia, navegação, diluição de poluentes, recreação.

Também podem ser estabelecidas categorias de estiagem, como **Cota de Déficit** e **Cota de Escassez**, que normalmente estão relacionadas ao risco da falta abastecimento de água que a população está sujeita.





## 2 Análise de Risco de Desastres Naturais

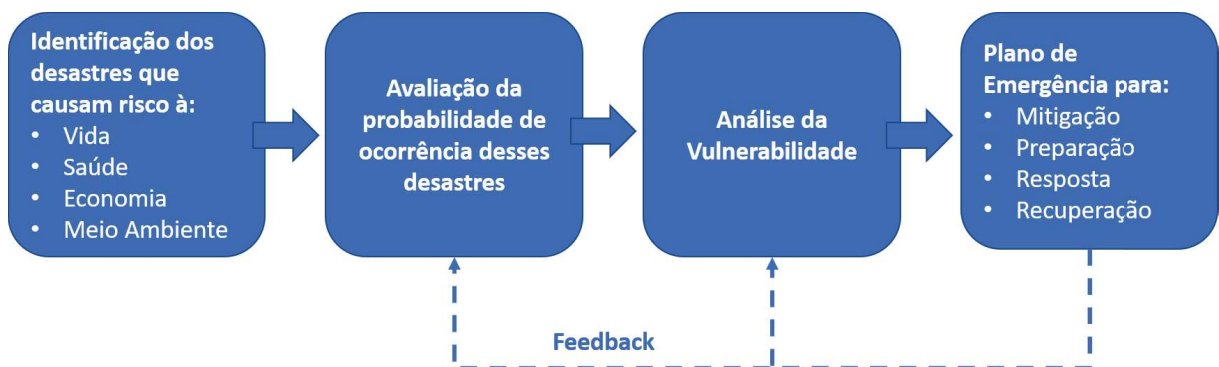
O MCid-IPT (2007) define **Risco** como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Resumidamente, pode-se considerar risco como a relação entre probabilidade e vulnerabilidade. Entretanto, na literatura sobre o tema existem divergências nas definições de desastre, risco e vulnerabilidade. Não cabe a este documento discutir qual a melhor definição de cada termo, mas apenas dar uma ideia geral sobre o assunto.

Segundo Grigg (2000), a análise de risco pretende responder as seguintes perguntas básicas:

- O que pode dar errado e porque? Quais os tipos de **desastres** podem ocorrer?
- Qual a probabilidade disso ocorrer? Qual a **suscetibilidade** do desastre?
- O quão ruim poderia ser se isso ocorresse? Qual é a **vulnerabilidade**?
- O que podemos fazer para evitar isso? Como deveria ser a **gestão** do risco?

Logo, a gestão do risco passa pelas seguintes etapas: identificação dos desastres que causam risco a vida, a saúde, a economia e ao meio ambiente; avaliação da probabilidade de ocorrência desses desastres; análise de vulnerabilidade; definição de planos de emergência para mitigação, preparação, resposta e recuperação. Conforme se aprende com os desastres, o *feedback* ocorre e atualizamos as informações sobre os riscos, nos tornando mais resilientes (Figura 4).

Figura 4: Elementos da Gestão de Riscos.

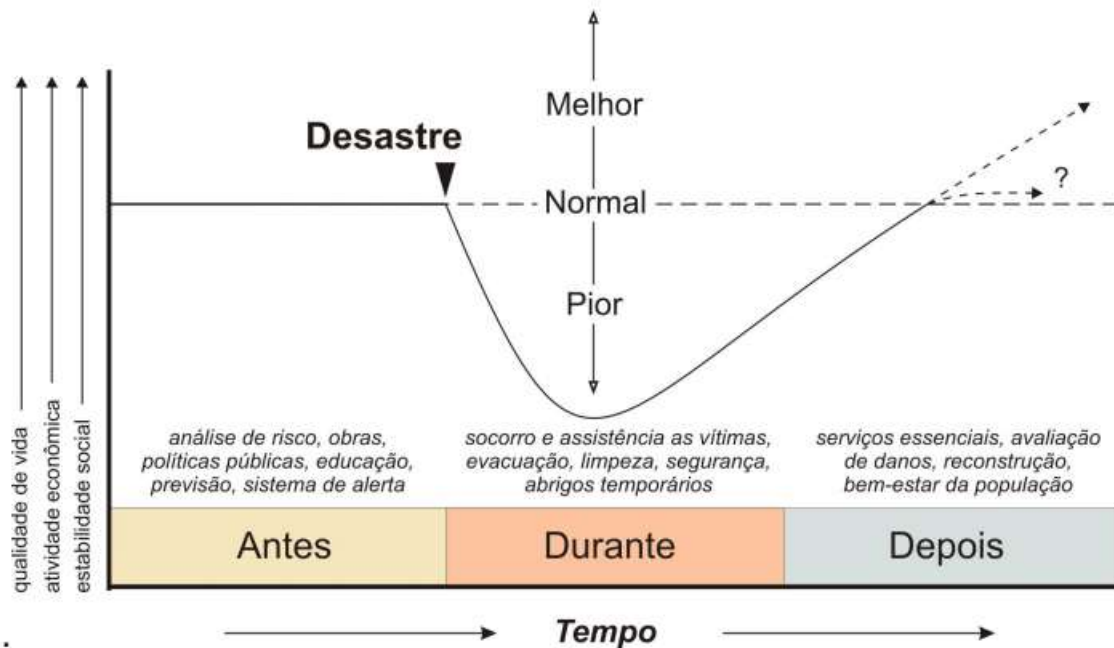


Fonte: Adaptado de Grigg (2000).

Um desastre pode ser dividido em três fases com as suas ações necessárias: antes - prevenção e preparação; durante - resposta; e depois - reconstrução (Figura 5). Pode-se dizer que o Sistema de Proteção e Defesa Civil brasileiro concentra esforços atuando

depois do desastre, caracterizando-se por uma gestão de urgência e gestão de crise, tendo sempre um grande esforço na mitigação dos danos e prejuízos (GREGORIO et al., 2013).

Figura 5: Ciclo de Gerenciamento de um Desastre.

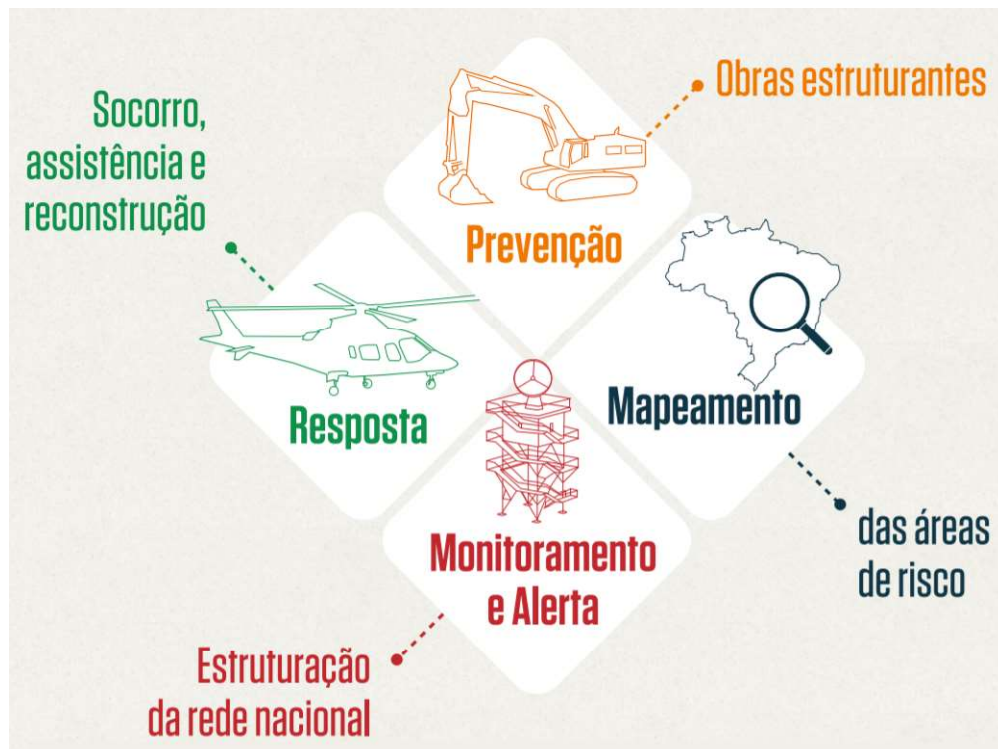


Fonte: Gregorio et al. (2013).

Dentro da gestão de risco, o processo de mitigação busca eliminar ou reduzir a probabilidade de um desastre através intervenções estruturais, por exemplo. O processo de preparação seria a disponibilidade de planos, equipamentos e recursos humanos para se lidar com o desastre quando ele ocorrer. O processo de resposta está relacionado com a tomada de decisão baseada em informações sobre os riscos envolvidos. Já o processo de recuperação busca retornar as condições normais após o desastre. Considerando os riscos a inundação e estiagem, Sistemas de Alerta abordam, principalmente os processos de preparação e resposta.

O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, lançado pelo governo federal brasileiro em 2012, propôs fortalecer ações articuladas de prevenção e redução no tempo de resposta a ocorrências de desastres naturais, através de investimentos em quatro eixos de ação (Figura 6): Prevenção, através de obras estruturantes; Mapeamento, das áreas de risco; Monitoramento e Alerta, através da estruturação da rede nacional; e Resposta, através de socorro, assistência e reconstrução (BRASIL, 2012a). Considerando os registros do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) referentes aos decretos de calamidade pública, situação de emergência e ocorrência de perdas de vidas humanas decorrentes de desastres naturais, foram selecionados 821 municípios como prioritários à plicação das ações.

Figura 6: Eixos de Ação do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais.



Fonte: BRASIL (2012b).

O eixo de ação de Prevenção contou com obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) voltadas à redução do risco de desastres naturais. As obras previam a ampliação de oferta de água na região Nordeste e semiárido mineiro, além de obras como: contenção de encostas e cheias, drenagem, barragens, adutoras e sistemas de abastecimento de água para 170 municípios inicialmente selecionados.

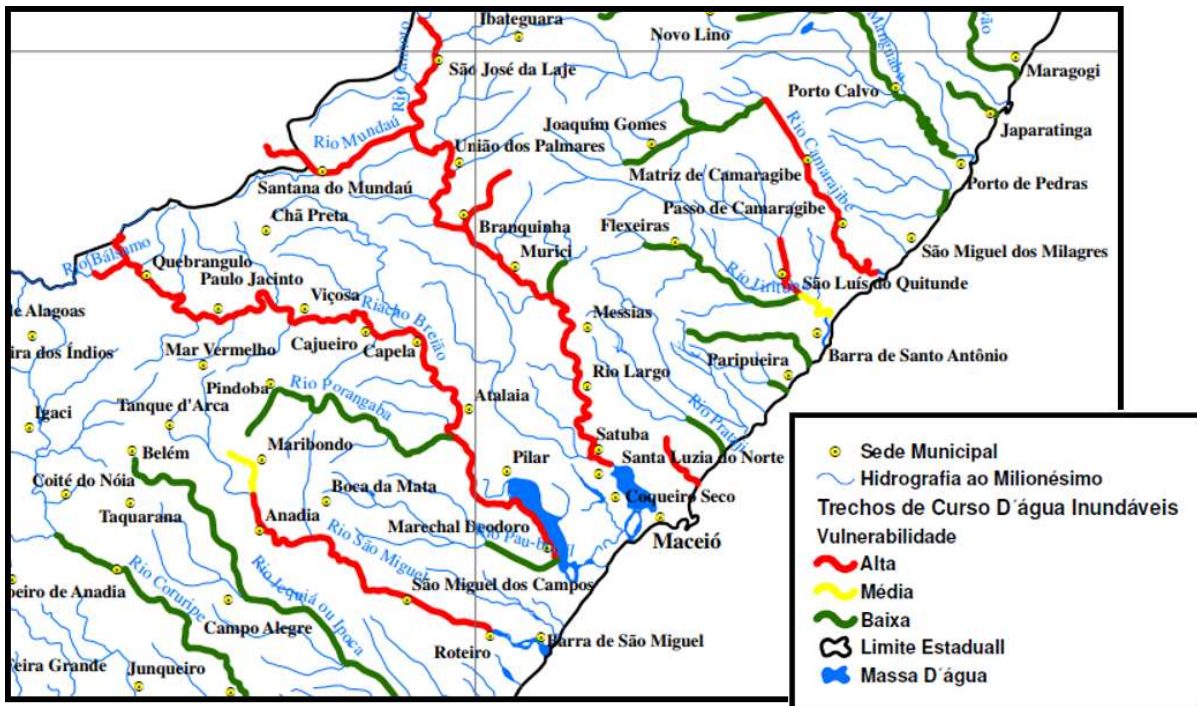
Um dos produtos do eixo Mapeamento é o Projeto Setorização de Riscos Geológicos da CPRM, que mapeou áreas de risco alto e muito alto de movimentos de massa, enchentes de alta energia e inundações dos 821 municípios prioritários e continua realizando o mapeamento dos demais municípios com auxílio das defesas civis municipais. A metodologia consiste na delimitação de polígonos através de imagens e fotos georreferenciadas em ambiente SIG, por exemplo, o Google Earth, e evidências observadas no local. No Anexo A é apresentado um exemplo de prancha de setorização, onde são indicadas as áreas de riscos e descritas as intervenções, estruturais e não estruturais, necessárias (CPRM, 2018b).

Também seguindo o eixo Mapeamento, a ANA elaborou o Atlas de Vulnerabilidade a Inundação, que mapeou alguns trechos dos principais rios brasileiros conforme a sua vulnerabilidade/risco (ANA, 2014). A partir da avaliação da recorrência dos eventos (tempo de retorno) e o grau de impacto, foram estabelecidos níveis de vulnerabilidade conforme apresentado na Figura 7. Um exemplo do mapeamento é apresentado na Figura 8.

Figura 7: Matriz de Vulnerabilidade a Inundações.

Impacto	Frequência		
	Tr > 10 anos	5 < Tr < 10 anos	Tr < 5 anos
Danos localizados	Baixa	Baixa	Média
Danos razoáveis a serviços essenciais, obras, instalações públicas e residências	Média	Média	Alta
Danos à vida humana, danos significativos a serviços essenciais, obras, instalações públicas e residências	Alta	Alta	Alta

Figura 8: Mapa de Vulnerabilidade a Inundações de uma região de Alagoas.



Fonte: Adaptado de ANA (2014).

Dentro do eixo de ação de Monitoramento e Alerta figura, principalmente, a interação CEMADEN, que ficou responsável pela expansão da rede de monitoramento e emissão de alertas, e CENAD, que aciona os órgãos de defesa civil nos estados e municípios para a tomada de ação (CEMADEN, 2018b). Também tem atuação significativa nesse eixo a ANA, através da criação das Salas de Situação nos estados brasileiros, e a CPRM, através da manutenção de boa parte das estações de monitoramento e do desenvolvimento de sistemas de alerta.

O eixo Resposta conta com a Força Nacional do SUS, de Segurança e de Emergên-

cia, visa desburocratizar a disponibilização de recursos durante e pós desastres e tem o desafio de fortalecer as defesas civis estaduais e, especialmente, municipais para atuarem com eficácia durante o processo de recuperação das áreas atingidas.

Um panorama atualizado sobre o Plano, segundo a notícia de [Estarque \(2018\)](#), o montante prometido para investimentos nos eixos de ação ainda não fora cumprido. Houve melhoria no mapeamento das áreas de risco e expansão do monitoramento, porém existe grande dificuldade com a manutenção da rede de observação, alguns equipamentos inclusive estão parados. Segundo a União, muitas obras estruturantes não foram executadas por ineficiência municipal ou estadual. A população continua consideravelmente exposta aos riscos de deslizamentos e inundações, com sérios problemas sociais em algumas comunidades ribeirinhas.



## 3 Sistemas de Alerta

**Sistemas Informatizados de Gestão**, tais como **Sistemas de Alerta a Inundação e Estiagem**, podem ser definidos como um conjunto de equipamentos e/ou recursos tecnológicos para informar a população sobre a ocorrência iminente de desastres. Tais sistemas têm oferecido a possibilidade de redução dos impactos dos desastres em todas as suas fases, pois organizam o banco de dados e disponibilizam informações que podem auxiliar na definição de ações, desde a prevenção até a recuperação, de forma eficiente. Porém, o principal benefício desses sistemas é observado antes e durante o desastre, pois a disponibilidade rápida de informações-chaves apoia a tomada de decisão e agiliza a resposta ao evento, otimizando o trabalho da Defesa Civil. Outros resultados a longo prazo esperados com a implantação de sistemas informatizados é a redução de danos sociais, materiais e ambientais, o aumento da sinergia de trabalho entre os atores e a consequente otimização dos recursos públicos.

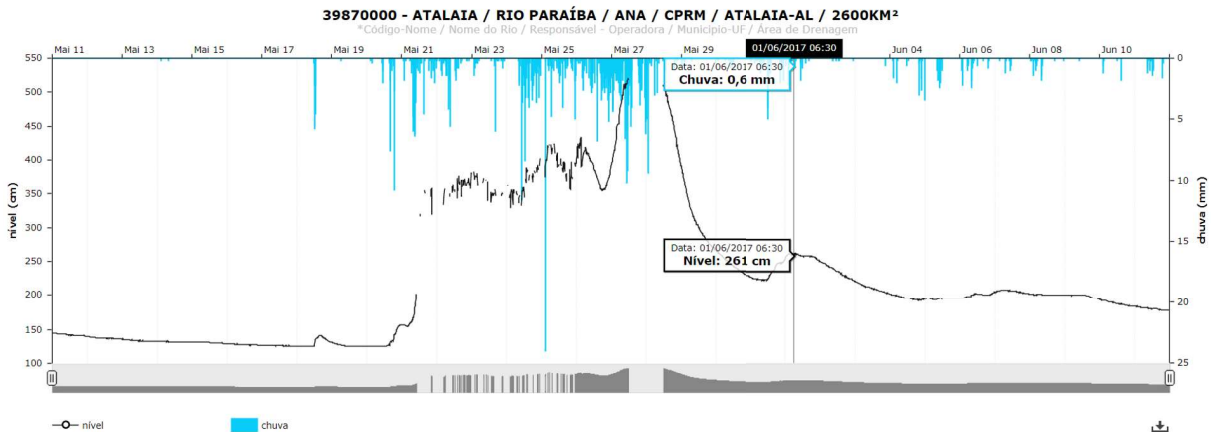
Resumidamente, o **Sistema de Alerta** é uma medida não-estrutural que visa reduzir os impactos de eventos extremos através da disponibilização de informações em tempo real e de forma organizada para auxiliar os tomadores de decisão na determinação das ações necessárias. A seguir serão apresentados alguns exemplos de sistemas de alerta já implementados e as suas principais características.

Em um âmbito mais amplo sobre gestão de riscos, pode-se citar o Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, desenvolvido e operado pelo CEMADEN, como um dos principais sistemas nacionais. A Sala de Situação do CEMADEN funciona em regime 24/7, acompanhando condições hidrometeorológicas e geodinâmicas de mais de 900 municípios prioritários. Também conta com uma equipe multidisciplinar responsável por avaliar os riscos e emitir os alertas (CEMADEN, 2018c). Em um mapa interativo disponibilizado on-line (CEMADEN, 2018a), é possível acessar informações em tempo real das PCDs sob responsabilidade do CEMADEN, algumas possuem imagens de uma câmera instalada junto ao sensor de nível, que permite visualizar a situação do rio.

Registrando todo tipo de desastre, o Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2ID), da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) (SEDEC, 2018), é responsável por receber, armazenar e qualificar as informações sobre desastres enviadas pelos municípios e estados. Com isso, o sistema auxilia o processo de liberação de recurso federal para atender situações de emergência ou estado de calamidade pública, sendo, assim, um dado oficial.

Voltado mais a desastres relacionados a inundação e estiagem, a ANA disponibiliza através do site Gestor PCD (ANA, 2018a) os dados telemétricos das estações plu e fluviométricas sob sua responsabilidade. Nessa interface é possível visualizar os dados em tempo real através de tabelas e gráficos (Figura 9).

Figura 9: Exemplo de gráfico gerado pelo Gestor PCD.



Fonte: ANA (2018a).

Algumas estações disponíveis no Gestor PCD tem estabelecidas referências de situação, tanto para cota como para chuva (Figura 10). No caso das cotas, a referência de atenção considera a permanência de 10% e a de déficit hídrico a permanência de 90%. Porém, quando disponível, são priorizadas cotas levantadas em campo. Já as referências de alerta e emergência somente são consideradas a partir de informações levantadas em campo. É de responsabilidade dos estados definir e atualizar essas referências. No caso da chuva, são estabelecidas cinco categorias: muito fraca ( $< 5$  mm); fraca ( $\geq 5$  a 10 mm); moderada ( $\geq 10$  a 20 mm); forte ( $\geq 20$  a 40 mm); e muito forte ( $\geq 40$  mm).

Figura 10: Referências de situação para chuva e cota utilizadas pelo Gestor PCD da ANA.

Referências	Referências
<input type="checkbox"/> Selecionar	<input type="checkbox"/> Selecionar
<input checked="" type="checkbox"/> Sem Informação Atualizada	<input checked="" type="checkbox"/> Sem Informação Atualizada
<input type="checkbox"/> Sem Chuva	<input checked="" type="checkbox"/> Sem dado de referência
<input checked="" type="checkbox"/> Muito fraca ( $< 5$ mm)	<input checked="" type="checkbox"/> Abaixo da cota de déficit hídrico ou da permanência de 90%
<input checked="" type="checkbox"/> Fraca ( $\geq 5$ a 10mm)	<input type="checkbox"/> Estado normal
<input checked="" type="checkbox"/> Moderada ( $\geq 10$ a 20mm)	<input checked="" type="checkbox"/> Acima da cota de atenção ou da permanência de 10%
<input checked="" type="checkbox"/> Forte ( $\geq 20$ a 40mm)	<input checked="" type="checkbox"/> Acima da cota de alerta
<input checked="" type="checkbox"/> Muito forte ( $\geq 40$ mm)	<input checked="" type="checkbox"/> Acima da cota de emergência
<input type="checkbox"/> Estações que nunca tiveram transmissões	<input checked="" type="checkbox"/> Rio Cortado (-999,1)
	<input checked="" type="checkbox"/> Rio Seco (-999,2)
	<input type="checkbox"/> Estações que nunca tiveram transmissões

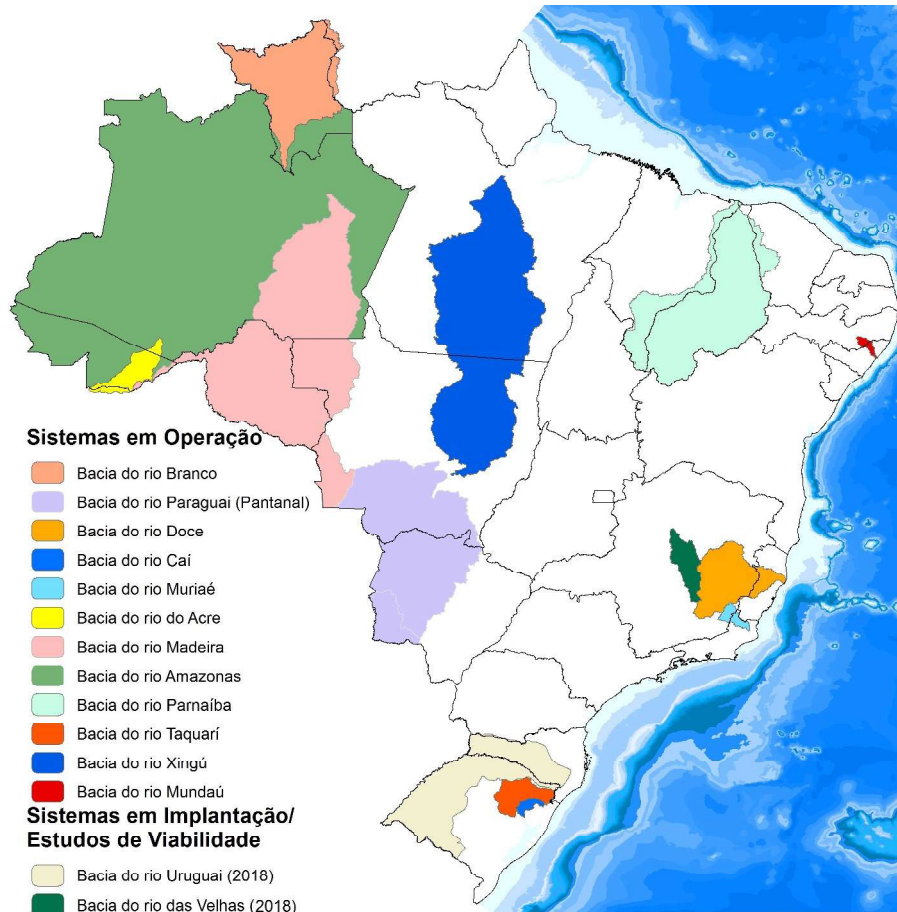
Fonte: ANA (2018a).

A CPRM desenvolveu o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE), um sistema que monitora e emite alertas hidrológicos para algumas bacias hidrográficas brasileiras (Figura 11). Este sistema disponibiliza os dados monitorados no site da CPRM, em forma tabular e gráfica, e realiza algumas previsões hidrológica de baixa complexidade. Também publica boletins e os transmite via e-mail para os interessados, permitindo que agências



governamentais, instituições públicas e privadas, defesa civil e cidadãos possam tomar decisões sobre políticas e ações para mitigar os riscos de inundações e secas (CPRM, 2018a).

Figura 11: Bacias monitoradas pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE).

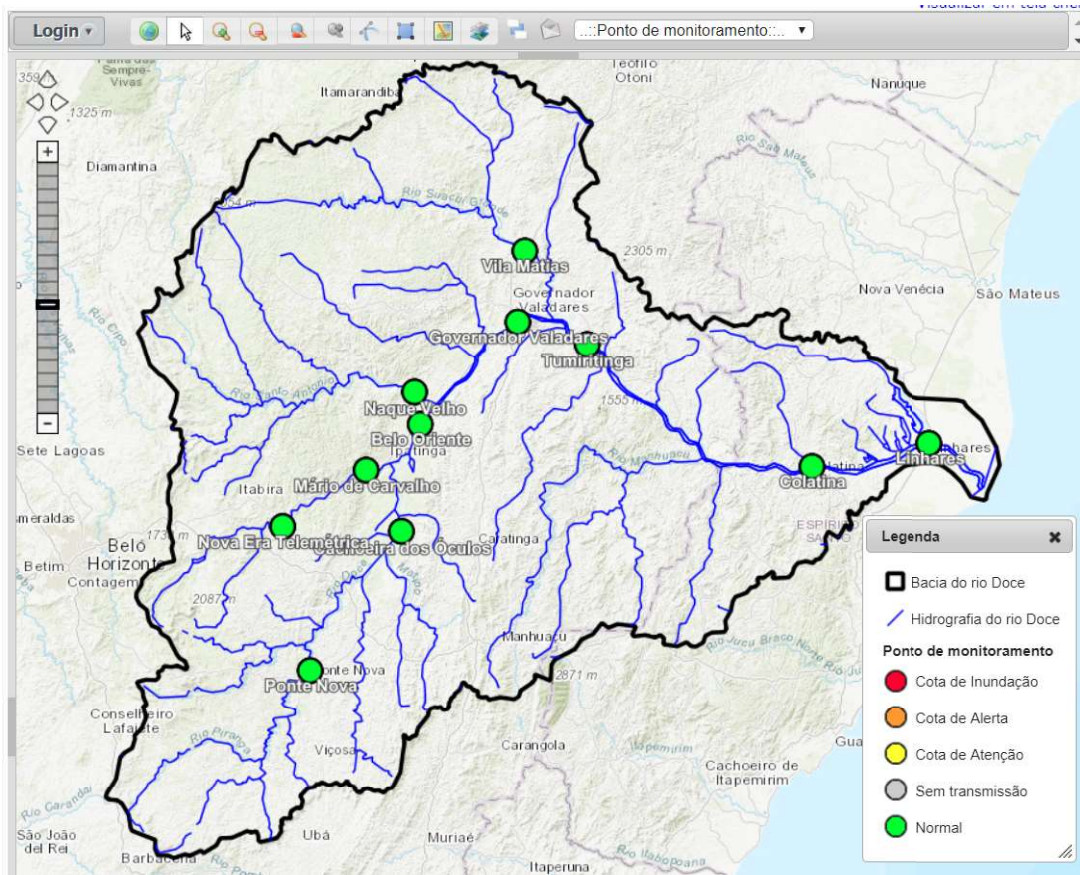


Fonte: CPRM (2018a).

Entre os sistemas mais antigos do SACE está o da Bacia do Rio Doce, que desde 1997 é operado 24 horas por dia durante o período chuvoso. Na Figura 12 é apresentada a interface do SACE, disponível no site da CPRM, na qual é possível visualizar através do mapa interativo a localização da bacia e dos pontos de monitoramento, além das condições das estações. Clicando nos pontos, abre-se uma janela que disponibiliza gráficos e informações sobre a cota do rio e a chuva em tempo real (Figura 13).

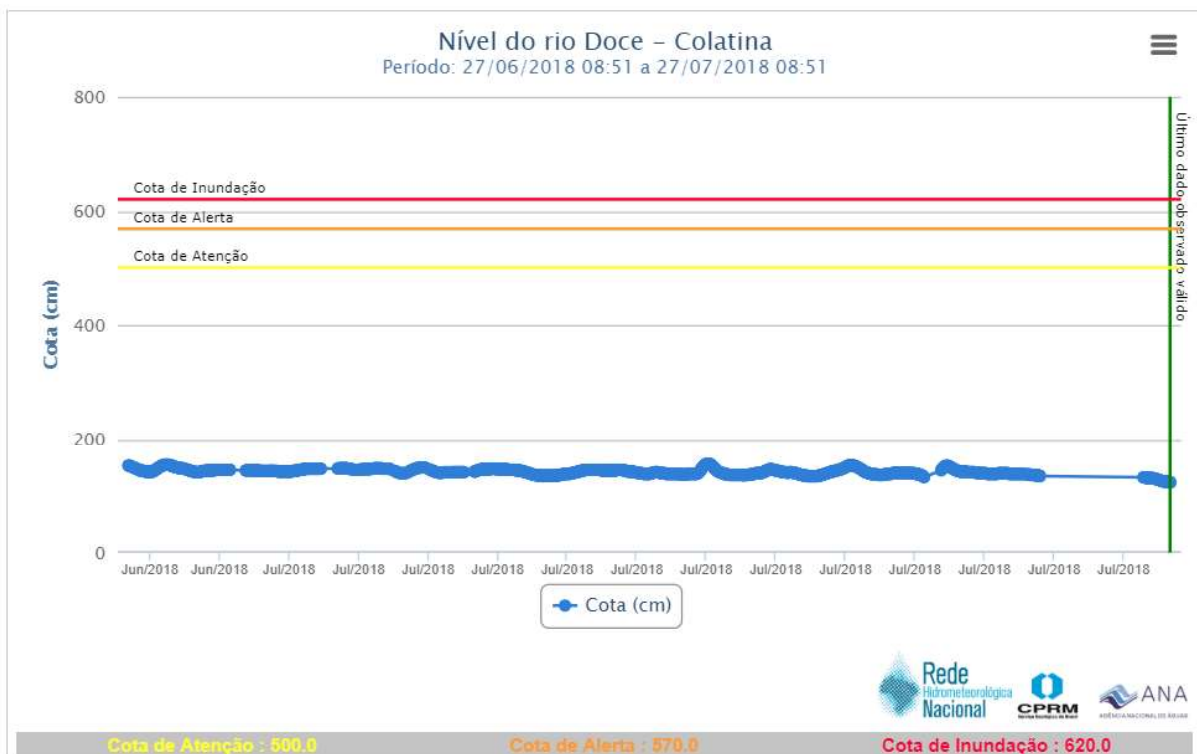
No caso da Bacia do Rio Doce, as cotas de referência são: Cota de Atenção; Cota de Alerta e Cota de Inundação. Para algumas cidades estratégicas, as Cotas de Alerta e Inundação foram determinadas em campo, através de nivelamento topográfico da cota do início da inundação no ponto mais baixo da cidade. Já as cotas de alerta foram definidas de acordo com o tempo de subida dos hidrogramas da cheia de janeiro de 1997, discretizadas a cada 12 horas (CPRM, 2014).

Figura 12: SACE Rio Doce.



Fonte: CPRM (2018a).

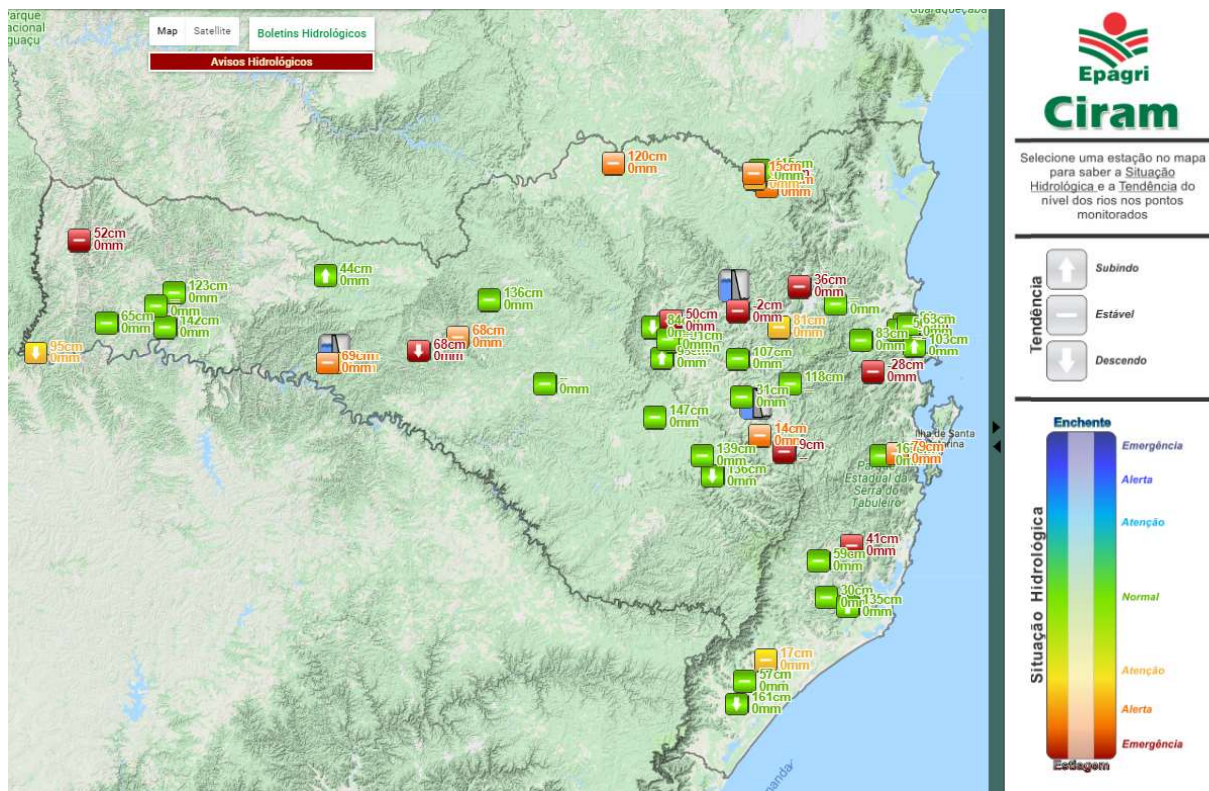
Figura 13: Gráficos disponibilizados em tempo real pelo sistema SACE da CPRM.



Fonte: CPRM (2018a).

Em nível estadual, a Sala de Situação de Santa Catarina está localizada no Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia (CIRAM) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Florianópolis/SC. A Sala monitora em tempo real os níveis dos rios e a chuva de nove bacias hidrográficas. As informações em tempo real dos níveis dos rios e da precipitação estão disponíveis no site através do sistema Rios On-line (EPAGRI-CIRAM, 2018). Devido a sua vertente agrícola, existe também grande interesse no monitoramento de estiagem. Por isso, para cada estação estão definidos os níveis de Atenção, Alerta e Emergência, tanto para enchente como para estiagem (Figura 14). Ao clicar na estação é possível avaliar o cotograma e o hietograma do histórico de dez dias e a tabela de chuva acumulada nas últimas 120 horas (Figura 15). Diariamente são emitidos Boletins sobre a situação hidrológica das estações telemétricas.

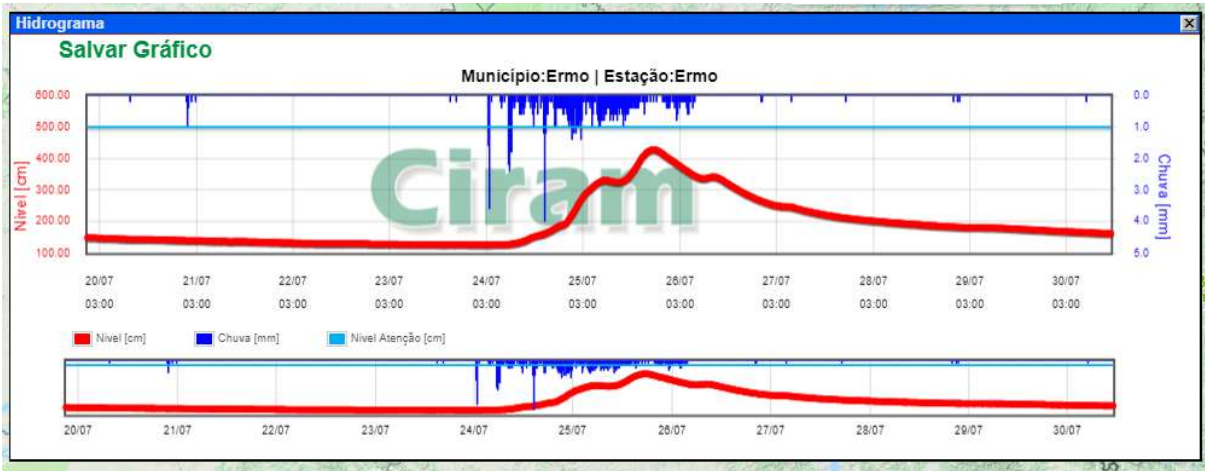
Figura 14: Cotas de Referência utilizadas pelo EPAGRI-CIRAM.



Fonte: EPAGRI-CIRAM (2018).

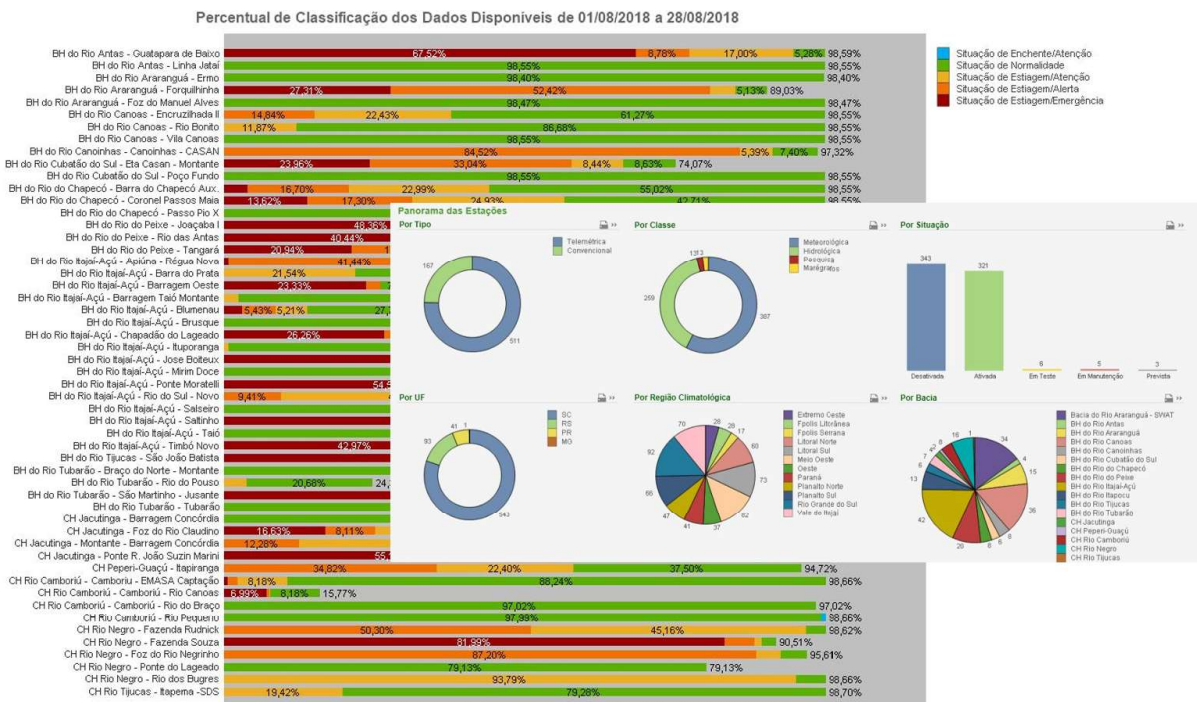
Os dados das estações sob responsabilidade da EPAGRI são recebidos via telefonia celular e das estações da ANA são acessadas diretamente do receptor do GOES na NOAA, o que facilita o processamento e torna o sistema mais ágil. A Sala de Situação da EPAGRI-CIRAM também conta com sistema BI (*Business Intelligence*), utilizado internamente para organizar todas as informações das estações hidrometeorológicas e fazer o acompanhamento do monitoramento. O BI utilizado é da QlickView, distribuído pela empresa Toccato, a Figura 16 apresenta um exemplo da interface da plataforma.

Figura 15: Cotograma e hietograma do Rios On-Line.



Fonte: EPAGRI-CIRAM (2018).

Figura 16: Exemplo da plataforma BI utilizada pela EPAGRI-CIRAM.

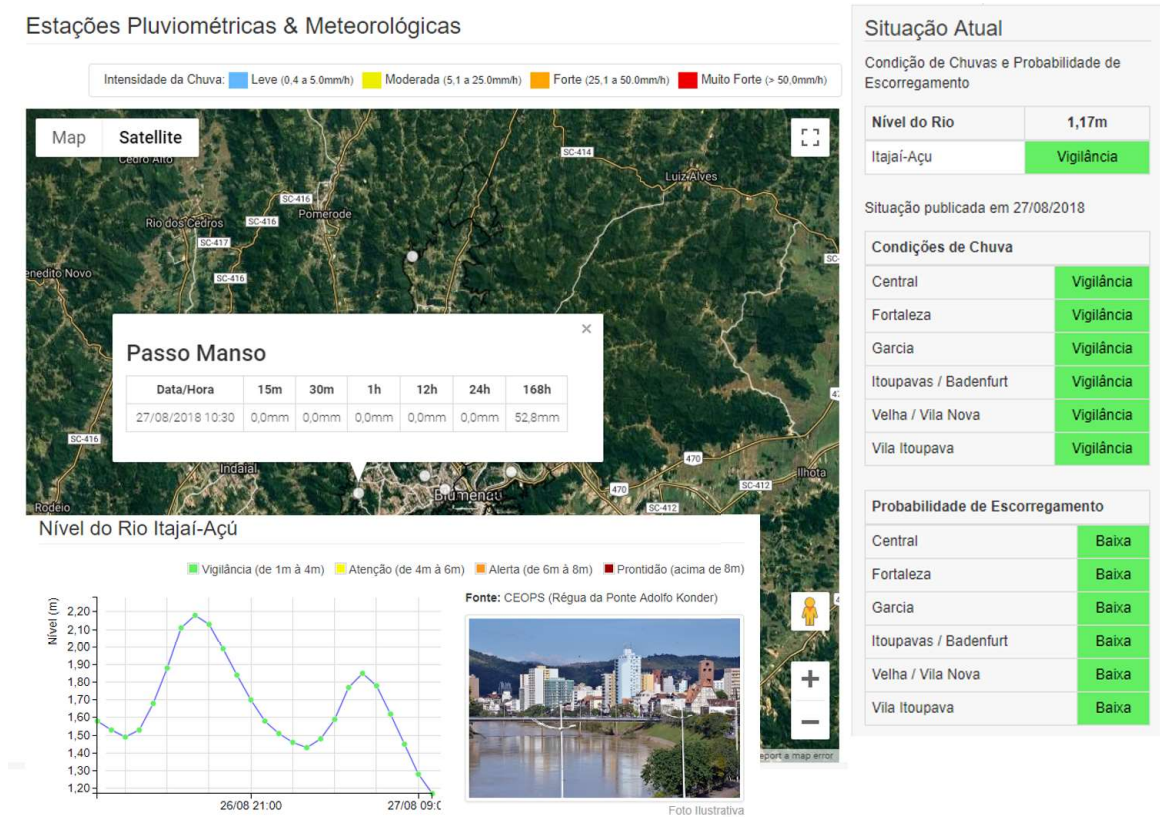


Fonte: visita técnica.

Ainda no estado de Santa Catarina, Blumenau, um dos municípios brasileiros que mais sofrem com desastres naturais (IGARAPÉ, 2018), conta com o Sistema de Monitoramento e Alerta de Eventos Extremos, conhecido como AlertaBlu, da Defesa Civil de Blumenau (BLUMENAU, 2018). O sistema monitora a Bacia do rio Itajaí e conta com ação voluntária de professores e alunos do Centro de Operação do Sistema de Alerta (CEOPS) da Universidade Regional de Blumenau (FURB), que analisam as previsões meteorológicas e realizam previsões hidrológicas em tempo real durante eventos extremos. Uma característica marcante do sistema é o grande envolvimento e confiança

da população, que acompanha de perto o sistema on-line (Figura 17), onde é possível verificar, em tempo real, a cota do rio, o acumulado de chuva e a situação de risco.

Figura 17: Informações disponibilizadas on-line no AlertaBlu.

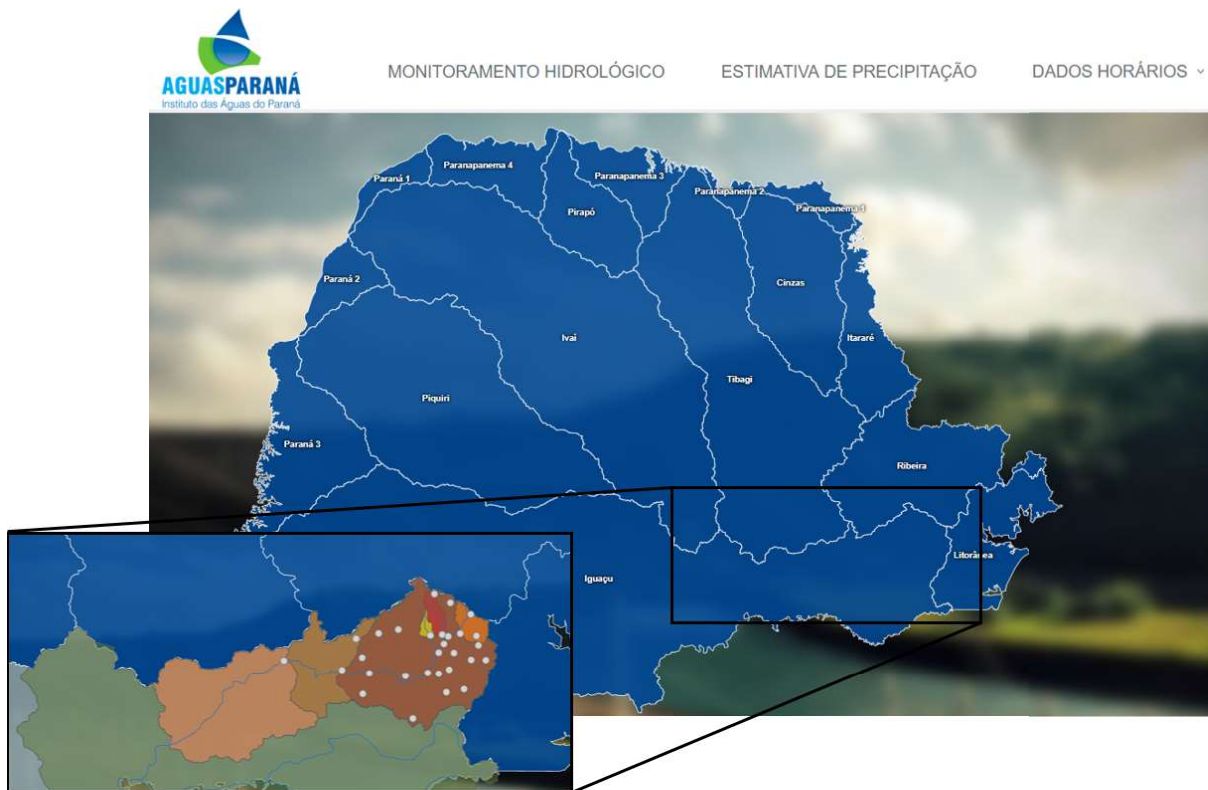


Fonte: Adaptado de BLUMENAU (2018).

A Sala de Situação do estado do Paraná está localizada em Curitiba/PR no Instituto das Águas do Paraná e possui um sistema desenvolvido pelo SIMEPAR e disponível on-line (Figura 18). Através de mapa interativo, o sistema permite acessar as bacias hidrográficas monitoradas e suas estações, nas quais é possível verificar a vazão e a chuva observada através de gráficos. Em algumas estações, também é possível verificar chuva e vazão prevista (Figura 19). Apesar do sistema ainda estar funcionando em tempo real, ele não tem recebido manutenção, uma vez que não houve renovação no contrato entre SIMEPAR e Águas Paraná.

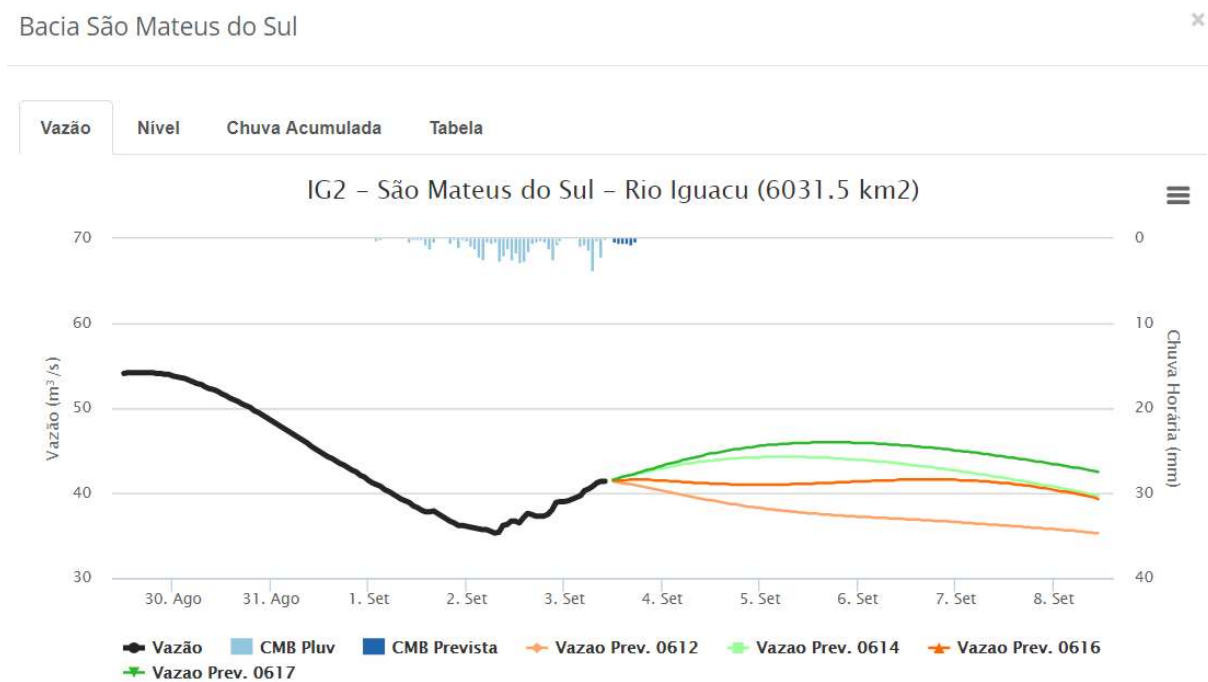
Ainda no Paraná, a Defesa Civil (Figura 20) mantém e vem aprimorando o Sistema Informatizado de Defesa Civil (SisDC), desenvolvido com auxílio da Companhia de Tecnologia da Informação e Comunicação do Paraná (CELEPAR) e premiado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 como "melhor sistema de informação de uso interno das Américas". O sistema é de acesso restrito e trata não apenas de problemas de inundação, mas também de outros desastres. Os principais focos do sistema foi a organização prévia do banco de dados, que conta com um sistema BI, e a aquisição de informações como: áreas de risco; número de pessoas afetadas; localização de abrigos; etc.- que foi facilitada por sistema mobile.

Figura 18: Sistema on-line do Águas Paraná.



Fonte: Adaptado de SIMEPAR (2018).

Figura 19: Exemplo de gráfico disponível no sistema do Águas Paraná.



Fonte: SIMEPAR (2018).

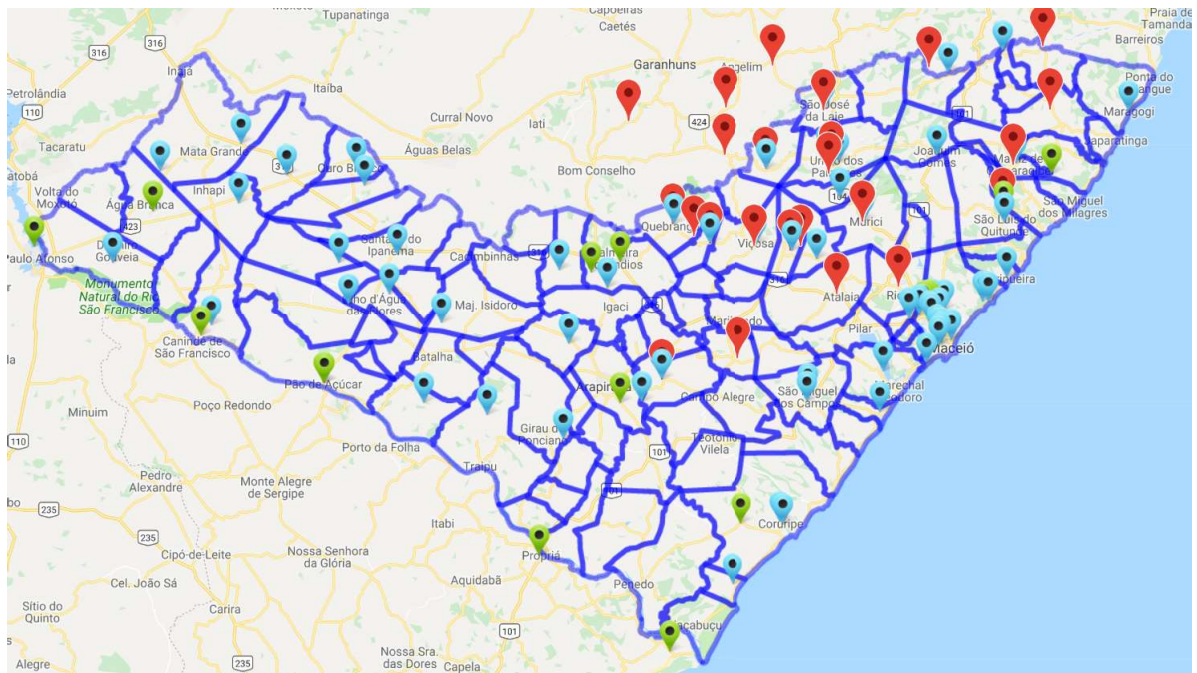
Figura 20: Sala de Situação da Defesa Civil do Paraná.



Fonte: visita técnica.

Em Alagoas, a Sala de Alerta da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH) disponibiliza em seu site um mapa interativo com a localização das PCDs (Figura 21). Ao clicar nos pontos o site direciona o acesso para as páginas das instituições que realizam monitoramento no estado, tais como a ANA, o CEMADEN e o INMET. Assim, é possível acessar rapidamente os dados em tempo real (SEMARH, 2018).

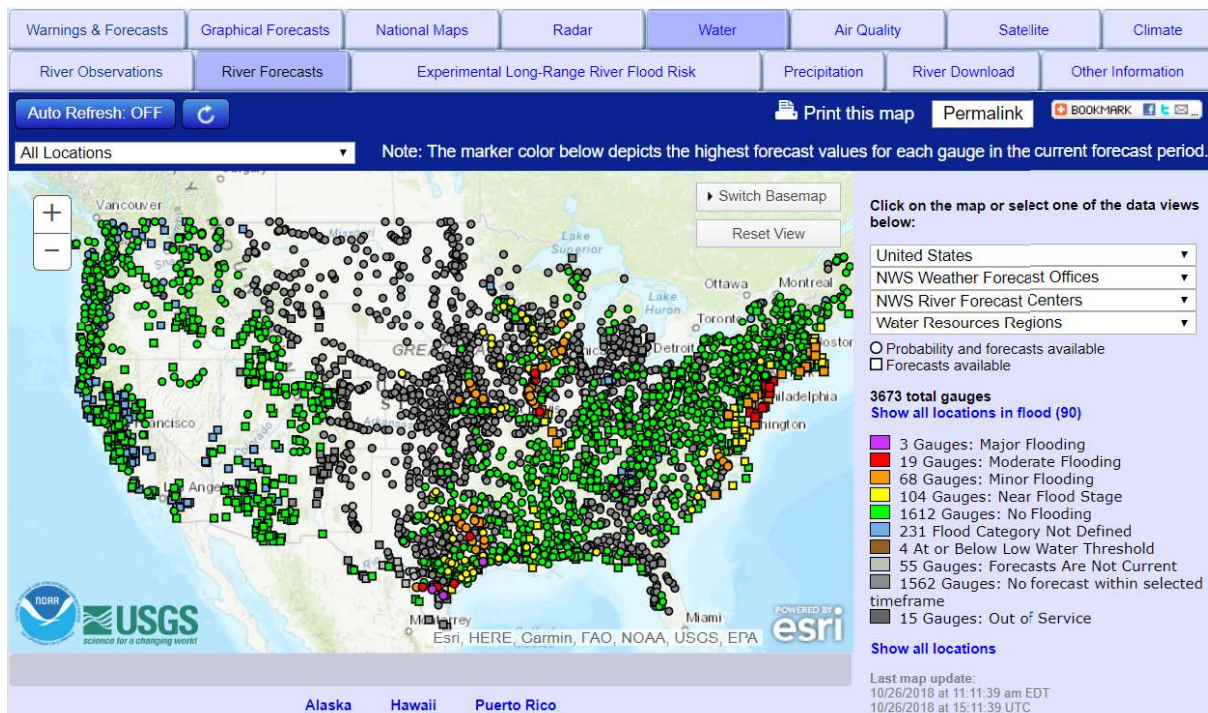
Figura 21: Mapa Interativo da Sala de Alerta da SEMARH.



Fonte: SEMARH (2018).

Como um exemplo internacional, o *National Weather Service* (NWS) da NOAA disponibiliza em seu site os dados em tempo real das estações hidrometeorológicas dos Estados Unidos, além de algumas previsões e avisos de alerta (NOAA-NWS, 2018). O sistema conta com mapa interativo onde é possível acessar os dados das estações de monitoramento, assim como as previsões. Apesar de serem utilizados diferentes modelos de previsão desenvolvidos por diferentes instituições, o sistema mantém um padrão de apresentação das análises o que facilita a interpretação dos usuários. O NOAA utiliza cinco categorias de cotas de referência para inundação: Inundação Alta, Moderada e Baixa (*Major, Moderate and Minor Flooding*) e Inundação Eminente ou Nível de Ação (*Near Flood Stage or Action*). Além de uma categoria para estiagem, indicando níveis abaixo do normal (*Below Low Water Threshold*) (Figura 23).

Figura 22: Mapa Interativo do NWS-NOAA.



Fonte: NOAA-NWS (2018).



Figura 23: Categorias de inunda o utilizadas pelo NOAA.



Fonte: NOAA-NWS (2018).

Observando os exemplos apresentados, pode-se fazer uma lista, considerando um certo nível de prioridade, do que é necessário para um Sistema de Alerta efetivo:

- Rede de monitoramento;
- Manutenção adequada da rede de monitoramento;
- Recepção e tratamento de dados em tempo real;
- Banco de dados organizado;
- Chuvas de Referência;
- Cotas de Referência;
- Sistema de visualização de informações, sendo bastante utilizados mapas interativos e gráficos do tipo cotograma e hietogramas;
- Quando disponível, imagens de radar meteorológico;
- Previsão meteorológica;
- Modelagem hidrológica para previsão de vazão.

Dentro desses itens, serão abordados a seguir métodos para a determinação de Cotas de Referência, considerando as diversas realidades que podem ser encontradas em cada região.



## 4 Metodologias

Para um Sistema de Alerta efetivo é de grande importância a definição de Cotas de Referência, para que os gestores de risco tenham uma base para definir as ações necessárias dependendo de cada situação. No caso de inundações, deve-se definir, pelo menos, dois limiares de cotas: a cota de emergência, que é correspondente ao nível a partir do qual a água começa invadir pontos da cidade causando impactos sociais e econômicos, e a cota de alerta, que é o nível da água a partir do qual a Defesa Civil começa a tomar as devidas providências, tais como avisar e remover a população. É importante que essas cotas estejam associadas a períodos de retorno, os quais indicarão a frequência com que ocorrem eventos de inundação na região ([CASTILHO; SILVA; RODRIGUES, 1999](#)).

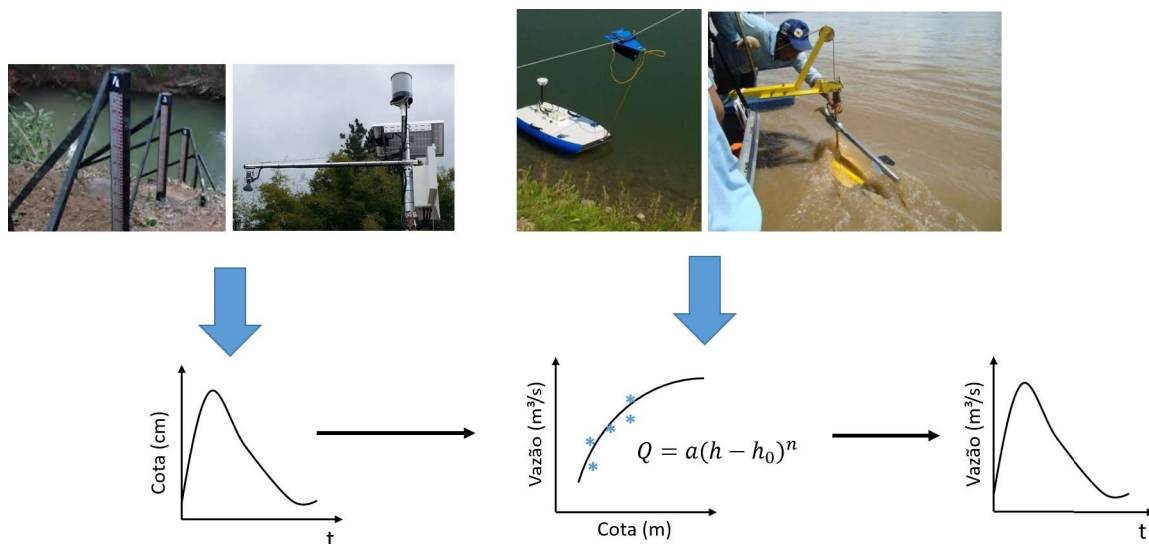
Considerando as diversas realidades das regiões brasileiras, a seguir serão apresentadas diferentes formas de se definir cotas de referência para uma estação fluviométrica, passando de técnicas mais simples, com base exclusivamente estatística, até métodos mais complexos, que exigem informações mais detalhadas levantadas em campo e modelagem matemática. Entretanto, é válido destacar que estações fluviométricas localizadas na zona urbana devem, preferencialmente, ser referenciadas às cotas levantadas em campo. Já nas zonas rurais, onde os impactos (riscos) da inundação são menores, pode-se implementar métodos mais simples baseados na abordagem estatística ([ANA, 2013](#)).

## 4.1 Definição de Cotas de Referência Através da Estatística

Cotas de referência podem ser definidas estatisticamente com base exclusivamente na sua série histórica. Essas técnicas são bastante simplista e só devem ser utilizadas em último caso, quando não se tem disponível nenhuma outra informação. Porém, podem servir como um bom chute inicial.

Uma primeira abordagem estatística é considerar a curva de permanência da série de cotas ou de vazões. As séries de cotas apresentam a vantagem de ser a informação primária (original). Entretanto, deve-se atentar as mudanças de referência do zero da régua ou de perfil longitudinal ao longo do histórico da estação, que podem alterar o comportamento do cotagrama. Normalmente, essas mudanças são amenizadas nas séries de vazões através da curva-chave. Entretanto, as séries de vazões são uma informação secundária, dependentes do ajuste de curva-chave, que é um processo que envolve diversas incertezas, especialmente quando as medições de descargas não são regulares e não abrangem os extremos de vazão (BALDASSARRE; MONTANARI, 2009). Por isso, a primeira etapa antes de qualquer análise estatística é a consistência da série, avaliando-se seus extremos, perfis transversais, ajustes de curva-chave e histórico de monitoramento e manutenção (Figura 24).

Figura 24: Esquema de obtenção de dados fluviométricos.



Em sistemas de alerta a inundação existe uma preferência pela determinação de cotas de referência ao invés de vazões, por se tratar de uma unidade (altura em centímetros ou metros) de assimilação mais direta. Além disso, são poucas estações que tem medições de descarga e ajuste de curva-chave. Por isso, as análises aqui apresentadas foram baseada em dados de cota. Entretanto, os mesmo procedimentos podem ser realizados na série de vazão, desde que, ao final das análises, as vazões de referência sejam transformadas em cotas através da aplicação inversa da curva-chave.

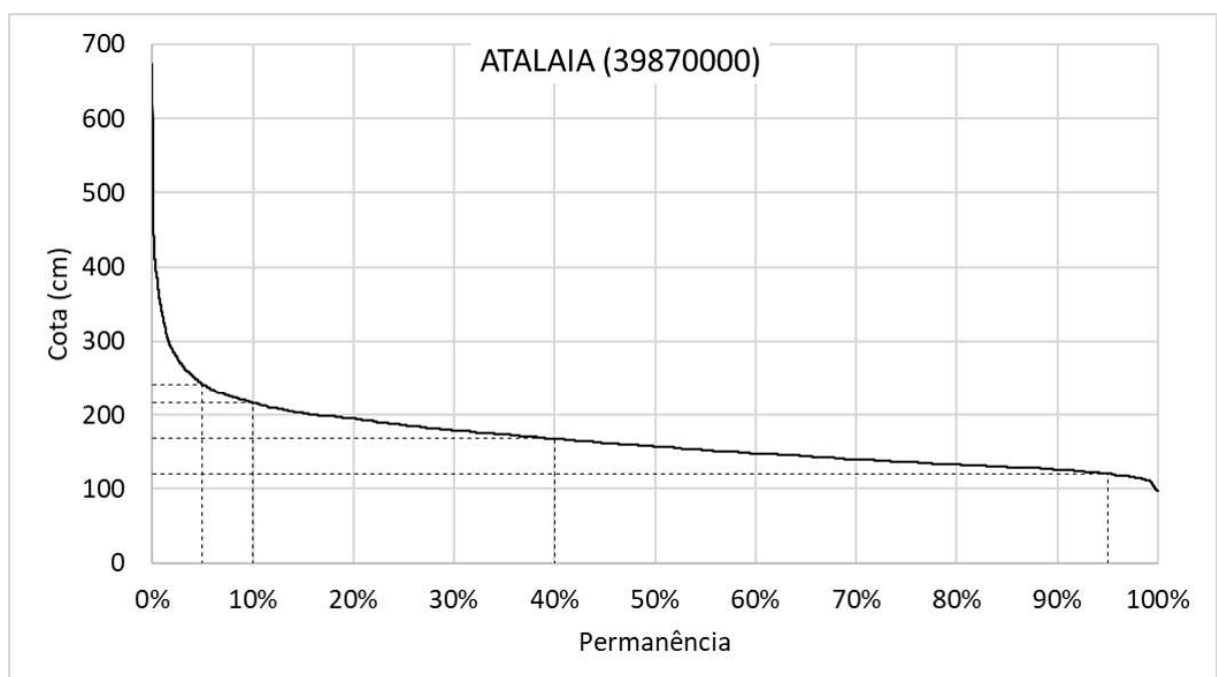
A curva de permanência indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de cota ou vazão foi igualado ou ultrapassado durante o histórico analisado. Ela é obtida a partir do ordenamento da série de dados segundo uma distribuição empírica de frequências, de forma bem semelhante ao cálculo de percentil. Ou seja, para chegar no valor de permanência, a série deve ser ordenada do maior para o menor valor (ordem decrescente) e ser relacionada a um valor de ordem  $m$  que varia de um até o número total de valores  $N$ . Em seguida, a permanência é calculada com base na equação de frequência, conhecida como critério de Kimball (Equação 4.1).

$$F = \frac{m}{N + 1} \quad (4.1)$$

Na análise de curva de permanência, prioriza-se a escala de tempo original da medição disponível. Por exemplo, quando se tem disponível dados horários, deve-se evitar a análise das médias diárias ou mensais, pois essas médias amenizam a variação da curva de permanência, especialmente os extremos, perdendo-se informações importantes.

Tomando como exemplo a estação convencional Atalaia de código 39870000, localizada em Alagoas e na Bacia do Rio Paraíba do Meio, cujos dados foram obtidos através do Portal Hidroweb da ANA (ANA, 2018b). Na Figura 25 é apresentada a curva de permanência dos dados de cota da estação, na qual são indicadas as permanências de 5%, 10%, 40% e 95%, que poderiam ser associadas as cotas de emergência, alerta, atenção e estiagem, por exemplo.

Figura 25: Curva de Permanência da Estação Atalaia (39870000).



A série histórica diária, com início no dia 12/10/1977 e dados analisados até 30/04/2018, teve seus 14.422 valores de cota ( $N$ ) ordenados em ordem decrescente e associados a um valor de frequência ( $F$ ). Na Tabela 1 são apresentadas os valores de permanências indicados na Figura 25, esses valores poderiam ser um chute inicial das cotas de referência da estação. Lembrando que essa escolha das permanências não é regra, mas pode variar dependendo das características do rio.

Tabela 1: Permanências dos dados de cota da estação de Atalaia (39870000), considerando o histórico de 12/10/1977 à 30/04/2018.

Permanência	Cota (cm)	Referência
5%	242	Emergência
10%	216	Alerta
40%	168	Atenção
95%	120	Estiagem

A estação de Atalaia passou a ser monitorada automaticamente a partir do dia 16/02/2011 com a instalação de uma PCD. A escala sub-diária é mais interessante para a bacia do Rio Paraíba do Meio, por se tratar de uma bacia relativamente pequena (área de drenagem de aproximadamente  $3.127 \text{ km}^2$ ) e de resposta rápida. Entretanto, a série sub-diária, apesar de possuir dados a cada 15 minutos e maior número de valores, é bem mais curta temporalmente que a série diária. Antes de comparar as curvas de permanência, é importante verificar se ambas estações possuem as cotas em relação a um mesmo nível de referência (mesmo RN). Na Figura 26 são comparados os cotogramas das estações convencional e telemétrica para o ano de 2011, onde é possível verificar que eles estão alinhados, indicando que a referência das cotas é a mesma. Caso os cotogramas não estejam alinhados, na série inteira ou em partes da série, é necessário deslocar os dados telemétrico até alinhá-los com os dados convencionais. Lembrando que esse processo faz parte da consistência dos dados, que deve ser realizado antes de qualquer análise estatística.

Na Figura 27 é feita uma comparação entre as curvas de permanência da estação convencional e da estação telemétrica. Pode-se observar que a curva de permanência da estação telemétrica possui valores de cota menores que a da estação convencional. Isso se deve ao fato da estação telemétrica ter monitorado apenas esses últimos anos, que foram um período bastante seco na região. Como reflexo, as cotas de referência ficaram cerca de 15 cm abaixo das permanências da estação convencional. Por esse motivo, neste caso, é mais interessante considerar a curva de permanência da estação convencional para a determinação das cotas de referência, uma vez que os dados são mais representativos. Na Figura 28 são apresentados os cotogramas de Atalaia, tanto da estação convencional como da telemétrica e as cotas de referência resultantes da análise apresentada.

Figura 26: Comparação dos cotogramas das estações convencional e telemétrica de Atalaia (39870000)

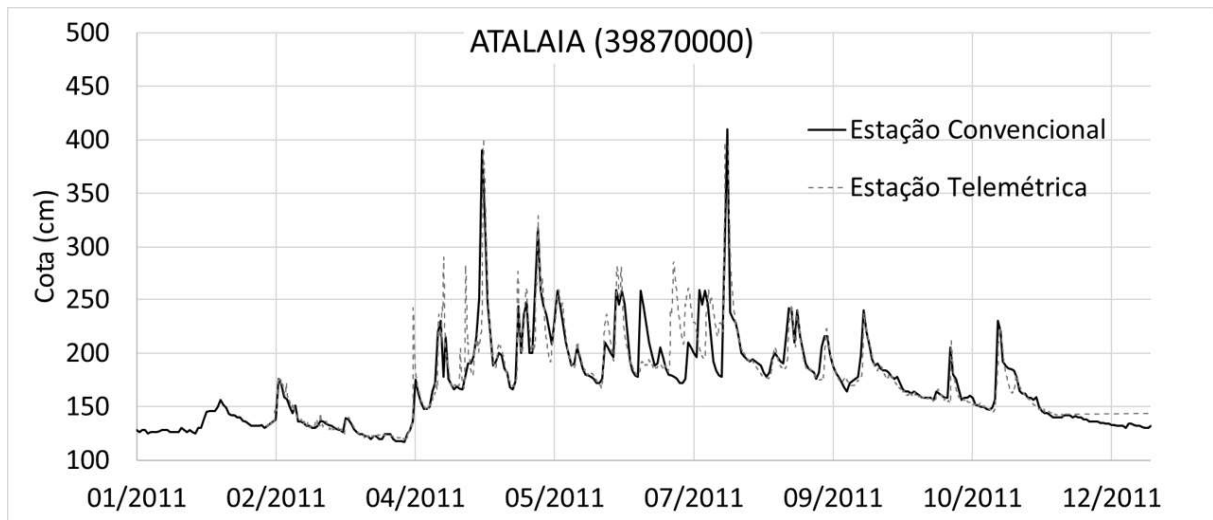
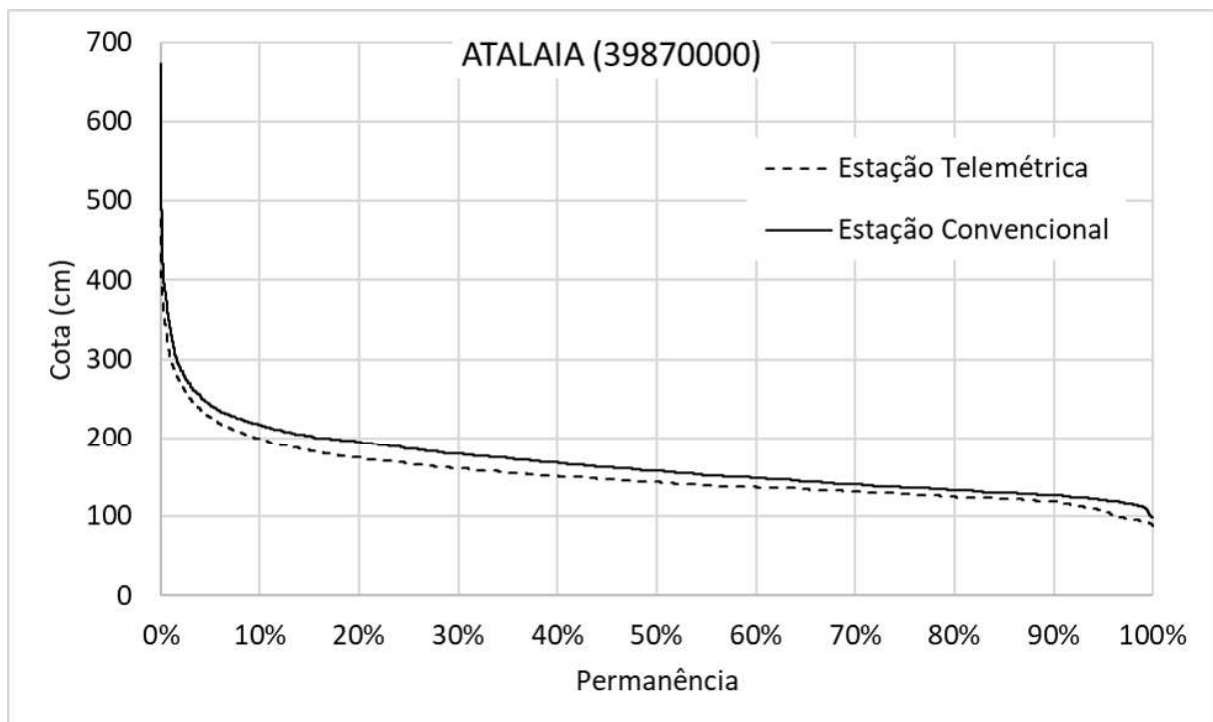
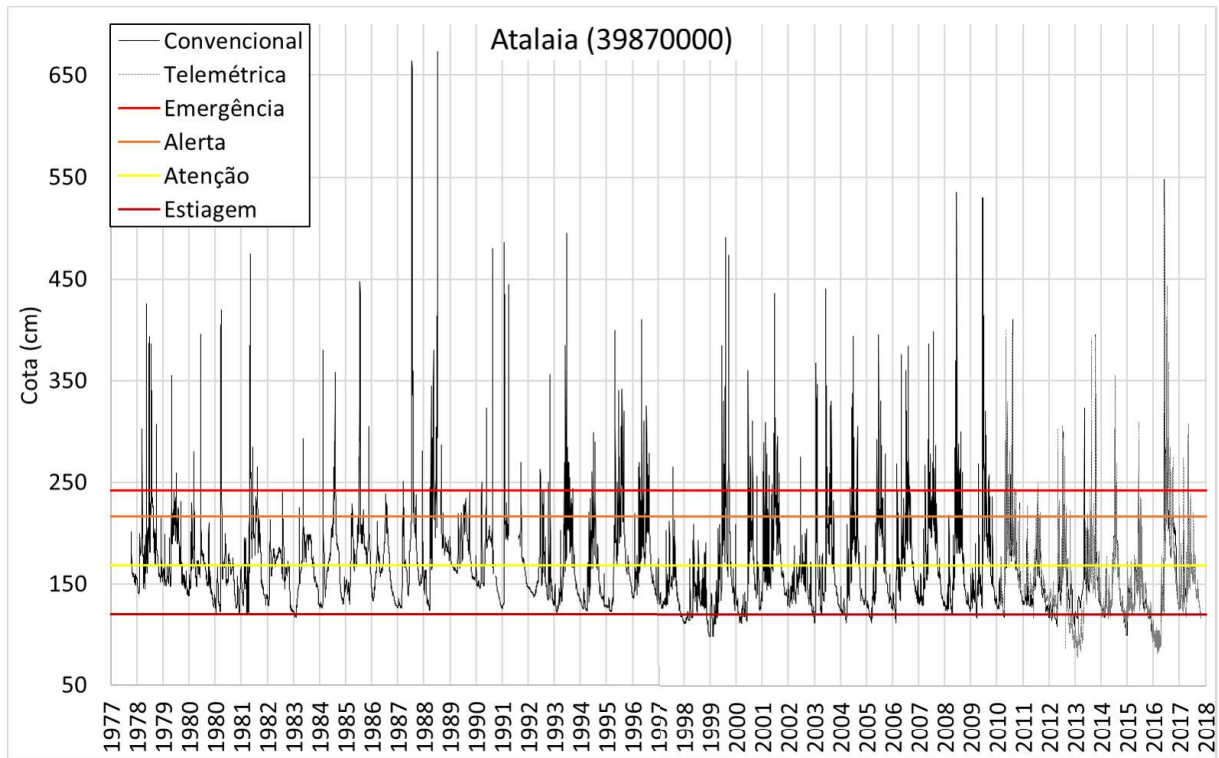


Figura 27: Comparação da Curva de Permanência das Estações Convencional e Telemétrica de Atalaia (39870000)



Outra abordagem estatística é o cálculo do tempo de retorno ( $T_r$ ), ou período de recorrência, que é definido como o intervalo médio de anos dentro do qual ocorre ou é superado um determinado valor. Se a probabilidade desse valor ocorrer ou ser superado em um ano qualquer for  $P$ , então o tempo de retorno fica definido como:

Figura 28: Cotogramas de Atalaia (39870000) e as cotas de referência determinadas pelo método da permanência.



$$T_r = \frac{1}{P} \quad (4.2)$$

Em geral, não se conhece a probabilidade  $P$ , sendo necessário realizar sua estimativa a partir da frequência dos valores observados. Diferentemente da permanência, os valores aqui considerados seguem a teoria de valores extremos da estatística, podendo ser os extremos anuais. Tomando-se, como exemplo, a série histórica de uma estação de  $N$  anos de observação, seleciona-se a maior cota ocorrida em cada ano hidrológico e obtém-se, assim, a série anual das cotas máximas. No caso da análise de estiagem, utiliza-se uma série de mínimos anuais.

A estimativa da probabilidade  $P$  pode ser obtida a partir da equação de frequência apresentada anteriormente (Equação 4.1), essa estimativa é conhecida como a probabilidade empírica das observações. Quanto maior a série mais próximo a frequência  $F$  é da probabilidade  $P$  de um evento ocorrer ou ser superado. Por outro lado, para poucas observações pode haver grandes afastamentos. Para tempos de retorno menores que o número de anos de observação, o valor encontrado para a frequência pode dar um boa ideia do valor real de  $P$ . Porém, para grandes tempos de retorno, maiores até que a própria série histórica, as frequências devem ser ajustadas a uma distribuição de probabilidade teórica de modo a permitir o cálculo da probabilidade. Existem diversos métodos de ajustes de distribuição de probabilidades, algumas técnicas como Gumbel, Fréchet, Weibull, etc,



podem ser estudadas em [Naghetini e Pinto \(2007\)](#).

A *National Weather Service* ([NOAA-NWS, 2017](#)) sugere que, idealmente, a cota de emergência deve ser alcançada ou superada uma vez a cada dois a cinco anos (tempo de retorno). Entretanto, também é destacado que, esses valores são apenas estatísticos e o que deve ser observado são os impactos reais.

Exemplificando com a estação convencional de Atalaia (39870000), os valores máximos dos anos hidrológicos foram selecionados a partir da série diária e relacionados a uma frequência conforme a Equação 4.1. Para comparação, também foi aplicado o Método de Gumbel em que a probabilidade é calculada conforme as Equações 4.3 e 4.4.

$$P = 1 - \exp\{-\exp(-y)\} \quad (4.3)$$

onde

$$y = \frac{1}{0,7797\sigma}(h - \bar{h} + 0,45\sigma) \quad (4.4)$$

$h$  = cota máxima;

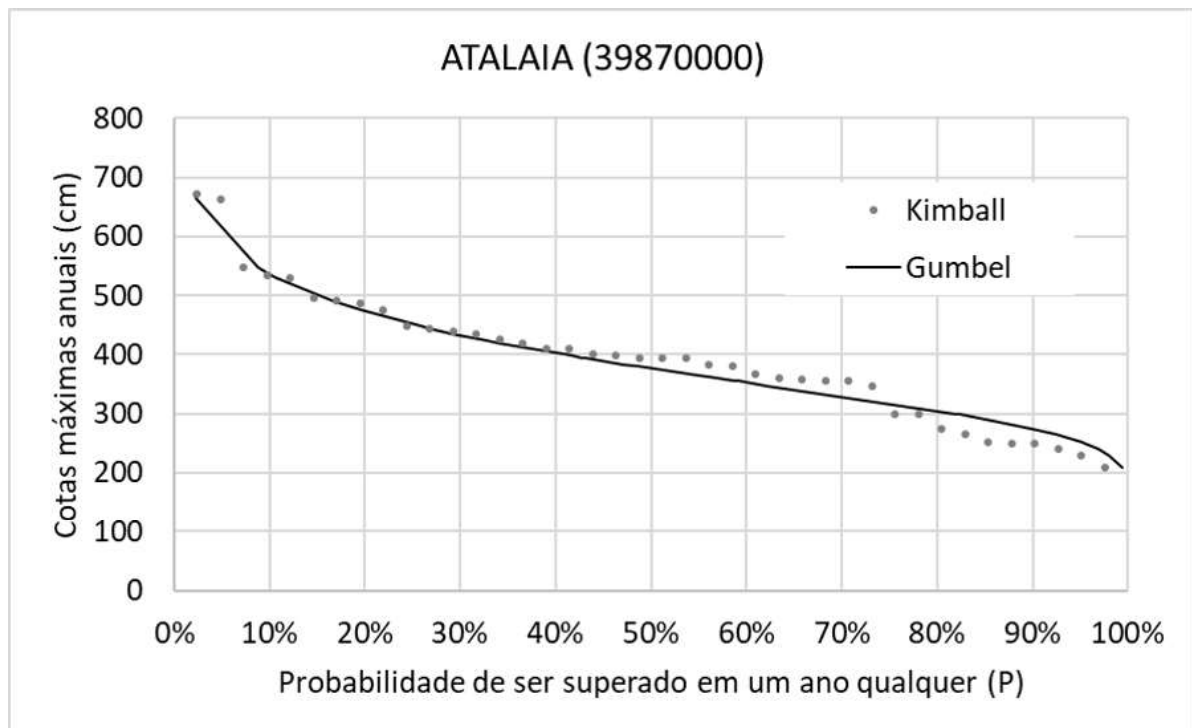
$\bar{h}$  = média da  $N$  cotas máximas;

$P$  = probabilidade de a máxima cota de um ano qualquer ser maior ou igual a  $C$ ;

$\sigma$  = desvio padrão das  $N$  cotas máximas.

Na Figura 29 é possível observar que houve um bom ajuste do Método de Gumbel com a probabilidade empírica da série observada.

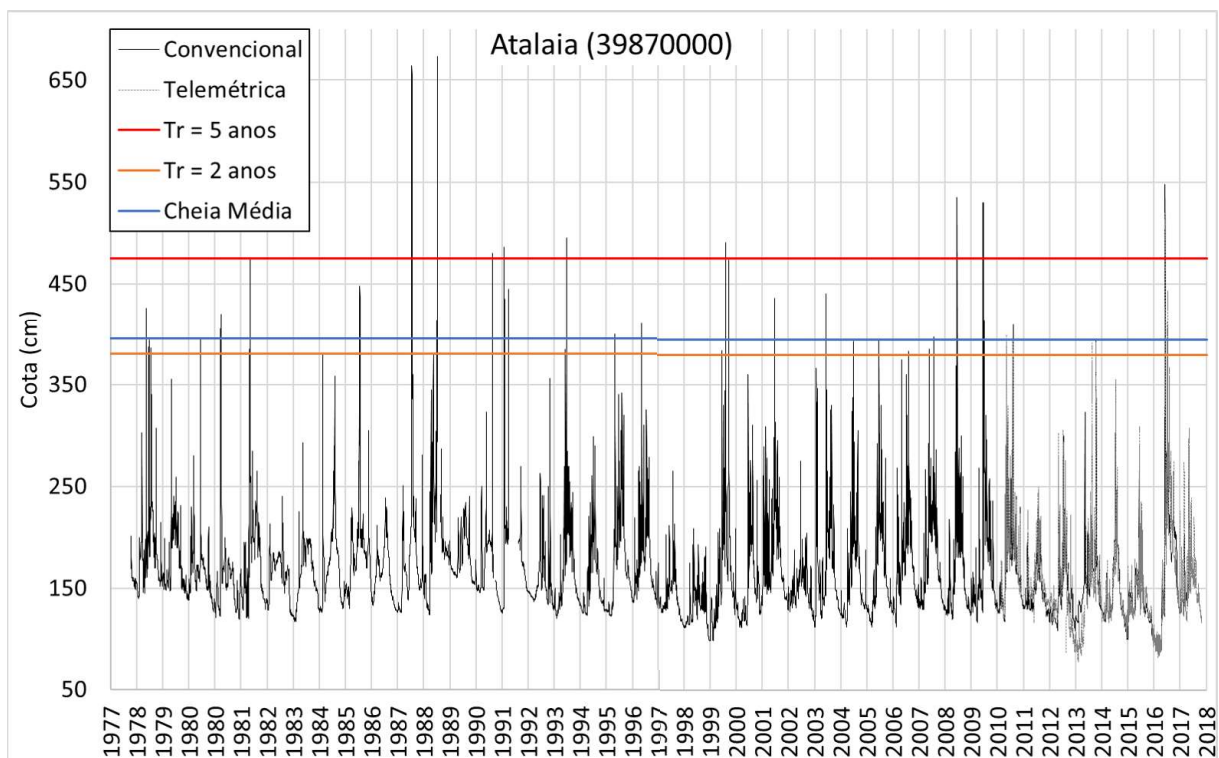
Figura 29: Comparação das curvas de distribuição de probabilidades de Kimball e Gumbel para a série de máximos anuais de cotas da estação Atalaia (39870000).



Buscando-se o tempo de retorno de cinco anos, chega-se a cota 486 cm através do método empírico e 475 cm pelo método de Gumbel. Já para o tempo de retorno de dois anos, os valores são 395 e 380 cm, respectivamente. Esses valores podem ser considerados um chute inicial para a determinação da cota de emergência e de alerta da estação.

Uma forma ainda mais simples de se ter uma referência estatística é considerar a média dos máximos anuais, que nesse caso foi de 395 cm. Na Figura 30 é apresentado novamente os cotogramas da estação de Atalaia, porém, agora, com as cotas de referência determinadas a partir do método de tempo de retorno.

Figura 30: Cotogramas de Atalaia (39870000) e as cotas de referência determinadas pelo método do tempo de retorno.



Comparando as duas metodologias estatísticas apresentadas, permanência e tempo de retorno, observa-se grande diferença nos valores de cota de emergência e alerta encontrados para a estação exemplificada. Esses resultados reforçam ainda mais a necessidade da confirmação em campo e da aplicação de outros métodos mais robustos.

## 4.2 Definição de Cota de Emergência Através de Levantamentos em Campo

Os seguintes itens ilustram as principais atividades que podem ser realizadas em um levantamento de campo com o objetivo de determinação da cota de emergência:

- Reuniões com a Defesa Civil, estadual e municipal, e com a Prefeitura;
- Levantamento de registros fotográficos e notícias sobre eventos de inundação no local;
- Mapeamento das áreas vulneráveis;
- Conversas com os moradores das áreas vulneráveis;
- Identificação de marcas de cheia;
- Novos registros fotográficos;
- Registro do início da inundação (hora, duração e cota atingida);
- Relação com os registros da estação de monitoramento fluviométrico;
- Nivelamento topográfico das cotas pré-determinadas.

Um exemplo de determinação de cotas de referência é apresentado no trabalho de [Germano e Matos \(2017\)](#), no qual, inicialmente, as cotas foram definidas estatisticamente e posteriormente confirmadas em campo. Essa técnica foi utilizada pela CPRM para determinar as cotas de referência de algumas estações disponíveis no SACE. Como exemplo, foi apresentada a estação de Carangola (58930000), localizada no rio Muriaé (Figura 31).

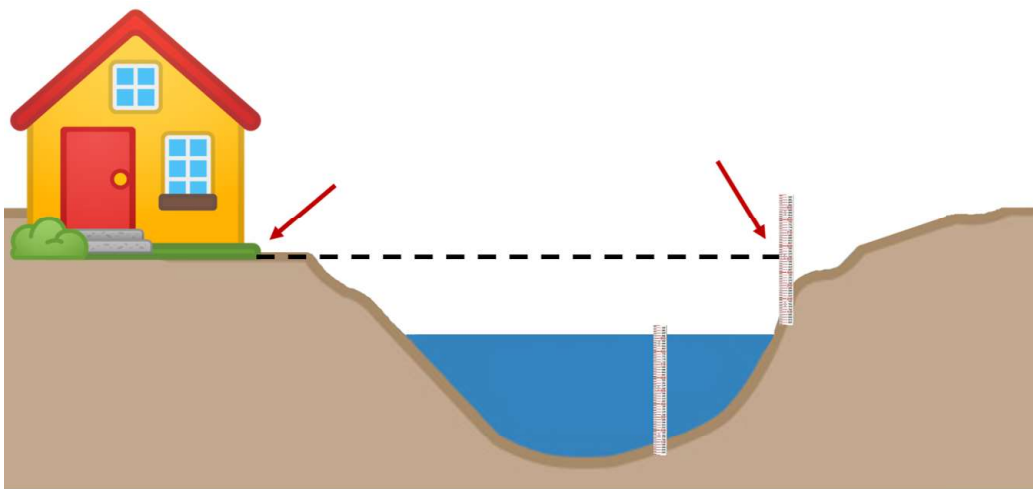
Figura 31: Determinação de cota de emergência na estação de Carangola (58930000).



Fonte: [Germano e Matos \(2017\)](#).

Basicamente a metodologia consiste em realizar o nivelamento topográfico entre a estação de monitoramento e algum ponto no entorno, no qual a população começa a ser atingida (Figura 32). Esse procedimento pode ser realizado juntamente com uma das campanhas de nivelamento de réguas. Dessa forma, a cota de emergência fica amarrada ao RN utilizado pela estação. Entretanto, é válido destacar que a estação, normalmente, não está próxima do ponto mais baixo da cidade ou de onde de fato começa a inundação, sendo muitas vezes necessário puxar o nível por vários quilômetros, inviabilizando o procedimento.

Figura 32: Esquema para determinação de cota de emergência em campo.



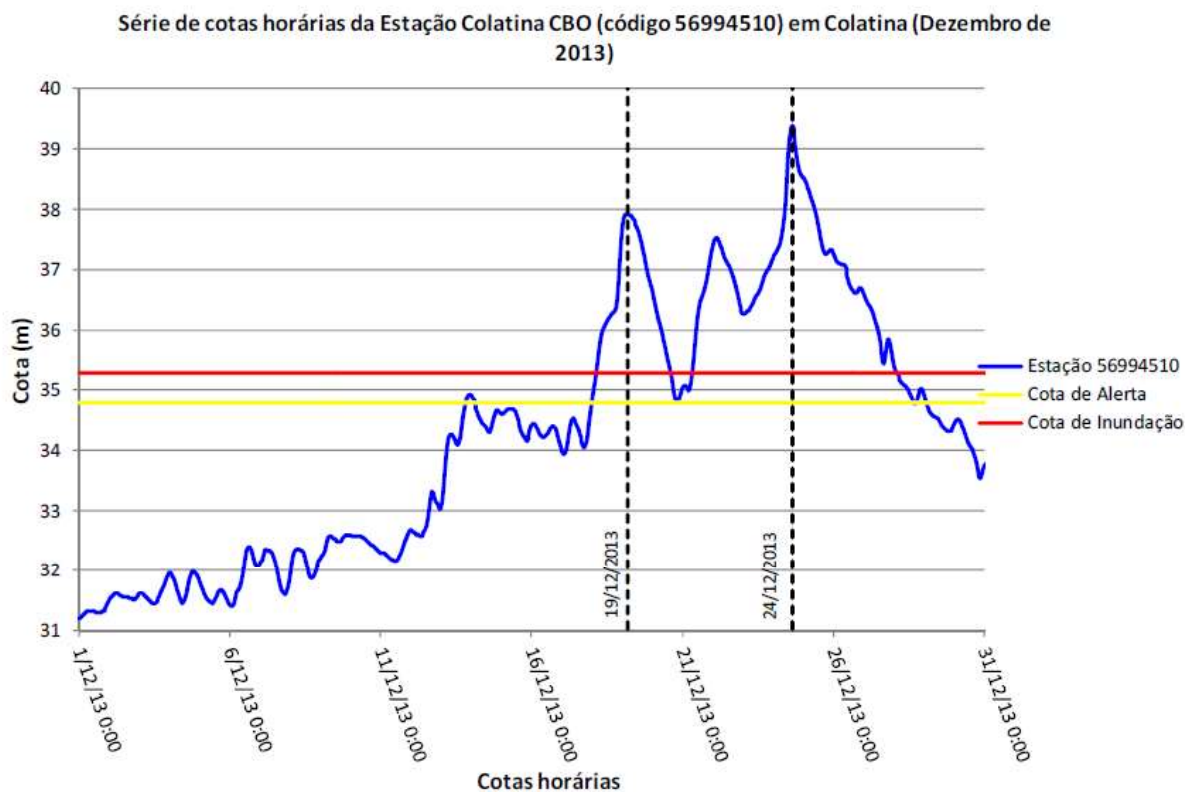
Uma outra alternativa, visando o mapeamento mais detalhado da mancha de inundação, é a demarcação da cota máxima atingida por uma cheia, com base em marcas de enchente identificadas em estruturas e em relatos de moradores locais. Tal como o trabalho realizado pela CPRM, que determinou cotas de referência do município de Colatina/ES através da demarcação da cota máxima atingida da cheia ocorrida em dezembro de 2013 (Figura 33).

O levantamento realizado em Colatina/ES buscou delimitar o contorno da mancha de inundação com base no mapeamento das marcas da enchente identificadas em estruturas e relatadas por moradores. A primeira campanha consistiu na identificação das marcas, registros fotográficos e localização dos pontos com GPS de mão (Figura 34). Os pontos levantados foram registrado em quadro resumo, no qual constavam as coordenadas dos pontos, a descrição da localização e a altura atingida em relação ao terreno local, sendo que a altura zero representava o ponto limite da mancha de inundação (Anexo B).

Em campanha posterior, com auxílio do quadro resumo e dos registros fotográficos, buscou-se fazer o nivelamento com GPS geodésico da delimitação do contorno da mancha de inundação. Todos os pontos coletados e também as estações de monitoramento foram amarrados à rede topográfica oficial do IBGE.

Mais uma campanha foi realizada para a caracterização topográfica das margens do Rio Doce em Colatina, na qual foi levantado em formato cinemático o arruamento afetado pela enchente. O resultado do trabalho é apresentado no Anexo C.

Figura 33: Cotagrama da estação Colatina (56994510) no período da cheia de dezembro de 2013 e as cotas de alerta e inundação.



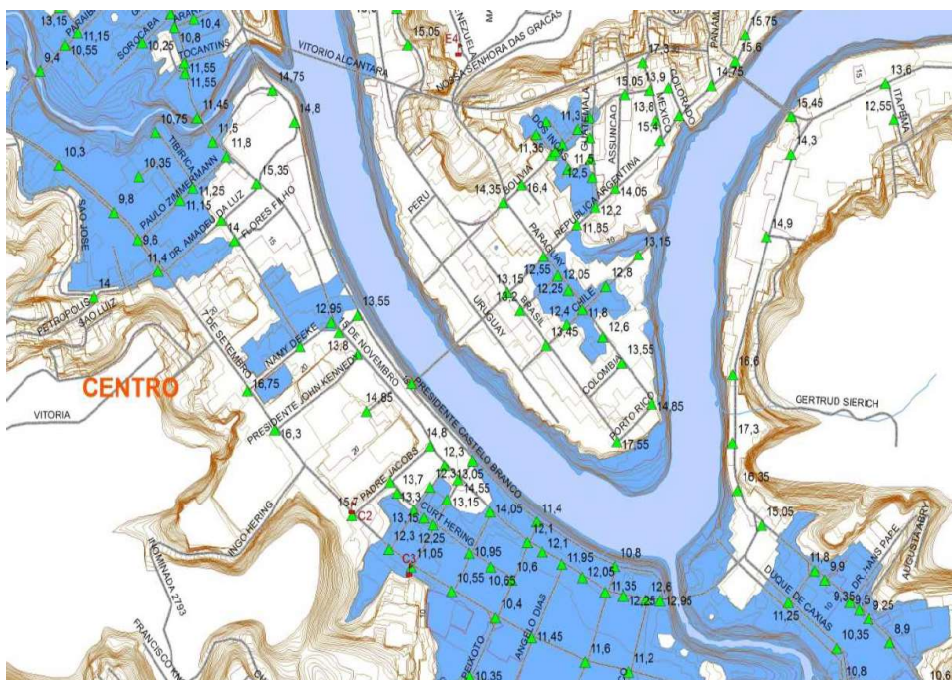
Fonte: CPRM (2014).

Figura 34: Registro fotográfico de levantamento de mancha de inundação. Fonte: CPRM (2014)



Essa mesma metodologia foi utilizada pela FURB-CEOPS para mapear as áreas de inundação de Blumenau/SC. Segundo [Cordeiro, Salvador e Refosco \(2013\)](#), o trabalho consistiu no levantamento de campo de todas as ruas atingidas pela enchente de 2011. Ele foi realizado logo após o evento com auxílio dos alunos de engenharia civil da FURB, que, utilizando o nível topográfico e se orientando pelas marcas que ficaram nas edificações, demarcaram 1.851 pontos. Esses pontos resultaram em um mapa no qual foi possível demarcar a mancha de inundação do evento (Figura 35), que foi amplamente divulgado para a população, ficando disponível on-line (Figura 36).

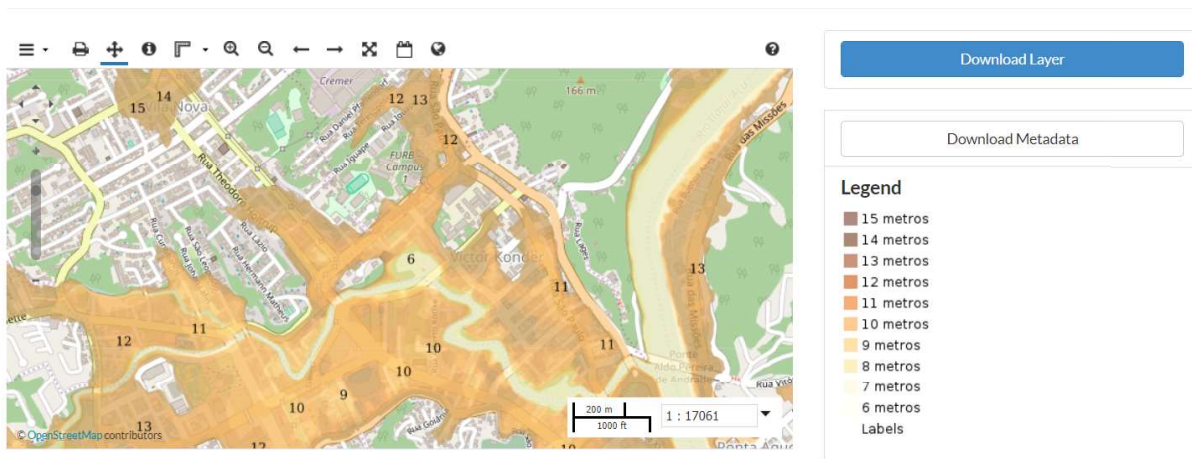
Figura 35: Pontos levantados em campo e mancha de inundação interpolada.



Fonte: [Cordeiro, Salvador e Refosco \(2013\)](#).

Figura 36: Carta enchente de Blumenau disponibilizada on-line.

### Carta enchente de Blumenau



Fonte: [FURB \(2018\)](#).

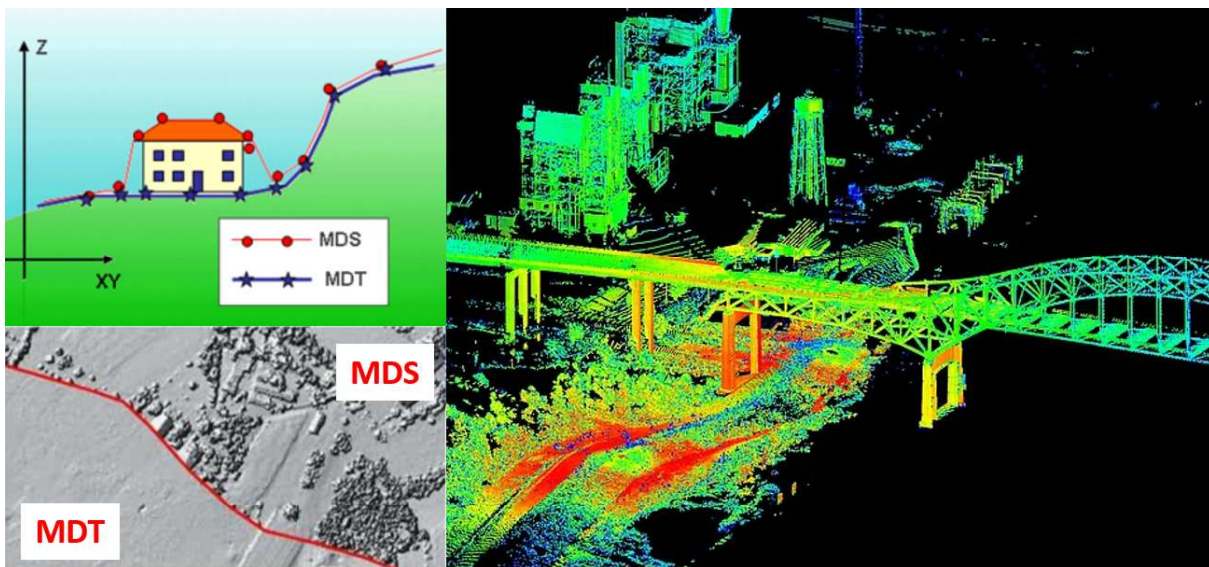
Com base nas experiências apresentadas, pode-se resumir as atividades de campo para o mapeamento de manchas de inundação de eventos específicos:

- Mobilização de equipe para realizar o primeiro levantamento;
- Identificação das marcas da enchente em estruturas ou relatadas por moradores. Deve-se buscar contornar toda a inundação, passando por todas as quadras e esquinas atingidas. Quanto mais pontos levantados, mais bem detalhada ficará a mancha de inundação;
- Medição da altura d'água atingida em relação ao terreno local. Pode-se utilizar uma régua limnimétrica ou trena;
- Registro fotográfico mostrando a indicação da altura d'água em relação ao terreno local;
- Localização aproximada da marca, que pode ser realizado com GPS de mão;
- Registro em ficha de campo dos pontos levantados, com informações básicas que auxiliem a identificação posterior dos pontos, tais como: descrição da localização, nome da rua e número, pontos de referência;
- Planejamento da equipe de topografia, com base nas informações coletadas;
- Levantamento planialtimétrico dos pontos coletados. Os pontos podem ser levantados considerando uma cota de referência qualquer, que pode ser o próprio RN da régua da estação fluviométrica. Entretanto, é mais interessante fazer o levantamento das cotas ortométricas para que todos os pontos estejam relacionados com a rede oficial do IBGE. Para isso, a cota de referência pode ser puxada com nível topográfico ou estação total a partir de um marco oficial do IBGE ou com a utilização de um GPS Geodésico seguindo recomendações do IBGE-PPP (IBGE, 2017);
- Interpolação dos pontos para delimitar a mancha de inundação e identificação as regiões atingidas.

### 4.3 Definição de Cota de Emergência Através de Modelo Digital de Elevação e Sensoriamento Remoto

Modelo Digital de Elevação (**MDE**) é uma representação das elevações de um terreno, podendo ser obtido através de sensoriamento remoto, por satélites ou aerolevantamentos, ou por levantamentos topográficos em campo. Normalmente, pode-se dividi-lo em duas formas de informações: Modelo Digital de Superfície (MDS), no qual todos os objetos acima do solo estão detalhados, e Modelo Digital de Terreno (MDT), no qual é realizado uma filtragem para retirada de objetos indesejados. O MDS é bastante utilizado no planejamento urbano, pois detalha as construções civis. Já o MDT é mais utilizado em mapas topográficos, pois representa uma superfície contínua do terreno. A tecnologia LASER, conhecida também como LiDAR (*Light Detection and Ranging*), que ultimamente tem sido bastante utilizada para levantamento de MDE, gera uma nuvem de pontos que pode atravessar a copa das árvores, o que auxilia a filtragem do MDE, transformando um MDS em um MDT conforme a necessidade (Figura 37).

Figura 37: À esquerda, ilustração da diferença entre MDS e MDT e, à direita, exemplo de um produto LiDAR.



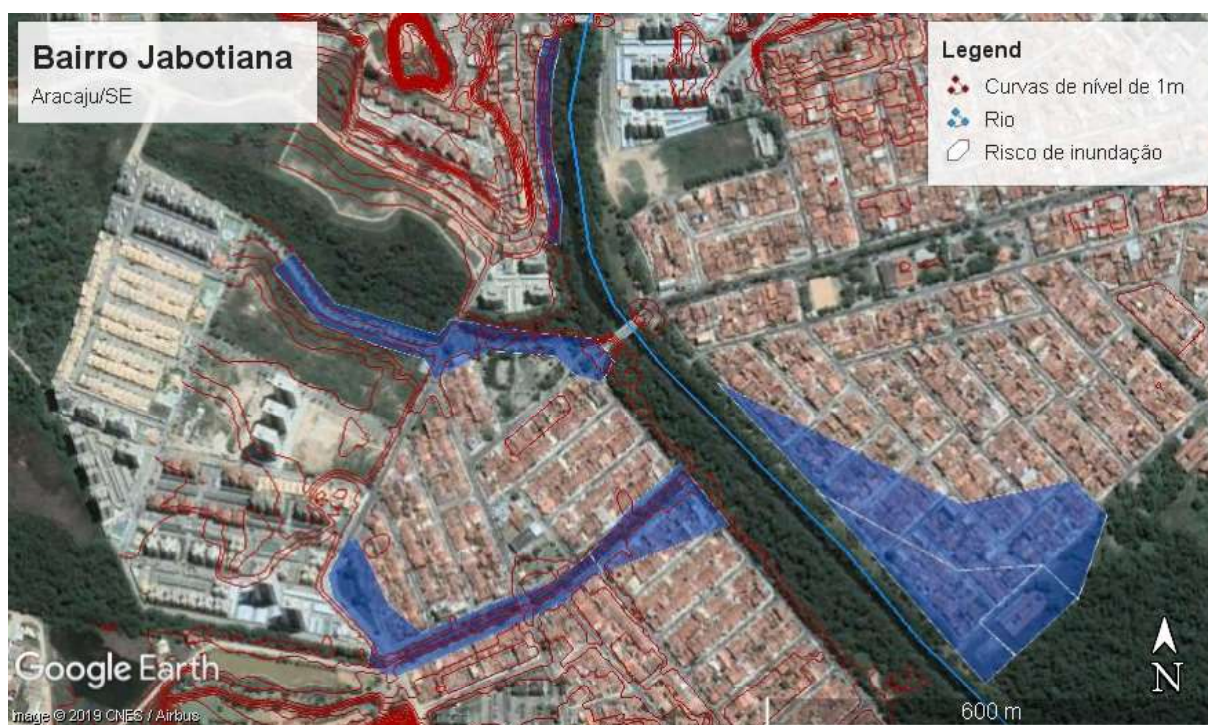
Uma boa fonte de MDE é o projeto Topodata do INPE, que disponibiliza dados geomorfológicos locais, em cobertura nacional, provenientes do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e que passaram por processos de aprimoramento (VALERIANO, 2008). Os dados estão disponíveis livremente para serem baixados através do site do INPE (INPE, 2011) e possuem resolução de 30 m. Porém, tal resolução pode não ser suficiente em diversos casos, sendo necessário buscar MDEs mais detalhados, através de compras de imagens de satélites, levantamentos topográficos ou aerolevantamentos.

O MDE é um produto que podem ser muito útil da determinação de cotas de referência. A simples análise das elevações já pode trazer informações interessantes. Por



exemplo, a Defesa Civil de Aracaju/SE utilizou um MDE, obtido a partir de curvas de nível a cada 1 m, para fazer um mapeamento inicial de áreas sujeitas à inundação, considerando apenas a elevação local. Posteriormente, as manchas foram conferidas e corrigidas em campo (Figura 38).

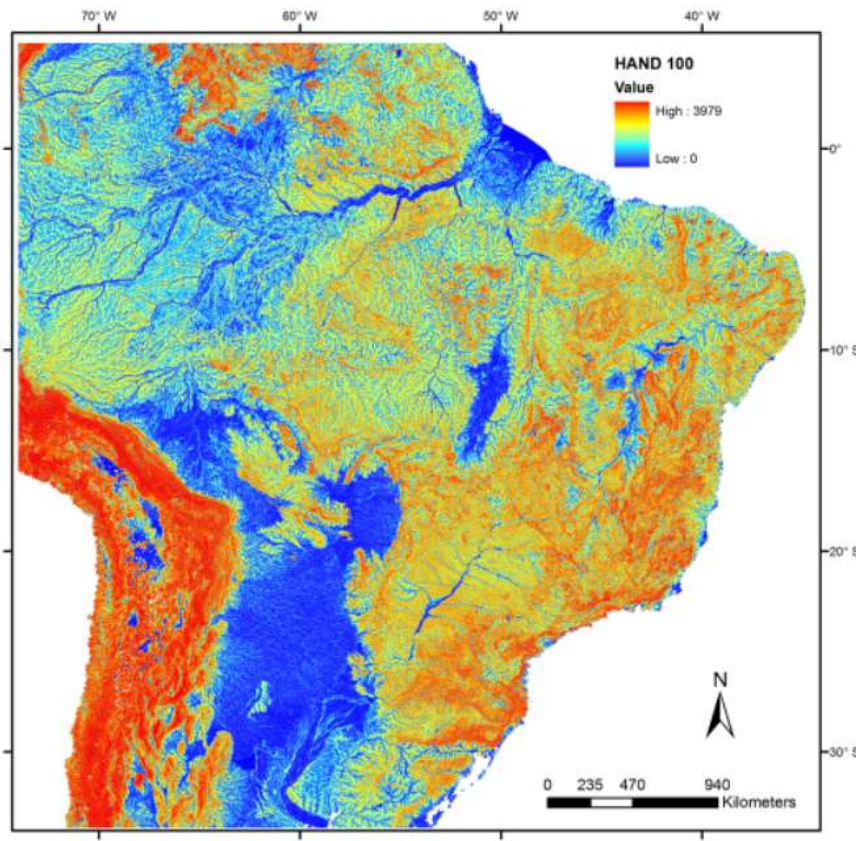
Figura 38: Áreas de risco a inundação no Bairro Jabotiana em Aracaju/SE, extraídas de MDE obtido das curvas de nível a cada 1 m e conferidas em campo. Fonte: visita de campo.



Entretanto, a elevação do MDE está relacionada apenas a topografia da região, logo, não considera a dinâmica do escoamento da água. No caso de Aracaju, por ser uma região litorânea e bastante plana, tal efeito não foi significativo. Por isso, com um MDE bem detalhado foi possível se aproximar do que realmente era observado em campo. Porém, em regiões mais acidentadas, a simples consideração da elevação do MDE não é suficiente.

Uma outra alternativa de processamento de MDE, que melhor se aproxima da linha de energia d'água, é o **HAND Model** - sigla proveniente de **H**eight **A**bove the **N**earest **D**rainage, que pode ser traduzida como "altura acima da drenagem mais próxima" - desenvolvido no INPE (Figura 39). O modelo determina os desníveis do terreno em relação aos rios com base no princípio de Arquimedes: "a água escolhe a trajetória mais curta para os terrenos mais baixos". Conhecido como topo-hidrologia da paisagem, o procedimento pode ser facilmente realizado através do TerraView e TerraHidro, softwares livres para SIG, também desenvolvidos pelo INPE, basta ter um bom MDT (DPI-INPE, 2018; NOBRE et al., 2011).

Figura 39: HAND Model aplicado à América do Sul utilizando MDE do SRTM. Fonte: DPI-INPE (2018)

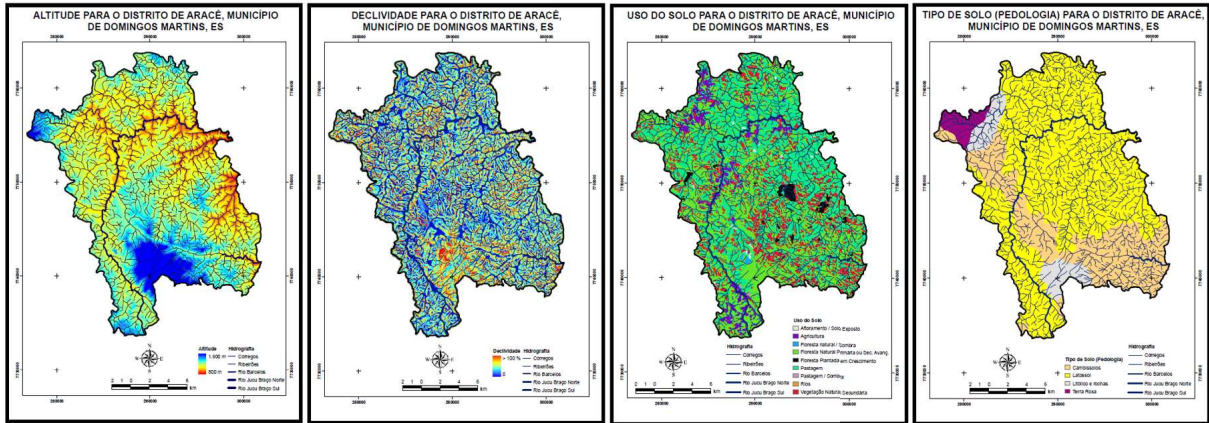


Santos, Louzada e Eugenio (2010) apresentam uma técnica de cruzamento de mapas como uma alternativa para o mapeamento de risco a inundação. A técnica utiliza informações que podem ser obtidos a partir de um MDE, como mapas de altitude e declividade, que são combinadas com outras informações que podem influenciar a ocorrência de inundações, tais como: mapas de uso e tipo de solo (Figura 40). Para isso, as variáveis dos mapas são reclassificadas de acordo com o grau de susceptibilidade à inundação e são definidos pesos estatísticos para cada informação. Posteriormente, os mapas são cruzados e as informações classificadas dependendo do nível de risco (Figura 42). O procedimento está bastante detalhado em Santos, Louzada e Eugenio (2010) através de um exemplo de aplicação no município de Domingos Martins/ES.

A abordagem que melhor se aproxima da mancha de inundação real, porém muito mais complexa, é a utilização de modelos hidrodinâmicos, que simulam a dinâmica da água no meio físico, considerando as equações de conservação de massa e de energia. Existem diversos softwares para realizar modelagem hidrodinâmica, como por exemplo: HEC-RAS (USACE, 2018), IBER-2D (IBER, 2018); DELFT3D (DELFT3D, 2018) e CCHE2D (CHET, 2018). Uma das informações mais importantes normalmente utilizadas por esses modelos é o MDT. Dependendo do detalhe desejado, além da topografia da região, também é necessária a batimetria do rio. Uma das dificuldades do processamento do terreno utilizado pelo modelo é a amarração entre o MDT, a batimetria do canal e o RN da

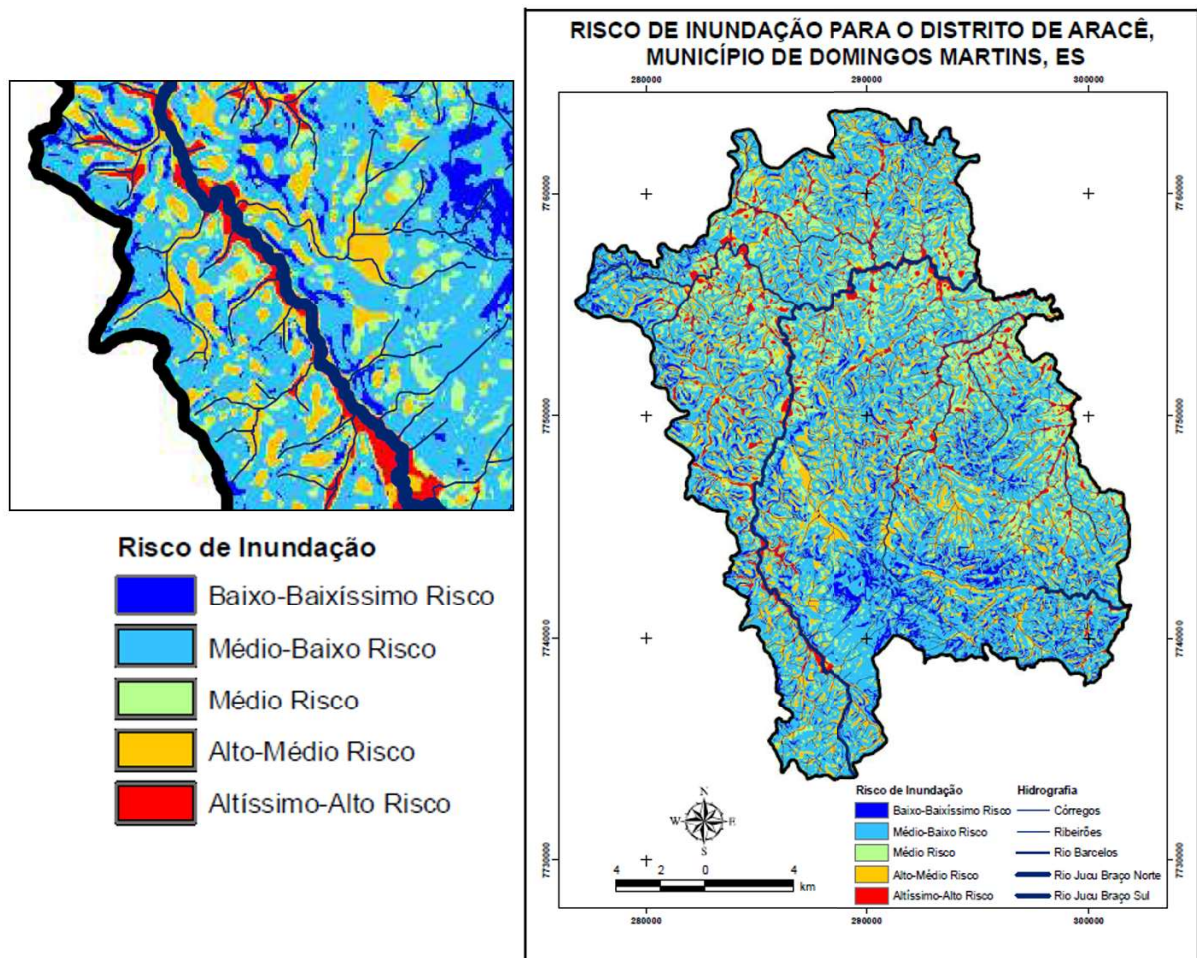
estação de monitoramento fluviométrico, sendo de suma importância que todos tenham uma mesma referência topográfica.

Figura 40: Informações utilizadas no cruzamento e mapas.



Fonte: Santos, Louzada e Eugenio (2010).

Figura 41: Mapa de risco a inundação resultante do cruzamento de mapas.

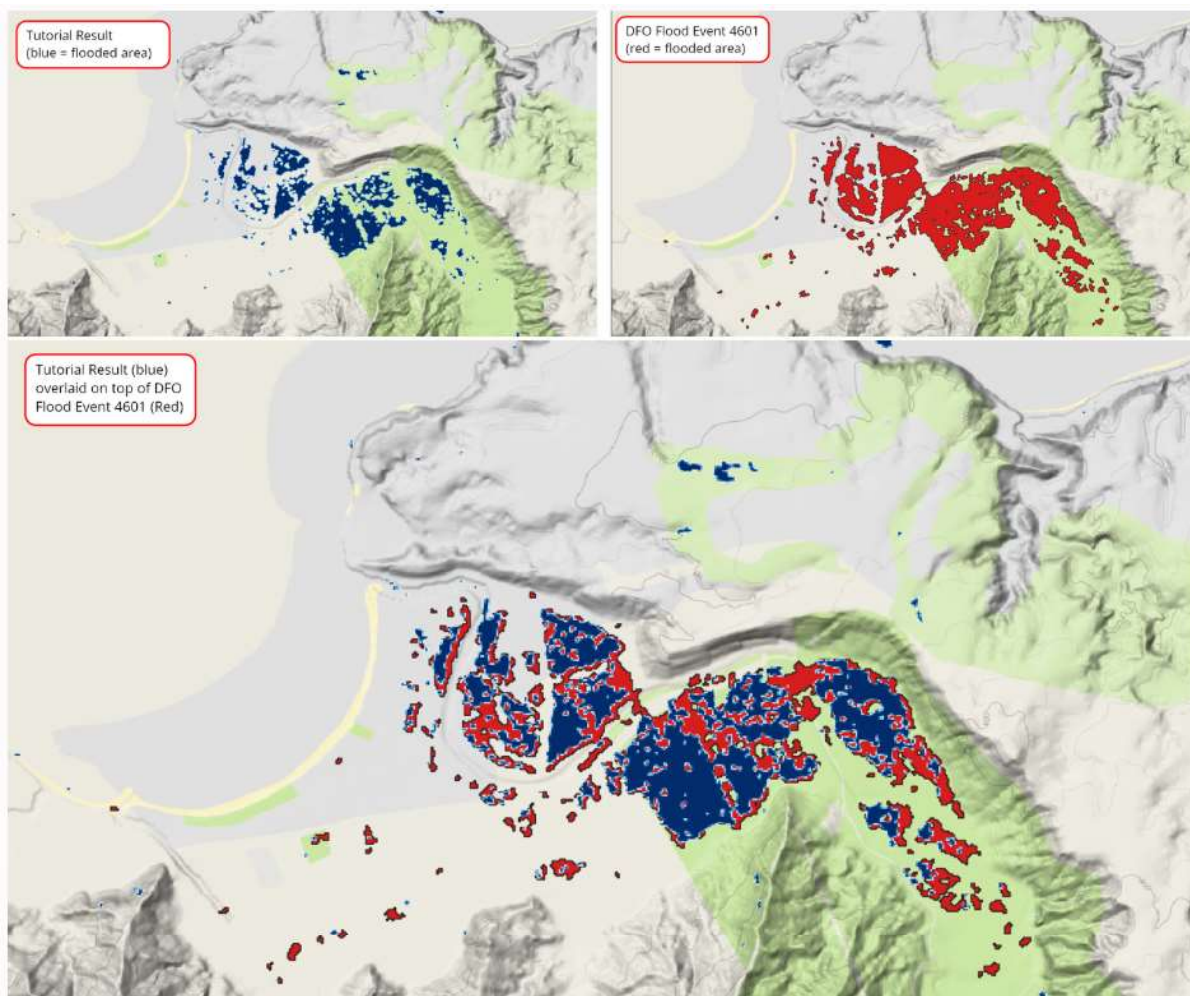


Fonte: Santos, Louzada e Eugenio (2010).

Para o modelo ser representativo é necessária a sua calibração, que depende da disponibilidade de informações como a vazão ou a mancha de inundação de um determinado evento ou a declividade da linha d'água, que pode ser obtida por sensoriamento remoto. O parâmetro a ser calibrado é basicamente o coeficiente de perda de carga (coeficiente de rugosidade de Manning ou Chèzy). Porém, vale ressaltar que, por ser uma simplificação, o modelo não aborda todas as possibilidades do meio físico, como por exemplo, a variação sazonal da vegetação. Logo, não existe um único conjunto de parâmetros para o modelo, sendo importante uma boa amostragem de eventos para serem utilizados tanto na calibração como na validação do modelo. Além disso, deve-se atentar às alterações significativas na topografia ou batimetria do rio entre o levantamento do MDT e as datas dos eventos simulados, pois essas alterações devem interferir nos resultados. A falta de dados para a calibração é outro fator limitante dessa metodologia, sendo necessário a implementação de monitoramento adequado e levantamentos de campo mais detalhados antes da sua aplicação.

Com a rápida expansão do sensoriamento remoto, sua utilização para fins de mapeamento de inundação tem se mostrado cada vez mais promissora. A tecnologia SAR (Radar de Abertura Sintética) do satélite Sentinel-1 da Agência Espacial Europeia (*European Space Agency* - ESA) permite aquisição de imagens tanto de dia como a noite e praticamente independe de condições meteorológicas. O que são grandes vantagens, considerando que diversos eventos extremos de precipitação ocorrem no período noturno e o céu fica encoberto com nuvens. As imagens do Sentinel-1 são disponibilizadas gratuitamente pela ESA, podem chegar a uma resolução espacial de 5 m e sua resolução temporal é de 6 dias (ESA, 2018). Um exemplo de aplicação é descritos em [open.gis.lab](https://open.gis.lab) (2018), a Figura compara o resultado obtido através de imagem do satélite com a observação em campo da mancha de inundação. Outro exemplo também é apresentado em [Ferreira \(2018\)](#).

Figura 42: Comparação entre a mancha de inundação obtido através de imagens do satélite Sentinel-1 e a mancha observada em campo.



Fonte: [open.gis.lab](http://open.gis.lab) (2018)

## 4.4 Definição de Cotas de Alerta e Atenção

Tendo estabelecida a Cota de Emergência, é interessante que também sejam definidas a Cota de Alerta, de modo que a Defesa Civil tenha tempo hábil para tomar as ações necessárias antes da população ser atingida, e a de Atenção, para melhor acompanhamento do rio em épocas de cheias. Uma forma de se definir essas cotas de referência é considerando a evolução dos hidrogramas, ou cotogramas, de cheias típicas da região (ANA, 2013). Em CPRM (2014), por exemplo, as cotas de alerta foram definidas de acordo com o tempo de subida dos hidrogramas da cheia de janeiro de 1997, discretizados a cada 12 horas. A discretização temporal das informações irá depender muito das características da bacia hidrográfica e da disponibilidade de informações. As principais condicionantes para se analisar a resposta de uma bacia à precipitação são:

- Formas do relevo: declividades;
- Características da bacia hidrográfica: área, forma;
- Intensidade, quantidade, distribuição, duração e frequência das chuvas;
- Características do solo: tipo do solo;
- Uso do solo: cobertura vegetal, cultivos, impermeabilização, etc.

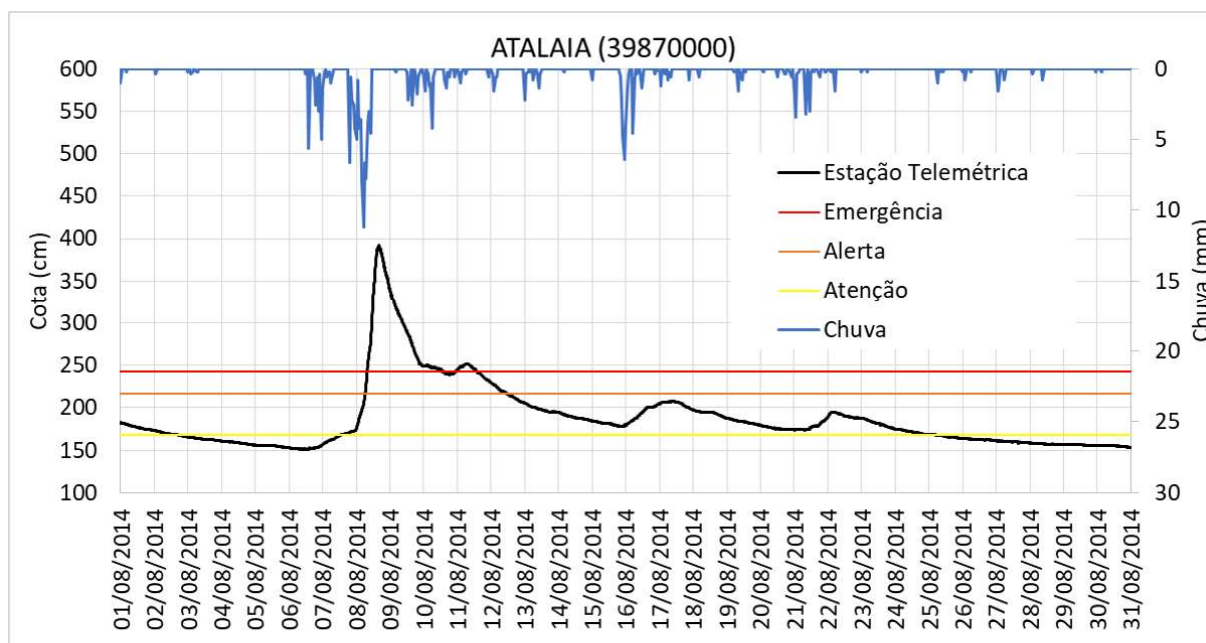
Dependendo da combinação desses condicionantes a resposta da bacia pode resultar em escoamentos mais rápidos ou mais lentos e em hidrogramas mais amortecidos ou mais dispersos, sendo necessário adaptar a determinação das Cotas de Alerta e Atenção conforme essas respostas. Uma das formas mais utilizadas para a análise da resposta de uma bacia à precipitação é o tempo de concentração, que consiste no tempo de trajetória de uma partícula d'água do ponto mais remoto da bacia até o seu exutório. Existem diversas fórmulas empíricas para calcular o tempo de concentração de uma bacia, as mais conhecidas são: Picking; Ven Te Chow; Califórnia *Culvert Practice*; George Ribeiro; *Federal Aviation Administration*. Entretanto, um dos problemas das fórmulas empíricas é que elas foram determinadas para bacias específicas, que muitas vezes não correspondem a bacia que está sendo estudada. Por isso e pelo fato do tempo de concentração não ser um valor constante, o ideal é calculá-lo considerando várias técnicas para poder chegar a uma conclusão, ainda assim com incertezas. Silveira (2005) faz uma análise bastante interessante das fórmulas empíricas, suas aplicabilidades e erros associados. Outro método de cálculo bastante utilizado é o cinemático, que considera o somatório dos tempos de percurso calculados com base na velocidade e no comprimento de cada trecho de rio. Esse método tem base física e normalmente utiliza as equações de Manning ou Chèzy para o cálculo da velocidade.

Métodos menos rigorosos consideram uma relação entre o tempo de concentração e o tempo de resposta, ou tempo de retardo, que é o tempo entre o centro de massa da

chuva e o pico da vazão resultante. Também pode-se considerar o tempo de subida do hidrograma. Na prática, considerando a complexidade de um sistema natural, a ocorrência de precipitações consecutivas dificulta a relação entre o centro de massa da chuva e o pico de vazão correspondente, também existe dificuldade na identificação do início da subida de um hidrograma, fazendo com que a determinação desses tempos seja bastante subjetiva. Uma forma de amenizar esse efeito é fazer uma análise estatística de diversos eventos, compondo uma amostragem de tempos de resposta ou de subida de hidrograma. Porém, para uma análise inicial mais rápida e direta, conforme será apresentado aqui, pode-se considerar a pior situação, ou seja, um dos eventos mais intensos já registrados pela estação.

Considerando ainda a estação de Atalaia como exemplo, por essa bacia drenar uma área pequena, cerca de 2600 km<sup>2</sup>, os dados na escala sub-diária (telemétricos) são mais representativos para a análise da resposta da bacia, uma vez que o tempo de concentração é inferior a 24 horas. Porém, o monitoramento telemétrico teve início a partir de 2011, cobrindo um período seco da região. Apesar ter ocorrido alguns eventos significativos em 2011 e 2017, o sensor não registrou o pico ou apresentou instabilidade, dificultando a análise desses eventos. Por fim, para exemplificar, o evento de outubro de 2014 foi selecionado para análise (Figura 43).

Figura 43: Evento de agosto de 2014 registrado pela estação de Atalaia (39870000) e cotas de referência estabelecidas pelo método estatístico.



Analisando-se os dados telemétricos de Atalaia, a maior cota ocorreu no dia 08/08/2014 às 16h, chegando a um valor de 389 cm, o maior acumulado horário de precipitação foi de 11,2 mm e ocorreu no mesmo dia às 5h. Logo, o tempo de resposta desse evento foi cerca

de 11 horas. Entretanto, já havia uma chuva significativa antes do maior acumulado de chuva, já indicando um aumento na cota. Como início da subida do cotograma foi considerado o dia 06/08/2014 às 14h, com cota de 152 cm. O tempo entre o início da subida e o pico foi de 51 horas, tendo uma variação de mais de 2 m na cota. Outras informações interessantes dentro desse período são: a maior variação de cota, que foi 30 cm dentro de uma hora, e a variação média da cota, que foi de 5 cm/h. Com base nessas informações, é possível ter uma ideia do tempo de concentração da bacia e da dinâmica de variação do nível d'água. Com isso, pode-se avaliar qual seria a melhor estratégia para determinar as cotas de atenção e alerta, considerando o tempo necessário para a Defesa Civil entrar em ação. Esse tempo depende ainda de outros fatores, como a distância e a acessibilidade às áreas de risco.

É válido lembrar que o evento analisado aqui não representa a pior situação, uma vez que a bacia já presenciou eventos mais extremos. Por isso, seria interessante compor uma amostragem de informações de outros eventos. Com o acúmulo dessas informações ao longo do tempo as cotas de referência podem ser reajustadas, aproximando-se da realidade da região.

Agora, fazendo uma análise das cotas de referências estabelecidas estatisticamente para a estação de Atalaia na Seção 4.1. Para o evento de agosto de 2014, a cota de atenção teve início no dia 07/08/2014 às 13h, a cota de alerta foi atingida no dia 08/08/2014 às 6h e a de emergência no dia 08/08/2014 às 8h. Sendo assim, houve um período de apenas duas horas entre a cota de alerta e a cota de emergência, tempo bastante curto para a Defesa Civil ter qualquer ação. Por situações como essa, é muito importante que as cotas de referências que foram determinadas estatisticamente sejam sempre reavaliadas considerando a realidade prática.

Existe grande dificuldade em se definir cotas de atenção e alerta para bacias de área muito pequena (inferior a 100 km<sup>2</sup>) e resposta rápida (bacias densamente urbanizadas). Normalmente, nessas bacias, o nível do rio durante um evento extremo pode chegar ao seu pico em poucas horas ou, até mesmo, minutos, sendo inviável qualquer ação. Para essas situações, é mais interessante o acompanhamento da precipitação, de imagens de radar e de previsões meteorológicas de curtíssimo prazo. Pode-se também estabelecer acumulados de precipitação de alerta e atenção considerando diferentes intervalos, como por exemplo, acumulados das últimas 6, 12, 24, 48 e 72 horas e o acumulado mensal.



## 4.5 Definição de Cota de Estiagem

Diferentemente dos eventos de inundação, que afetam as cidades localizadas às margens dos rios, os eventos de estiagem e seca afetam regiões mais abrangentes que ficam com o abastecimento de água comprometido. Além disso, o tempo para se caracterizar uma seca é mais demorado, normalmente da ordem de meses, pois está relacionado a um longo período de baixa pluviosidade.

A análise da severidade de um evento de seca pode ser feito com base na demanda da população e na disponibilidade hídrica dos reservatórios. Conseqüentemente, pode-se associar categorias de cotas do reservatório a partir das quais a disponibilidade de água seja prejudicada.

Na Tabela 2 são apresentados os critérios sugeridos pela ANA (2013) para a definição das situações de operação de reservatórios no período seco.

A definição dessas cotas não é fixa. Por exemplo, com a adaptação da população com cenários de baixa pluviosidade - através de economia de água e reservação de forma difusa, aliviando-se a demanda do reservatório de uma barragem - e conseqüente redução da vulnerabilidade, a cota de estiagem pode ser menos rigorosa.

Tabela 2: Caracterização sugerida das situações de operação de reservatório no período seco

Operação no período seco		Descrição	
Normal	Nível Reservatório	$\geq$	Nível meta do período seco <sup>***</sup> ; e,
	Vazão afluyente média do período <sup>**</sup>	$\geq$	Vazão afluyente média de referência* do período <sup>**</sup> ; e,
	Vazão de retirada prevista	$\leq$	Vazão limite de retirada <sup>****</sup> .
Déficit	Situações intermediárias		
Escassez	Nível Reservatório	$<$	Nível meta do período seco <sup>***</sup> ; e,
	Vazão afluyente média do período <sup>**</sup>	$<$	Vazão afluyente média de referência* do período <sup>**</sup> ; e,
	Vazão de retirada prevista	$>$	Vazão limite de retirada <sup>****</sup> .

\* A vazão de referência corresponde ao valor de afluência abaixo do esperado e incapaz de promover a recuperação das reservas hídricas. Como padrão, sugere-se adotar o valor correspondente a 90% de permanência, que é o valor associado a uma probabilidade de 90% de ser igualado ou superado;

\*\* O período considerado para avaliar as vazões depende dos aspectos hidrológicos da região. No Nordeste do Brasil, o período de avaliação da média para caracterizar uma situação de escassez hídrica corresponde a meses ou anos, enquanto na região Sul o período varia de dias a meses.

\*\*\* O nível meta do período seco deve ser estabelecido considerando os diversos usos da água ao longo do ano e os diversos cenários de disponibilidade hídrica. O cenário mais crítico, em geral, pode ser considerado aquele cuja reserva hídrica é destinada exclusivamente para abastecimento humano, sendo esta curva limite indicada para representar o nível meta do período seco.

\*\*\*\* Para definição da vazão limite de retirada, podem ser utilizadas: a) Vazão outorgada; b) O conceito de curvas de aversão ao risco para indicar a vazão limite de retirada de forma a garantir o atingimento de uma reserva estratégica ao final do período seco; e c) Outro julgado pertinente.

## 5 Considerações Finais

Determinação de cotas de referência para sistema de alerta a inundação e estiagem se apresentou um tema bastante complexo por envolver diversas áreas do conhecimento, tais como: análise de risco, hidrologia, monitoramento fluviométrico, topografia, sensoriamento remoto, SIG, etc. Além disso, está fortemente dependente das características hidrológicas do rio e da disponibilidade de informações da região. Por esses motivos, a padronização de metodologias exigiria estudos muito mais profundos de uma equipe multidisciplinar. Ainda assim, existiriam dificuldades para estabelecer a normatização de procedimento, visto a vasta característica natural dos sistemas hidrológicos brasileiros, sendo mais provável o estabelecimento de boas práticas.

Esse documento buscou trazer alguns conceitos básicos que envolvem o tema e exemplos de experiências já realizadas, visando inspirar e nortear gestores de recursos hídricos nessa responsabilidade de definir cotas de referência.

Resumidamente, considerando os temas discutidos neste documento, uma primeira abordagem para a determinação dessas cotas de referência pode ser a análise estatística. Entretanto, é essencial comprovar e validar essas cotas em campo e com auxílio de outras metodologias como análises de MDE, utilização de sensoriamento remoto e modelagem hidrodinâmica. Outro fator importante é o envolvimento da Defesa Civil e dos moradores das áreas de risco nesse trabalho, para que as cotas determinadas tenham sentido prático. Valido lembrar, que como todo sistema natural, essas cotas são dinâmicas e podem variar dependendo das condições hidrológicas do rio, da ocupação urbana e da vulnerabilidade da população ribeirinha, sendo o monitoramento de eventos extremos a principal fonte de informação para o aumento da resiliência relacionada ao risco de desastres naturais.



## Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. *Manual de Operação da Sala de Situação da ANA e para Apoio aos Estados*. Brasília, DF, 2013.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*. 4a. ed. Brasília/DF: Edgard Blucher Ltda, 2014.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Gestor PCD*. 2018. Disponível em: <<http://gestorpcd.ana.gov.br>>. Acesso em: agosto de 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Portal Hidroweb*. 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: outubro de 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Progestão*. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/programas-e-projetos/progestao-1>>. Acesso em: outubro de 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Sala de Situação*. 2018. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/sala-de-situacao>>. Acesso em: outubro de 2018.
- BALDASSARRE, G. D.; MONTANARI, A. Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 13, n. 6, p. 913–921, 2009. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/913/2009/>>.
- BAND. *Vídeo: adutora rompe e inunda rua em Manaus*. 2013. Disponível em: <<https://videos.band.uol.com.br/14254948/video-adutora-rompe-e-inunda-rua-em-manaus.html>>. Acesso em: outubro de 2018.
- BLUMENAU. Prefeitura de Blumenau. *AlertaBlu*. 2018. Disponível em: <<http://alertablu.cob.sc.gov.br/p/detalhada>>. Acesso em: outubro de 2018.
- BOTELHO, M. H. C. *Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades*. 4a. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2017.
- BRASIL. Ministério do Planejamento. *Lançado Plano Nacional para Prevenção de Desastres Naturais*. 2012. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/c1619715>>. Acesso em: outubro de 2018.
- BRASIL. Ministério do Planejamento. *Plano Nacional para Prevenção de Desastres Naturais*. 2012. Apresentação. Disponível em: <[http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/apresentacoes-2012/120808\\_plano\\_nac\\_risco\\_2.pdf](http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/apresentacoes-2012/120808_plano_nac_risco_2.pdf)>. Acesso em: outubro de 2018.
- CASTILHO, A. S. d.; SILVA, E. A.; RODRIGUES, V. V. Estimativa do período de retorno associado às cotas de alerta, de inundação e de grandes cheias na Bacia do Rio Doce. *SACE-CPRM*, 1999. Disponível em: <[https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/doce\\_artigos/artigo1999.pdf](https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/doce_artigos/artigo1999.pdf)>.

- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. *Mapa Interativo*. 2018. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. *O Cemaden e sua competência no âmbito do Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais*. 2018. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/o-cemaden-e-sua-competencia-no-ambito-do-plano-nacional-de-gestao-de-risco-de-riscos-e-resposta-a-desastres-naturais/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. *Sala de Situação*. 2018. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/sala-de-operacao/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- CHET. *CCHE2D*. 2018. Disponível em: <<https://www.comphydrotech.com/cche2d/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- CORDEIRO, A.; SALVADOR, D.; REFOSCO, J. C. Cota-enchente do município de Blumenau. In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, RS: ABRH, 2013.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Sistema de Alerta de Enchentes da Bacia do Rio Doce: Relatório Técnico do Período Crítico de Dezembro de 2013*. Belo Horizonte, 2014.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *SACE - Sistema de Alerta de Eventos Críticos*. 2018. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/sace/>>. Acesso em: agosto de 2018.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Setorização de Risco Geológico*. 2018. Disponível em: <<http://cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-Naturais/Setorizacao-de-Risco-Geologico-5389.html>>. Acesso em: outubro de 2018.
- DELFT3D. *Delft3D Open Source Community*. 2018. Disponível em: <<https://oss.deltares.nl/web/delft3d>>. Acesso em: outubro de 2018.
- DPI-INPE. Divisão de Processamento de Imagem - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Vertical Distance to the Nearest Drainage*. 2018. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/English/hand.php>>. Acesso em: outubro de 2018.
- EPAGRI-CIRAM. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia. *Rios On-Line*. 2018. Disponível em: <[http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2224&Itemid=250](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2224&Itemid=250)>. Acesso em: agosto 2018.
- ESA. European Space Agency. *Sentinel Online - Sentinel-1*. 2018. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>>. Acesso em: outubro de 2018.
- ESTARQUE, M. *Natureza do Desastre - Política de Prevenção de Desastres Naturais Definha no País*. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/03/02/natureza-do-desastre-politica-de-prevencao-de-desastres-naturais-definha-no-pais/>>. Acesso em: outubro de 2018.

- FERREIRA, G. H. S. *Identificação de áreas inundáveis na porção sul de Roraima com auxílio de imagens de radar*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, 2018. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia - GEA.
- FURB. Universidade Regional de Blumenau. *Carta Enchente do município de Blumenau*. 2018. Disponível em: <<http://www.labgeo.furb.br/maps/41>>. Acesso em: outubro de 2018.
- GERMANO, A. de O.; MATOS, A. J. S. Metodologia para definição de cotas de referência em sistemas de alerta e previsão hidrológica. In: *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Florianópolis, SC: ABRH, 2017.
- GREGORIO, L. T. et al. Proposta para a construção um sistema informatizado para gestão integral de riscos de desastres naturais (sigrid) no cenário brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, v. 26, p. 95–117, 2013.
- GRIGG, N. S. *Risk Management in Water Utilities*. 2000. Disponível em: <[http://www-engr.colostate.edu/~neilg/ce\\_old/projects/wuem/Risk%20working%20paper%204.doc](http://www-engr.colostate.edu/~neilg/ce_old/projects/wuem/Risk%20working%20paper%204.doc)>. Acesso em: outubro de 2018.
- IBER. *IBER 2D Hydraulic Modelling*. 2018. Disponível em: <<http://www.iberaula.es/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual\\_ppp.pdf](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf)>.
- IGARAPÉ. Instituto Igarapé. *Observatório de Migrações Forçadas*. 2018. Disponível em: <<https://igarape.org.br/wp-content/uploads/2018/03/2018-03-06-factsheet-migracoes.pdf>>. Acesso em: outubro de 2018.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Topodata: Banco de dados geomorfológicos do Brasil*. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- MCID-IPT. Ministério das Cidades - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília, 2007. 176 p. Organizadores: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2007.
- NOAA-NWS. National Oceanic & Atmospheric Administration - National Weather Service. Definitions and general terminology. In: *National Weather Service Manual 10-950*. 2017. Disponível em: <<http://www.nws.noaa.gov/directives/010/010.php>>. Acesso em: agosto de 2018.
- NOAA-NWS. National Oceanic & Atmospheric Administration - National Weather Service. *River Observations*. 2018. Disponível em: <<https://water.weather.gov/ahps/index.php>>. Acesso em: agosto de 2018.

- NOBRE, A. et al. Height above the nearest drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, n. 1, p. 13 – 29, 2011. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002599>>.
- OPEN.GIS.LAB. *Flood Mapping With Sentinel-1 Data Using SNAP And QGIS*. 2018. Disponível em: <<https://opengislab.com/blog/2018/5/14/flood-mapping-with-sentinel-1-data-using-snap-and-qgis>>. Acesso em: outubro de 2018.
- REBELLO, A. *Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil*. 2007. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=BibTeX&oldid=4879810>>. Acesso em: outubro de 2018.
- RODRIGUES, C.; VILLELA, F. N. J. Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo: elementos-chave para compreender a origem da atual crise de abastecimento. *Geosp – Espaço e Tempo*, v. 19, n. 3, p. 399–421, 2016. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/111496/112845>>.
- SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. de O.; EUGENIO, F. C. Arcgis 9.3 total: Aplicação para dados espaciais. In: \_\_\_\_\_. 2. ed. Alegre/ES: Mundo da Geomática, 2010. cap. 7, p. 116–134. CAUFES.
- SEDEC. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID*. 2018. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- SEMARH. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas. *Sistema de Alerta*. 2018. Disponível em: <<http://meteorologia.semarh.al.gov.br/mapapcds/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 1, p. 5–23, 2005.
- SIMEPAR. Instituto Tecnológico Simepar. *Monitoramento Águas Paraná*. 2018. Disponível em: <<http://www.simepar.br/aguasparana/monitoramento/monitoramento.shtml>>. Acesso em: outubro de 2018.
- USACE. US Army Corps of Engineers. *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS)*. 2018. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>>. Acesso em: outubro de 2018.
- VALERIANO, M. de M. *Topodata: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. São José dos Campos, SP: INPE-15318-RPQ/818, 2008.



# Anexos



# ANEXO A – Prancha de Setorização - CPRM



**GOVERNO FEDERAL**  
**BRASIL**  
PAIS RICO PAIS SEM POBREZA

**AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E ENCHENTES**



**CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**Vila Velha - Espírito Santo**  
Agosto 2012

ES\_VV\_SR\_17\_CPRM  
Localização: Rua Des. Augusto Bolelho - Praia da Costa  
UTM 24 R 386725 E 7751669 S



**1**



**2**



**33 m**  
**3**



**4**



**23 m**  
**5**



**Delimitação do setor risco** (Red outline)

**Sentido da drenagem** (Blue arrow)

**Sentido do movimento do bloco** (Yellow arrow)

**Rolamento de bloco** (Dashed yellow line)

- Visita por profissionais especializados em contenção de encostas, para avaliação e escolha de método de estabilização.
- Remoção das famílias localizadas no sentido principal da drenagem e na linha de atingimento de blocos que encontram-se no meio da encosta.
- Em caso de chuvas intensas, alerta e atenção máxima: monitoramento de movimentos de emergência.
- Construção de sistema de escoamento de águas pluviais e serviços na cistna e base dos tubulões;
- Implantação de paliços de controle urbano para inibir escavações em criadouros de encostas (tipo escavações em cristobalite de encostas (tipo escavações em cristobalite para monitoramento e alerta em alguns pontos estratégicos do município;
- Coleta de lixo adequado (reciclagem/cooperativas), educação sanitária e ambiental;
- Realização de reuniões para auxiliar a Defesa Civil em ações emergenciais na região.


A área em questão possui diversos blocos rochosos, com mais de 50% aflorados ( ). Parte destes blocos surgiram em decorrência de fragmentação manual de matacões maiores por parte do proprietário do terreno, para a construção de edificações ( ). Esta atuação e a natural predisposição a rolamentos, favorece a ocorrência deste tipo processos no local.

Em função do perfil de solo pouco espesso, o contato direto com a queda e o rolamento de blocos, bem como outros deslizamentos e processos erosivos generalizados nos taludes de corte que venham a ocorrer no setor.

Aprox. 40  
Aprox. 500 pessoas



# ANEXO B – Quadro resumo dos pontos de inundação levantados em Colatina/ES.

 <b>CPRM</b> Serviço Geológico do Brasil		LEVANTAMENTO DA LINHA DE CHEIA					
		Estação: ESTAÇÕES E ENTORNO			Código: TODAS AS SEÇÕES		
		Município: COLATINA- ES			Roteiro: 30		
		Rio: DOCE/SANTA MARIA/PANCAS			Data: 21/12/2013		
		Equipe: EMÍLIA/JOSÉ JULIO/FRANCISCO/MARLON/AVILMAR/JOÃOLEÃO			Hora inicial: 08:00 Hora final: 12:30		
PONTO	COORDENADAS (DATUM SIRGAS 2000)	IDENT. PINTURA	TIPO DO PONTO MARCADO	ALTURA ATINGIDA(m)	OBSERVAÇÕES		
A	331892 7841110	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Ponte	0,31	Junto à ponte BR-259 no sentido Colatina Velha. Marcação realizada na sapata da ponte.		
B	330979 7841184	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Lance	7,56	Rua Pedro Epichin nº2473. Marcação realizada com prego no lance (700-800).		
C	330479 7840909	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Pilar	7,61	Rua Pedro Epichin nº1927. Marcação realizada com prego em pilar de concreto nos fundos da residência.		
D	329646 7839625	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Lance	7,82	Avenida Beira Mar. Fundos 8º Batalhão da Polícia Militar do Espírito Santo. Marcação realizada com prego no lance (700-800).		
E	327747 7838872	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Parede	7,34	Avenida Rio Doce nº 446. Marcação realizada na parede da residência.		
...	...	...	...	...	...		
S	328518 7838628	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Parede	0,00	Ponto limite da mancha de inundação do dia 19/12/2013. Rua Álvaro Antoline n°10, esquina com a Avenida Moacir Ávidos.		
T	328642 7838764	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Parede	0,00	Ponto limite da mancha de inundação do dia 19/12/2013. Rua Dom Pedro II n° 44, esquina com Avenida Moacir Ávidos, em frente à Papelaria Prisma.		

Fonte: CPRM (2014).



# ANEXO C – Demarcação da mancha de inundação - Colatina/ES.



CIDADE DE COLATINA - ES  
DEMARCAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DOS EVENTOS DE 19 E 24/12/2013



Fonte: CPRM (2014).